

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201405036

赵秀华, 赵平, 朱丽薇, 等. 不同树高对荷木液流密度、整树蒸腾量和时滞的效应[J]. 广西植物, 2015, 35(1): 53–60

Zhao XH, Zhao P, Zhu LW, et al. Effects of tree height on sap flow, whole-tree transpiration and time lag of *Schima superba*[J]. *Guihaia*, 2015, 35(1): 53–60

不同树高对荷木液流密度、整树蒸腾量和时滞的效应

赵秀华^{1,2}, 赵平^{1*}, 朱丽薇¹, 倪广艳¹, 牛俊峰¹

(1. 中国科学院华南植物园, 广州 510650; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 人工林面积不断增大, 这不仅能解决由于森林砍伐引起的一系列社会问题, 而且还对解决水土保持、二氧化碳减排等环境问题起到重要作用。了解人工林的生长特性和蒸腾效率, 对植被生长、恢复和管理有着重要意义。为此, 该研究连续监测了华南地区 12 棵不同高度荷木人工林的液流密度, 对样树以高度划分等级, 采取错位相关法分析不同高度等级胸高处液流与冠层蒸腾的时滞效应。结果表明: 气候环境相同时, 所有样树胸高处液流日格型相似; 荷木林蒸腾量优势木 > 中间木 > 劣势木, 所有树木湿季月蒸腾量大于干季月蒸腾量; 不同高度等级之间时滞差异显著, 劣势木时滞 50 min, 优势木和中间木时滞 20 min; 所有样树干湿季时滞差异不显著, 同一高度级两季节时滞差少于 10 min。这些说明: 在干季华南地区土壤水分仍然相对较充足, 植物输水阻力没有受到土壤水分降低和长距离水分传导的影响; 中间木和优势木时滞短, 水力阻力小, 蒸腾量大并占据着林段的有利资源; 劣势木长势低矮, 时滞长, 导管阻力大, 蒸腾量少, 光合作用需要的水热资源少, 所以回馈根部的营养物质少, 不均衡的营养循环使得林段分化愈明显, 劣势木将逐渐从林段中被淘汰。该文指出在荷木人工林生长后期, 对于长势低矮, 生命力极弱的劣势木应定期砍伐, 这样能增加优势木和中间木对光照及水分等有利资源的分配, 提高林分质量, 增加林地生产力。

关键词: 荷木人工林; 树高; 液流密度; 蒸腾; 时滞

中图分类号: Q944.3; Q945.79 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2015)01-0053-08

Effects of tree height on sap flow, whole-tree transpiration and time lag of *Schima superba*

ZHAO Xiu-Hua^{1,2}, ZHAO Ping^{1*}, ZHU Li-Wei¹, NI Guang-Yan¹, NIU Jun-Feng¹(1. *South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China*; 2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

Abstract: Plantation area has been increasing in recent years, which is not the only effective solution for the social consequences caused by forest deforestation but also plays an important role in solving many environmental problems, like erosion control and carbon dioxide reduction. It has great significance for plantation growth, restoration and management by understanding their transpiration efficiency and growth characteristic of plantation. In order to do that, sap flow of 12 trees were measured in a *Schima superba* plantation in South China. All sample trees were grouped according to height into three ranks: dominant tree, intermediate tree and suppressed tree. Cross-correlation analysis was performed to estimate time lag between sap flux density and PAR measurement being a substitute for canopy transpiration at this site. It showed that in those days with similar environmental conditions, daily courses of sap flow trends at breast height were similar among all the trees. No matter at daily or monthly scale, the sap flux density and whole-

收稿日期: 2014-08-15 修回日期: 2014-10-03

基金项目: 国家自然科学基金(41030638; 41275169); 广东省自然科学基金面上项目(S2012020010933)。

作者简介: 赵秀华(1988-), 女, 山东寿光市人, 博士研究生, 主要从事植物生态系统生理学研究, (E-mail) ainit99@163.com。

* 通讯作者: 赵平, 博士, 研究员, 主要从事植物生理生态学研究, (E-mail) zhaoping@scib.ac.cn。

tree transpiration of all measured trees were ranked as: dominant tree > intermediate tree > suppressed tree; and at the seasonal scale, the amount of transpiration was higher in wet season than that in dry season. The time lag showed significant variation across different ranges of height, in which time lag of dominant tree and intermediate tree was 20 min, and that of suppressed tree was 50 min. It did not show any significant variation in different seasons, and the differences of time lag in the same height rank were less than 10 min in both wet and dry seasons. This suggested that the soil moisture was relatively sufficient in the dry season in South China, and that the hydraulic resistance of sapwood was not altered by decline of soil moisture and the long distance of conductive pathway. In our site, the time lags of the taller dominant trees and intermediate trees were short with high amount of transpiration and little transport resistance because they took a favorable position in the stand. However, the time lag of the shorter suppressed trees was large with fewer amounts of transpiration due to great transport resistance. They not only could not acquire sufficient resources of water and light for photosynthesis, but also returned limited photosynthate to the root system belowground. The non-uniform nutrient cycle resulted in obvious differentiations within the *S. superba*, and consequently the suppressed trees would be eliminated from the stand. This paper pointed out that suppressed trees which grow smaller and weaker could be cut regularly in the later growth stage of *Schima superba*. It could increase the resource distribution of enough water and light for plant photosynthesis, and that improved the stand quality and increases stand productive capacity.

Key words: *Schima superba* plantation; tree height; sap flow; transpiration; time lag

森林是陆地生态系统的主体,对缓解全球气候变化和减少碳排放的作用至关重要。方精云等(2001)指出森林不断开发会使得土壤侵蚀,荒漠化面积扩大,生物多样性减少,土地退化以及灾难性洪水不断发生。据统计,全球天然林的面积正以每年1 300万 hm^2 的速度减少,而造林在一定程度上弥补了天然森林面积的损失,并发挥越来越重要的生态功能(方升佐等,2012);他们可部分的抵消化石燃料中 CO_2 的排放,增加土壤碳汇(Fang *et al.*, 2001; Steinbeiss *et al.*, 2008),减缓温室效应,有效地固持养分(Scherer-Lorenzen *et al.*, 2003)、减缓土地沙漠化的速度和增加物种多样性(Hooper *et al.*, 2005),还可以提供不可替代的生产木材。我国人工林占森林总面积的1/3,规模居世界之首。因此了解人工林在某地区的耗水规律,对于合理规划林木种植,维持集水区的水量平衡,实现可持续发展至关重要。目前,热消散探针法因为其可持续昼夜监测植物边材组织的水分变化,不受时间空间的干扰,价格便宜,是研究植物水分利用最普遍的测定技术(Granier, 1987; 赵平等, 2006b)。荷木(*Schima superba*)是华南地区典型的乡土防火树种,树形高大,叶子浓密,是常见的人工林树种,也是我国亚热带生态恢复的良好树种,了解它的水分利用特征对植被恢复及管理有重要意义。

由树干基部液流密度值扩展获得的整树总液流被认为最接近冠层蒸腾(Granier, 1987),并可由此

估算冠层气孔导度和碳吸收。然而,很多树种进行的树干基部液流反映的蒸腾往往滞后于冠层实际蒸腾(赵平等, 2006c; Phillips *et al.*, 1997; Kume, 2008),即时滞现象。时滞表示植物水分由茎干基部运输至冠层的时长,反映木质部水力传输阻力的大小。时滞越长,说明水分在木质部中传输阻力越大。Phillips *et al.*(1999)研究表明不考虑冠层蒸腾和茎干液流之间的时滞,会造成冠层蒸腾30%的误差,所以很多学者认为有必要澄清冠层蒸腾与茎干液流之间的时滞。对不同实验地的很多树种实验显示,随着树高增加和土壤干旱加剧,时滞会变长(Schulze *et al.*, 1985; Goldstein *et al.*, 1998)。那么在华南亚热带地区,荷木人工林是否也遵循这样的现象:树越高,季节越干旱时滞都会变长,是否体内受到水力阻力的限制?这是本研究要解决的科学问题。

1 材料与方 法

1.1 样地介绍

实验样地位于广州市中国科学院华南植物园小青山生态观测场的荷木人工林($23^{\circ}10' \text{N}$, $113^{\circ}21' \text{E}$),该林种植于20世纪中期,林下植被稀疏,样地面积约2 880 m^2 ,海拔41 m。该地处于亚热带,气候属海洋性气候,高温多雨,日照强烈,年均太阳辐射4 367.2~4 597.3 $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$;年均温21.8 $^{\circ}\text{C}$,最

高温 7 月,均温 32 ℃,最低温 1 月,均温 13 ℃;年降水量 1 600~1 800 mm,但分布不均,干湿季明显,10 月至次年 3 月为旱季,4—9 月雨季,降水量占全年的 80% 以上。雨热同期的特点使得该地区植被具有较高的生产力。土壤为中壤土,表土有机质含量 1.52%~2.82%。林分生长良好,冠层郁闭。样地具体介绍见梅婷婷等(2010)和周翠鸣等(2012)。

1.2 方法

1.2.1 荷木林树干液流密度测定和蒸腾量计算 分别于 2009 年 8 月(湿季)和 2009 年 11 月(干季)应用热消散探针连续测量野外荷木人工林整月的液流密度。样地内选取大小高矮胸径不同的 12 棵荷木作为实验对象。每棵样树北侧胸高处用 2.5 cm 钻打 2 cm 深的钻孔,安装 2 cm 长的 Granier 探针一对。上探针持续供应 120 mA 的电流,下探针作为对照不加热,与探针周围木质部组织温度相同。两个探针温差通过信号线输出到数据采集仪(Delta-T data logger,Delta-T,UK),每 30 s 测读 1 次,每 10 min 平均 1 次并自动储存。两探针之间的温度差与树干液流密度有如下的关系:

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

式中, J_s 为瞬时液流密度($\text{g H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$),即单位时间通过单位边材面积的液流量; ΔT_m 是上下探针昼夜最大温差; ΔT 为瞬时温差,具体该方法使用参见其他学者描述(Grainer,1987;周翠鸣等,2011)。

每株样树所测的边材面积乘以相应的液流密度,然后再乘以 600 得到每 10 min 单株的蒸腾量,全天逐个 10 min 相加得到整株的日蒸腾量 $E_T = \sum (J_s \cdot A_s \cdot t)$ 。单株日蒸腾量累加得到月总蒸腾量,按照已经划分好的高度梯度(图 1),计算每个高度梯度内所有样树的月总蒸腾量。

1.2.2 环境因子监测 样地内建有高 18 m 的观测塔,塔顶上安装 LI-COR 光合有效辐射传感器(PAR, $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、RHT2v 空气温度传感器($T_a, \text{℃}; RH, \%$),并在土壤深度为 30 cm 处埋入 SM200-05 型土壤水分传感器($\theta, \text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$),以上传感器均与数据采集器相连,观测频度与树干液流相同。空气水汽压亏缺(D, kPa)由以下公式求出:

$$D = a \times \exp \left[\frac{bT_a}{T_a + c} \right] \times (1 - RH)$$

式中, RH 为空气湿度; T_a 是摄氏温度;常数 a 、

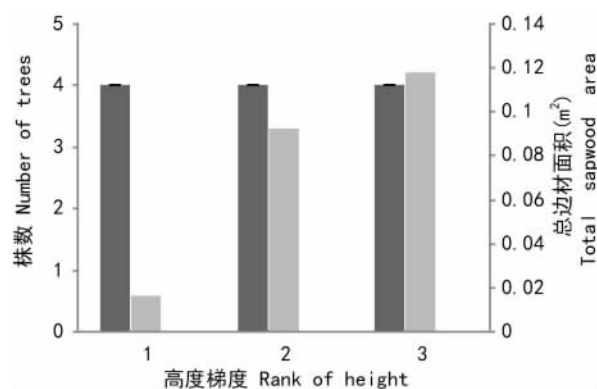


图 1 不同等级高度样树分布频率与对应的总边材面积
Fig. 1 Individual number of tree and sum of sapwood area at different height ranks

b 和 c 分别为 1 611 kPa、171 502 和 240 197 ℃ (Campbell *et al.*,1998)。

1.2.3 边材面积测定与树高等级划分和树形特征 边材是植物传输水分的部位,准确测量边材厚度计算边材面积至关重要。我们在样地以外附近另选取荷木植株,用生长锥钻取木栓,测量边材厚度,计算边材面积,详细方法参见文献(赵平等,2005)。将林地内 12 棵样树划分成 3 个高度等级,等级 1~3 分别是 8~10 m(劣势木),11~13 m(中间木)和 14~16 m(优势木)。样地样树树形特征见表 1,不同高度梯度样树株数及总边材面积见图 1。其中优势木和中间木总边材面积高于劣势木 5~6 倍。

表 1 荷木人工林样树树形特征

Table 1 Morphological characteristics of sample trees

样树编号 Tree number	树高 Tree height (m)	冠幅 Canopy size (m×m)	胸径 DBH (cm)	边材面积 Sapwood area (m ²)
1	15.3	14.72	0.151	0.014 946
3	12.1	10.35	0.133	0.011 562
4	15.3	36.96	0.22	0.031 997
5	15.5	36.57	0.224	0.033 184
7	12.9	27.5	0.175	0.020 141
8	9.7	13.26	0.088	0.005 015
9	9.5	5.98	0.088	0.005 015
10	16.9	43.4	0.24	0.038 154
11	11.2	12.47	0.135	0.011 916
12	8	7.917	0.065	0.002 717
14	13.1	13.64	0.144	0.013 578
15	9.7	4.32	0.073	0.003 436

1.2.4 时滞的计算方法 应用错位对比法计算时滞。由于叶片气孔对光辐射最为敏感,一旦有光照出现,植物叶片即可进行蒸腾作用,光照时间几乎与冠层

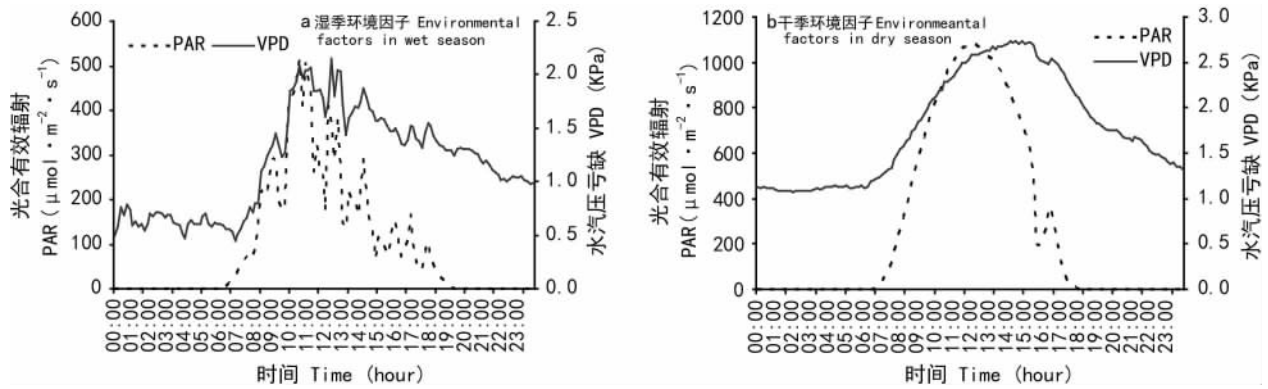


图 2 干湿季环境因子日变化特征 (2009 年 8 月 8 日和 2009 年 11 月 2 日)
Fig. 2 Daily variation of environmental factors (August 8, 2009 and November 2, 2009)

蒸腾时间同步(赵平等, 2006b), 我们以此分析胸高处液流与冠层蒸腾之间的时滞变化。按观测时间顺序, 建立每种样树的平均液流速率与对应的总辐射数据列, 将液流速率与总辐射逐次按 10 min 进行错位移动, 分析错位后数据的相关关系, 当相关系数达最大值时, 所对应的错位时间即为液流对冠层蒸腾(总辐射)的实际时滞(王华等, 2008)。

2 结果与分析

本文从四个方面分析不同高度荷木人工林水分利用效应: (1) 不同高度荷木液流密度比较; (2) 不同树高干湿季蒸腾量差异; (3) 干湿季树木时滞差异; (4) 树高与干湿季树木时滞的关系。

2.1 荷木液流的日变化特征

从图 2 发现干季的光合有效辐射和水汽压亏缺都较湿季高, 中午 12:00 时的太阳辐射最高达 $1100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 热能供应多降雨量少, 故空气较干燥, 15:30 水汽压亏缺时达到最高的 2.8 kPa。湿季降雨量多, 云量大, 一天中太阳辐射和水汽压亏缺波动较大, 中午 11:00 时的太阳辐射达最大值 $500 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 水汽压亏缺在 12:00 时到达峰值 2.3 kPa。

液流密度日变化与环境因子紧密相随, 液流格型随着环境因子尤其是太阳辐射而变, 所有样树液流格型都呈单峰型。湿季液流启动早、降落晚, 干季反之, 湿季液流活动时间长。优势木和中间木液流启动早与劣势木约 40 min; 上升快并且最先到达峰值, 而小树启动晚、上升缓慢, 到达峰值后立即开始下降。即使下午时段的环境因子有剧烈的上下起伏

变动, 最小树木的液流变动幅度却不是很大。

不同高度荷木平均液流密度日变化差异很大(图 3), 在液流活动的时间内, 液流密度都是优势木 > 中间木 > 劣势木。因为树木形态(胸径大小)是影响液流活动的主要因素(Jiménez *et al.*, 1996)。另一个是叶片能最快速的响应环境因子促使蒸腾开始, 蒸腾时间长。树体越高, 对光的截留越早也越多, 促使气孔快速蒸腾(O'Brien *et al.*, 2004)。大部分低矮树木的冠层被高大树木的树冠遮阴, 只能透过林窗获取少量光照。光照不足, 环境温度偏低, 使得蒸腾缓慢进行。高大树木在前半夜的补水阶段也表现出较高的液流密度, 说明高大树木白天蒸腾耗水量大, 晚上即需要吸收较多的水分来补充体内损失的水分(Goldstein *et al.*, 1998)。

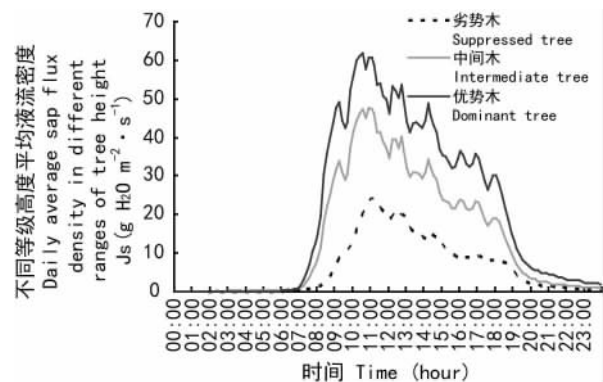


图 3 三个等级高度日平均液流密度(2009 年 8 月 8 日)
Fig. 3 Daily average sap flux density in three ranks of tree height (August 8, 2009)

2.2 不同高度荷木林干湿季蒸腾量

图 4 示 8 月份和 11 月份整月蒸腾量, 无论哪个树木高度梯度, 湿季(8 月份)的总蒸腾量都明显高

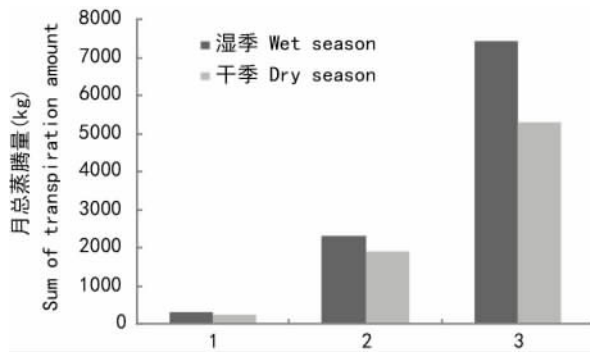


图 4 三个不同等级高度荷木干湿季的月蒸腾量
1. 劣势木; 2. 中间木; 3. 优势木。

Fig. 4 Monthly transpiration in three ranks on *Schima superba* in wet and dry seasons 1. Suppressed tree; 2. Intermediate tree; 3. Dominant tree.

于干季(11 月份),前者比后者大 1.2 倍之多。不管干季还是湿季,随着植株增高,总蒸腾量越大,优势木的总蒸腾量最大。树木形态是影响总液流量个体差异的主要因素,所有样树总蒸腾量与树高呈幂函数关系(赵平等, 2006b)。湿季 $R^2 = 0.803$, Sig. =

0.00, $Y = 0.0493X^{6.3154}$; 干季 $R^2 = 0.797$, Sig. = 0.00, $Y = 0.0507X^{6.1978}$ 。湿季液流密度大,液流活动时间较长,再加上湿季雨水充沛植物蒸腾所需要的水分不受限制,光照适宜情况下蒸腾速率高,故总蒸腾量要大。而干季虽然太阳辐射强,水汽压亏缺大,潜在蒸腾量大,但是在环境空气水分亏缺严重条件下叶片的气孔导度和树干水力导度逐步降低(Teskey *et al.*, 1996),以适度减少叶片的过量蒸腾,同时根系吸收能力降低(申李华等,2007),所以,干季整体蒸腾量偏低。

2.3 不同树高的时滞差异

从表 2 和图 6 看出,不同高度梯度荷木平均时滞(相关系数最高点)都在 10~50 min 之间。湿季劣势木胸高处液流活动比冠层蒸腾滞后 40 min,中间木和优势木滞后约 10 min。干季劣势木滞后 50 min,中间木和优势木滞后约 20 min。不同高度梯度组间时滞差异显著(Sig. = 0.001 < 0.05),其中劣势木与中间木和优势木有极显著差异,中间木与优势木之间没有差异。

表 2 三个等级高度之间的多重比较

Table 2 LSD multiple comparisons in three ranks of tree height

(I) 组 (I)group	(J) 组 (J)group	均值差值 (I-J)Mean difference(I-J)	标准 误差 Std. error	Sig.	95%置信区间 95% Confidence interval	
					下限 Lower bound	上限 Upper bound
LSD	2	48.75 *	11.134	0.000	25.36	72.14
	3	36.25 *	11.134	0.004	12.86	59.64
	1	-48.75 *	11.134	0.000	-72.14	-25.36
	3	-12.50	11.134	0.276	-35.89	10.89
	1	-36.25 *	11.134	0.004	-59.64	-12.86
	2	12.50	11.134	.0276	-10.89	35.89

注:组 1. 劣势木; 组 2. 中间木; 组 3. 优势木。
Note: Group 1. suppressed tree; Group 2. intermediate tree; Group 3. dominant tree.

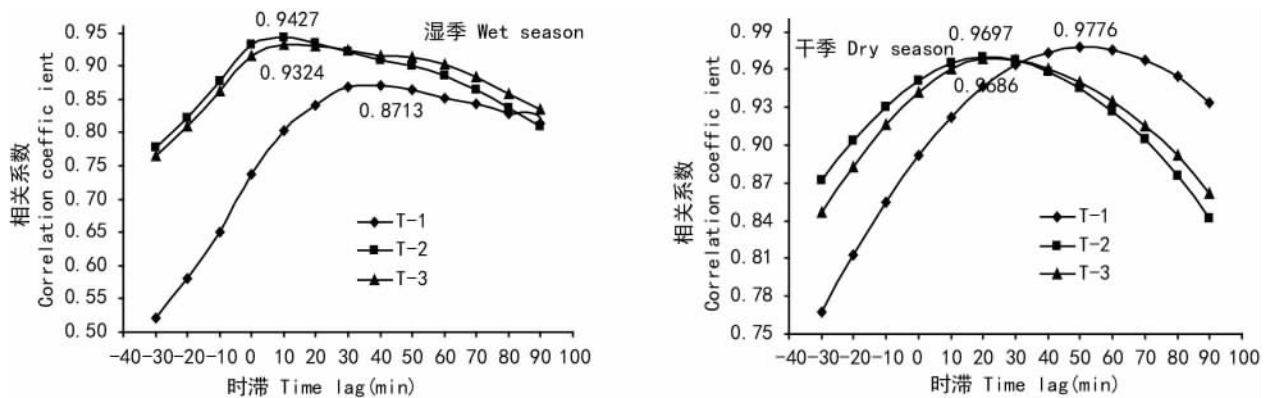


图 5 荷木三个等级高度树干液流对冠层蒸腾的时滞 T-1. 劣势木; T-2. 中间木; T-3. 优势木。

Fig. 5 Time lag between sap flow and canopy transpiration of *Schima superba* of different height ranks T-1. Suppressed tree; T-2. Intermediate tree; T-3. Dominant tree.

2.4 干湿季树木的时滞差异

从图 6 可以看出,干季和湿季与时滞之间拟合关系不显著,干季 $R^2 = 0.3211$,湿季 $R^2 = 0.4956$ 。说明不论在干季还是湿季,树木的时滞都不随着树木的增高而加大。反之,从图中却能清晰的看出,无论干湿季,最矮的树木时滞却相对较高。

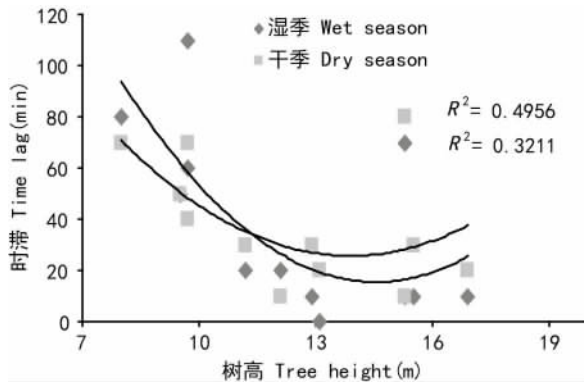


图 6 干湿季树木时滞关系

Fig. 6 Relationship between tree height and time lag in wet and dry seasons

2.5 干湿季树木时滞与树高的关系

无论在干季还是湿季,时滞没有随树高的增加而变长,所有样树树高与时滞之间相关性不显著($\alpha = 0.05$,湿季 $R^2 = 0.4956$,干季 $R^2 = 0.3211$),如图 6 所示。方差分析发现不同季节时滞差异不显著($\text{Sig.} = 0.928 > 0.05$),不同高度梯度组间差异显著($\text{Sig.} = 0.001 < 0.05$)。劣势木与中间木和优势木有极显著差异,中间木与优势木之间没有差异性(表 2,表 3),从图 5 中也能看出,中间木和优势木时滞差异很小。

3 讨论与结论

不同高度梯度的荷木在环境条件相似的情况下,所有样树胸高处树干液流的变化趋势相似。液流密度随着光合有效辐射和水汽压亏缺的增加而增加,呈单峰型变化。优势木和中间木启动稍早于劣势木,而劣势木的液流降落时间要早于前两者。蒸腾量优势木 > 中间木 > 劣势木,湿季蒸腾量是干季的 1.2 倍多。液流密度值的差异和液流活动时长是造成不同高度梯度蒸腾量显著差异的原因。胸高处的液流密度与冠层蒸腾之间时滞差表明,时滞越长,水力传输阻力越大。本研究表明,所有样树时滞

表 3 干湿季和不同等级高度与时滞的多因素方差分析
Table 3 Multivariate statistical analysis between time lag and height ranks in different seasons

源 Source	III 型平方和 Type III Sum of squares	df	均方 Mean square	F	Sig.
校正模型 Corrected model	11 270.833a	5	2 254.167	4.546	0.007
截距 Intercept	34 504.167	1	34 504.167	69.588	0.000
组 Group	10 258.333	2	5 129.167	10.345	0.001
季节 Season	4.167	1	4.167	0.008	0.928
组 * 季节 Group * Season	1 008.333	2	504.167	1.017	0.382
误差 Error	8 925.000	18	495.833		
总计 total	54 700.000	24			
校正的总计 Corrected Total	20 195.833	23			

长短与树高没有相关性,时滞季节性差异不明显。不同等级梯度间的分析显示,优势木、中间木和劣势木之间的时滞差异显著,劣势木的时滞比其他两者长。

根据 Ryan 的水力限制假说,随着树木的增高,水分传输路径、重力势和摩擦势等均增大,水力阻力增大(即水力导度下降)主要表现为胸高处液流和冠层顶部液流之间的时滞变长(李吉跃等,2000)。但是,本文发现干湿季优势木和中间木的时滞都不超过 20 min,劣势木湿干湿季时滞不超过 50 min,并没有发现大树的时滞长于小树。赵平等(2006a)、王华等(2008),分析华南地区马占相思林的时滞时发现,干湿季时滞并未随着树木的增高而显著增加,不同高度马占相思时滞差异不明显,大树的时滞并没有比小树长,都同本文结论相似。

相同树种干季时滞长于湿季。本研究中虽然干湿季时滞间差异不明显,但根据计算,干季的时滞确实要比湿季长。由此推断,决定植物基部到冠层液流时滞长短的可能性原因:(1)通过根系向冠层运输水分的木质部储水结构及其水力导度的差异性,如木质部导管的构造,导管栓塞程度等。针叶树等裸子植物的输水组织为管胞,水分传输阻力大,导水效率低,内部液流的流动缓慢;遭遇干旱胁迫时导管空穴化的形成,老龄化树木的导管栓塞等都会影响水分的正常传输使水力阻力变大;(2)土壤的干旱情况决定根系吸收水分的难易程度以及所能吸收的水容量,土壤干旱时保水能力强,吸水阻力大,根系吸水困难。此时土壤-根系之间的阻力是整个水力输导系统最主要的限制因素,干旱进一步加剧导管空穴

化产生,导管水柱断裂进一步加剧了根系吸水的压力。本实验中也发现干季时滞稍长于湿季的现象,这与 Kume *et al.*(2008)以及其他学者(Berbigier *et al.*, 1996; Caspari *et al.*, 1993; Kumagai, 2001; Wullschlegel *et al.*, 1998; Kume *et al.*, 2008)的研究结果相似:当土壤干旱胁迫更加严重,水力阻力变大,时滞可能会更明显;(3)对所有树种,树的大小比种类特性在决定内部储水量方面更重要(Nobel, 1983)。在温带,针叶树种边材的生长和边材中导管工作的季节持续时间比在热带物种更受限制,相较于热带植物,相同尺寸的温带树木的边材面积和体积都比较小,内部储存水相应减少。很多研究都表明,储存水可部分补偿由于树高引起的水力阻力(Goldstein *et al.*, 1998),对蒸腾都有一定的贡献率,在干旱时对蒸腾贡献率明显大于湿季。时滞在受限的水分供应条件下更明显(Berbigier *et al.*, 1996; Caspari *et al.*, 1993)。因此,干季时滞变长是土壤干旱、根系吸水、导管水力导度以及树木储水力等多方面作用造成的。

本文研究的荷木季节之间的时滞差距不明显,这一现象在其他文献中也有类似的报道,如 Kume *et al.*(2008)研究发现,婆罗洲热带雨林高度为 50 m 的树木茎干液流与冠层蒸腾之间时滞小于 20 min,说明在婆罗洲热带雨林土壤水分充足,根系吸水充足。周翠鸣等(2011)和梅婷婷等(2012)发现与本研究相同的荷木人工林大部分样树的水力导度在 11 月份和 8 月份之间没有显著差异,说明水力导度受土壤水势影响不明显。根据 Tyree *et al.*(1991)的水力运输理论:树干是具有高传导性的,在水源供应良好,没有严重的空气栓塞的情况下,轴向运输路径长度的增加对总的水力阻力的影响较小;而细根作为最大的水分运输阻力,在水源供应充足的前提下,土壤-根际界面的水力阻力也是相对较小的。因此相同树木同一高度梯度的荷木林干湿季时滞相同说明土壤-细根之间的阻力没有很大的变化,树干的水力导度变化不明显。无论在湿季还是在干旱,时滞的微小差异、茎干液流与冠层蒸腾的一致性说明了华南地区荷木的水分利用没有明显受到土壤水分亏缺的限制,树木的增高并没有因为水分长距离运输而引起木质部导管水力阻力的大幅度增加。

根据本文分析可以看出,处于相同生长环境下的荷木人工林,优势木和中间木树大根深,根系吸水能力强且占据着林段的空间和资源的有利地位

(Schafer *et al.*, 2000),木质部导管水力阻力小,蒸腾旺盛,生命力强。而劣势木长势矮小,被遮光时间长,蒸腾所需要的光热资源短缺,蒸腾量少,加上基部液流到冠层之间的水力阻力较大,根系不发达,长期如此导致植物养分蓄积量少,回馈根系的光合产物自然较少,势必导致林分内个体分化越来越明显,劣势木势会更加退化,并最终从群落中被淘汰。

参考文献:

- Berbigier P, Bonnefond JM, Loustau D, *et al.* 1996. Transpiration of a 64-year old *maritime pine* stand in Portugal[J]. *Oecologia*, **107**:43-52
- Campbell GS, Norman JM, 1998. An Introduction to Environmental Biophysics[M]. Springer-Verlag, New York, Berlin, Heidelberg:36-51
- Caspari HW, Green SR, Edwards WRN. 1993. Transpiration of well-watered and water-stressed Asian *pear trees* as determined by lysimetry, heat-pulse, and estimated by a Penman-Monteith model[J]. *Agric For Meteorol*, **67**:13-27
- Fang JY, Chen AP, Peng CH, *et al.* 2001. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998[J]. *Science*, **292**:2 320-2 322
- Granier A. 1987. Evaluation of transpiration in a *Douglas-fir* stand by means of sap flow measurements [J]. *Tree Physiol*, **3**:309-320
- Fang ZS(方升佐), Tian Y(田野). 2012. The relationship between biodiversity and productivity in the artificial plantation ecosystem (人工林生态系统生物多样性与生产力的关系)[J]. *J Nanjign For Univ*(南京林业大学学报), **36**(4):1-6
- Goldstein G, Andrade JL, Mejinzer FC, *et al.* 1998. Stem water storage and diurnal patterns of water use in tropical forest canopy trees[J]. *Plant Cell Environ*, **21**:397-406
- Hooper DU, Chapin FS, Ewel JJ, *et al.* 2005. Effects od biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge[J]. *Ecol Monogr*, **75**(1):3-35
- Jiménez MS, Cermák J, Kucera J, *et al.* 1996. Laurel forests in Tenerife Canary Islands the annual course of sap flow in *Laurus* trees and stand[J]. *J Hydrol*, **183**:307-321
- Kumagai T. 2001. Modeling water transportation and storage in sapwood-model evelopment and validation[J]. *Agric For Meteorol*, **109**:105-115
- Kume T, Komatsu H, Kuraji K, *et al.* 2008. Less than 20-min time lags between transpiration and stem sap flow in emergent trees in a Bornean tropical rainforest[J]. *Agric For Meteorol*, **148**: 1 181-1 189
- Li JY(李吉跃), Zhai HB(翟洪波). 2000. Hydraulic architecture and drought resistance of woody plants(木本植物水力结构与抗旱性)[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **11**(2):301-305
- Liu XJ(刘晓静), Zhao P(赵平), Wang Q(王权), *et al.* 2009. Effects of tree height on whole-tree water use of *Acacia mangium* (树高对马占相思整树水分利用的效应)[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **20**(1):13-19
- Mei TT(梅婷婷), Zhao P(赵平), Wang Q(王权), *et al.* 2010. Effects of tree diameter at breast height and soil moisture on transpiration of *Schima superba* based on sap flow pattern and normalization(基于液流格型特征值和标准化方法分析胸径和

- 土壤水分对荷木液流的影响[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **21**(10):2 457—2 464
- Mei TT(梅婷婷), Ni GY(倪广艳), Wang Q(王权), et al. 2012. Effect of stem diameter at breast height on skewness of sap flow pattern and time lag(树木胸径大小对树干液流变化格局的偏度和时滞效应)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **32**(22):7 018—7 026
- Nobel PS, Jordan PW. 1983. Transpiration stream of desert species resistances and capacitances for a C³, a C⁴, and a CAM plant[J]. *J Exp Bot*, **34**(10):1 379—1 391
- O'Brien JJ, Oberbauer SF, Clark DB. 2004. Whole tree xylem sap flow responses to multiple environmental variables in a wet tropical forest[J]. *Plant Cell Environ*, **27**:551—567
- Phillips N, Nagchaudhuri A, Oren R, et al. 1997. Time constant for water transport in *loblolly pine* trees estimated from time series of evaporative demand and stem sapflow[J]. *Trees*, **11**:412—419
- Phillips N, Oren R, Zimmermann R, et al. 1999. Temporal patterns of water flux in trees and lianas in a Panamanian moist forest[J]. *Trees*, **14**:116—123
- Schäfer KVR, Oren RD, Tenhunen J. 2000. The effect of tree height on crown level stomatal conductance[J]. *Plant Cell Environ*, **23**:365—375
- Scherer-Lorenzen M, Palmberg C, Prinz A, et al. 2003. The role of plant diversity and composition for nitrate leaching in grasslands[J]. *Ecology*, **84**(6):1 539—1 552
- Schulze ED, Cermák J, Matyssek R, et al. 1985. Canopy transpiration and water fluxes in the xylem of the trunk of *Larix* and *Picea* trees—a comparison of xylem flow, porometer and cuvette measurements[J]. *Oecologia*, **66**:475—483
- Shen LH(申李华), Zhang ZQ(张志强), Liu CF(刘晨峰), et al. 2007. Sap flow of *P. × euramericana* cv plantation trees in sandy soil(沙地杨树人工林树干液流特征)[J]. *Sci Soil Water Cons*(中国水土保持科学), **5**(1):88—92
- Steinbeiss S, Beler H, Engels C, et al. 2008. Plant diversity positively affects short-term soil carbon storage in experimental grasslands[J]. *Glob Chang Biol*, **14**(12):2 937—2 949
- Teskey RO, Sheriff DW. 1996. Water use by *Pinus radiata* trees in a plantation[J]. *Tree Physiol*, **16**:273—279
- Tyree MT, Ewers FW. 1991. The hydraulic architecture of trees and other woody plants[J]. *New Phytol*, **119**:345—360
- Wang H(王华), Zhao P(赵平), Cai XA(蔡锡安), et al. 2008. Time lag effect between stem sap flow and photosynthetically active radiation, vapor pressure deficit of *Acacia mangium*(马占相思树干液流与光合有效辐射和水汽压亏缺间的时滞效应)[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **19**(2):225—230
- Wullschlegel SD, Meinzer FC, Vertessy RA. 1998. A review of whole-plant water use studies in trees[J]. *Tree Physiol*, **18**:499—512
- Zhao P(赵平), Rao XQ(饶兴权), Ma L(马玲), et al. 2005. Application of Granier's sap flow system in water use of *Acacia mangium* forest (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)[J]. *J Trop Subtrop Bot*(热带亚热带植物学报), **13**(6):457—468
- Zhao P(赵平), Rao XQ(饶兴权), Ma L(马玲), et al. 2006a. Responses of canopy stomatal conductance of *Acacia mangium* forest to environmental driving factors (马占相思林冠层气孔导度对环境驱动因子的响应)[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **17**(7):1 149—1 156
- Zhao P(赵平), Rao XQ(饶兴权), Ma L(马玲), et al. 2006b. The variations of sap flux density and whole-tree transpiration across individuals of *Acacia mangium*(马占相思 *Acaci mangium* 树干液流密度和整树蒸腾的个体差异)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **26**(12):4 050—4 058
- Zhao P(赵平), Rao XQ(饶兴权), Ma L(马玲), et al. 2006c. Sap flow-scaled stand transpiration and canopy stomatal conductance in an *Acacia Mangium* forest(基于树干液流测定值进行尺度扩展的马占相思林段蒸腾和冠层气孔导度)[J]. *J Plant Ecol*(植物生态学报), **30**(4):655—665
- Zhou CM(周翠鸣), Zhao P(赵平), Ni GY(倪广艳), et al. 2011. Whole-tree water use characteristics of *Schima superba* in wet and dry seasons based on sap flow and soil leaf water potential gradient analysis(基于树干液流和土壤-叶片水势梯度分析荷木干湿季整树水分利用特征)[J]. *Chin J Ecol*(生态学杂志), **30**(12):2 659—66
- Zhou CM(周翠鸣), Zhao P(赵平), Ni GY(倪广艳), et al. 2012. Water recharge through nighttime stem sap flow of *Schima superba* in Guangzhou region of Guangdong Province, South China; affecting factors and contribution to transpiration(广州地区荷木夜间树干液流补水的影响因子及其对蒸腾的贡献)[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **23**(7):1—8

(上接第 14 页 Continue from page 14)

- hui Agric Sci*(安徽农业科学), **38**(20):10 580—10 581
- Mondal TK. 2002. Assessment of genetic diversity of tea (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) by inter-simple sequence repeat polymerase chain reactinn[J]. *Euphytica*, **128**:307—315
- Nagaraju J, Kathirvel M, Subbaiah EV, et al. 2002. FISSR-PCR: A simple and sensitive assay for high throughput genotyping and genetic mapping[J]. *Mol & Cell Prob*, **16**:67—72
- Rohlf FJ. 1994. NTSYS2PC Version 2. 10. New York : Applied Biostatistics Inc
- Shi YT(石颜通), Zhou B(周波), Zhang XX(张秀新), et al. 2012. 2013. Assessment of Genetic Diversity and Relationship of 89 Tree Peony Cultivars from Different Provenances(牡丹 89 个不同种源品种遗传多样性和亲缘关系研究)[J]. *Acta Horti Sin*(园艺学报), **39**(12):2 499—2 506
- Zhang Q(张强), Wang HJ(王慧娟), Li YM(李艳敏), et al. 2008. The phylogenetic relationships of eight *Acer* species based on evidences from ITS sequences(几种槭属植物亲缘关系的 ITS 序列分析)[J]. *Chin Agric Sci Bull*(中国农学通报), **24**(10):409—412
- Zhao B(赵冰), Zhang QX(张启翔). 2008. Genetic diversity of germplasm resources of *Chimonanthus praeco*x based on ISSR markers(蜡梅种质资源遗传多样性的 ISSR 分析)[J]. *Bull Bot Res*(植物研究), **28**(3):315—320
- Zietkiewicz E, Rafalski A, Labuda D. 2012. Genome fingerprinting by simple sequence repeat (SSR) anchored polymerase chain reaction amplification[J]. *Genomics*, **20**(2):176—183