

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

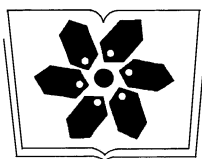
(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 23 期
Vol.30 No.23
2010



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 30 卷 第 23 期 2010 年 12 月 (半月刊)

目 次

1940—2002 年长江中下游平原乡村景观区域中耕地类型及其土壤氮磷储量的变化	武俊喜,程 序,焦加国,等 (6309)
海洋生态资本概念与属性界定	陈 尚,任大川,李京梅,等 (6323)
海洋生态资本价值结构要素与评估指标体系	陈 尚,任大川,夏 涛,等 (6331)
黔中喀斯特山区退化生态系统生物量结构与 N、P 分布格局及其循环特征	杜有新,潘根兴,李恋卿,等 (6338)
长白山阔叶红松林样地槭属树木木生真菌的群落组成和分布	魏玉莲,戴玉成,袁海生,等 (6348)
内蒙古退化荒漠草原土壤细菌群落结构特征	吴永胜,马万里,李 浩,等 (6355)
盐度对尖瓣海莲幼苗生长及其生理生态特性的影响	廖宝文,邱凤英,张留恩,等 (6363)
基于树轮火疤塔河蒙克山樟子松林火灾的频度分析	胡海清,赵致奎,王晓春,等 (6372)
不同农业景观结构对麦蚜种群动态的影响	赵紫华,石 云,贺达汉,等 (6380)
黑河中游荒漠灌丛斑块地面甲虫群落分布与微生境的关系	刘继亮,李锋瑞,刘七军,等 (6389)
刺槐树冠光合作用的空间异质性	郑 元,赵 忠,周 慧,等 (6399)
南海北部夏季基础生物生产力分布特征及影响因素	宋星宇,刘华雪,黄良民,等 (6409)
怒江三种裂腹鱼属鱼类种群遗传结构	岳兴建,汪登强,刘绍平,等 (6418)
大型水生植物对重金属的富集与转移	潘义宏,王宏镔,谷兆萍,等 (6430)
依据大规模捕捞统计资料分析东黄渤海白姑鱼种群划分和洄游路线	徐兆礼,陈佳杰 (6442)
正交试验法分析环境因子对苦草生长的影响	朱丹婷,李铭红,乔宁宁 (6451)
基于中分辨率 TM 数据的湿地水生植被提取	林 川,官兆宁,赵文吉 (6460)
基于 CVM 的三江平原湿地非使用价值评价	敖长林,李一军,冯 磊,等 (6470)
耕地易地补充经济补偿的生态价值——以江阴市和兴化市为例	方 斌,杨 叶,郑前进,等 (6478)
自然旅游地居民自然保护态度的影响因素——中国九寨沟和英国新森林国家公园的比较	程绍文,张 捷,徐菲菲 (6487)
基于 PSR 方法的区域生态安全评价	李中才,刘林德,孙玉峰,等 (6495)
灌浆期高温对水稻光合特性、内源激素和稻米品质的影响	滕中华,智 丽,吕 俊,等 (6504)
秦岭北坡不同生境栓皮栎实生苗生长及其影响因素	马莉薇,张文辉,薛瑶芹,等 (6512)
子午岭三种生境下辽东栎幼苗定居限制	郭 华,王孝安,朱志红 (6521)
温度、盐度对龟足胚胎发育和幼虫生长的联合影响	饶小珍,林 岗,张殿彩,等 (6530)
锡林郭勒盟气候干燥度的时空变化规律	王海梅,李政海,韩国栋,等 (6538)
北京市水足迹及农业用水结构变化特征	黄 晶,宋振伟,陈 阜 (6546)
延安北部丘陵沟壑区退耕还林(草)成效的遥感监测	孙智辉,雷延鹏,卓 静,等 (6555)
冰川前缘土壤微生物原生演替的生态特征——以乌鲁木齐河源 1 号冰川为例	王晓霞,张 涛,孙 建,等 (6563)
储藏方式和时间对三峡水库消落区一年生植物种子萌发的影响	申建红,曾 波,施美芬,等 (6571)
云南普洱季风常绿阔叶林演替系列植物和土壤 C、N、P 化学计量特征	刘万德,苏建荣,李帅锋,等 (6581)
青藏高原高寒矮嵩草草甸碳增汇潜力估测方法	曹广民,龙瑞军,张法伟,等 (6591)
基于 CEVSA2 模型的亚热带人工针叶林长期碳通量及碳储量模拟	顾峰雪,陶 波,温学发,等 (6598)
太原盆地土壤呼吸的空间异质性	张义辉,李洪建,荣燕美,等 (6606)
专论与综述	
热带森林碳汇或碳源之争	祁承经,曹福祥,曹受金 (6613)
景观对河流生态系统的影响	欧 洋,王晓燕 (6624)
自由空气中臭氧浓度升高对大豆的影响	杨连新,王云霞,赵秩鹏,等 (6635)
研究简报	
基于生态系统服务价值的区域生态补偿——以山东省为例	王女杰,刘 建,吴大千,等 (6646)
鹤伴山国家森林公园土壤甲螨群落结构	许士国,付荣恕 (6654)
栓皮栎人工林树干液流对不同时间尺度气象因子及水面蒸发的响应	桑玉强,张劲松,孟 平,党宏忠,等 (6661)
赤眼蜂发育速率对梯度恒温的响应	陈洪凡,岑冠军,黄寿山 (6669)
学术信息与动态	
GIS 和遥感技术在生态安全评价与生物多样性保护中的应用	李文杰,张时煌 (6674)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 374 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 42 * 2010-12	

栓皮栎人工林树干液流对不同时间尺度 气象因子及水面蒸发的响应

桑玉强¹, 张劲松^{2,*}, 孟平², 党宏忠², 高峻², 贾长荣³, 任迎丰³

(1. 河南农业大学林学院 郑州 450002; 2. 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;
3. 济源市大沟河林场 济源 454650)

摘要:于 2006—2008 年主要生长季节,利用热扩散技术连续测算得到了华北土石山区 30 年生栓皮栎人工林液流量(SF),并结合同步测定的太阳辐射(Ra)、空气温度(Ta)、饱和水汽压亏缺(VPD)、风速(V)和降雨量(P)等气象因子、水面蒸发(EV_0)及叶面积指数(LAI)等因子,分析了栓皮栎液流对不同时间尺度气象因子及水面蒸发的响应规律,探索建立长时间尺度水面蒸发与树干液流之间的关系模型。试验结果表明:(1)在主要生长季(4—9 月份)期间,栓皮栎单株液流与同期测定的 Ra 、 Ta 、 VPD 和 V 等气象因子间均存在着较强的相关性。时间尺度为 10 min、1h、d、旬、月时,决定系数分别为 0.388、0.482、0.539、0.654 和 0.812。说明随着时间尺度的增加,相关性越强;在不同时间尺度下,影响 SF 的最主要气象因子均为 Ra 。月 SF 与月 Ra 变化趋势的同步性尤为明显。(2)日尺度和月尺度上 EV_0 与 SF 之间具有很好的线性关系,决定系数分别为 0.578 和 0.876,比同时期、相等样本数条件下 SF 与 Ra 、 Ta 、 VPD 、 V 多元线性拟合的决定系数分别高 3.6% 和 3.9%。(3)2006、2007、2008 年生长季节降雨量分别为 464.8、393.3 mm 和 315.0 mm,栓皮栎单株液流分别为 2 024.1 L、1 739.2 L 和 1 688.7 L,年际间 SF 变化趋势与降雨量存在一定的一致性。

关键词:栓皮栎;树干液流;气象因子;水面蒸发;时间尺度

Responses of stem sap flow to meteorological factors and water evaporation at different time scales over *Quercus variabilis* plantation

SANG Yuqiang¹, ZHANG Jinsong^{2,*}, MENG Ping², DANG Hongzhong², GAO Jun², JIA Changrong³, REN Yingfeng³

1 College of Forestry, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China

2 Research Institute of Forestry, CAF/Key Laboratory of Forest Silviculture of the State Forestry Administration Beijing 100091, China

3 Dagouhe Forest Farm, Jiyuan 454650, China

Abstract: Stem sap flow of 30-year-old *Quercus variabilis* individual trees in the rocky mountain areas of the North China was measured by thermal dissipation probe (TDP) during the growing seasons from 2006 to 2008. The responses of *Quercus variabilis* sap flow to meteorological factors and water evaporation at different time scales were analyzed. The purposes of the study were to establish model between sap flow and water evaporation at long-time scale and to provide theoretical basis for establishing water saving and drought resistance model. The results showed that: (1) During the growing seasons (from April to September), sap flow had positive correlation with solar radiation, air temperature, and vapor pressure deficit. However, the correlation between sap flow and wind speed was unremarkable. Determination coefficients at 10 min, 1 h, 1 day, 10-day, one month scales were 0.388, 0.482, 0.539, 0.654 and 0.812, respectively. It was proved that the longer time scale was, the more significant correlation was found between sap flow and meteorological factors. At short-time scales, such as 10 min and 1 h, the correlation between sap flow and meteorological factors was low due to the delay of the time and

基金项目:国家“十一五”科技支撑课题(2006BAD03A11);河南省教育厅自然科学研究项目(2009B220002)

收稿日期:2010-05-25; **修订日期:**2010-11-01

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

it was more obvious in early April. Solar radiation (R_a) was the dominant meteorological factor affecting on sap flow. The synchronism between R_a and sap flow was more evident at monthly scale. Solar radiation and sap flow in 2006, 2007 and 2008 peaked in June, May and May, respectively. Both monthly amount and the proportion to total sum of sap flow were consistent with solar radiation during experiment periods. (2) At daily and monthly scales, sap flow had good relations with water surface evaporation (EV_0) and determination coefficients were 0.578 and 0.876, respectively, 3.6% and 3.9% higher than those obtained by the multiple linear equations between sap flow and meteorological factors. Longer time scale provided higher resolution for the simulation model. On the other hand, the model fitted by water surface evaporation was more precise than by meteorological factors. Moreover, water surface evaporation was easy to acquire. Hence, the model fitted by water surface evaporation had a wide application prospect. (3) During growing seasons, the precipitation from 2006 to 2008 was 464.8, 393.3 and 315.0 mm, respectively. Sap flow of *Quercus* individual trees at the same stages were 2024.1, 1739.2 and 1688.7 L, respectively. It showed that inter annual variation trend of sap flow was in agreement with that of rainfall. Annual sap flow increased with the rise of annual precipitation. However, sap flow was not consistent with rainfall at monthly scale. The reason was that water compensating for sap flow mainly came from the soil and soil water content was influenced by the factors such as precipitation intensity, soil percolating and canopy interception, and thus soil water content was not same even though the precipitation was same.

Key Words: *Quercus variabilis*; stem sap flow; meteorological factors; water surface evaporation; time scale

液流是植物的一个重要生理生态参数,可反映植物体内的水分传输状况^[1-2]、植物对水分的利用特征^[3-4]及其对环境的响应^[5-6],也是验证、修正蒸腾(蒸散)模型、根系吸水模型的重要参数^[7]。在日尺度上,树干液流量可表征为蒸腾量^[8-9],因此通过测算树干液流并结合其他生物学参数调查,可实现由单株到林分水平的耗水尺度扩展。液流观测技术具有快速、连续、长期测定等优点^[10-11],已被广泛应用于林业、生态、水文等相关学科及领域^[12-13]。植物液流与气象因子间的关系是液流研究的重要内容之一。许多研究采用时间步长为 10 min 或 30 min 等小尺度观测数据,分析了液流与气象因子的关系^[14-15],建立了液流或基于液流推算得出的蒸腾与气象因子的多元线性关系的经验模型^[16-23],对于预测植物耗水具有一定的意义。但在日内尺度上,液流与气象因子及蒸腾之间往往存在非同步性或滞后性^[13,21,24-30],而且各气象因子对液流的影响并不一定是线性作用,存在黑箱性,故制约了模型精度的进一步提高。如能建立一个可表达光、温、水、热等气象因子的综合变量并寻找出与液流变化间的关系表达式,将有助于提高液流估算模型的广泛应用。已有相关研究发现:水面蒸发能够综合的反映当时的气象条件,水面蒸发与树木日液流量具有较好的相关性^[22,31-33],可为利用水面蒸发估算液流量提供了重要的借鉴思路。而且对于雨养林业而言,开展月及其以上长时间尺度耗水研究,对预测植被耗水、研究气候变化对于植物液流的影响更具有实际应用价值。因此,比较研究不同时间尺度下气象因子及水面蒸发对液流的响应机制,探索建立长时间尺度水面蒸发与树干液流之间的关系模型将具有重要的科学意义。

栓皮栎(*Quercus variabilis*)为壳斗科栎属落叶乔木,是华北山区的主要造林树种。华北山区地处暖温带半干旱季风气候区,干旱特别是春旱现象比较严重,水资源紧缺是制约该地区林业建设最根本的生态问题。深入了解栓皮栎人工林树干液流及蒸腾耗水的影响机制,对于指导栓皮栎抗旱节水造林及结构调控具有重要意义。但迄今为止,受技术条件的限制或基于研究目的的不同,已有的关于栓皮栎液流的研究工作^[34-36]均没有针对不同时间尺度气象因子、水面蒸发与液流的关系进行详细的分析。本文通过对栓皮栎树干液流连续 3a(2006—2008 年)的观测,对比分析了华北山区南端栓皮栎液流在不同时间尺度条件下与气象因子、水面蒸发等因素的关系,旨在为单株蒸腾寻求可靠的预估模型,为进一步探求林分尺度上的耗水及水分供求规律提供必要的依据。

1 试验设计

1.1 试验区概况

试验地点位于河南省济源市境内的黄河小浪底森林生态系统定位研究站。试验区地处太行山南段南麓、黄河流域北缘,属暖温带大陆性季风气候。全年日照时数为 2 367.7 h,年日照率为 54%,多年平均积温为 5 282 °C,≥10°C 的多年平均积温达 4 847 °C。历年平均降水量 641.7 mm,受季风气候的影响,年内季节性分布不均匀,6—9 月份多年平均降水量为 438.0 mm,占全年的 68.3%。

1.2 试验材料及方法

研究对象为栓皮栎人工林,树龄 30a,平均树高 10.5 m,平均胸径 9.5 cm,造林密度 1890 株/hm²,土壤类型为壤土,土层厚度约为 30 cm。在试验地内,随机选取 25 株栓皮栎,以该 25 株树木的平均胸径为依据,在试验地中部选择 10 棵胸径大小相近的样株进行试验。

1.2.1 树干液流观测

在上述 10 棵树的东、南、西、北 4 个方向胸径处,采用热扩散树干液流法测定树干液流,液流测算公式如下^[13,37-38]:

$$Fs = 0.0119K^{1.231} \times SA \times 3.6 \quad (1)$$

$$K = \frac{dT_M - dT}{dT} \quad (2)$$

式 1、式 2 中, F_s 为树干液流速率(L/h); SA 为边材面积(cm²); dT 为某时刻温差值, dT_M 为一日内最大温差值,一般出现在凌晨前后。将每棵树东南西北 4 个方向液流平均作为该树液流值,取 10 棵树的液流平均值为液流最终测定值来分析单株液流变化。传感器(探针)长度为 30 mm。数据采集器为 CR10X(Campbell Inc., Logan, Utah, USA)。为避免生长锥取样对被测木测定值造成影响,在被测木周围选择 6 棵与被测木胸径接近的树木,用生长锥测定其边材、心材大小,平均后确定边材面积。同时,为避免木质部栓塞化对液流速率的影响,来年开始测定前,将 TDP 探针适当移动位置。测定时期为 2006—2008 年连续 3 个生长季节(4 月 1 日—9 月 30 日)。

1.2.2 冠层小气候观测

在样地中心活动面上 1 m 高度处采用小气候自动监测系统连续观测空气温度(T_a)、相对湿度(RH)、风速(V)、太阳总辐射(R_a)、降雨量(P)等气象因子。 R_a 、 V 、 T_a 、 RH 及 P 所采用的传感器(探头)分别为 LI200X、05103、HMP45C、TE525M。数据采集器为 CR10X,每 2 min 采集 1 次,每 10 min 输出 1 组平均值。观测时间与树干液流同步。水面蒸发数据(EV_0)来自黄河小浪底森林生态系统定位研究站地面气象观测站,蒸发器型号:E601(上海)。

1.2.3 叶面积指数测定

采用 LAI-2000 植被冠层分析仪(LI-COR, Inc., Lincoln, NE, USA),测定叶面积指数(leaf area index, LAI),每隔 15 d 左右测定 1 次。测定时间为 2006—2008 年的连续 3 个生长季节 4 月 15 日—9 月 30 日。

2 结果与分析

2.1 液流与不同时间尺度气象因子的关系

在生长季节,分别以 10 min、1h、d、旬、月等 5 种时间尺度的冠层太阳辐射(R_a)、空气温度(T_a)、饱和水汽压亏缺(VPD)、风速(V)作为自变量,以栓皮栎单株液流(SF)为因变量进行了多元回归分析(表 1)。对于 10 min 和 1h 小尺度,选择 LAI 相对稳定($LAI = 6.4—6.6$)的时期进行回归分析,以减少树木自身变化对液流的影响。结果表明:不同时间尺度下 SF 与气象因子在 5 种时间尺度下均有较好的复相关关系, SF 与 R_a 、 T_a 及 VPD 呈正相关关系,其中 R_a 在各时间尺度下与 SF 的偏相关系数均最高。 V 与 SF 的相关性不确定,偏相关系数有时为正值,有时为负值。其主要原因在于 V 减少会使能量驱动项降低的同时,也会增加能量扩散驱动项,最终取决于能量驱动项和扩散驱动项的相对变化程度^[22]。以 2007 年 4 月 5—8 日为例,比较液流与各气

象因子的时间变化趋势(图1),也发现 SF 变化与 Ra 、 Ta 、 VPD 、 V 的同步性较好,与 Ra 的同步性关系更为显著。进一步说明 Ra 是影响栓皮栎 SF 的最主要气象因子。

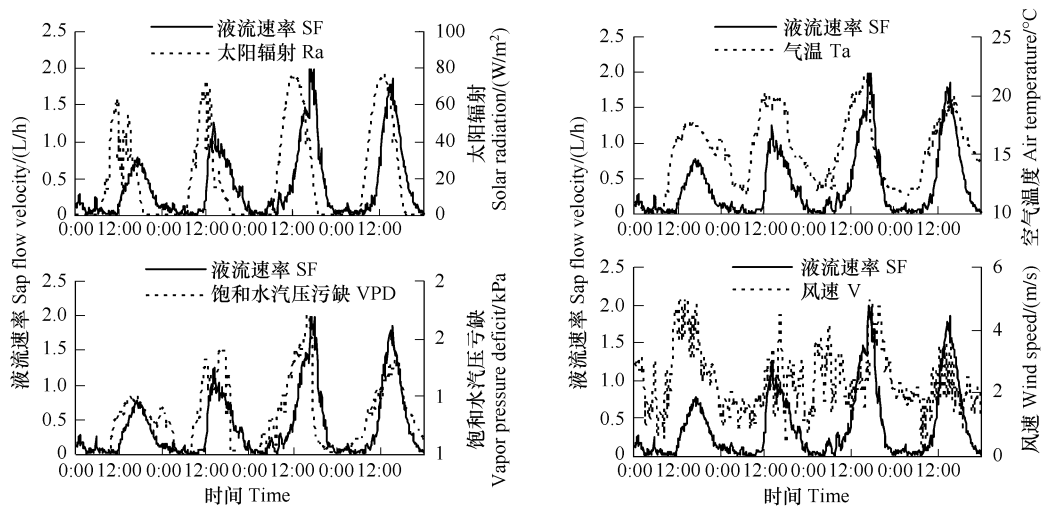


图1 液流速率与气象因子的关系(2007-04-05—08)

Fig.1 Relationship between diurnal sap flow velocity and meteorological factors

从表1 还可知: SF 与气象因子的相关性随时间尺度的变大而增加。但在较小时间尺度上(如 10 min 和 1 h)相关性相对要弱,其原因在于:相对气象因子,液流速率时间变化存在滞后性。在 4 月初期,这种滞后性尤为明显(图 1)。如:以 2007 年 4 月 6 日为例,该日 SF 最大值出现在 14:10,太阳辐射和气温最大值均出现在 12:00 左右, SF 比二者滞后了 2 h 左右。4 月 6 日、7 日及 8 日的天气分别为阴天、晴天、晴天,日 Ra 分别为 12.73、19.92 MJ/m^2 和 19.29 MJ/m^2 。该 3 日 SF 这种滞后程度也不相同,可见滞后时间与月份或物候期有关外,还与天气状况有一定的关系。

表1 主要生长季节栓皮栎单株液流与不时间尺度气象因子的拟合方程

Table 1 Fitted equation of individual *Quercus* SF to micrometeorological factors during the main growing seasons

尺度 Scale	回归方程 Regression equation	R^2	F	n	偏相关系数 Partial correlation coefficient			
					Ra	Ta	VPD	V
10min	$SF = -0.627 + 0.001Ra + 0.037Ta + 0.018VPD + 0.010V$	0.388	804.48	3462	0.357	0.346	0.030	0.087
1 h	$SF = -0.409 + 0.001Ra + 0.004Ta + 0.024VPD + 0.007V$	0.482	128.29	848	0.373	0.230	0.026	0.082
1 d	$SF = -2.799 + 0.484Ra + 0.227Ta + 1.226VPD - 0.145V$	0.539	154.96	549	0.539	0.239	0.118	-0.055
10 d	$SF = -72.558 + 0.790Ra + 2.615Ta + 11.181VPD - 3.096V$	0.654	23.21	54	0.643	0.347	0.109	-0.109
月 Month	$SF = -322.31 + 12.625Ta + 0.504Ra + 171.005VPD - 19.008V$	0.812	14.07	18	0.737	0.614	0.611	-0.345

表中: Ta 、 VPD 、 V 的单位分别为 $^{\circ}C$ 、 kPa 、 m/s ,10 min、1h 尺度和日、旬、月尺度 Ra 单位分别为 W/m^2 和 MJ/m^2 ,10 min、1h 尺度和日、旬、月尺度 SF 单位分别为 L/h 和 L

鉴于 Ra 是影响 SF 的最主要气象因子、 SF 与气象因子的相关性随时间尺度的增加而增加,为此,进一步分析月 SF 总量与月 Ra 总量的关系,结果表明:二者月变化趋势几乎同步(图 2)。如 2006 年太阳辐射最大值为 6 月份,占生长季节太阳辐射总量的 24.0%,与此相对应,2006 年单株栓皮栎液流最大也出现在 6 月份,占总液流量的 26.9%(表 2)。2007、2008 年太阳辐射最大值均出现在 5 月份,液流最大同时出现在 5 月份。无论是各月份液流与太阳辐射的绝对值还是占生长季总量的比例,二者之间均具有较好的一致性。

表 2 主要生长季节各月液流量(*SF*)及各月太阳总辐射(*Ra*)占主要生长季节对应总量(*Sum*)的比例(2006—2008 年)

Table 2 Monthly proportions of *SF* and *Ra* to sum amount during growing seasons (2006—2008)

年份 Year	月值占总值比例/% Monthly proportion to sum	月份 Month						合计 Total
		4	5	6	7	8	9	
2006	<i>SF</i>	14.4	21.9	26.9	15.4	13.8	7.6	100.0
	<i>Ra</i>	16.9	19.2	24.0	14.1	13.2	12.5	100.0
2007	<i>SF</i>	17.1	26.6	20.8	13.9	13.3	8.3	100.0
	<i>Ra</i>	18.0	20.3	15.6	15.5	16.1	14.5	100.0
2008	<i>SF</i>	11.2	24.8	23.1	19.6	13.0	8.3	100.0
	<i>Ra</i>	16.0	22.3	16.9	16.8	15.7	12.3	100.0

2.2 液流与水面蒸发的关系

水面蒸发(EV_0)是光、温、水、热等气象因子的综合反映。研究表明:主要生长季节日尺度上 EV_0 与 SF 之间具有较好的线性关系(图 3),二者关系方程式为:

$$SF = 1.3989 \times EV_0 + 2.3332 \quad (3)$$

决定系数(R^2)为 0.578($n = 549$),比同时期、相等样本数条件下 SF 与 Ra 、 Ta 、 VPD 、 V 多元线性拟合的决定系数(0.539)(表 1)高 3.6%。

月尺度上 EV_0 与 SF 间线性相关性更为明显(图 4),决定系数为 0.876($n = 18$),比同时期、相等样本数条件下 SF 与 Ra 、 Ta 、 VPD 、 V 多元线性拟合的决定系数(0.812)(表 1)高 3.9%,并可通过 0.01 水平上的显著性检验,其回归方程为:

$$SF = 390.03 \times \ln(EV_0) - 1675.1 \quad (4)$$

进一步表明:利用月 EV_0 建立的对数函数模型模拟月 SF ,比利用多元气象因子的线性模型更具有精确性。

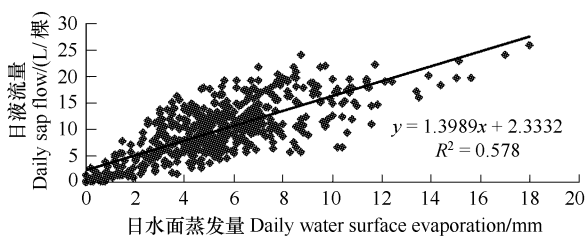


图 3 日水面蒸发量与日液流量的关系(2006—2008 年)

Fig. 3 Relationship between daily water surface evaporation and sap flow (2006—2008)

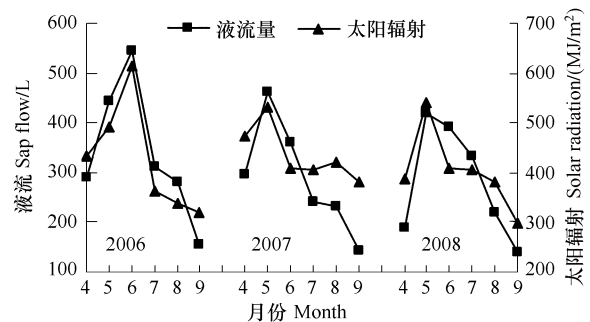


图 2 栓皮栎人工林月液流量与月太阳辐射的关系(2006—2008)

Fig. 2 Relationship between monthly *SF* of *Quercus* plantations to monthly solar radiation (2006—2008)

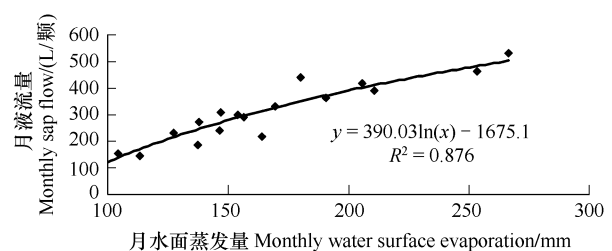


图 4 月水面蒸发量与月液流量的关系(2006—2008 年)

Fig. 4 Relationship between monthly water surface evaporation and sap flow (2006—2008)

由于 SF 与 EV_0 相关性很好,且水面蒸发的观测具有方便、简单等优点,故采用 EV_0 估算栓皮栎液流量具有可行性。各气象台站均有 EV_0 观测数据,容易获取,模型应用十分方便。

2.3 液流与降水量的关系

年际间 SF 变化趋势与降雨量存在一定的一致性。如:2006 年、2007 年、2008 年生长季节降雨量分别为 464.8、393.3 mm 和 315.0 mm,栓皮栎单株液流分别为 2 024.1、1 739.2 L 和 1 688.7 L,即液流随降雨量的减少呈减少趋势。

但月尺度上 SF 与降雨量变化趋势并不一致,即年内降雨量大的月份,树干液流量不一定多,反之,降雨量小的月份,树干液流量不一定少(图 5)。如:2007 年 7 月份降雨量高达 200.5 mm,占生长季节降雨量的 52.4%,但同期单株液流量只有 241.2 L,仅占生长季节总量的 13.9%;而 2008 年 5 月份降雨量只有 26.0 mm,占生长季总降雨量的 8.3%,但同期栓皮栎单株液流量为 418.8 L,占生长季节总量的 24.0%。其主要原因在于:补充液流的水分直接来源于土壤水分,降雨虽是本试验地土壤水分补给的唯一来源,但受降雨强度、雨前土壤水分状况、下渗量及树冠截留量等因素影响,即使雨量相同,雨后根层土壤水分含量并不一定相同。

3 小结与讨论

(1) 鲁小珍等^[34]、王华田等^[35]及聂立水等^[36]曾分别利用几日、1 个月和 1 个生长季节的观测数据研究栓皮栎液流,基于研究目的的不同,他们的研究侧重于栓皮栎液流变化规律以及林木耗水尺度扩展等问题,其中:鲁小珍等^[34]虽初步分析了树干液流与气象因子的关系,但仅基于 3 个观测日数据,且其研究内容为单一尺度(日尺度水平)下气象因子对液流的影响机制。本研究利用 3 个生长季节的观测数据,首次分析了不同时间尺度下气象因子及水面蒸发对栓皮栎液流的影响,结果表明不同时间尺度下单株栓皮栎液流与气象因子具有较好的复相关关系,且随着时间尺度的增加,相关性越好,各气象因子中以太阳辐射与液流量的相关性最好。在较小时间尺度上(如 10 min 和 1 h)液流与气象相关性相对较弱,其原因在于:相对气象因子,液流速率时间变化存在滞后性,滞后程度或时间还与天气状况、月份或物候期有关。

(2) 就树干液流或树体蒸腾与水面蒸发的关系,桑玉强等^[22]和刘海军等^[33]曾在日尺度水平上进行分析,发现二者具有较好的相关性。本研究进一步比较分析了不同时间尺度下水面蒸发与栓皮栎液流的关系,发现日尺度和月尺度上水面蒸发与液流量具有很好的相关关系,其相关程度比与采用气象因子拟合的模型要高。月水面蒸发与月液流量间之间表现为对数函数关系,所建立的方程式在预测植被耗水、研究气候变化对于植物液流的影响等方面具有重要的应用价值。由于水面蒸发量可以综合反映当时小气候(辐射、温度、湿度和风速)的状况^[39],具有观测方便及简单等优点^[22,32]。各气象台站均有水面蒸发观测数据,数据容易获取,故模型应用十分方便,即采用水面蒸发值估算栓皮栎液流量具有很好的可行性。但所建立的模型的精度有待进一步开展实测数据的验证,特别是月尺度模型因每年只有 6 对样本数据,故需要更长年限的验证数据。

(3) 本研究虽分析了液流与降水的关系,但由于补充树体液流的水分直接来源于土壤水分,而试验地土层厚度只有 30 cm 左右,下层则为土石砂粒,雨后漏渗现象比较明显。且基于观测技术的限制,观测得到的土壤水分仅仅局限在表层,不能代表根层土壤水分状况。因此,今后研究应结合土壤水分及漏渗量等因素,综合分析降水对液流变化的影响。

(4) 本文利用连续 3 个生长季观测数据,分析了华北山区南端栓皮栎人工林树干液流对不同时间尺度气象因子及水面蒸发的响应,为模拟预测树干液流具有重要指导作用。为更好指导栓皮栎造林与管理,在今后的研究中应实现由单株到林分的耗水尺度扩展并分析其水分供求关系,对发展该地区及同类地区栓皮栎人工林具有一定的理论指导意义。

References:

- [1] Nadezhkina N. Sap flow index as an indicator of plant water status. *Tree Physiology*, 1999, 19:885-891.
- [2] Cohen M, Goldhamer D, Fereres E, Girona J, Mata M. Assessment of peach tree responses to irrigation water deficits by continuous monitoring of trunk diameter changes. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 2001, 76:55-60.

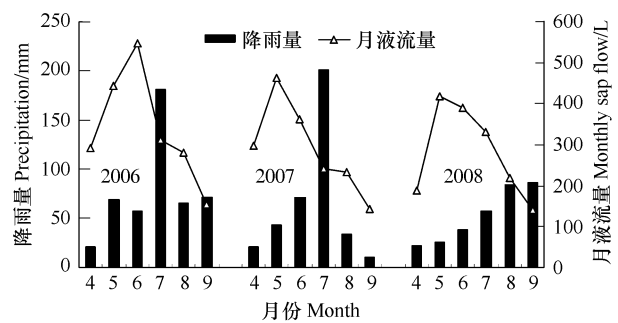


图 5 主要生长季节月降雨量与月液流量对比(2006—2008)

Fig. 5 Comparison of monthly precipitation and SF during growing seasons (2006—2008)

- [3] Andrade J L, Meinzer F C, Goldstein G, Holbrook N M, Cavelier J, Jackson P, Silvera K. Regulation of water flux through trunks, branches and leaves in trees of a lowland tropical forest. *Oecologia*, 1998, 115:463-471.
- [4] Wullschlegel S D, Meinzer F C, Vertessy R A. A review of whole-plant water use studies in trees. *Tree Physiology*, 1998, 18:499-512.
- [5] Kellomäki S, Wang K Y. Sap flow in Scots pines growing under conditions of year-round carbon dioxide enrichment and temperature elevation. *Plant, Cell and Environment*, 1998, 21:969-981.
- [6] Wullschlegel S D, Norby R J. Sap velocity and canopy transpiration in a sweetgum stand exposed to free-air CO₂ enrichment (FACE). *New Phytologist*, 2001, 150: 489-498.
- [7] Gong D Z, Kang S Z, Zhang L, Du T S, Yao L. A two-dimensional model of root water uptake for single apple trees and its verification with sap flow and soil water content measurements. *Agricultural Water Management*, 2006, 83:119-129.
- [8] Fredrik L, Anders L. Transpiration response to soil moisture in pine and spruce trees in Sweden. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2002, 112: 67-85.
- [9] Zhang J S, Meng P, Liu W, Shi S J, Wang H S, Gao J, Ren Q F. Performance analysis for the domestic TDP sensor for measuring sap flow in trees. *Forest Research*, 2007, 20(3):370-374.
- [10] Smith D M, Allen S J. Measurement of sap flow in plant stems. *Journal of Experimental Botany*, 1996, 47(305):1833-1844.
- [11] Gazal R M, Scott R L, Goodrich D C, William D G. Controls on transpiration in a semiarid riparian cottonwood forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2006, 137:56-67.
- [12] Ong C K, Black C R, Wallace J S, Khan A A H, Lott J E, Jackson N A, Howare S B, Smith D M. Productivity, climate and water use of *Grevillea robusta*-based agroforestry systems on hillslopes in semi-arid Kenya. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2000, 80:121-141.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] Sun H Z, Zhao Y S. A comparison of xylem sap flow of *Fraxinus mandshurica* and *Pinus sylvestris* var. *mongolica* under different weather conditions. *Journal of Northeast Forestry University*, 2008, 36(1):1-3.
- [16] Xiong W, Wang Y H, Xu D Y. Regulations of water use for transpiration of *Larix principis rupprechtii* plantation and its response on environmental factors in Southern Ningxia Hilly Area. *Scientia Silvae Sinicae*, 2003, 39(2):1-7.
- [17] Meng P, Zhang J S, Wang H S, Gao J, Chu J M. Rule of apple trees transpiration and its relation to the micrometeorology on the canopy. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(5):1075-1081.
- [18] Zhang J S, Meng P, Sun H M, Zhou Z F, Yu Y F. Transpiration rule of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* and its relation to the canopy micrometeorology in Mu Us Sandy Area. *Forest Research*, 2006, 19(1):45-50.
- [19] Wang H S, Meng P, Zhang J S, Gao J, Jia C R. Transpiration variation and relationship between supply and demand of water for *Cornus officinalis* plantations in the rocky mountainous area of North China. *Scientia Silvae Sinicae*, 2007, 43(10):14-18.
- [20] Liu D L. Spatial variation of sap flow of *Pinus tabulaeformis*. *Journal of Northeast Forestry University*, 2008, 36(5):15-18.
- [21] Ren Q F, Meng P, Zhang J S, Gao J, Li C Y. Transpiration variation of the poplar shelterbelts and its relation to the meteorological factors in the cropland of North China Plain. *Forest Research*, 2008, 21(6):797-802.
- [22] 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.
- [23] Ma J X, Chen Y N, Li W H, Huang X. Characteristics of sap flow of 4 typical shelter-belt tree species and its relationships with environmental factors in the desert region of Northwest China. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(3):579-586.
- [24] Xie H X, Zhang Z H, Yang R Y, Liu J L, Cai H J. Analysis on trunk sap flow time lag effect of *Sophora japonica* pendula compared to meteorological factors. *Scientia Silvae Sinicae*, 2007, 43(5):106-110.
- [25] Zhao W F, Wang H T, Qi L Y, Zhang Y H. Spatial variation of sap flow of *Quercus acutissima* and its lag effect during spring. *Journal of Plant Ecology*, 2007, 31(2):320-325.
- [26] Xu J L, Zhang Y P. Analysis on sap flow time lag effect of *Platycladus orientalis* in spring. *Research of Soil and Water Conservation*, 2009, 16(4):109-112.
- [27] Granier A, Biron P, Lemoine D. Water balance, transpiration and canopy conductance in two beech stands. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2000, 100:291-308.
- [28] Kubota M, Tenhunen J, Zimmermann R, Schmidt M, Adiku S, Kakubari Y. Influences of environmental factors on the radial profile of sap flux density in *Fagus crenata* growing at different elevations in the Naeba Mountains. *Tree Physiology*, 2005, 25:545-556.
- [29] Ma L, Rao X Q, Zhao P, Lu P, Cai X A, Zeng X P. Diurnal and seasonal changes in whole-tree transpiration of *Acacia mangium*. *Journal of Beijing Forestry University*, 2007, 29(1):67-73.
- [30] Kume T, Komatsu H, Kuraji K, Suzuki M. Less than 20-min time lags between transpiration and stem sap flow in emergent trees in a Bornean tropical rainforest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2008, 148:1181-1189.
- [31] Zhang J S, Meng P, Yin C J, Lu G M. Estimation transpiration-water requirement from an apple tree in apple crop intercropping system. *Forest Research*, 2001, 14(4):383-387.

- [32] Zhang J S, Meng P, Yin C J. A preliminary study on leaf transpiration and stomatal conductance of *Eucommia ulmoides*. *Scientia Silvae Sinicae*, 2005, 38(3):34-37.
- [33] Liu H J, Huang G H, Tanny J, Cohen S. Estimation of evapotranspiration of banana plants in a greenhouse. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2007, 23(3):174-179.
- [34] Lu X Z. Study on sap flow of *Pinus massoniana* and *Quercus variabilis* in growing season. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2001, 28(4):401-404.
- [35] Wang H T, Xing L F, Ma L Y, Sun P S. Study on scaling-up method for stand water consumption of *Quercus variabilis* water conservation forest. *Scientia Silvae Sinicae*, 2004, 40(6):170-175.
- [36] 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.
- [37] Granier A. Evaluation of transpiration in a Douglass-fir stand by means of sap flow measurements. *Tree Physiology*, 1987, 3:309-320.
- [38] Granier A, Huc R, Barigash S T. Transpiration of natural rain forest and its dependence on climatic factors. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1996, 78:19-29.
- [39] Allen R G, Pereira L S, Raes D, Smith M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome: FAO, 1998.

参考文献:

- [9] 张劲松, 孟平, 刘尉, 施生锦, 王鹤松, 高峻, 任庆福. 热扩散式树木液流国产化传感器性能分析. *林业科学研究*, 2007, 20(3):370-374.
- [14] 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.
- [15] 孙慧珍, 赵雨森. 水曲柳和樟子松树干液流对不同天气的响应. *东北林业大学学报*, 2008, 36(1):1-3.
- [16] 熊伟, 王彦辉, 徐德应. 宁南山区华北落叶松人工林蒸腾耗水规律及其对环境因子的响应. *林业科学*, 2003, 39(2):1-7.
- [17] 孟平, 张劲松, 王鹤松, 高峻, 褚建民. 苹果树蒸腾规律及其与冠层微气象要素的关系. *生态学报*, 2005, 25(5):1075-1081.
- [18] 张劲松, 孟平, 孙惠民, 周泽福, 于延凤. 毛乌素沙地樟子松蒸腾变化规律及其与微气象因子的关系. *林业科学研究*, 2006, 19(1):45-50.
- [19] 王鹤松, 孟平, 张劲松, 高峻, 贾长荣. 华北石质山区山茱萸人工林蒸腾特征及水分供求关系. *林业科学*, 2007, 43(10):14-18.
- [20] 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.
- [21] 任庆福, 孟平, 张劲松, 高峻, 李春友. 华北平原农田毛白杨防护林蒸腾变化规律及其与气象因子的关系. *林业科学研究*, 2008, 21(6):797-802.
- [22] 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.
- [23] 马建新, 陈亚宁, 李卫红, 黄湘. 荒漠防护林典型树种液流特征及其对环境因子的响应. *生态学报*, 2010, 30(3):579-586.
- [24] 谢恒星, 张振华, 杨润亚, 刘继龙, 蔡焕杰. 龙爪槐树干液流相对于气象因子的滞后效应分析. *林业科学*, 2007, 43(5):106-110.
- [25] 赵文飞, 王华田, 亓立云, 张迎辉. 春季麻栎树干边材木质部液流垂直变化及其滞后效应. *植物生态学报*, 2007, 31(2):320-325.
- [26] 徐军亮, 章异平. 春季侧柏树干边材液流的滞后效应分析. *水土保持研究*, 2009, 16(4):109-112.
- [29] 马玲, 饶兴权, 赵平, 陆平, 蔡锡安, 曾小平. 马占相思整树蒸腾的日变化和季节变化特征. *北京林业大学学报*, 2007, 29(1):67-73.
- [31] 张劲松, 孟平, 尹昌君, 陆光明. 果粮复合系统中单株苹果蒸腾需水量的计算. *林业科学研究*, 2001, 14(4):383-387.
- [32] 张劲松, 孟平, 尹昌君. 杜仲蒸腾强度和气孔行为的初步研究. *林业科学*, 2005, 38(3):34-37.
- [33] 刘海军, 黄冠华, Tanny J, Cohen S. 温室香蕉树蒸腾量预报的试验研究. *农业工程学报*, 2007, 23(3):174-178.
- [34] 鲁小珍. 马尾松、栓皮栎生长盛期树干液流的研究. *安徽农业大学学报*, 2001, 28(4):401-404.
- [35] 王华田, 邢黎峰, 马履一, 孙鹏森. 栓皮栎水源林林木耗水尺度扩展方法研究. *林业科学*, 2004, 40(6):170-175.
- [36] 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.

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 30 卷 第 23 期 (2010 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 30 No. 23 2010

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