

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 20 期 Vol.31 No.20 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20期 2011年10月 (半月刊)

目 次

- 洋山港潮间带大型底栖动物群落结构及多样性 王宝强,薛俊增,庄 骅,等 (5865)
天津近岸海域夏季大型底栖生物群落结构变化特征 冯剑丰,王秀明,孟伟庆,等 (5875)
基于景观遗传学的滇金丝猴栖息地连接度分析 薛亚东,李 丽,李迪强,等 (5886)
三江平原湿地鸟类丰富度的空间格局及热点地区保护 刘吉平,吕宪国 (5894)
江苏沿海地区耕地景观生态安全格局变化与驱动机制 王 千,金晓斌,周寅康 (5903)
广州市主城区树冠覆盖景观格局梯度 朱耀军,王 成,贾宝全,等 (5910)
景观结构动态变化及其土地利用生态安全——以建三江垦区为例 林 佳,宋 戈,宋思铭 (5918)
基于景观安全格局的香格里拉县生态用地规划 李 晖,易 娜,姚文璟,等 (5928)
苏南典型城镇耕地景观动态变化及其影响因素 周 锐,胡远满,苏海龙,等 (5937)
放牧干扰下若尔盖高原沼泽湿地植被种类组成及演替模式 韩大勇,杨永兴,杨 杨,等 (5946)
放牧胁迫下若尔盖高原沼泽退化特征及其影响因子 李 珂,杨永兴,杨 杨,等 (5956)
近20年广西钦州湾有机污染状况变化特征及生态影响 蓝文陆 (5970)
万仙山油松径向生长与气候因子的关系 彭剑峰,杨爱荣,田沁花 (5977)
50年来山东塔山植被与物种多样性的变化 高 远,陈玉峰,董 恒,等 (5984)
热岛效应对植物生长的影响以及叶片形态构成的适应性 王亚婧,范连连 (5992)
遮荫对濒危植物崖柏光合作用和叶绿素荧光参数的影响 刘建锋,杨文娟,江泽平,等 (5999)
遮荫对3年生东北铁线莲生长特性及品质的影响 韩忠明,赵淑杰,刘翠晶,等 (6005)
云雾山铁杆蒿茎叶浸提液对封育草地四种优势植物的化感效应 王 辉,谢永生,杨亚利,等 (6013)
杭州湾滨海滩涂盐基阳离子对植物分布及多样性的影响 吴统贵,吴 明,虞木奎,等 (6022)
藏北高寒草原针茅属植物AM真菌的物种多样性 蔡晓布,彭岳林,杨敏娜,等 (6029)
成熟马占相思林的蒸腾耗水及年际变化 赵 平,邹绿柳,饶兴权,等 (6038)
荆条叶性状对野外不同光环境的表型可塑性 杜 宁,张秀茹,王 炜,等 (6049)
短期极端干旱事件干扰后退化沙质草地群落恢复力稳定性的测度与比较 张继义,赵哈林 (6060)
滨海盐碱地土壤质量指标对生态改良的响应 单奇华,张建锋,阮伟建,等 (6072)
退化草地阿尔泰针茅与狼毒种群的小尺度种间空间关联 赵成章,任 琦 (6080)
延河流域植物群落功能性状对环境梯度的响应 龚时慧,温仲明,施 宇 (6088)
臭氧胁迫使两优培九倒伏风险增加——FACE研究 王云霞,王晓莹,杨连新,等 (6098)
甘蔗//大豆间作和减量施氮对甘蔗产量、植株及土壤氮素的影响 杨文亭,李志贤,舒 磊,等 (6108)
湿润持续时间对生物土壤结皮固氮活性的影响 张 鹏,李新荣,胡宜刚,等 (6116)
锌对两个品种茄子果实品质的效应 王小晶,王慧敏,王 菲,等 (6125)
 Cd^{2+} 胁迫对银芽柳PSⅡ叶绿素荧光光响应曲线的影响 钱永强,周晓星,韩 蕾,等 (6134)
紫茉莉对铅胁迫生理响应的FTIR研究 薛生国,朱 锋,叶 晨,等 (6143)

- 结缕草对重金属镉的生理响应 刘俊祥,孙振元,巨关升,等 (6149)
两种大型真菌子实体对 Cd²⁺ 的生物吸附特性 李维焕,孟凯,李俊飞,等 (6157)
富营养化山仔水库沉积物微囊藻复苏的受控因子 苏玉萍,林慧,钟厚璋,等 (6167)
一种新型的昆虫诱捕器及其对长足大竹象的诱捕作用 杨瑶君,刘超,汪淑芳,等 (6174)
光周期对梨小食心虫滞育诱导的影响 何超,孟泉科,花蕾,等 (6180)
农林复合生态系统防护林斑块边缘效应对节肢动物的影响 汪洋,王刚,杜瑛琪,等 (6186)
中国超大城市土地利用状况及其生态系统服务动态演变 程琳,李锋,邓华锋 (6194)
城市综合生态风险评价——以淮北市城区为例 张小飞,王如松,李正国,等 (6204)
唐山市域 1993—2009 年热场变化 贾宝全,邱尔发,蔡春菊 (6215)
基于投影寻踪法的武汉市“两型社会”评价模型与实证研究 王茜茜,周敬宣,李湘梅,等 (6224)
长株潭城市群生态屏障研究 夏本安,王福生,侯方舟 (6231)
基于生态绿当量的城市土地利用结构优化——以宁国市为例 赵丹,李锋,王如松 (6242)
基于 ARIMA 模型的生态足迹动态模拟和预测——以甘肃省为例 张勃,刘秀丽 (6251)

专论与综述

- 孤立湿地研究进展 田学智,刘吉平 (6261)
甲藻的异养营养型 孙军,郭术津 (6270)
生态工程领域微生物菌剂研究进展 文娅,赵国柱,周传斌,等 (6287)
我国生态文明建设及其评估体系研究进展 白杨,黄宇驰,王敏,等 (6295)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 440 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 49 * 2011-10



封面图说:壶口瀑布是黄河中游流经秦晋大峡谷时形成的一个天然瀑布。此地两岸夹山,河底石岩上冲刷成一巨沟,宽达 30 米,深约 50 米,最大瀑面 3 万平方米。滚滚黄水奔流至此,倒悬倾注,若奔马直入河沟,波浪翻滚,惊涛怒吼,震声数里可闻。其形其声如巨壶沸腾,故名壶口。300 余米宽的滚滚黄河水至此突然收入壶口,有“千里黄河一壶收”之说。

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

赵平, 邹绿柳, 饶兴权, 马玲, 倪广艳, 曾小平, 蔡锡安. 成熟马占相思林的蒸腾耗水及年际变化. 生态学报, 2011, 31(20): 6038-6048.
Zhao P, Zou L L, Rao X Q, Ma L, Ni G Y, Zeng X P, Cai X. Water consumption and annual variation of transpiration in mature *Acacia mangium* Plantation. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(20): 6038-6048.

成熟马占相思林的蒸腾耗水及年际变化

赵 平*, 邹绿柳, 饶兴权, 马 玲, 倪广艳, 曾小平, 蔡锡安

(中国科学院华南植物园, 广州 510650)

摘要: 利用 Granier 测定系统对华南丘陵植被恢复先锋群落马占相思林的树干液流进行了连续 4a(2004—2007 年)的监测研究, 以了解已过生长高峰的马占相思林(20—22 林龄)的水分利用特征。结果显示, 液流密度(J_s)日变化为单峰型曲线, 具有明显的季节差异, 湿季 J_s 日变化幅度和峰值 $J_{s\max}$ 均大于干季。 J_s 与光合有效辐射(PAR)和水汽压亏缺(VPD)的偏相关分析显示, J_s 与 PAR 或 VPD 正相关, 干季的相关性较湿季显著; 线性回归分析显示 PAR 和 VPD 对 J_s 日变化共同影响的程度达 62.7%—82.7%。马占相思整树和林分的蒸腾强度和耗水量均表现出明显的干湿季差异, 湿季明显高于干季。偏相关分析表明降雨量对蒸腾活动没有显著的直接影响, 而 PAR 与蒸腾量显著相关, 是影响林分蒸腾量的最重要环境因子。2004—2007 年各年马占相思林的蒸腾耗水量为 238.64、136.39、217.45mm 和 273.85mm, 分别占当年降雨量的 24.7%、11.7%、9.8% 和 22.8%, 年平均蒸腾耗水量为 243.31 ± 28.49 mm ($n=3$), 降水对林分蒸腾的影响不仅仅取决于降雨量的大小, 较多的降雨频次往往会削弱蒸腾的强度。研究的马占相思林处于生长后期, 群落叶面积指数和蒸腾已有明显的下降, 反映出该阶段林分已不能充分利用当地的辐射和水分资源, 必要的林分改造可提高造林后期的生产效益。

关键词: 树干液流; 马占相思; 林分蒸腾; Granier 液流探针

Water consumption and annual variation of transpiration in mature *Acacia mangium* Plantation

ZHAO Ping*, ZOU Lvliu, RAO Xingquan, MA Ling, NI Guangyan, ZENG Xiaoping, CAI Xian

(South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China)

Abstract: Granier's sap flow measuring system was applied to monitor sap flow of *Acacia mangium* plantation, the pioneer community of re-vegetation in South China's hilly land, for four consecutive years (2004—2007). We aimed at understanding water use by the 20—22 year old *A. mangium* stand that had already passed the peak period of growth. Results showed that the diurnal change pattern of sap flux density (J_s) presented a unimodal curve with distinct differences between wet seasons (WS) and dry seasons (DS). The sap flow in WS was obviously more dynamics than that in DS, and the peak values of J_s ($J_{s\max}$) during WS were higher than DS. Partial correlation analyses showed that J_s was significantly correlated with PAR or VPD, and such correlation for DS was much more significant than WS. Linear correlation analyses indicated that the combined effects of PAR and VPD on diurnal changes of J_s attained 62.7%—82.7%. For the whole tree and stand transpirations, marked differences between WS and DS were observed in *A. mangium*, where the transpiration during WS was higher than DS. Partial correlation analyses indicated that there was no direct significant effect of precipitation on stand transpiration, while PAR was significantly correlated with transpiration and hence the most influential environmental factor on stand transpiration. Annual water consumption by transpiration of *A. mangium* plantation from year 2004 to 2007 was 238.64, 136.39, 217.45 and 273.85mm, which merely accounted for 24.7%, 11.7%, 9.8% and

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30871998, 41030638)

收稿日期: 2011-05-28; 修订日期: 2011-07-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhaoping@scib.ac.cn

22.8% of precipitation for each year, respectively. The annual mean transpiration of *A. mangium* plantation was (243.31±28.49) mm ($n=3$). Influence of precipitation on stand transpiration did not merely depend on the rainfall intensity, since an increase in rainfall frequency often reduced the whole year's transpiration. Since the studied *A. mangium* plantation was in its late stage of growth with a lower canopy leaf area index and transpiration, the current forest stand could not fully and effectively utilize the local resources such as radiation and water. A stand conversion is required to improve the efficiency of forest management and production in late stage of reforestation.

Key Words: sap flow; *Acacia mangium*; stand transpiration; Granier's probe

植被恢复是退化土地生态恢复的核心,一些外来树种由于生长迅速,对立地条件要求不高而被用于构建先锋群落。自20世纪80年代以来,华南地区引种马占相思(*Acacia mangium* Willd)等具有固氮、耐旱和速生特点的外来树种,对退化丘陵荒坡进行大面积的植被恢复,成林后经林分改造(往往是间种乡土树种)以缩短恢复时间,效益显著^[1-2]。马占相思属含羞草科(Mimosaceae)金合欢属(*Acacia*),原产澳大利亚昆士兰沿海、巴布亚新几内亚南部及印度尼西亚东部,由于根瘤的固氮作用和前期的快速生长,能在较短时间内有效地改善土壤条件,有关马占相思生长前期的光合碳吸收和蒸腾耗水等生理生态特性的研究已有不少报道^[1,3]。观测表明,马占相思人工林种植15a左右后生长下降,出现冠层萎缩、枯立木增加的景象^[1]。那么成熟马占相思林的水分利用对集水区乃至更大空间尺度水文景观的影响是我们关心的问题,这有赖于在林分尺度上开展蒸腾耗水的研究。

根系从土壤吸收的水分被输送到植物体的各个部分,满足生命活动之需,同时以水汽的形式从叶片、枝条或树干逸散出体外而形成蒸腾过程,蒸腾反映植物的水分状况及与环境的关系,影响生态系统的水量平衡。由于冠层内叶片相互之间的影响而改变蒸腾的微环境,很难以单叶的蒸腾状况准确描述整树和林分的水分关系^[4],需要借助合适的观测手段实现林分尺度的蒸腾测定,而电子技术进步催生的树干液流测定系统为此提供了可能^[5-6]。利用Granier树干液流探针连续4a监测华南丘陵马占相思成熟林的蒸腾,以揭示林分在年际尺度上的蒸腾耗水特征和规律,研究结果无疑是人工林种植后期经营和管理、林分改造以及调控集水区水量平衡的重要参考。

1 材料与方法

1.1 样地概况

野外观测在广东省鹤山市中国科学院鹤山丘陵综合试验站的一片马占相思林内进行,该林种植于1983—1985年间,林内设置面积为640.5 m²(36.6 m×17.5 m)的样地,共47株树木。选择有代表性的14株作为样树,安装Granier热消散探针,从2003年8月至2007年12月进行树干液流的连续测定。鹤山站的气候等条件见参考文献^[7-8]。

1.2 树干液流的测定

在树干北方位的胸高处,垂直间隔10—15 cm平行插入一对常规长度(2cm)的Granier热消散探针,上探针外缠电阻丝持续供应0.12A的直流电进行加热,下探针作为参照,以四芯屏蔽电缆连接探针和DL2e型数据采集仪(英国Delta-T公司生产),设置测读频度为30 s,每10 min进行平均并存储。用塑料盖罩住探针以防止机械损失,外部包裹太阳膜以减少太阳辐射和防止雨水渗入。以Granier经验公式描述上下探针温差与树干液流密度的关系:

$$J_s = 119 \times \left(\frac{\Delta T_m - \Delta T}{\Delta T} \right)^{1.231} \quad (1)$$

式中, J_s 为瞬时液流密度(g H₂O·m⁻²·s⁻¹), ΔT_m 是上下探针的昼夜最大温差, ΔT 为瞬时温差^[5]。采用Baseliner 3.0计算机软件(由美国杜克大学环境与地球科学学院Yavor Parashkevov博士开发)将原始的电压数据转换成连续的液流密度值^[9]。

1.3 边材面积的测定

边材面积是由 J_s 计算整树蒸腾的关键参数,为避免伤害样树和影响树干液流的测定,在样地附近另选 24 棵树木,用生长锥打孔器在树干胸高处钻取木栓,直接测量边材厚度(马占相思边材与心材的颜色区别明显,分界线清晰可见),建立边材面积(A_s)与胸径(DBH)的回归方程:

$$A_s = 0.193 \times (DBH)^{1.8439} \quad (R^2 = 0.9377, n=24) \quad (2)$$

然后,利用公式(2)计算样地内每株马占相思的边材面积。

1.4 林分蒸腾

将获取的 J_s 进行尺度扩展计算整树蒸腾,需要考虑液流沿边材的径向变化。马玲等的研究显示马占相思的木材为散孔材^[10],Philips 等发现散孔材树木的液流密度径向变化较为均匀^[11],Lu 等, Clearwater 等认为应用 Granier 热消散探针测定散孔材树木的液流密度一般无显著径向变化^[12-13]。尽管马占相思胸径较大,但边材厚度在 1.5—3cm 的范围内,用 2cm 长度探针测得的液流密度能代表整个边材的液流密度均值,误差较小^[10,14]。因此,马占相思的整树蒸腾可直接由 $E_t = J_s \times A_s$ ($\text{g H}_2\text{O}/\text{s}$) 计算。分别求出各个径级的 J_s 平均值和总边材面积,林分总蒸腾量则为:

$$E = \sum E_i = \sum_i^n (J_{si} \times A_{si}) \quad (3)$$

式中, J_{si} 是第 i 个径级的液流密度平均值, A_{si} 为第 i 个径级的总边材面积,单位叶面积蒸腾速率 E_i ($\text{g H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 则为:

$$E_i = \frac{E}{A_i} = \frac{E}{LAI \times A_g} \quad (4)$$

式中, A_i 是林分总叶面积,由 CID-110 冠层分析仪获取的叶面积指数(LAI)与冠层投影面积(A_g)相乘获得,某一时间段的整树或林分蒸腾量则由蒸腾速率与相应的 A_i 和时间相乘累积求出。

1.6 环境因子的测定

在距离样地约 200 m 处的开阔地建立环境因子观测点,将光合有效辐射传感器(Li-Cor Quantum Sensor,美国 Li-Cor 公司生产)和空气温湿度传感器(HMP35E,芬兰 Vaisala 公司生产)与另一台 DL2e 数据采集仪连接,监测冠层光合有效辐射、空气相对湿度和气温,观测频度与液流测定一致。

水汽压亏缺 VPD 根据以下公式求算^[15]:

$$VPD = a \times \exp\left(\frac{bT_l}{T + c}\right) (1 - Rh) \quad (5)$$

式中, T_l 为叶片温度, Rh 是相对空气湿度,常数 a 、 b 和 c 分别为 0.611kPa、17.502 和 240.97 °C。由于叶片温度和周围空气温度差异较小,常以气温代替叶温。

2 结果与讨论

2.1 环境因子

图 1—图 3 描述了 2004—2007 年试验地的月平均气温、月降雨量、月光合有效辐射量、年降雨量、年光合有效辐射量。该期间,年均温分别是 22.5、22.4、23.0、23.1 °C,年际差异较小,变异系数 1.5%。不同月份降雨量的分配不均,湿季(4—9 月)雨量较大,干季(1—3 月和 10—12 月)雨量明显减少,年际差异较大,分别为 965.9、1169.2、2225.4 和 1203 mm,变异系数 40.7%;湿季降雨对当年总雨量的贡献达 80% 以上(图 3),反映了试验地干湿季分明的特点。年光合有效辐射总量分别为 5965.3、5680.7、5795.0 和 5567.13 mol/m²,年际差异较小,变异系数只有 3%;光合有效辐射量干湿季的差异不如降雨明显,湿季光合有效辐射量约占全年总量的 60%,而干季虽然水分条件不如湿季,仍然有占全年总量 40% 的光合有效辐射能量可供植物利用(图 3)。由此可见,试验区呈现明显的干湿季特征,大部分降雨集中在湿季,干季雨量少但热量依然充足,会引致土壤干旱,植物面临水分胁迫^[16]。由于干季气温多在 10 °C 以上,理论上来说树木仍有较高的光合潜力,意味着干季的水热供给矛盾会不利于植物的生理活动特别是光合作用,反映该地区的水热组合对森林生长产生较大影响。

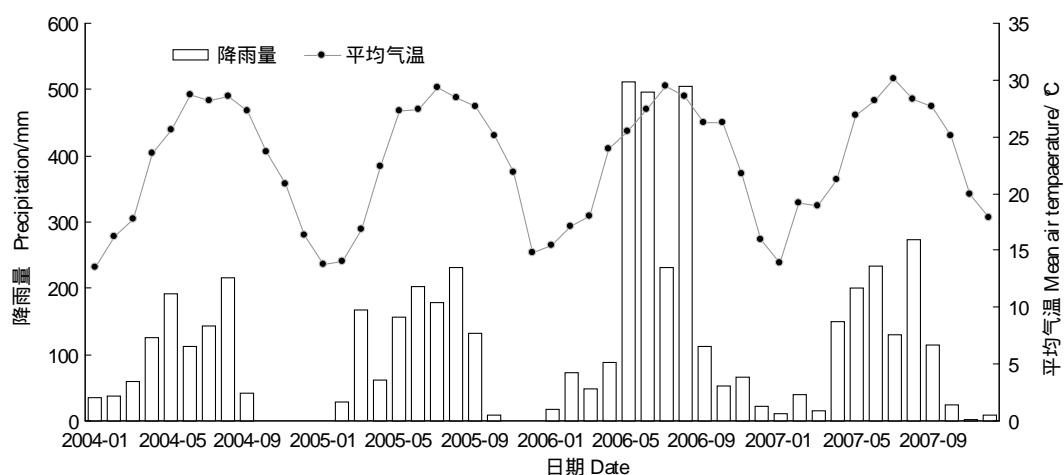


图1 试验区2004—2007年的月平均气温和降雨量

Fig. 1 Monthly mean air temperature and precipitation in experimental site (2004—2007)

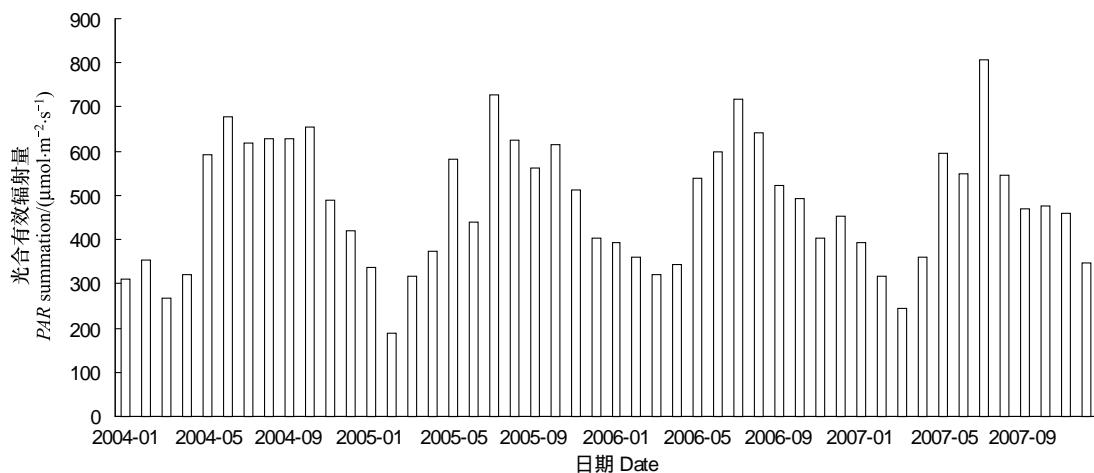


图2 2004—2007年各月份马占相思林冠层的光合有效辐射量

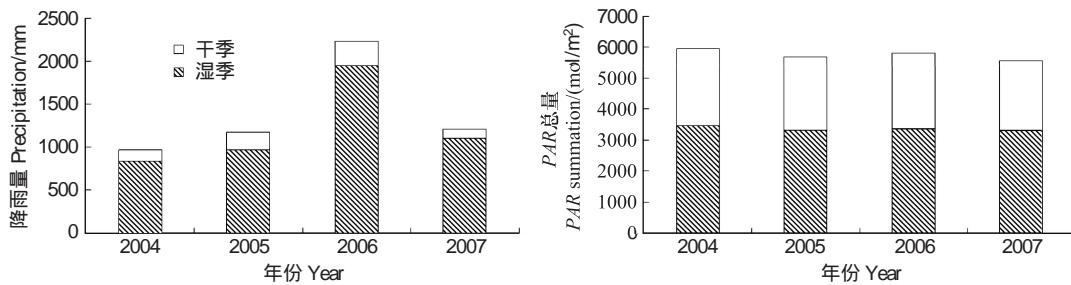
Fig. 2 Monthly PAR summation above *A. mangium* canopy (2004—2007)

图3 各年份降雨量和光合有效辐射量的干湿季分布格局

Fig. 3 Annual distribution of precipitation and PAR summation in wet and dry seasons

2.2 马占相思的树形和林分结构特征

样地内47株马占相思的平均树高(15.59 ± 4.31) m、胸径(DBH)(20.35 ± 6.98) cm、冠幅面积(13.38 ± 11.90) m^2 , 总边材面积 0.525 m^2 。将所有树木按照DBH大小分为3个径级: DBH<20cm为径级1, 20cm≤DBH<30cm为径级2, DBH≥30cm为径级3, 每个径级树木的数量和边材面积见图4。进行树干液流监测的

14株样树的树形特征见表1。根据连续4a(2004—2007年)的测定结果,马占相思林冠层叶面积指数(LAI)平均值分别为 $2.00\pm0.53(n=240)$ 、 $1.86\pm0.47(n=239)$ 、 $1.94\pm0.49(n=240)$ 和 $2.05\pm0.51(n=140)$,而之前报道的该林分生长高峰(11—12a)的叶面积指数约为3.01^[17],显示成熟马占相思林的LAI处于较低的水平,林分生长出现明显衰退,冠层结构已不能充分利用该地区充足的辐射资源。

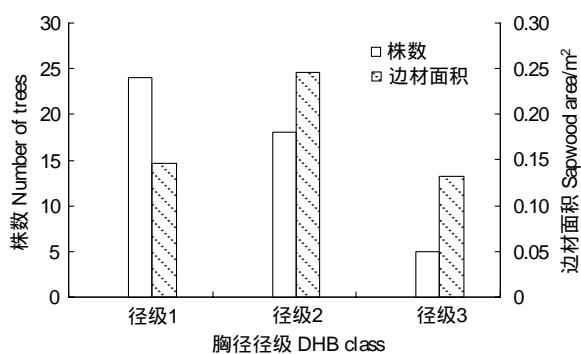


图4 各径级树木的数量和边材面积

Fig.4 Number of trees and sapwood area of each DBH class

表1 马占相思样树的树形特征

Table 1 Sample tree characteristics of *A. mangium*

编号 Tree No.	树高 Height/m	枝下高 Stem length/m	冠幅面积 Canopy size/m ²	胸径 DBH/cm	边材面积 Sapwood area /cm ²
1	19.30	3.05	17.35	29.30	200.68
2	17.90	2.70	10.83	23.89	137.69
3	22.80	9.00	40.22	32.90	248.47
4	19.50	2.83	47.69	37.52	316.56
5	15.60	1.62	8.05	18.15	83.01
6	14.50	6.00	8.36	17.20	75.13
7	12.00	7.30	10.62	16.88	72.59
8	19.50	6.50	8.55	23.89	137.69
9	18.25	9.25	7.03	21.34	111.83
10	18.70	10.90	9.65	25.48	155.09
11	19.50	12.00	4.59	20.38	102.77
12	20.00	9.30	15.52	20.70	105.75
13	12.00	3.70	13.28	13.38	47.27
14	19.50	4.70	5.51	18.15	83.01

2.3 树干液流密度的变化格型及与蒸腾驱动因子的关系。

以分别代表径级3、1和2的样树3、6和10为例,分析湿季(2007年7月)和干季(2007年12月)马占相思树干液流的变化(图5)。6:00—7:00时液流启动并迅速上升,湿季的启动时间早于干季,一般在12:00—14:00时达到峰值,午后液流逐渐回落,19:00时后明显减小。液流密度(J_s)的日变化大多为单峰曲线,峰值(J_{smax})的个体差异明显,在不同的季节 J_{smax} 大小顺序均为:样树3>样树6>样树10(图6)。夜间到翌日6:00时有微弱的液流活动,王华等发现气体交换方法测定的马占相思叶片夜间蒸腾微弱,对基于树干液流估算整树蒸腾耗水量的影响可以忽略^[18],据此,将夜间液流作为水分补充来处理。已有的研究显示, J_s 的个体差异与DBH、冠幅和树高等树形因子的关系不显著^[10], J_s 的个体差异主要是由树木自身生理状态和应对环境因子变化调节能力的差异引起的。

基于图5的数据,对各样树 J_s 日变化序列与对应的PAR和VPD作偏相关分析(表2), J_s 与PAR或VPD偏相关显著,湿季 J_s 与VPD的偏相关系数大于与PAR的偏相关系数,无论是PAR还是VPD,与 J_s 的相关系数均为干季大于湿季。表3是各样树 J_s 与PAR和VPD的多元线性回归, J_s 与PAR和VPD在干湿季均呈显著的线性相关,PAR和VPD的联合效应对 J_s 日变化的解释度可达62.7%—82.5%,其中样树3的 J_s 对PAR和VPD变化最敏感,湿季和干季的直线回归方程的决定系数分别为0.807和0.825,PAR和VPD对 J_s 的影响总体上干季大于湿季。树干液流对环境因子响应的季节差异是因为湿季天气变化比干季激烈,湿季又是植物的生长季节,植物生理调节更为灵敏和活跃,减小了环境变化对液流的冲击和影响,而干季环境因子对液流的主导效应似乎更明显。如前所述,马占相思 J_s 与树形特征无显著相关,而个体 J_s 对PAR和VPD响应灵敏度差异明

显, 马占相思 J_s 的日变化更多是受植物个体自身的生理节律和环境因子的共同调节。

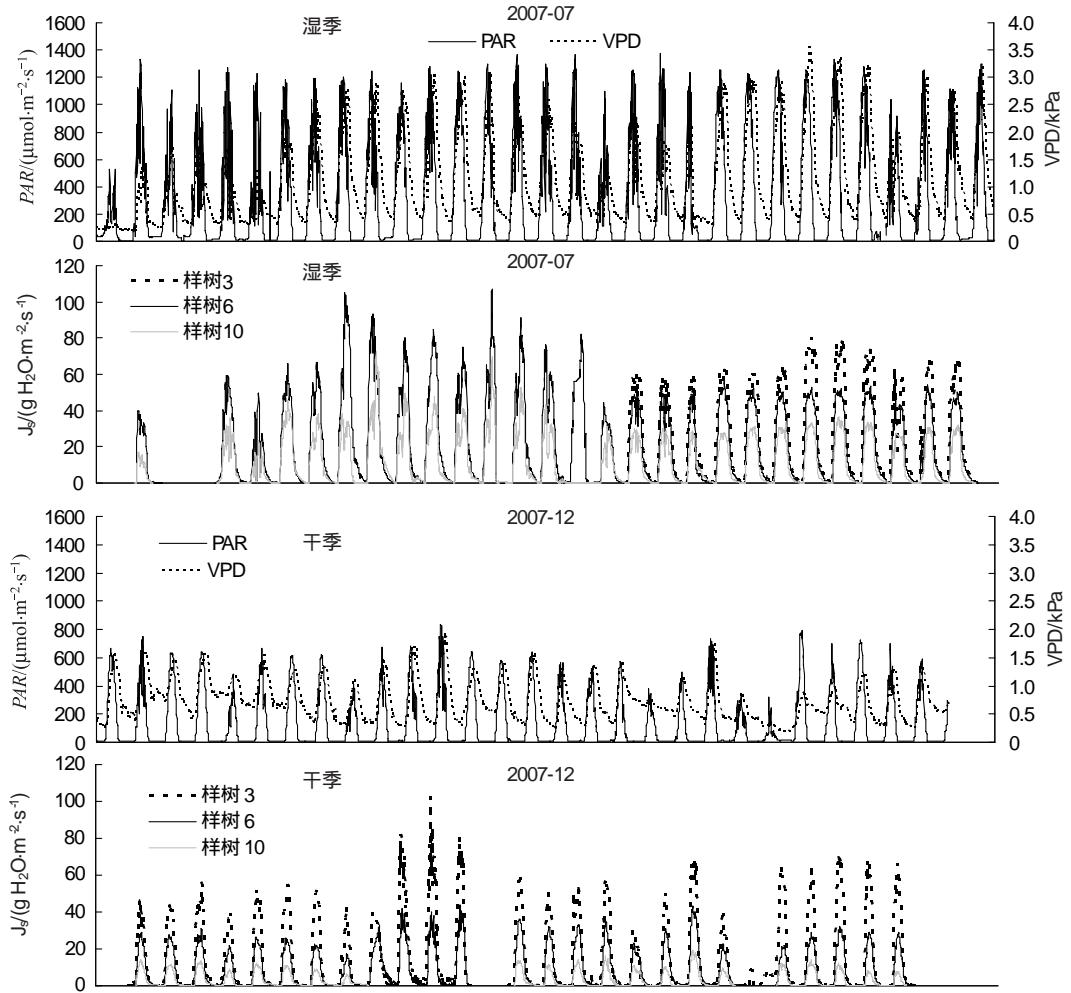


图 5 湿季和干季光合有效辐射、水汽压亏缺和马占相思树干液流密度的日变化

Fig. 5 Daily variation of PAR, VPD as well as sap flux density of *A. mangium* in wet and dry seasons

2.4 马占相思的蒸腾耗水

将马占相思树干液流密度按公式(3)和(4)分别估算整树和林分不同时间尺度的蒸腾耗水。

2.4.1 整树蒸腾

与前文相一致, 仍以样树 3、6 和 10 为例进行分析, 图 7 是干湿季每日整树蒸腾耗水量, 样树 3 的日蒸腾耗水量在两个季节均明显大于样树 6 和 10, 后两者的差异则不明显, 各样树的湿季日蒸腾量均大于旱季。图 8 更清晰地展示不同月份以及相同月份不同树木的整树蒸腾量日均值和月总量的差异。很显然, 湿季马占相思的蒸腾比干季旺盛, 原因是湿季蒸腾驱动因子 (PAR, VPD) 的强度大于干季。个体之间蒸腾强度的差异与某些树形有关, 赵平等分析了马占相思整树蒸腾量与胸径、边材面积、树高和冠幅等树形因子的关系, 整树蒸腾与胸径、边材面积和冠幅为对数正相关, 而与树高呈幂函数正相关^[19]。一般而言, 树木高度、胸径和冠幅越大, 生长比较旺盛, 对水分需求越多, 蒸腾作用越强。样树 3 的胸径、树高、边材面积和冠幅面积均明显大于样树 6 和 10, 所以前者的整树蒸腾耗水量远大于后两者,

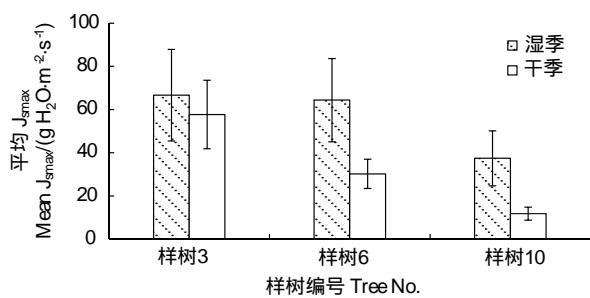


图 6 干湿季 3 株样树的平均最大液流密度值

Fig. 6 Mean J_{smax} of three sample trees in wet and dry seasons of 2007

尽管样树10的胸径、树高和边材面积比样树6大,但两者的冠幅近似(表1),热量的负载(主要是辐射)接近,整树蒸腾的差异并不大。

表2 样树 J_s 与PAR和VPD的偏相关关系Table 2 Partial correlations between J_s and PAR as well as VPD

季节 Season	样树编号 Tree No.	变量 Variables	控制变量 Controls variables	df	J_s	
					偏相关系数 Partial correlation	Sig. (2-tailed)
2007-07	样树3	PAR	VPD	945	0.680 **	0.000
		VPD	PAR	945	0.685 **	0.000
	样树6	PAR	VPD	2117	0.535 **	0.000
		VPD	PAR	2117	0.530 **	0.000
	样树10	PAR	VPD	2029	0.481 **	0.000
		VPD	PAR	2029	0.572 **	0.000
	样树3	PAR	VPD	2051	0.754 **	0.000
		VPD	PAR	2051	0.700 **	0.000
2007-12	样树6	PAR	VPD	1937	0.567 **	0.000
		VPD	PAR	1937	0.749 **	0.000
	样树10	PAR	VPD	1618	0.640 **	0.000
		VPD	PAR	1618	0.648 **	0.000

* * 表示在0.01水平上有显著的偏相关关系

表3 树干液流密度(J_s)与PAR及VPD的直线回归关系Table 3 Linear regression relationship between J_s and PAR as well as VPD

季节 Season	样树编号 Tree No.	直线回归方程 Linear regression equation	R^2	Sig.
2007-07	样树3	$J_s = 0.025PAR + 12.121VPD + 10.01$	0.807	0.000
	样树6	$J_s = 0.025PAR + 12.085VPD + 4.329$	0.633	0.000
	样树10	$J_s = 0.013PAR + 7.907VPD + 10.01$	0.627	0.000
	样树3	$J_s = 0.058PAR + 27.459VPD - 11.577$	0.825	0.000
	样树6	$J_s = 0.020PAR + 19.137VPD - 7.899$	0.768	0.000
	样树10	$J_s = 0.011PAR + 6.673VPD - 2.985$	0.739	0.000

2.4.2 林分蒸腾耗水

图9显示了马占相思林2004—2007年间的月蒸腾量,不同月份之间的差异明显,大体上湿季月份(4—9月)的蒸腾耗水大于干季月份(1—3月和10—12月);各年的月蒸腾耗水量峰值分别为37.60、24.62、36.89和41.87 mm,分别出现在当年的6、5、7月和7月,最小值分别为7.97、3.71、6.24和11.18 mm,分别出现在当年的1、2、1月和1月。相对于日间蒸腾量来说,夜间补水量较少,只占各年总蒸腾耗水量的4%—6%(图10),在估算林分年蒸腾时可以忽略这个组分。图11是各年干湿季的月均蒸腾耗水量,同年的湿季明显大于干季,比值达1.5—2.5;年际比较来看,湿季和干季最大均值分别出现在2004年((28.57±7.75) mm)和2007年((17.89±6.62) mm),最小均值则都在2005年,分别为(15.48±5.13) mm和(7.37±3.74) mm。如图12所示,各年的湿季蒸腾耗水量明显大于干季,前者占全年总量的61%—71%;各年总蒸腾耗水量年际间有明显差异,分别为238.64、136.39、217.45、273.85 mm,各占当年降雨量的24.7%、11.7%、9.8%、22.8%。剔除2005年的数据,马占相思林分平均年蒸腾耗水量为(243.31±28.49) mm ($n=3$),换算为重量单位则为(2433.12±284.92) t/m²。2005年的蒸腾比较异常,远小于其它年份,而气象记录数据显示该年度降雨量虽然并不高,但降雨频次较多,是削弱蒸腾的主要原因。

分析了马占相思林分蒸腾耗水量与降雨量和光合有效辐射量的偏相关关系(表4),在全年水平上,蒸腾

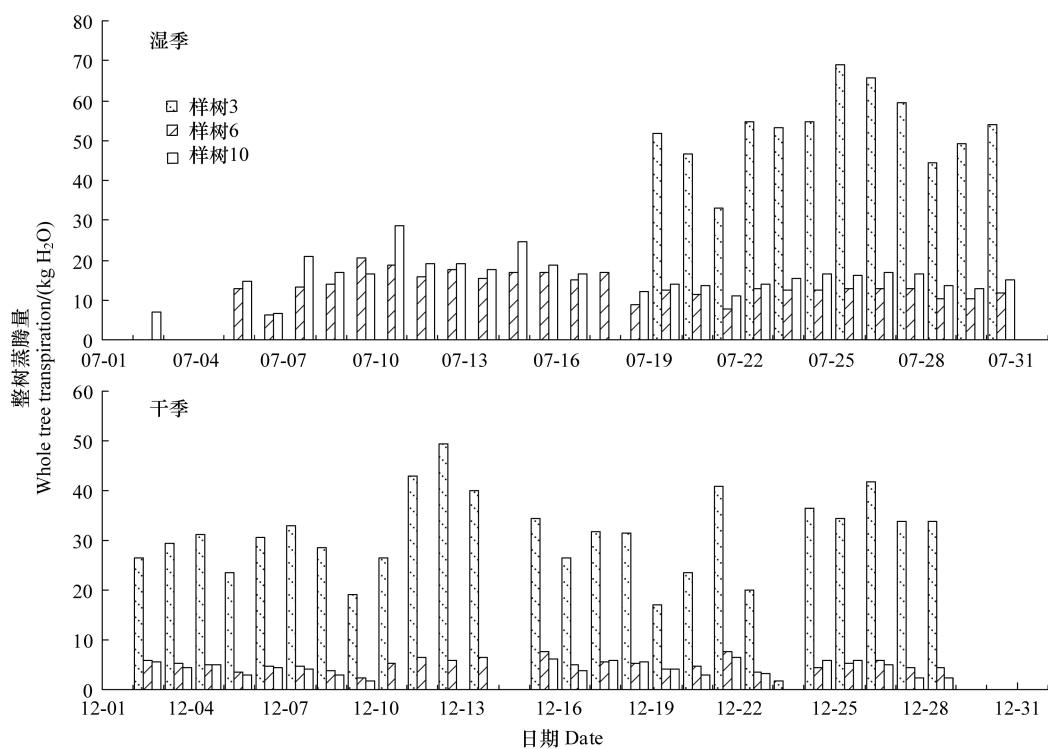


图 7 不同季节整树蒸腾耗水量

Fig. 7 Daily whole tree transpiration in different seasons (note: blank for data missing)

数据系列的空白处为数据缺失

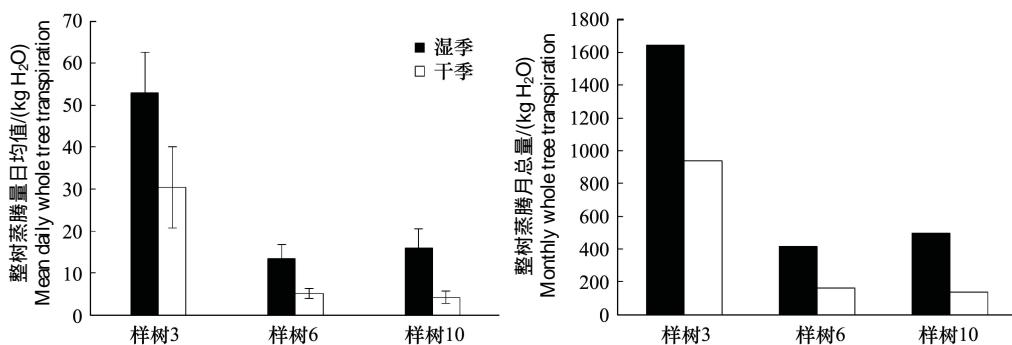


图 8 干湿季的整树蒸腾量日均值和月总量

Fig. 8 Mean daily and monthly whole tree transpiration wet and dry seasons

量与降雨量偏相关不显著,而与 PAR 显著偏相关,偏相关系数为 0.596。湿季蒸腾量与降雨量呈不显著的负偏相关,而与 PAR 偏相关关系显著,干季蒸腾量与降雨量也呈不显著的负偏相关,与 PAR 也没有显著的偏相关关系。植物蒸腾是一个包括物理学机理和叶片生物学特性的过程,强度主要取决于土壤的可利用水、液态水转化为水蒸汽所必需的能量以及叶片内部与外界之间的水汽压梯度^[20],这 3 个因素可分别由土壤含水量、PAR 和 VPD 来衡量。降雨量虽然不是蒸腾作用的直接驱动因子,且频繁的降雨会在一定程度上削弱蒸腾作用,但对土壤含水量起主要的调节作用,影响植物根系的吸水。湿季降雨量大,土壤充足的水分能满足植物的蒸腾需要,而干季降雨明显减少,导致土壤水分亏缺,植物根系的吸水减少而削弱蒸腾作用的强度。蒸腾过程中,PAR 提供水从液态向汽态转化所需的能量,是不可或缺的直接驱动因子,因此对林分蒸腾活动产生较大的影响。蒸腾作用对 VPD 的响应主要表现在较小时间尺度上(小时和日),因此本文探讨环境因子对较长时间尺度(月和年)的蒸腾耗水的调节作用时,不对 VPD 的影响进行分析。

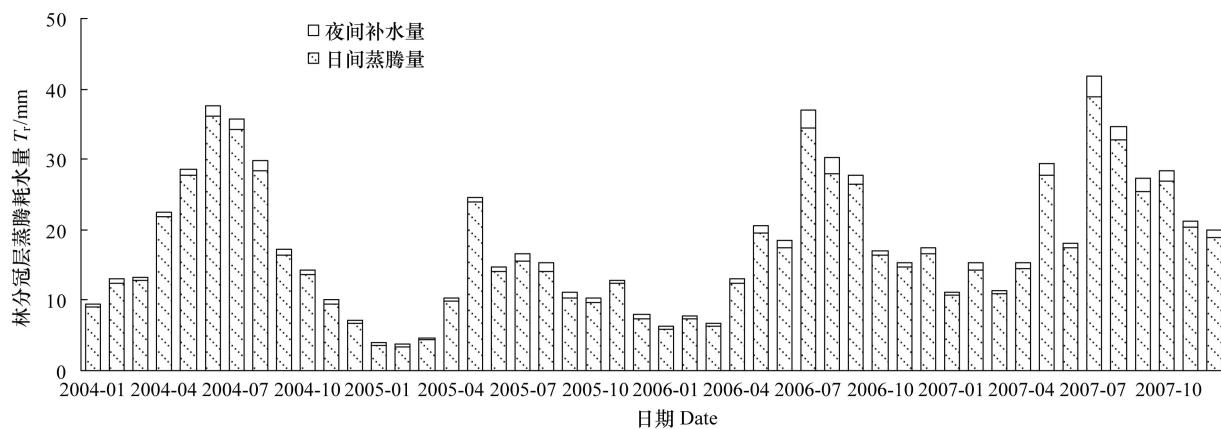


图9 马占相思林分月蒸腾耗水量

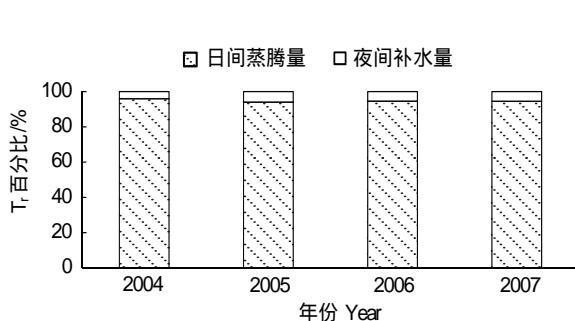
Fig. 9 Monthly stand transpiration of *A. mangium*

图10 各年份的日间蒸腾量和夜间补水量各自占年总量的百分比

Fig. 10 Proportions of daytime transpiration and nighttime recharge in each year respectively

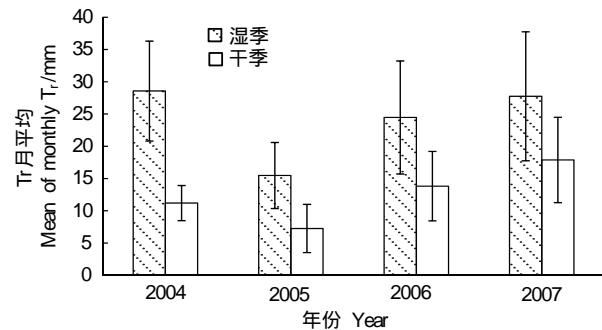
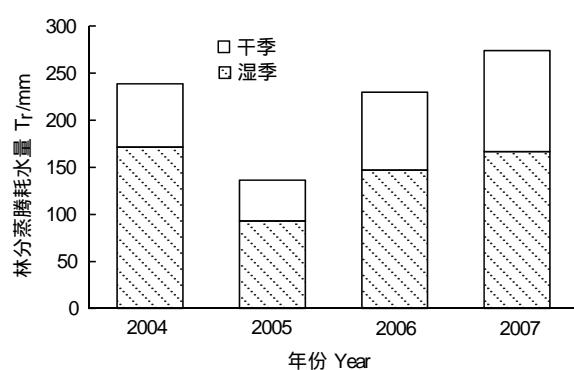
图11 各年干湿季马占相思林分蒸腾耗水量月均值($n=6$)Fig. 11 Means of monthly stand transpiration in wet and dry season ($n=6$)

图12 马占相思林分的年蒸腾耗水量

Fig. 12 Annual stand transpiration of *A. mangium*

对处于快速生长期的幼树或幼林蒸腾的早期研究表明马占相思属于蒸腾耗水较大的树种^[21-22]，Cienciala 等也报道了马来西亚9龄马占相思林具较高的蒸腾^[23]，由于以往研究马占相思蒸腾作用主要采用气孔气体交换法或离体称重法，测定时间较短^[1,3,22]，样本量有限，精确度不高，若将叶片水平的测定结果粗略地扩展到整株和林分水平必然产生明显的误差。而本研究采用树干液流测定技术长期、连续地监测整树蒸腾，降低或避免了尺度扩展产生的误差，在估算不同时间尺度的林分蒸腾耗水具有较高的精确度。然而，本研究结果显示，马占相思林的年蒸腾耗水量并不大，认为除去种植环境的差异，4a 实验期间的气象和环境因子数据与历史观测记录并无大的差异，应该从马占相思的生物学特性来分析原因：(1) 马占相思林为20—22林龄，已过生长高峰并呈现衰退，生理活动减弱；(2) 具有导水功能的边材厚度只有3 cm左右，导管也可能随着树龄的增加出现堵塞或断裂，水力导度下降，输水效率减弱；(3) 马占相思属浅根系树种，大部分根系分布在30 cm的上层土壤，根系的吸水效率有限，不能很好地满足高大树木的蒸腾需求。黄玉清研究岩溶地区适生

植物的树干液流发现,青冈栎(*Cyclobalanopsis glauca*)的林分蒸腾量高于本试验区的马占相思,认为主要原因是青冈栎具有发达的深根系,可利用岩层缝隙和下层的地下水源,保证植株旺盛蒸腾的耗水需求^[24]。结合前面的分析,认为马占相思林由于处于生长后期,群落叶面积指数和蒸腾已有明显的下降,反映出现阶段的林分已不能充分利用当地的辐射和水分资源,建议对马占相思林进行必要的林分改造,以提高造林后期的生产效益。

表4 林分月蒸腾量与环境因子的偏相关关系

Table 4 Partial correlation between monthly stand transpiration and environmental factors

变量 Variables	控制变量 Control variables	df	Tr	
			偏相关系数 Partial correlation	Sig. (2-tailed)
全年 Whole year	降雨量 Precipitation	45	0.210	0.156
	光合有效辐射 PAR	45	0.596 **	0.000
WS	降雨量 Precipitation	21	-0.060	0.787
	光合有效辐射 PAR	21	0.573 **	0.004
DS	降雨量 Precipitation	21	-0.056	0.799
	光合有效辐射 PAR	21	0.327	0.128

* * 表示在0.01水平上显著偏相关

3 结论

环境监测结果显示本研究试验区的干湿季分明,湿季降雨量占全年80%以上;光合有效辐射量的季节分布相对均匀,干季仍有充足的热量,如此的水热组合对马占相思的生长影响明显。

马占相思的树干液流密度日变化格型和最高峰值有明显的季节差异,湿季峰值明显大于干季,且湿季液流的日变化较剧烈,而干季较平缓,夜间液流活动微弱。偏相关分析结果显示 J_s 与PAR或VPD均显著正相关,湿季VPD对 J_s 日变化的影响略大于PAR,而干季PAR和VPD与 J_s 的相关性均大于湿季时,回归分析结果表明PAR和VPD的共同影响对 J_s 日变化的解释程度可达62.7%—82.7%,树形较大的树木 J_s 对PAR和VPD的响应最灵敏。树干液流密度对环境因子变化响应程度的季节差异,是不同季节天气特点和植物自身生理活动状态的差异造成的。

马占相思整树和林分蒸腾有明显的季节差异,湿季的蒸腾活动明显旺盛于干季的。偏相关分析表明降雨量对蒸腾活动没有显著的影响,而PAR是蒸腾耗水量最有影响的环境因子。本文研究的20—22林龄马占相思林平均年蒸腾耗水相对较低,已过生长高峰期、输水有效组织边材较薄和水力导度下降是主要原因,此外马占相思的浅根系使吸水效率受到限制,不能满足高大植株的蒸腾需求。

Reference:

- [1] Yu Z Y, Peng S L. Ecological Studies on Vegetation Rehabilitation of Tropical and Subtropical Ecosystems. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 1996.
- [2] Cai X A, Peng S L, Zhao P, Liu H, Rao X Q. Ecophysiological characteristics of three native species used in two forest reconstructing models. Chinese Journal of Ecology, 2005, 24(3): 243-250.
- [3] Zeng X P, Zhao P, Peng S L, Yu Z Y. The photosynthetic characteristics of five woody legume plants. Acta Phytocologica Sinica, 1997, 21(6): 539-544.
- [4] Lambers H, Chapin F S III, Pons T L. Scaling-up gas exchange and energy balance from the leaf to the canopy level // Plant Physiological Ecology. 2nd ed. シュプリンガー・ジャパン株式会社, 2008: 247-254.
- [5] Granier A. Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurements. Tree Physiology, 1987, 3(4): 309-319.
- [6] 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.
- [7] Zeng X P, Peng S L, Zhao P. Measurement of respiration amount in artificial *Acacia mangium* forest in a low subtropical hill forest region of Guangdong. Acta Phytocologica Sinica, 2000, 24(4): 420-424.
- [8] Zhao P, Zeng X P, Yu Z Y. Relationship between transpiration of shrubs under artificial *Acacia mangium* stand on hilly land of South China and its

- microclimate during wet season. Chinese Journal of Applied Ecology, 1997, 8(4): 365-371.
- [9] Zhao P, Rao X Q, Ma L, Cai X A, Zeng X P. Application of Granier's sap flow system in water use of *Acacia mangium* forest. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2005, 13(6): 457-468.
- [10] Ma L. Transpiration of *Acacia mangium* and Its Coupling to Environmental Factors at Different Temporal and Spatial Scales [D]. Beijing: Graduate University of Chinese Academy of Sciences, 2009.
- [11] Phillips N, Nagchaudhuri A, Oren R, et al. Time constant for water transport in loblolly pine trees estimated from time series of evaporative demand and stem sapflow. Trees-Structure and Function, 1997, 11(7): 412-419.
- [12] Lu P. A direct method for estimating the average sap flux density using a modified Granier measuring system. Australian Journal of Plant Physiology, 1997, 24(5): 701-705.
- [13] Clearwater M J, Meinzer F C, Andrade J L, Goldstein G, Holbrook N M. Potential errors in measurement of nonuniform sap flow using heat dissipation probes. Tree Physiology, 1999, 19(10): 681-687.
- [14] Lütschwager D, Remus R. Radial distribution of sap flux density in trunks of a mature beech stand. Annals of forest Science, 2007, 64(4): 431-438.
- [15] Campbell G S, Norman J M. An Introduction to Environmental Biophysics. 2nd ed. New York, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1998: 36-51.
- [16] Sun G C, Wei C C, Zhao P, Yu Z Y. Photosynthesis and transpiration in leaves of some woody legume plants in the dry season. Tropical and Subtropical Forest Ecosystem, 1990, (7): 60-68.
- [17] Zhao P, Zeng X P, Cai X A, Peng S L. Report on measurement of leaf area index of low subtropical forests by using digital plant canopy imager. Guihuaia, 2002, 22(6): 485-489.
- [18] Wang H, Zhao P, Cai X A, Wang Q, Ma L, Rao X Q, Zeng X P. Partitioning of night sap flow of *Acacia mangium* and its implication for estimating whole-tree transpiration. Journal of Plant Ecology, 2007, 31(5): 777-786.
- [19] Zhao P, Rao X Q, Ma L, Cai X A, Zeng X P. Responses of canopy stomatal conductance of *Acacia mangium* forest to environmental driving factors. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(7): 1149-1156.
- [20] Tang S Z, Liu X M, Xiong Y Z. Theory and Application of Water Transport in Soil-Plant-Atmosphere Continuum. Beijing: Water Conservancy and Electric Power Press, 1994: 51-84.
- [21] Deng R W, Feng Y M, Chen T X. Studies on the photosynthesis and transpiration in three species of *Acacia*. Acta Ecologica Sinica, 1989, 9(2): 128-131.
- [22] Zhao P, Yu Z Y, Zeng X P. Water loss by transpiration through leaves of three species of *Acacia* on hilly land in Heshan, Guangdong Province. Tropical and Subtropical Forest Ecosystem, 1990, (7): 12-16.
- [23] Cienciala E, Kučera J, Malmer A. Tree sap flow and stand transpiration of two *Acacia mangium* plantation in Sabah, Borneo. Journal of Hydrology, 2000, 236(1/2): 109-120.
- [24] Huang Y Q. Water Ecophysiology of *Cyclobalanopsis glauca* and Its Adaptation Mechanism to Karst Environment [D]. Beijing: Graduate University of Chinese Academy of Sciences, 2008.

参考文献:

- [1] 余作岳, 彭少麟. 热带亚热带退化生态系统植被恢复生态学研究. 广州: 广东科技出版社, 1996.
- [2] 蔡锡安, 彭少麟, 赵平, 刘惠, 饶兴权. 三种乡土树种在二种林分改造模式下的生理生态比较. 生态学杂志, 2005, 24(3): 243-250.
- [3] 曾小平, 赵平, 彭少麟, 余作岳. 5种木本豆科植物的光合特性研究. 植物生态学报, 1997, 21(6): 539-544.
- [7] 曾小平, 彭少麟, 赵平. 广东南亚热带马占相思林呼吸量的测定. 植物生态学报, 2000, 24(4): 420-424.
- [8] 赵平, 曾小平, 余作岳. 华南丘陵人工马占相思林下灌木湿润季节蒸腾与小气候的关系. 应用生态学报, 1997, 8(4): 365-371.
- [9] 赵平, 饶兴权, 马玲, 蔡锡安, 曾小平. Granier树干液流测定系统在马占相思的水分利用研究中的应用. 热带亚热带植物学报, 2005, 13(6): 457-468.
- [10] 马玲. 不同时空尺度马占相思蒸腾作用及其与环境因子耦合关系[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2009.
- [16] 孙谷畴, 魏传钊, 赵平, 余作岳. 几种木本豆科植物旱季时的光合作用和蒸腾作用. 热带亚热带森林生态系统研究, 1990, (7): 60-68.
- [17] 赵平, 曾小平, 蔡锡安, 彭少麟. 利用数字植物冠层图像分析仪测定南亚热带森林叶面积指数的初步报道. 广西植物, 2002, 22(6): 485-489.
- [18] 王华, 赵平, 蔡锡安, 王权, 马玲, 饶兴权, 曾小平. 马占相思夜间树干液流的分配及其对整树蒸腾估算的影响. 植物生态学报, 2007, 31(5): 777-786.
- [19] 赵平, 饶兴权, 马玲, 蔡锡安, 曾小平. 马占相思林冠层气孔导度对环境驱动因子的响应. 应用生态学报, 2006, 17(7): 1149-1156.
- [20] 康绍忠, 刘晓明, 熊运章. 土壤-植物-大气连续体水分传输理论及其应用. 北京: 水利电力出版社, 1994: 51-84.
- [21] 邓瑞文, 冯泳梅, 陈天杏. 三种相思 (*Acacia*) 的光合作用与蒸腾作用的研究. 生态学报, 1989, 9(2): 128-131.
- [22] 赵平, 余作岳, 曾小平. 广东鹤山丘陵地三种相思树生长早期蒸腾失水初探. 热带亚热带森林生态系统研究, 1990, (7): 12-16.
- [24] 黄玉清. 青冈栎适应岩溶环境的水分生理生态学机制[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2008.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31 ,No. 20 October ,2011(Semimonthly)
CONTENTS

Community structure and diversity of macrobenthos in the intertidal zones of Yangshan Port	WANG Baoqiang, XUE Junzeng, ZHUANG Hua, et al (5865)
Variation characteristics of macrobenthic communities structure in tianjin coastal region in summer	FENG Jianfeng, WANG Xiuming, MENG Weiqing, et al (5875)
Analysis of habitat connectivity of the Yunnan snub-nosed monkeys (<i>Rhinopithecus bieti</i>) using landscape genetics	XUE Yadong, LI Li, LI Diqiang, WU Gongsheng, et al (5886)
Study on the spatial pattern of wetland bird richness and hotspots in Sanjiang Plain	LIU Jiping, LÜ Xianguo (5894)
Dynamic analysis of coastal region cultivated land landscape ecological security and its driving factors in Jiangsu	WANG Qian, JIN Xiaobin, ZHOU Yinkang (5903)
Landscape pattern gradient on tree canopy in the central city of Guangzhou, China	ZHU Yaojun, WANG Cheng, JIA Baoquan, et al (5910)
Research on dynamic changes of landscape structure and land use eco-security:a case study of Jiansanjiang land reclamation area	LIN Jia, SONG Ge, SONG Siming (5918)
Shangri-La county ecological land use planning based on landscape security pattern	LI Hui, YI Na, YAO Wenjing, WANG Siqi, et al (5928)
Changes of paddy field landscape and its influence factors in a typical town of south Jiangsu Province	ZHOU Rui, HU Yuanman, SU Hailong, et al (5937)
Species composition and succession of swamp vegetation along grazing gradients in the Zoige Plateau, China	HAN Dayong, YANG Yongxing, YANG Yang, et al (5946)
Characteristics and influence factors of the swamp degradation under the stress of grazing in the Zoige Plateau	LI Ke, YANG Yongxing, YANG Yang, et al (5956)
Variation of organic pollution in the last twenty years in the Qinzhous bay and its potential ecological impacts	LAN Wenlu (5970)
Response of radial growth Chinese pine (<i>Pinus tabulaeformis</i>) to climate factors in Wanxian Mountain of He'nan Province	PENG Jianfeng, YANG Airong, TIAN Qinhua (5977)
Vegetation and species diversity change analysis in 50 years in Tashan Mountain, Shandong Province, China	GAO Yuan, CHEN Yufeng, DONG Heng, et al (5984)
Effect of urban heat island on plant growth and adaptability of leaf morphology constitute	WANG Yating, FAN Lianlian (5992)
Effects of shading on photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters in leaves of the endangered plant <i>Thuja sutchuenensis</i>	LIU Jianfeng, YANG Wenjuan, JIANG Zeping, et al (5999)
Effects of shading on growth and quality of triennial <i>Clematis manshurica</i> Rupr.	HAN Zhongming, ZHAO Shujie, LIU Cuijing, et al (6005)
Allelopathic effect of extracts from <i>Artemisia sacrorum</i> leaf and stem on four dominant plants of enclosed grassland on Yunwu Mountain	WANG Hui, XIE Yongsheng, YANG Yali, et al (6013)
Effects of soil base cation composition on plant distribution and diversity in coastal wetlands of Hangzhou Bay, East China	WU Tonggui, WU Ming, YU Mukui, et al (6022)
Species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi of <i>Stipa</i> L. in alpine grassland in northern Tibet in China	CAI Xiaobu, PENG Yuelin, YANG Minna, et al (6029)
Water consumption and annual variation of transpiration in mature <i>Acacia mangium</i> Plantation	ZHAO Ping, ZOU Lvliu, RAO Xingquan, et al (6038)
Foliar phenotypic plasticity of a warm-temperate shrub, <i>Vitex negundo</i> var. <i>heterophylla</i> , to different light environments in the field	DU Ning, ZHANG Xiuru, WANG Wei, et al (6049)

An case study on vegetation stability in sandy desertification land: determination and comparison of the resilience among communities after a short period of extremely aridity disturbanc	ZHANG Jiyi, ZHAO Halin (6060)
Response of soil quality indicators to comprehensive amelioration measures in coastal salt-affected land	SHAN Qihua, ZHANG Jianfeng, RUAN Weijian, et al (6072)
Fine-scale spatial associations of <i>Stipa krylovii</i> and <i>Stellera chamaejasme</i> population in alpine degraded grassland	ZHAO Chengzhang, REN Heng (6080)
The response of community-weighted mean plant functional traits to environmental gradients in Yanhe river catchment	GONG Shihui, WEN Zhongming, SHI Yu (6088)
Ozone stress increases lodging risk of rice cultivar Liangyoupeiji: a FACE study	WANG Yunxia, WANG Xiaoying, YANG Lianxin, et al (6098)
Effect of sugarcane//soybean intercropping and reduced nitrogen rates on sugarcane yield, plant and soil nitrogen	YANG Wenting, LI Zhixian, SHU Lei, et al (6108)
Effect of wetting duration on nitrogen fixation of biological soil crusts in Shapotou, Northern China	ZHANG Peng, LI Xinrong, HU Yigang, et al (6116)
Effects of zinc on the fruits' quality of two eggplant varieties	WANG Xiaojing, WANG Huimin, WANG Fei, et al (6125)
Rapid light-response curves of PS II chlorophyll fluorescence parameters in leaves of <i>Salix leucopithecia</i> subjected to cadmium-ion stress	QIAN Yongqiang, ZHOU Xiaoxing, HAN Lei, et al (6134)
Physiological Response of <i>Mirabilis jalapa</i> Linn. to Lead Stress by FTIR Spectroscopy	XUE Shengguo, ZHU Feng, YE Sheng, et al (6143)
Physiological response of <i>Zoysia japonica</i> to Cd ²⁺	LIU Junxiang, SUN Zhenyuan, JU Guansheng, et al (6149)
Biosorption of Cd ²⁺ using the fruiting bodies of two macrofungi	LI Weihuan, MENG Kai, LI Junfei, et al (6157)
Factors regulating recruitment of <i>Microcystis</i> from the sediments of the eutrophic Shanzai Reservoir	SU Yuping, LIN Hui, ZHONG Houzhang, et al (6167)
A new type of insect trap and its trapping effect on <i>Cyrtotrachelus buqueti</i>	YANG Yaojun, LIU Chao, WANG Shufang, et al (6174)
Photoperiod influences diapause induction of Oriental Fruit Moth(Lepidoptera: Tortricidae)	HE Chao, MENG Quanke, HUA Lei, et al (6180)
Influence of edge effects on arthropods communities in agroforestry ecological systems	WANG Yang, WANG Gang, DU Yingqi, et al (6186)
Dynamics of land use and its ecosystem services in China's megacities	CHENG Lin, LI Feng, DENG Huafeng (6194)
Comprehensive assessment of urban ecological risks: the case of Huaibei City	CHANG Hsiaofei, WANG Rusong, LI Zhengguo, et al (6204)
The dynamics of surface heat status of Tangshan City in 1993—2009	JIA Baoquan, QIU Erfa, CAI Chunju (6215)
A projection-pursuit based model for evaluating the resource-saving and environment-friendly society and its application to a case in Wuhan	WANG Qianqian, ZHOU Jingxuan, LI Xiangmei, et al (6224)
Research on ecological barrier to Chang-Zhu-Tan metropolitan area	XIA Benan, WANG Fusheng, HOU Fangzhou (6231)
Optimization of urban land structure based on ecological green equivalent: a case study in Ningguo City, China	ZHAO Dan, LI Feng, WANG Rusong (6242)
Dynamic ecological footprint simulation and prediction based on ARIMA Model: a case study of Gansu Province, China	ZHANG Bo, LIU Xiuli (6251)
Review and Monograph	
A prospect for study on isolated wetland	TIAN Xuezhi, LIU Jiping (6261)
Dinoflagellate heterotrophy	SUN Jun, GUO Shujin (6270)
Research progress of microbial agents in ecological engineering	WEN Ya, ZHAO Guozhu, ZHOU Chuanbin, et al (6287)
The progress of ecological civilization construction and its indicator system in China	BAI Yang, HUANG Yuchi, WANG Min, et al (6295)

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

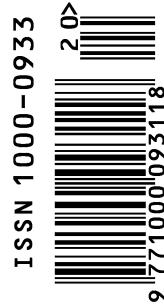
编辑部主任 孔红梅

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 20 期 (2011 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 20 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	京海工商广字第 8013 号	
许 可 证		



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