

应用热脉冲系统对桉树人工林树液流通量的研究

尹光彩, 周国逸*, 王 旭, 褚国伟, 黄志宏

(中国科学院华南植物研究所, 广州 510650)

摘要:应用热脉冲式树液流测定系统和自动气象站 1999 年 9 月~2000 年 9 月的观测资料,探讨了广东省湛江市雷州半岛两个桉树人工林树液流通量(Sap flux density, *SFD*)的时空动态及其与环境因子的相关关系。河头和纪家两地桉树林的树液流变化具有明显的昼夜节律性,大约从清晨 7:00 开始萌动,12:00 以后达到峰值,夏季连续 4 d 中(2000 年 6 月 15 日~6 月 18 日)河头 *SFD* 最大值 $44.21 \pm 4.5 \text{ ml}/(\text{cm}^2 \cdot \text{h})$, 纪家 $29.2 \pm 7.2 \text{ ml}/(\text{cm}^2 \cdot \text{h})$ 。此后,*SFD* 逐渐减小,一直到日落前后降至最低值。树液流在不同的季节具有不同的昼夜节律性变化规律。两地 *SFD* 值的季节波动节律相似,湿季时相对较大。但是河头日平均 *SFD* 值($2436 \pm 1192.5 \text{ ml}/(\text{cm}^2 \cdot \text{d})$)要比纪家($1703 \pm 824.5 \text{ ml}/(\text{cm}^2 \cdot \text{d})$)高,这主要是由于两地土壤质地的差异所导致的。在所选时段内,*SFD* 的最大值出现在河头的冬季和纪家的夏季,这是由于这两天的大气饱和和水气压差,太阳辐射和土壤有效持水量都比较高的缘故。在空间上,从形成层到心材,*SFD* 最初有所增加,随后持续减小。整个观测期间两地 *SFD* 的极大值均出现在 6 月中旬,河头为 $51.53 \text{ ml}/(\text{cm}^2 \cdot \text{h})$,而纪家为 $39.85 \text{ ml}/(\text{cm}^2 \cdot \text{h})$,显然,由于环境条件的限制,主要是土壤质地差异引起的土壤持水量的差异,使得纪家同种桉树人工林 *SFD* 值不能达到其极大值。通过 SPSS 11.0 和 SAS 6.1 统计软件对日平均 *SFD* 与部分环境因子(包括 50,150,250,350cm 深度有效土壤持水量、日 VPD、日降水量、日均温、日太阳辐射等)相关关系的统计分析表明,土壤有效持水量和饱和水气压差(VPD)等环境因子是决定纪家和河头桉树人工林 *SFD* 变化的主要因素。

关键词:热脉冲系统;树液流通量;桉树人工林;统计模型

A study on sap flux density of two eucalyptus (*Eucalyptus urophylla*) plantations in southeastern China by heat-pulse method

YIN Guang-Cai, ZHOU Guo-Yi*, WANG Xu, CHU Guo-Wei, HUANG Zhi-Hong

(South China Institute of Botany, CAS, Guangzhou, China, 510650). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(10): 1984~1990.

Abstract: Sap flux densities (*SFD*) of two eucalyptus (*Eucalyptus urophylla* S. T. Blake) plantations were measured by heat-pulse method during September 1999 to September 2000 at the two study sites, Hetou and Jijia, located in Leizhou Peninsula, Southeast of China. The diurnal and seasonal dynamics of *SFD*

基金项目:广东省自然科学基金重点资助项目(010567);国家科技部“973”前期资助项目(2001CCB00600);中国科学院创新资助项目(KZCX2-407)

收稿日期:2003-01-10; **修订日期:**2003-05-24

作者简介:尹光彩(1973~),女,湖南常德人,博士,主要从事生态系统生态学研究。E-mail: gcyin@scib.ac.cn

* 通信作者 Author for correspondence

Foundation item: The Key Project of Natural Science Foundation of Guangdong Province (No. 010567); the “973” Priority Fund Under the Auspices of the National Science and Technology Department (No. 2001CCB00600); The Innovation Fund from Chinese Academy of Sciences (No. KZCX2-407)

Received date: 2003-01-10; **Accepted date:** 2003-05-24

Biography: YIN Guang-Cai, Ph. D., main research field: ecosystem ecology. E-mail: gcyin@scib.ac.cn

were quantified, and the relationship between *SFD* and environmental variables were also evaluated.

We selected four days (between June 15 to 18, 2000, just after rainfall) to study the diurnal fluctuations of *SFD*. Our data showed that the hourly *SFD* started to increase at about 7:00 O'clock in the morning, peaked at 12:00 (noon), and then decreased gradually towards the early evening. The mean maximum hourly rates observed during the study period were $44.21 \pm 4.5 \text{ ml}/(\text{cm}^2 \cdot \text{h})$ and $29.2 \pm 7.2 \text{ ml}/(\text{cm}^2 \cdot \text{h})$ for Hetou and Jijia, respectively.

The seasonal patterns of the hourly *SFD* were similar between two sites, but their values were relatively higher during the wetter season. The average daily *SFD* at the Hetou site was $2436 \pm 1192.5 \text{ ml}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, and was significantly higher than that of Jijia, 1703 ± 824.5 . The maximum diurnal *SFD* varied greatly with seasons, but the maximum value appeared in winter at Hetou site, and in summer at Jijia site because of high daily air vapor pressure (daily *VPD*) and solar radiation, accompanied with high available soil water content on both dates.

From the cambium to the heartwood, the *SFD* value increased at first and then decreased continually.

The extreme maximum value of hourly *SFD* during the observation period appeared in the middle of June (at 13:00 on 14 June 2000) at the Hetou site, $51.53 \text{ ml}/(\text{cm}^2 \cdot \text{h})$, while this extreme value was 39.85 for the Jijia site (at 13:30 on 15 June 2000) probably due to limited realization of environmental variables. Statistical models were developed to test the relationship between *SFD* and the environmental factors, such as available soil water content of 4 different depth (50, 150, 250, and 350cm), daily *VPD*, daily rainfall, daily mean air temperature, daily solar radiation at both sites. Our analyses showed that the average daily *SFD* was significantly related to available soil volumetric water content and daily *VPD* at both sites.

Key words: heat-pulse method; sap flux density; eucalyptus plantations; statistical model

文章编号:1000-0933(2003)10-1984-07 中图分类号:Q945.17.S718.5 文献标识码:A

桉树是桃金娘科(Myrtaceae)的一个属,起源于澳大利亚及其附近岛屿。由于桉树生长速度快、轮伐期短、耐干旱、耐瘠瘠、适应性广,且用途广泛,经济效益高,现已被世界近百个国家和地区引种,遍布于地中海、东南亚、美洲和非洲,目前已成为世界公认的三大人工林树种之一。我国引种桉树已有 100 多年的历史,种植面积超过 150 多万 hm^2 。广东省现有桉树人工林面积超过 35 万 hm^2 ,其中,雷州半岛有 20 万 hm^2 ,这不仅促进了当地经济的发展,而且带来了显著的经济效益和生态效益。但由于长期树种单一,也出现了一系列潜在的生态危机,如林地板结、水土流失严重、地力衰退、地下水位下降、病害严重等,这引起人们对桉树人工林生产前途的忧虑和怀疑。

桉树水分利用一直倍受国外学者关注^[1~6],但对于不同环境下桉树的水分利用特征研究得很少^[7],因此控制桉树蒸腾的生理机制还有待进一步研究^[8]。

我国对桉树生态研究方面做了一些工作^[9~14],但缺乏长期系统的水文、养分循环与生态环境研究资料,因而学术界对桉树人工林的生态危机一直争论较大。综合起来,主要包括以下几点:①桉树是“抽水机”。认为桉树人工林蓄水性能差,生长过程中需要消耗大量水分,造成林地和周边土地干旱,林地地下水位下降,甚至造成地裂等;②桉树是“抽肥机”。认为桉树人工林对林地养分消耗大、破坏养分平衡、造成地力严重衰退。③桉树“克生”。认为桉树人工林对其它生物有很强的“克生”作用,会产生某种有毒物质来抑制其它生物的生长,造成生物多样性的减少^[15]。

近几十年来,人们一直寻找准确定量测定树木蒸腾耗水的研究方法。国内外研究者陆续提出一些不同的测定方法(染料法、大棚法、蒸渗仪法、离体称重法、稳态气孔计法、放射性示踪法、磁流体动力学法、热脉冲法、热平衡法、微气象法等),这些方法在使用上都有一定的适用性和局限性^[16]。在自然界,土壤-植物-大气连续体构成连续的水流路径,树干液流量制约着整个树冠的蒸腾量。热脉冲方法测定树木蒸腾量不受环

境条件、树冠结构及根系特性的影响,方法简单,同株树木可重复测定,同时不扰动树木的生长发育。目前,利用这种方法能够长期自动监测树液流的动态变化,以此确定林冠的蒸腾耗水量。本文利用热脉冲技术测量了雷州两个桉树人工林的树液流通量(*SFD*),运用统计分析法分析了 *SFD* 与主要环境因子之间的相关关系,目的在于比较两地环境因子对同种桉树人工林水分利用影响程度的差异。

2 材料和方法

2.1 研究地概述

实验地河头(21°05'N, 109°54'E)和纪家(20°54'N, 109°52'E)位于南渡河流域,两地相距约 40 km,位于热带北缘,属海洋性季风气候。年平均气温 23.5℃,7 月平均气温 28.9℃,1 月份平均气温 15.2℃。据雷州林业局气象站观测资料,1987~1996 年 10a 的平均降雨量为 1610.6mm,平均蒸发量为 1764.9mm。10 年中有 6a 蒸发量大于降雨量。4~9 月份为雨季,尤以 8~9 月份最多,且多暴雨,月降雨量达 400mm 以上,10 月份至次年 3 月份为旱季,月平均降水量不足 50mm。两地均为 1996 年种植的桉树人工林(*Eucalyptus urophylla* S. T. Blake),纪家土壤为玄武岩质粘土,而河头属于砂质壤土。1999 年 9 月~2000 年 9 月底,在河头和纪家各选了一个 40m×40m 的样方,对其样树进行相关指标的监测。

2.2 环境因子监测

在河头和纪家分别建有自动气象观测站,相应的数据采集器记录每隔 30min 的气温(*T*)、饱和水汽压差(*VPD*)、太阳辐射(*RAD*)和风速(*WS*)等,大气降水(*P*)用标准雨量计记录,分别用土壤水分传感器自动记录(*Theta probes*, *Delta T devices*, UK)50,150,250,350cm 等 4 个土层土壤体积含水量(用 SM50, SM150, SM250, SM350 表示)。

2.3 树木特性测量

计算树液流通量所需的木材特征,是在林地中选择与测定木邻近并具有相似直径的树木,用生长锥在胸高直径部位钻取木条,测定湿木材的物理性质,如木质部面积、水分含量、边材直径等(表 1)。

2.4 树液流通量观测

树干液流量采用热脉冲技术(*Heatpulsar*, 新西兰 *Edwards* 公司生产)测定,在河头和纪家分别选取 20 和 18 株标准木轮流进行测定,用三套热脉冲仪(河头两套同时测两棵标准木,纪家一套同时测两棵标准木),每棵树监测 4~6 周,监测时间从 1999 年 9 月到 2000 年 9 月底,在树干距地 1.3m 高处用木铎除去一圈死树皮,并围上 5cm 宽的纸质胶带,在胶带上用测树卷尺准确量取树干直径及周长,用指南针确定树干上的东南西北 4 个方位,并在胶带上标出 4 个等距的测点,作为安装不同深度探头的位点,应用随机数字表随机确定不同深度探头所对应的仪器记录通道,按不同深度插入探头,并与通道相连接,在测定处中孔安装热脉冲注射器,上、下孔插入热敏探头,用铝箔将安装部位遮盖,以避免太阳辐射干扰,连接电源,调零并设置仪器操作参数、日期、时间,取样间隔为 30min,脉冲持续时间 0.8s。

2.5 统计分析

用 SPSS 11.0 和 SAS 6.1 分别对 *SFD* 和主要环境因子进行单因子相关分析和多因子逐步回归分析。

3 结果与分析

3.1 桉树人工林树干液流时空动态

表 1 河头和纪家桉树人工林的林龄、胸径、平均高度、平均胸径、叶面积指数、平均木质部面积、平均边材直径、平均木质部水分含量、平均材积含量、伤口大小等

Table 1 Summary of age, height, mean height, diameter at breast height (*DBH*), leaf area index (*LAI*), mean sap wood area, mean diameter of cambium, Mean sapwood volume moisture fraction, Mean volume fraction of wood, Mean wound size (mm)

特征 Characteristic	河头 Hetou	纪家 Jijia
林龄 Age (a)	3	3
平均高度 Mean height(m)	15	13
平均胸径 Mean <i>DBH</i> (cm)	9.5	8.8
叶面积指数 <i>LAI</i> (cm ²)	2.0	2.4
平均木质部面积 Mean sapwood area(cm ²)	49.72	43
平均边材直径 Mean diameter of cambium (cm)	9.26	8.17
平均木质部水分含量 Mean sapwood volume moisture fraction	0.55	0.58
平均材积含量 Mean volume fraction of wood	0.35	0.33
平均伤口大小 Mean wound size (mm)	2.56	2.56

3.1.1 桉树林树液流日动态 以夏季雨后的连续4个晴天(2000年6月15日~6月18日)为例(图1),其间河头的最高气温 $31.8\sim 38\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、最低气温 $21.5\sim 23\text{ }^{\circ}\text{C}$,VPD值 $0.51\sim 0.99\text{ kPa}$;纪家最高气温 $31.3\sim 34.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、最低气温 $21.3\sim 23.4\text{ }^{\circ}\text{C}$,VPD为 $0.58\sim 0.73\text{ kPa}$ 。河头和纪家树干木质部面积分别为 98.4 cm^2 和 39.2 cm^2 。从图1可以看出河头和纪家桉树林的树液流变化具有明显的昼夜节律性,白天由于树木蒸腾量大,大量的水分通过根部以被动的方式吸入植物体内,流速变化曲线呈多峰性,树液流通量比较大;夜间树木蒸腾量小,水分通过根压以主动的形式吸人体内,补充白天植物蒸腾失水,保持体内水分平衡。大约从清晨7:00开始加快流动,13:00左右达到峰值,连续4d中河头SFD最大值分别为 $46.96, 37.57, 47.17, 45.17\text{ ml}/(\text{cm}^2\cdot\text{h})$,纪家分别为 $39.85, 24.48, 27.23, 25.24\text{ ml}/(\text{cm}^2\cdot\text{h})$ 。此后,SFD逐渐减小,一直到日落后降至最低值。这种变化趋势与高岩等对小美旱杨的研究相一致^[17]。这连续4d中,对于同一地点而言,6月16日的值最低,这可能是由于较低的VPD和日太阳辐射所致。

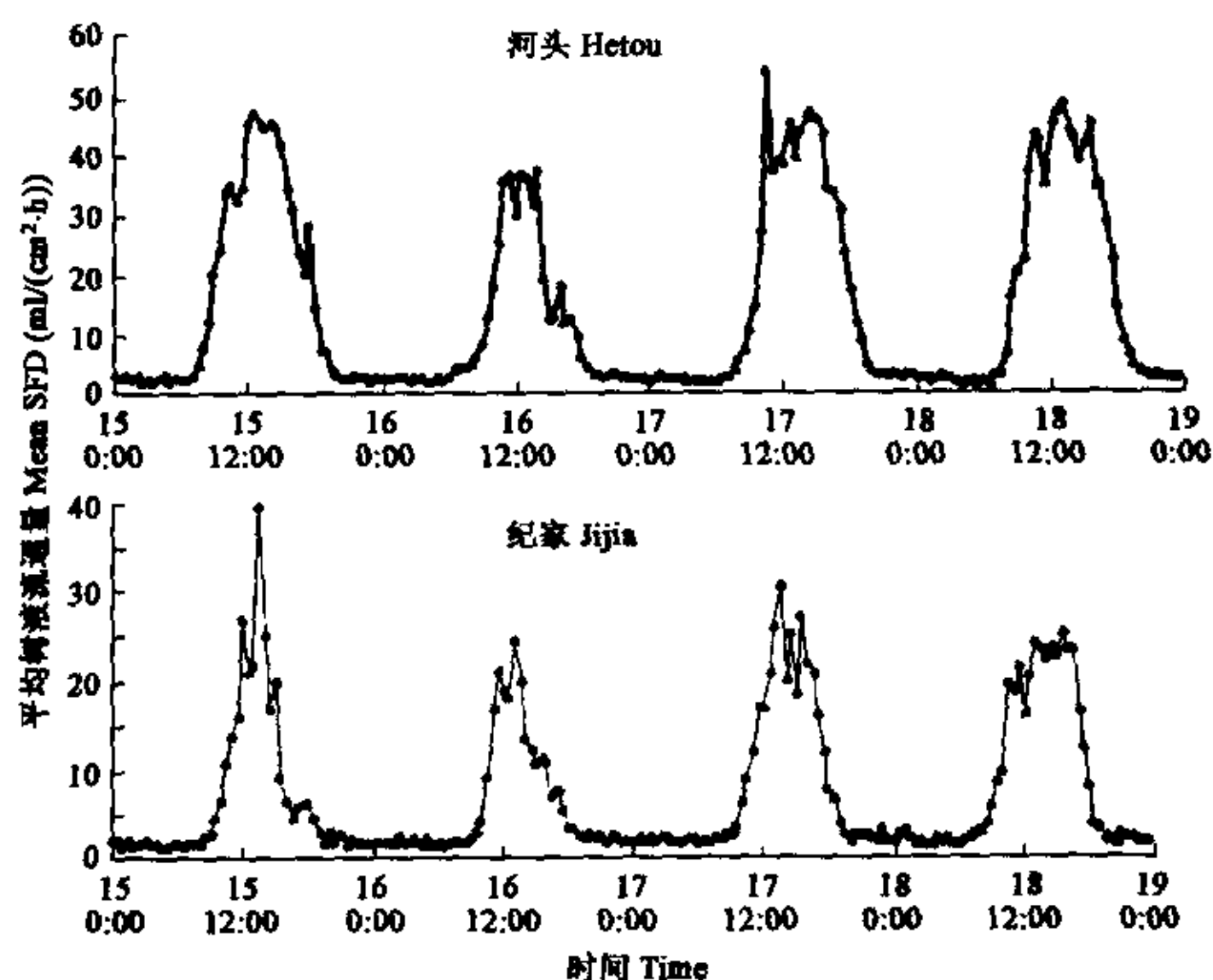


图1 河头和纪家桉树人工林树液流夏季连续4d(2000年6月15日~6月18日)的日变化

Fig. 1 Diurnal sap flux density of eucalyptus plantations at Hetou and Jijia site during 15 June to 18 June, 2000

树液流在不同的季节具有不同的昼夜节律性变化规律。图2为河头和纪家桉树林冬(1999年12月26日)、春(2000年3月21日)、夏(2000年6月23日)、秋(2000年9月22日)不同季节的SFD昼夜节律,一天中的最大值出现在10:30~16:30之间,旱季(冬、春)和雨季(夏、秋)河头SFD最大值分别为 $41.64\text{ ml}/(\text{cm}^2\cdot\text{h})$ (15:00), $37.87\text{ ml}/(\text{cm}^2\cdot\text{h})$ (15:30), $21.03\text{ ml}/(\text{cm}^2\cdot\text{h})$ (10:30), $2.99\text{ ml}/(\text{cm}^2\cdot\text{h})$ (16:30),纪家分别为 $27.82\text{ ml}/(\text{cm}^2\cdot\text{h})$ (14:30), $22.49\text{ ml}/(\text{cm}^2\cdot\text{h})$ (15:30), $45.2\text{ ml}/(\text{cm}^2\cdot\text{h})$ (11:00), $5.89\text{ ml}/(\text{cm}^2\cdot\text{h})$ (15:00)。由于旱季的VPD和太阳辐射强度较大,而有效土壤持水量又比较充足,这样所选的某几天的SFD值要高于雨季,但是从整个旱季平均和雨季平均的比较而言,SFD的值是雨季高于旱季。

3.1.2 桉树林树液流季节动态 河头和纪家桉树林树液流通量(SFD)具有相似的季节变化节律(图3):雨季,由于雨热同期,SFD值相对较高,而旱季,由于土壤水分相对短缺,SFD值明显减少。但观测期间,河头日平均SFD远远大于同期纪家SFD,河头SFD最大值和最小值分别为 $4900\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 和 $439\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$,平均值为 $2436\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$,标准偏差1192.5;而纪家SFD最大值和最小值分别为 $3789\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, $362\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$,平均值 $1703\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$,标准偏差824.5。

3.1.3 空间动态 周国逸等报道了这两个样地(纪家和河头)的林分中SFD随边材径向深度的变化,指出从形成层到心材^[18],SFD最初有所增加,随后持续减小,这是由于在生长过程中,树木木质部由内向外

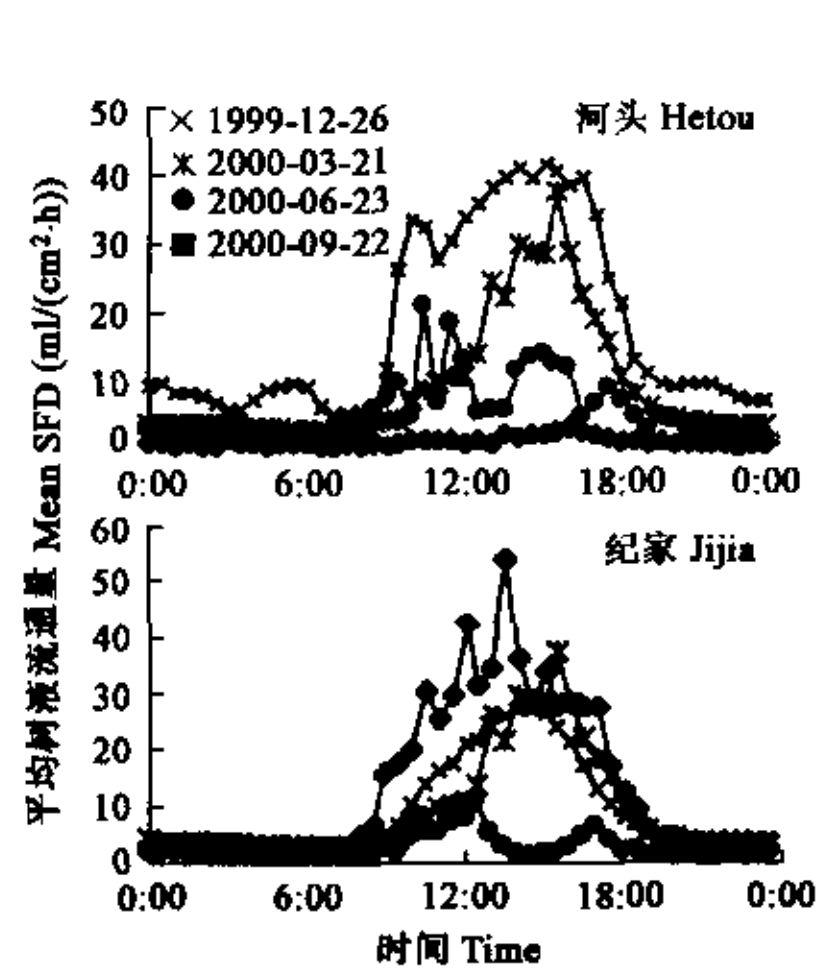


图2 河头和纪家桉树林 *SFD* 旱季(—×—, —*—)和雨季(—●—, —■—)的日变化模式

Fig. 2 Diurnal patterns of *SFD* in dry(—×—, —*—) and wet(—●—, —■—) seasons at Hetou and Jijia site

逐渐老化,但由于树木年龄很小,最大的 *SFD* 只比最小的 *SFD* 大 0.33~0.36 倍,并推出了其空间变化的经验公式^[18]:河头, $y = 5.0062x^3 - 9.116x^2 + 4.4544x + 0.4634$ ($R^2 = 0.8069$, $n = 72$, $p = 0.01$); 纪家, $y = 3.6675x^3 - 7.2955x^2 + 3.6826x + 0.5674$ ($R^2 = 0.9391$, $n = 80$, $p = 0.01$)。式中, y 为某一树液感应器所测得的 *SFD* 与不同深度的 4 个感应器所测得的 *SFD* 的平均值之比; x 为某一树液感应器在边材中的深度与边材厚度之比。

3.2 桉树人工林日树液流通量的极值问题

分别选取 5~10 月份 10 个雨后晴天,在土壤水分供应充足的情况下,河头和纪家 *SFD* 的日变化曲线(图 4),由图可以看出,两地桉树林 *SFD* 的日变化差异较大,在相同的气候条件下,由于河头和纪家土壤质地差异大,河头的沙质土壤孔隙度大,更加有利于土壤水分传导^[7];另外,河头水分渗入土壤和根系的阻力可能要小于纪家;同时,由于河头桉树林的木质部面积要大于纪家,也可能是导致其 *SFD* 值较纪家高的原因之一。但两地整个观测期间总的 *SFD* 值相差不大,其年最大值均出现在 6 月中旬,河头桉树林 *SFD* 极大值 ($51.53 \text{ ml}/(\text{cm}^2 \cdot \text{h})$) 出现在 6 月 14 日 13:00;纪家同种桉树林,由于环境因素的制约,尽管其 *SFD* 在 6 月 15 日达到最大值 $39.85 \text{ ml}/(\text{cm}^2 \cdot \text{h})$,但不能达到极大值,而且其最大值出现的时间也滞后于河头约 0.5h。这说明尽管两地的种植密度不同,但是从长期来看,对于同一树种而言, *SFD* 主要受外界环境因子(太阳辐射、VPD、土壤有效持水量等)的制约。由于河头位于热带北缘,完全可以认为其在夏季达到该树种最大水分利用率的立地条件,因此我们可以得出结论:桉树 *E. urapphylla* 人工林 *SFD* 的极大值为 $51.53 \text{ ml}/(\text{cm}^2 \cdot \text{h})$,整个观测期

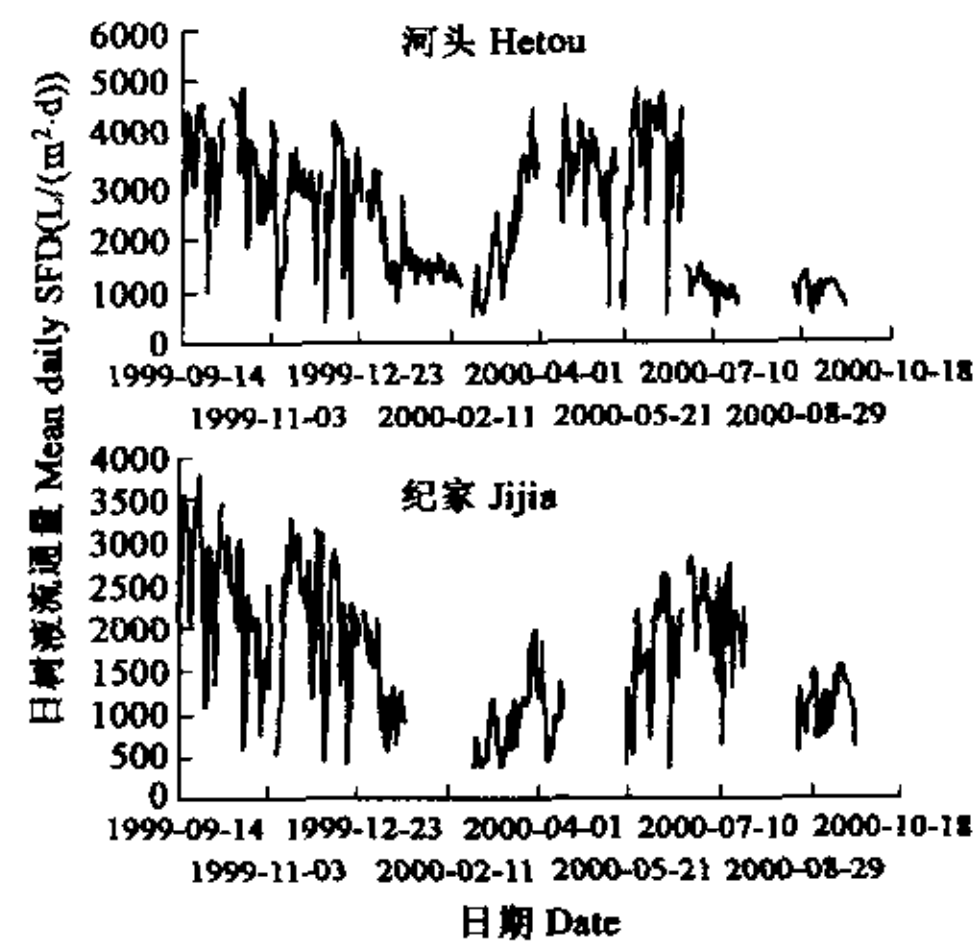


图3 树液流通量(*SFD*)的季节变化(缺失值由于雷电导致仪器记录失败)

Fig. 3 Seasonal patterns of *SFD* at both sites, missing values were resulted from lightning-deduced equipment failure

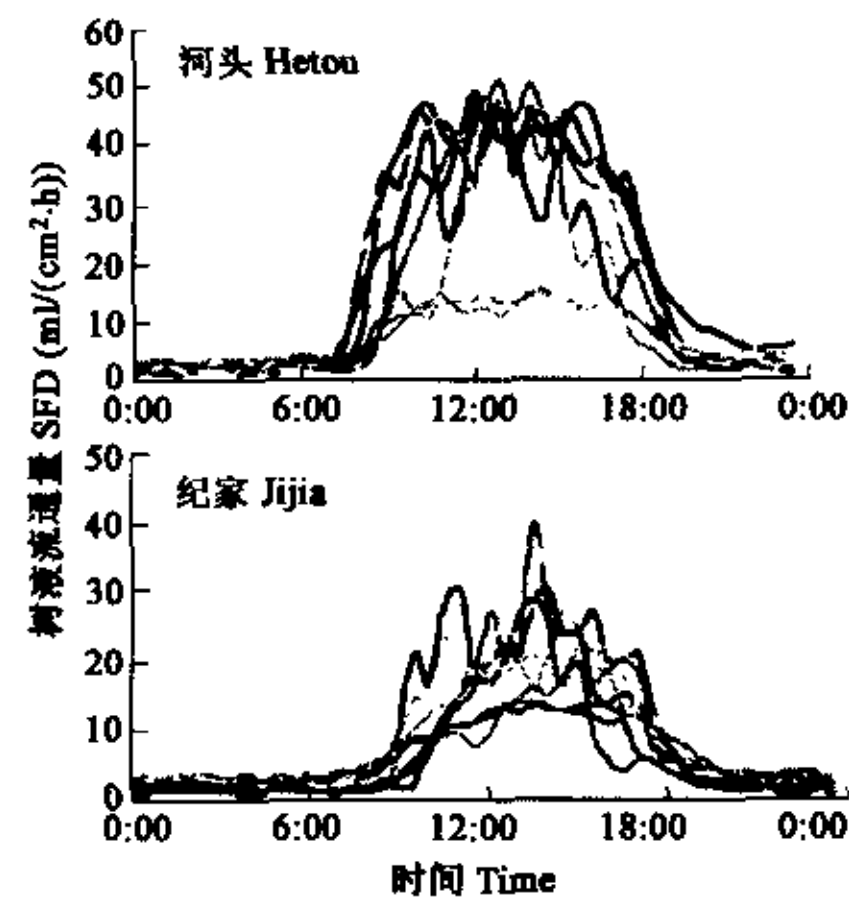


图4 河头和纪家雨后晴天树液流通量的日变化
Fig. 4 Diurnal *SFD* at both sites in 10 sunny days followed by rainy days

间,其它时间 SFD 值均低于该值。

3.3 树液流通量与环境因子的相关关系

河头和纪家两地的日平均 SFD 与主要环境因子(0~350cm 各层土壤体积含水量、 VPD 、 P 、 T 、 RAD)的单因子相关分析结果见表 2,两地桉树人工林 SFD 均与 VPD 和 RAD 相关性较大且为正相关,Pearson 相关系数为 0.563、0.185(河头)和 0.787、0.74(纪家);与 $SM150$ 正相关,Pearson 相关系数分别为 0.255(河头)和 0.246(纪家)。

表 2 河头和纪家 SFD 与主要环境因子之间的 Pearson 相关系数($P < 0.01$)

Table 2 Pearson coefficients between mean daily SFD and environmental factors at both sites($P < 0.01$)								
SFD	$SM50$	$SM150$	$SM250$	$SM350$	VPD	$RAIN$	T	RAD
河头 Hetou	0.093	0.255**	-0.102	-0.088	0.563**	-0.249**	0.242**	0.185**
纪家 Jijia	0.007	0.246**	0.538**	0.388**	0.787**	-0.206**	0.366**	0.740**

$SM50$, $SM150$, $SM250$, $SM350$ 为 50cm, 150cm, 250cm, 350cm 土壤体积含水量, VPD 为白天的大气饱和水气压差, $RAIN$ 为大气降水量, T 为日平均气温, RAD 为太阳辐射, ** 相关性在 0.01 水平极显著(双尾) $SM50$, $SM150$, $SM250$, $SM350$ were soil volumetric water content of 50, 150, 250, and 350 depth. VPD , $RAIN$, T , RAD were atmospheric daily vapor pressure deficit, rainfall, air temperature and solar radiation, respectively. ** represents significant at 0.01 level(double tailed)

通过多元回归分析,河头和纪家日平均 SFD 与主要环境因子的关系可用如下的回归方程表示:

$$\text{河头 } Y = -33386 + 15.587x_1 + 331126x_2 - 151073x_3 + 5209.26x_4 + 1669.32x_5 - 15.05x_6 + 11.51x_7 - 73.54x_8 \quad F = 57.723, \text{极显著} \quad (1)$$

采用逐步回归,剔除影响不大的因子,可得出预测河头日平均 SFD 的最优方程:

$$Y = -31195.22 + 318695.8x_2 - 132184.45x_3 + 1695.56x_5 - 13.99x_6 - 70.69x_8 \quad F = 92.59, \text{极显著} \quad (2)$$

$$\text{纪家 } Y = -9252.36 + 4032.99x_1 - 10137x_2 + 30599x_3 - 2166.6x_4 + 1103.71x_5 - 0.54x_6 - 19.38x_7 + 15.53x_8 \quad F = 73.857, \text{极显著} \quad (3)$$

同样,逐步回归后得到预测纪家日平均 SFD 的最优方程:

$$Y = -8693.86 + 3825.23x_1 - 9730.76x_2 + 26874.73x_3 + 1239.9x_5 - 17.47x_7 \quad F = 118.35, \text{极显著} \quad (4)$$

式中, Y 为日平均 SFD ($L/(m^2 \cdot d)$), x_1 为 50cm 土壤体积含水量, x_2 为 150cm 土壤体积含水量, x_3 为 250cm 土壤体积含水量, x_4 为 350cm 土壤体积含水量, x_5 为白天的大气饱和水气压差(VPD) (kPa), x_6 为日降水量(mm/d), x_7 为日均温($^{\circ}C$), x_8 为太阳辐射($MJ/(m^2 \cdot d)$)。

由于环境因子之间的自相关性,土壤水分主要受大气降水的影响较大, VPD 和太阳辐射相关性极显著,所以,河头和纪家日平均 SFD 与主要环境因子相关的方程中, SFD 与土壤含水量尤其是 250cm 深度的土壤含水量相关性最强,其次是与 VPD 极显著相关,而与太阳辐射的相关性不是很明显,这主要是由于 VPD 是随着太阳辐射的变化而变化的。因此,笔者认为,影响河头和纪家桉树人工林 SFD 日变化的主要环境因子是随降水量波动的土壤水分以及随太阳辐射而变化的 VPD 。

4 讨论

影响树液流的因素基本可分为 3 类:生物学结构因素、土壤供水因素和气象因素,生物学结构因素决定树液流的潜在能力,土壤供水决定液流的总体水平,而气象因素决定液流的瞬间变动^[19]。研究表明:由于 SFD 占树木蒸腾耗水量的 99.8% 以上^[20],所以可用 SFD 直接反映树木的蒸腾耗水能力,但同一树种不同个体之间、不同树种之间边材和心材面积比率差异很大,即使是具有相同或相似胸径,其 SFD 差异也很大^[19]。

影响河头和纪家桉树人工林 SFD 的主要环境因子为土壤含水量和 VPD 。由于两地相距不到 40km,两地 VPD 值相近,所以两地土壤质地的差异可能是导致 SFD 值差异的主要原因。河头土壤为砂质壤土,结构疏松,孔隙度大,水力传导度较高,透水性强,土壤容易吸水也容易脱水,水分的垂直和水平交换更频

繁,而纪家为粘土,土壤透水性差,土壤持水性要比河头土壤好,当受到同样的水分胁迫时,纪家桉树人工林可能更能抵御干旱的胁迫。另外,河头土壤水分从土壤渗入到根系和水分由根系进入到导管的阻力可能要小于纪家;同时,河头桉树林的木质部面积要大于纪家,这些都有可能是导致河头 *SFD* 值较纪家高的原因。

References:

- [1] Calder IR. Water use of *Eucalypts* --- a review. In: Calder IR, Hall RL, Adlard PG, eds. *Growth and Water Use of Forest Plantations*. John Wiley and Sons, Chichester, 1992a. 167~179.
- [2] Calder IR, Rosier PTW, Prasanna KT, Parameswarappa S. *Eucalyptus* water use greater than rainfall input --- a possible explanation from southern India. *Hydrol. Earth System Sci.*, 1997, 1: 246~256.
- [3] Kallarackal J. Water use of *Eucalypts* in Kerala. In: Calder IR, Hall RL, Adlard PG, eds. *Growth and Water Use of Forest Plantations*. Wiley and Sons, Chichester, 1992. 290~297.
- [4] Kallarackal J, Somen CK. Water use by *Eucalyptus tereticornis* stands of differing density in southern India. *Tree Physiology*, 1997b, 17: 195~203.
- [5] Roberts JM, Rosier PTW, Srinivasa Murthy KV. Physiological studies in young *Eucalyptus* stands in southern India and their use in estimating forest transpiration. In: Calder IR, Hall RL, Adlard PG eds. *Growth and Water Use of Forest Plantations*. Wiley and Sons, Chichester, 1992.
- [6] Soares JV, Almeida AC, Penchel RM. Hydrological balance of *Eucalypt* plantations through transpiration by the method of Penman-Monteith. Proceedings, IUFRO Conference on Silviculture and Improvement of *Eucalyptus*. Salvador, Brazil, August, 1997.
- [7] Patrick NJ Lane, Jim D Morris, Zhang Ningnan, et al. Water balance of tropical eucalypt plantations in southeastern China. "Eucalyptus in Asia" symposium proceedings, 2003.
- [8] Hatton T, Reece P, Taylor P, et al. Does leaf water efficiency vary among eucalypts in water-limited environments? *Tree Physiology*, 1998, 18: 529~536.
- [9] Zhou G Y, Wei X H, Yan J H. Impacts of eucalyptus (*Eucalyptus exserta*) plantation on sediment yield in Guangdong Province, South China --- a kinetic energy approach. *Catena*, 2002, 49: 231~251.
- [10] Liao G R, Lin S R, Li S Y, et al. Study on biological amelioration of lands of eucalyptus plantation in Leizhou peninsula. *Tropical and Subtropical Soil Science*, 1994, 3(1): 8~20.
- [11] Kan W J, Su D M, Qiu Y L, et al. Study on *Eucalyptus* photosynthesis. *Hu'nan Forestry Science and Technology*, 1995, 22(1): 32~36.
- [12] Liao G R, Lin S R, Li S Y, et al. Situation and characteristics of land degradation of *Eucalyptus* plantations in Leizhou peninsula. *Soil and Environmental Sciences*, 2001, 11(1): 25~28.
- [13] Li S Y, Lan P L, Liao X R, et al. Research on activation effects and mechanisms of phosphatic manure in soil under the eucalypt plantation in Leizhou peninsula. *Forest Research*, 2002, 15(3): 261~268.
- [14] Liao G R, Zhong J H, Guo Q R, et al. Effects of soil water on transpiration and growth of young eucalyptus. *Soil and Environmental Sciences*, 2001, 10(4): 285~288.
- [15] Lin Y H. A review on ecological effects of eucalyptus plantation in Guangdong Province. *Guangdong Forestry Science and Technology*, 2001, 17(4): 32~36.
- [16] Liu F J, Zhen S K, Ju G S, et al. A study on comparison of measuring water consumption for transpiration in poplar. *Scientia Silvae Sinicae*, 1997, 33(2): 117~125.
- [17] Gao Y, Zhang R M, Liu J. A study on volume and velocity of stem sap flow of *Populus Popular's* by heat-pulse technique. *Acta Botanica Boreo Occident Sinica*, 2001, 21(4): 644~649.
- [18] Zhou G Y, Huang Z H, Morris J, et al. Radial Variation in Sap Flux Density as a Function of Sapwood Thickness in Two *Eucalyptus* (*Eucalyptus urophylla* S. T. Blake) Plantations. *Acta Botanica Sinica*, 2002, 44(12): 1418~1424.
- [19] Sun P S, Ma L Y, Wang X P, et al. Temporal and special variation of sap flow of Chinese pine (*Pinus tabulaeformis*). *Journal of Beijing Forestry University*, 2000, 22(5): 1~6.
- [20] Wang S S, Gao R F, Wu G M. *Plant Physiology*. Beijing: Chinese Silvae Press, 1991. 192.

参考文献:

- [10] 廖观荣, 林书善, 李淑仪, 等. 雷州半岛桉树人工林地的生物改良研究. *热带亚热带土壤科学*, 1994, 3(1): 8~20.
- [11] 阙文靖, 苏冬梅, 邱运亮. 几种桉树光合特性的研究. *湖南林业科技*, 1995, 22(1): 32~36.
- [12] 廖观荣, 林书善, 李淑仪. 雷州半岛桉树人工林地力退化的现状和特征. *土壤与环境*, 2001, 11(1): 25~28.
- [13] 李淑仪, 蓝佩玲, 廖新荣, 等. 雷州桉树人工林下土壤磷肥活化效果及机理研究. *林业科学研究*, 2002, 15(3): 261~268.
- [14] 廖观荣, 钟继洪, 郭庆荣, 等. 土壤水分对幼龄桉树蒸腾和生长的影响. *土壤与环境*, 2001, 10(4): 285~288.
- [15] 林义辉. 广东省桉树人工林生态问题评价. *广东林业科技*, 2001, 17(4): 32~36.
- [16] 刘奉觉, 郑世措, 巨关升. 树木蒸腾耗水测算技术的比较研究. *林业科学*, 1997, 33(2): 117~125.
- [17] 高岩, 张汝民, 刘静. 应用热脉冲技术对小美旱杨树干液流的研究. *西北植物学报*, 2001, 21(4): 644~649.
- [19] 孙鹏森, 马履一, 王小平, 等. 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.
- [20] 王沙生, 高荣孚, 吴贯明. *植物生理学*. 北京: 中国林业出版社, 1991. 192.