

不同光照条件下观光木茎干液流密度 季节变化及其相关因素分析

汪滢^{1a,1c}, 王健^{1b,1c}, 郑怀舟^{1b,1c}, 王振兴^{1a,1c}, 郑群瑞², 黄儒珠^{1a,①}

(1. 福建师范大学: a. 生命科学学院, b. 地理科学学院, c. 湿润亚热带生态地理过程省部共建教育部重点实验室, 福建 福州 350108;
2. 福建万木林自然保护区, 福建 建瓯 353100)

摘要: 对 100%、40% 和 8% 自然光照条件下一年四季观光木 (*Tsoongiodendron odorum* Chun) 幼树茎干液流密度 (SFD) 以及叶片蒸腾速率 (Tr) 和气孔导度 (Gs) 的日变化规律进行了比较, 并对 SFD 与 Tr、Gs 及部分环境因子的相关性进行了分析。结果表明: 一年四季观光木的 SFD、Tr 和 Gs 均随光照的减弱而降低。在不同光照条件下, 一年四季观光木的 SFD 均呈昼高夜低的日变化规律, 且 SFD 日均值和日峰值均在 100% 自然光照条件下最高、在 8% 自然光照条件下最低。在 100% 和 8% 自然光照条件下 SFD 的日变化趋势基本一致, 多数情况下在液流启动时即达到峰值; 而在 40% 自然光照条件下其日变化曲线则为“单峰型”, 峰值出现在 9:15 至 13:30。除春季外, 其他季节在不同光照条件下 SFD 日均值和日峰值总体上均有显著 ($P < 0.05$) 或极显著 ($P < 0.01$) 差异。夏季在 100% 自然光照条件下 Tr 的日变化曲线呈“双峰型”, 其他季节在不同光照条件下 Tr 的日变化曲线均呈“单峰型”。在 40% 和 8% 自然光照条件下不同季节 Gs 的日变化曲线也呈“单峰型”, 且其峰值出现时间与 Tr 基本相同; 而在 100% 自然光照条件下, 冬季 Gs 的日变化曲线也为“单峰型”, 但在其他季节则呈“双峰型”, 并出现明显的“午休”现象。相关性分析结果表明: 在不同光照条件下一年四季观光木的 SFD 与叶片 Tr 均呈显著或极显著正相关; 但与叶片 Gs 的相关性在不同季节及不同光照条件下有一定的差异。在不同光照条件下, 一年四季观光木 SFD 与叶片水汽压亏缺、大气温度及光合有效辐射强度 (PAR) 呈正相关, 与大气相对湿度呈负相关; 其中, 与 PAR 的相关性均达到显著或极显著水平。研究结果显示: 在不同光照条件下, PAR 是影响观光木 SFD 四季变化的最主要环境因子。

关键词: 观光木; 光照条件; 茎干液流密度; 水分生理指标; 环境因子; 相关性分析

中图分类号: Q945.17⁺¹; Q948.112; S792.99.04 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2012)04-0067-09

Analyses on seasonal change of sap flux density of *Tsoongiodendron odorum* and its related factors under different light conditions

WANG Ying^{1a,1c}, WANG Jian^{1b,1c}, ZHENG Huai-zhou^{1b,1c}, WANG Zhen-xing^{1a,1c}, ZHENG Qun-ru², HUANG Ru-zhu^{1a,①} (1. Fujian Normal University: a. College of Life Sciences, b. College of Geographical Sciences, c. Key Laboratory of Humid Subtropical Ecogeographical Process of Ministry of Education, Fuzhou 350108, China; 2. Wanmulin Nature Reserve of Fujian Province, Jian'ou 353100, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2012, 21(4): 67-75

Abstract: The daily change rules of sap flux density (SFD) of *Tsoongiodendron odorum* Chun saplings and its transpiration rate (Tr) and stomatal conductance (Gs) of leaf under 100%, 40% and 8% of natural light conditions in four seasons of a year were compared, and also, the correlation of SFD with Tr, Gs and some environmental factors was analyzed. The results show that SFD, Tr and Gs of *T. odorum* in four seasons of a year decrease with light reducing. Under different light conditions, SFD of *T. odorum* in four seasons of a year appears a daily variation regularity of high in day time and low in night time, and daily mean and peak values of SFD all are the highest under 100% of natural light condition and the lowest under 8% of natural light condition. The daily variation trends of SFD are basically identical under conditions of 100% and 8% of natural light, and the peak value presents at starting time of sap flux

收稿日期: 2011-12-26

基金项目: 福建省自然科学基金资助项目(2012J01121; 2011J01148); 福建师范大学资助项目(XG-003)

作者简介: 汪滢(1987—), 女, 江西鹰潭人, 硕士研究生, 主要从事植物生理生化方面的研究工作。

①通信作者 E-mail: biohuang@fjnu.edu.cn

under most conditions. While that of SFD under 40% of natural light condition appears the “single-peak type” and the peak value appears at 9:15 to 13:30. Except spring, daily mean and peak values of SFD under different light conditions in other seasons generally have significant ($P < 0.05$) or extremely significant ($P < 0.01$) differences. The daily change curve of Tr under 100% of natural light condition in summer appears the “double-peak type”, while that under different light conditions in other seasons all appear the “single-peak type”. The daily change curve of Gs under conditions of 40% and 8% of natural light in four seasons also appears the “single-peak type” and the appearance time of peak value is basically the same as that of Tr. While, under 100% of natural light condition, the daily change curve of Gs is also the “single-peak type” in winter but that is the “double-peak type” in other seasons with obvious “midday depression”. The correlation analysis result shows that SFD under different light conditions in four seasons of a year has significant or extremely significant positive correlation with Tr of leaf, but the correlation between SFD and Gs has a certain difference among different seasons or light conditions. Under different light conditions, SFD of *T. odorum* in four seasons of a year has a positive correlation with leaf vapor pressure deficit, air temperature and photosynthetically active radiation intensity (PAR), but a negative correlation with relative air humidity, in which, the correlation with PAR reaches the significant or extremely significant levels. It is suggested that PAR is the most important environmental factor for affecting on SFD of *T. odorum* in four seasons under different light conditions.

Key words: *Tsoongiodendron odorum* Chun; light condition; sap flux density; water physiological index; environmental factor; correlation analysis

光是影响植物生长和分布的重要环境因子之一^[1],植物对不同光环境响应策略的差异是植物群落演替和更新的重要内在驱动力之一^[2]。木兰科(Magnoliaceae)单属植物观光木(*Tsoongiodendron odorum* Chun)分布于江西南部、福建、广东、海南、广西及云南东南部^[3-4]。该种分布范围虽广,但种群较小,难以成为森林建群种^[4],目前已被列为国家稀有濒危植物^[5]。近年来,有关观光木的染色体核型^[6]、花器官发育^[7]、不同部位的化学成分及生物活性^[8-9]、群落特征^[4,10-14]、遗传多样性^[15-16]、抗性生理^[17]以及光合特性^[18-19]等方面已有许多研究报道,但尚未见有关观光木蒸腾耗水对光环境变化的响应和适应的研究报道。森林光环境的变化可导致树木的水分生理指标发生相应变化^[20],因而研究观光木水分生理指标对不同光环境的响应特征,对于评价和预测在未来森林环境变化条件下这一濒危树种群落的动态变化具有重要的理论和实践意义。

茎干液流是指植物体内由叶片蒸腾作用引起的土壤水分通过植物木质部从根部运输到叶片的上升流。茎干液流技术是研究植物水分生理的有效手段之一,目前应用最广泛、最先进的的方法是热技术法。迄今为止,国内研究者大多运用该技术进行高大乔木的植株耗水研究^[21-26],但对直径较小的林木幼树的耗水研究较少^[27-28]。茎热平衡法(stem heat balance, SHB)主要是利用以热平衡为原理的包裹式茎流探头

确定茎干液流运动所产生的热传输和散发至周围环境中的辐射热能量,具有无需标定和直接获得测定结果两大优点^[29],对于研究不同光环境下木本植物幼树茎干液流具有明显的优越性。

作者应用 Flow 4 包裹式植物茎流计和 Li-6400 便携式光合测定仪测定了在不同遮光条件(100%、40%和8%自然光强)下观光木3年生幼树的茎干液流速率、叶片蒸腾速率、气孔导度以及相关的环境因子(水汽压亏缺、大气温度、大气相对湿度和光合有效辐射强度),并分析了观光木茎干液流的变化特征及其与蒸腾速率、气孔导度和相关环境因子的关系,旨在为观光木的水分生理研究和迁地保育工作提供实验基础和科学依据。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

本实验在福建万木林自然保护区苗圃内进行。该保护区地理坐标为东经 118°08'22" ~ 118°09'23"、北纬 27°02'28" ~ 27°03'32",海拔 234 ~ 556 m,森林覆盖率高达 96.1%;该保护区属中亚热带季风气候,年均气温 18.7 °C,极端最高气温 41.4 °C,极端最低气温 -7.3 °C,≥10 °C 的年均积温为 5 889.4 °C;年均降水量 1 670 mm,年均蒸发量 1 466 mm,大气相对湿度 81%,降水多集中在春季和夏季;年均霜期 75 d,冬季

有寒潮影响,但较弱;土壤为花岗岩发育的红壤。植被组成主要为壳斗科(Fagaceae)、樟科(Lauraceae)、山茶科(Theaceae)、金缕梅科(Hamamelidaceae)、木兰科、杜英科(Elaeocarpaceae)、冬青科(Aquifoliaceae)和山矾科(Symplocaceae)等常绿阔叶树种^[4,30]。

1.2 材料

供试观光木均为3年生幼树,2008年移植前株高(76.43±5.35)cm、基径(0.88±0.07)cm,2010年株高(105.78±14.98)cm、基径(1.30±0.30)cm。

1.3 方法

1.3.1 幼苗栽植及遮光处理 于2008年8月在福建万木林自然保护区苗圃内选取长势基本一致的3年生观光木幼树18株,平均分为3组,分别栽植于100%自然光照、40%自然光照(覆盖1层黑色尼龙网布)和8%自然光照(覆盖2层黑色尼龙网布)条件下,定期进行正常田间管理,以保证充足的水、肥及稳定的光照。分别于2010年10月下旬(秋季)、2011年1月中旬(冬季)、2011年4月下旬(春季)和2011年7月下旬(夏季),每处理选择3个样株定株进行有关参数的同步测定。

1.3.2 茎干液流密度测定 采用Flow 4包裹式植物茎流计(美国Dynamax公司,探头为SGA-9探头,直径8~12mm)进行观光木茎干液流密度(sap flux density, SFD)测定,茎流计的安装与相关参数的数据采集参考许浩等^[31]的方法。在观光木茎干基部平滑无节处用磨砂纸轻轻磨去表皮,露出韧皮部,将打磨区清理干净后用游标卡尺精确测定茎干直径;直接将涂有导热硅脂的探头固定在打磨区上,包上保鲜膜,分别裹上保温和防辐射材料后用绑带扎紧;用数据传输电缆连接探头与数据采集器,接通电源,启动茎流计,每隔15min采集1次数据。在每个季度的测定月份不间断连续测定3d(晴天),观光木茎干液流密度为3d的平均值。

1.3.3 其他参数测定 在进行茎干液流密度测定的同时采用Li-6400便携式光合测定仪(美国Li-COR公司)测定同一样株的其他相关参数。于每天6:00至18:00,选择样株冠层中上部完全展开的3片叶片,测定叶片的蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)、水汽压亏缺(VPD)以及大气温度(T_a)、大气相对湿度(RAH)和光合有效辐射强度(PAR);每片叶片随机选取3个点(避开主叶脉)进行测量,1h测定1次,连续测定3d(晴天),结果均为3d的平均值。

1.4 数据处理

参照文献[32-33]计算SFD,计算公式为: $SFD = F/A$ 。式中, A 为茎干横截面积; F 为茎干液流速率。 F 值计算公式为: $F = Q_f / (C_p \cdot dT) = (P_{in} - Q_v - Q_r) / (C_p \cdot dT)$ 。式中, Q_f 为茎干液流带走的热量; Q_v 为径向与水流热交换损失的热量; Q_r 为轴向以辐射形式向四周散发的热量; P_{in} 为茎流计热源的恒定功率; C_p 为树液比热容(为水的比热容 $4.186 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{C}^{-1}$); dT 为上下2个探针间的温差。 Q_v 、 Q_r 和 dT 均可通过传感器测量并经自动计算得出。

采用Excel 2003和SPSS 13.0统计分析软件对实验数据进行处理和分析,并采用Origin 8.0软件制作图表。

2 结果和分析

2.1 不同光照条件下观光木茎干液流密度的四季变化特征

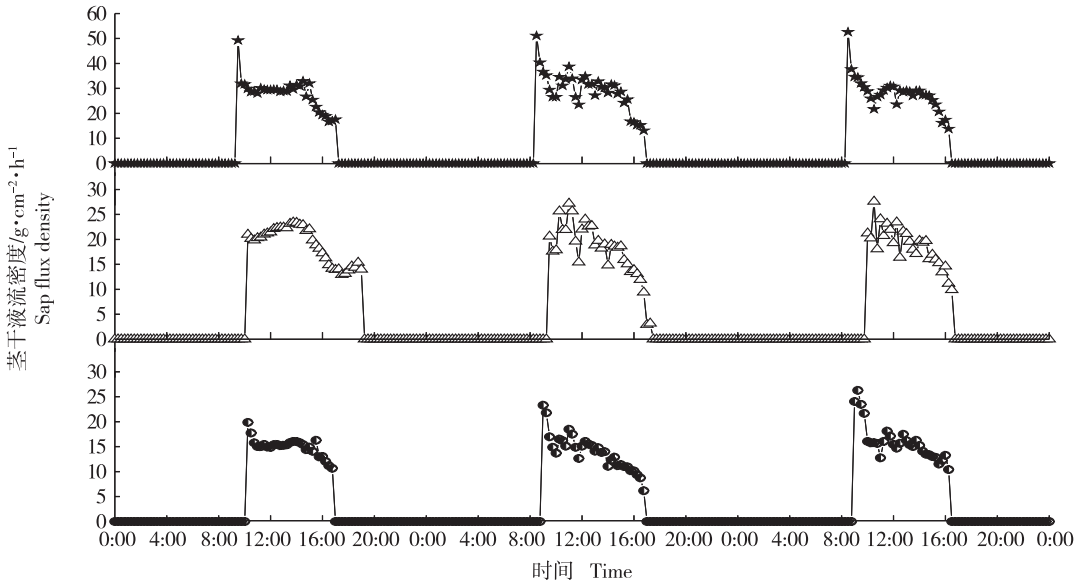
在3种光照条件下,一年四季观光木幼树茎干液流密度均呈明显的昼夜周期和连日变化规律,且四季观光木茎干液流日变化趋势基本一致,仅液流启动时间、液流峰值及液流密度大小等特征有一定差异,因而,以秋季观光木茎干液流密度的变化规律(图1)为例进行详细分析。

由图1可见:在不同光照条件下,秋季观光木茎干液流的启动时间均稍有差异。其中,在100%与8%自然光照条件下茎干液流密度的日变化趋势基本一致,基本上表现为液流启动时即达到液流密度的峰值,在10:00至15:00间液流密度虽有小幅波动但比较稳定,15:00后缓慢下降,17:00至17:15液流密度降为 $0 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$,液流停止并持续至次日再次启动;而在40%自然光强条件下液流密度日变化呈明显的“单峰型”,即液流启动后液流密度逐渐增大,峰值出现在9:15至13:30,峰值过后快速下降,在17:30至18:45降为 $0 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$,液流停止。

在不同光照条件下四季观光木茎干液流密度的变化特征见表1。由表1可以看出:观光木茎干液流密度具有明显的光强差异和季节差异。在同一季节,在100%自然光照条件下观光木茎干液流密度的日均值和日峰值均最高,而在8%自然光照条件下均最低。方差分析结果表明:在秋季,观光木茎干液流密度的日均值和日峰值在3种光照条件下均有极显著差异

($P < 0.01$)。在冬季,在 100% 和 40% 自然光照条件下,茎干液流密度的日均值无显著差异但日峰值有极显著差异;而在 40% 与 8% 自然光照条件下,茎干液流密度日均值有极显著差异($P < 0.01$),但日峰值无显著差异。在春季,在不同光照条件下茎干液流密度日均值均无显著差异;而在 100% 自然光照条件下茎

干液流密度日峰值与 40% 和 8% 自然光照条件下有极显著差异($P < 0.01$),但后两者间差异不显著。在夏季,因探头安装失误,缺失在 40% 自然光照条件下茎干液流密度的数据;而在 100% 与 8% 自然光照条件下,茎干液流密度日均值和日峰值均有极显著差异($P < 0.01$)。



★: 100%自然光照 100% of natural light; ▲: 40%自然光照 40% of natural light; ●: 8%自然光照 8% of natural light.

图 1 秋季不同光照条件下观光木茎干液流密度的日变化曲线

Fig. 1 Daily change curve of sap flux density of *Tsoongiodendron odorum* Chun under different light conditions in autumn

从不同季节来看,在 100% 自然光照条件下,夏季与秋季间观光木茎干液流密度的日均值无显著差异,而其他季节间均有极显著差异($P < 0.01$);春季与秋季间、夏季与冬季间茎干液流密度的日峰值无显著差异,其他季节间均有极显著差异($P < 0.01$)。在 40% 自然光照条件下,在秋、冬、春三季间茎干液流密度的日均值和日峰值均有极显著差异($P < 0.01$)。在 8% 自然光照条件下,在夏季和冬季间以及秋季和春季间茎干液流密度的日均值差异均不显著,在其他季节间有极显著差异($P < 0.01$);而在春季和冬季间以及秋季和冬季间茎干液流密度的日峰值有极显著差异($P < 0.01$),在其他季节间差异均不显著。

2.2 不同光照条件下观光木叶片水分生理指标的四季变化特征

在 3 种光照条件下一年四季观光木叶片蒸腾速率和气孔导度的日变化曲线分别见图 2 和图 3。由图 2 可以看出:仅夏季在 100% 自然光照条件下观光木

叶片的蒸腾速率呈“双峰型”曲线,而在其他光照条件下各季节的叶片蒸腾速率均呈“单峰型”曲线。其中,在 40% 和 8% 自然光照条件下同季节叶片蒸腾速率峰值出现的时间基本重叠,秋季和春季均为 12:00,冬季为 14:00,而夏季略有差异,分别为 11:00 和 12:00。在 100% 自然光照条件下,秋季和春季叶片蒸腾速率峰值出现的时间均为 13:00,冬季为 14:00,夏季 2 个峰值出现的时间分别为 11:00 和 13:00。由图 2 还可看出:一年四季观光木叶片的蒸腾速率均随光强的减弱而降低。

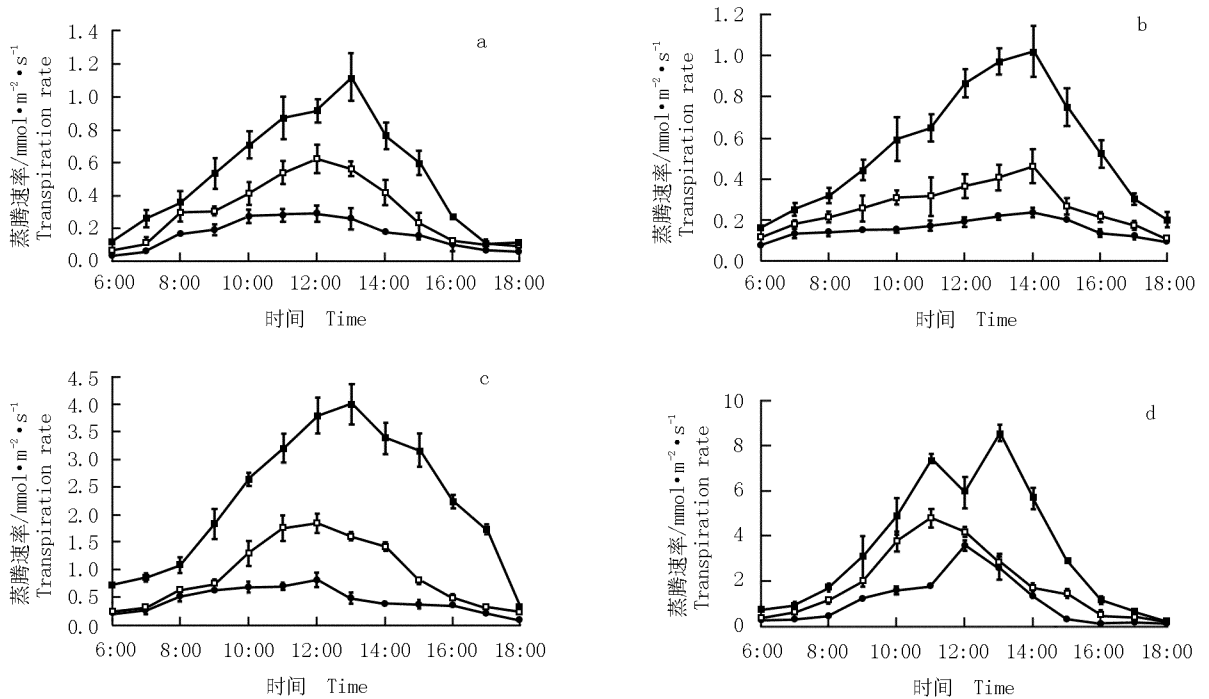
由图 3 可以看出:一年四季观光木叶片的气孔导度均随光强的减弱而降低。在 40% 和 8% 自然光照条件下,不同季节观光木叶片气孔导度的日变化趋势与蒸腾速率的日变化趋势基本一致,也呈“单峰型”曲线,仅春季气孔导度峰值的出现时间较蒸腾速率提前 1 h,其他季节气孔导度峰值的出现时间均与蒸腾速率峰值出现时间同步;在 100% 自然光照条件下,仅冬

表1 不同季节在不同光照条件下观光木茎干液流密度特征值比较($\bar{X}\pm SD$)

Table 1 Comparison of characteristic values of sap flux density of *Tsoongiodendron odorum* Chun under different light conditions in different seasons ($\bar{X}\pm SD$)

季节 Season	处理 ¹⁾ Treatment ¹⁾	茎干液流密度特征指标 ²⁾ Index of sap flux density characteristics ²⁾			
		启动时间 Starting time	日均值/ $g \cdot cm^{-2} \cdot h^{-1}$ Daily mean value	日峰值/ $g \cdot cm^{-2} \cdot h^{-1}$ Daily peak value	峰值出现时间 Appearing time of peak value
秋季 Autumn	1	8:15-9:30	9.919±0.714aA	45.401±8.479aA	8:30-9:30 ³⁾
	2	8:00-10:15	7.494±1.449bA	25.167±1.714bA	9:15-13:30
	3	8:30-10:30	4.191±0.725cA	19.040±0.711cA	9:00-11:00 ³⁾
冬季 Winter	1	9:30-10:15	2.833±0.539aC	21.769±2.595aB	10:00-11:00 ³⁾
	2	10:00-11:30	1.923±0.055aC	13.940±0.509bC	10:15-12:00 ³⁾
	3	11:00-12:00	1.427±0.039bB	11.517±0.493bB	13:00-14:00
春季 Spring	1	8:45-9:30	5.202±0.304aB	37.359±1.034aA	9:00-10:30 ³⁾
	2	9:00-10:00	4.722±1.236aB	20.678±2.340bB	9:00-10:00 ³⁾
	3	8:00-9:45	4.327±1.862aA	16.940±3.213bA	11:00-13:00
夏季 Summer	1	8:45-9:00	7.730±1.506aA	25.190±3.080aB	11:45-13:00
	3	8:30-10:00	1.945±0.309bB	15.521±0.286bAB	9:30-10:30

¹⁾ 1: 对照, 100% 自然光照 Control, 100% of natural light; 2: 40% 自然光照 40% of natural light; 3: 8% 自然光照 8% of natural light. 因探头安装失误, 未能获得夏季在 40% 自然光照条件下茎干液流密度数据 The datums of sap flux density under 40% of natural light condition in summer could not be obtained due to mistake of the probe installation.
²⁾ 同列中不同的小写字母表示同一季节不同处理间差异极显著 ($P < 0.01$) Different small letters in the same column indicate the extremely significant difference among different treatments in the same season ($P < 0.01$); 同列中不同的大写字母表示在同一处理条件下不同季节间差异极显著 ($P < 0.01$) Different capitals in the same column indicate the extremely significant difference among different seasons under the same treatment ($P < 0.01$).
³⁾ 茎干液流密度的“晨峰” “Morning peak” of sap flux density.

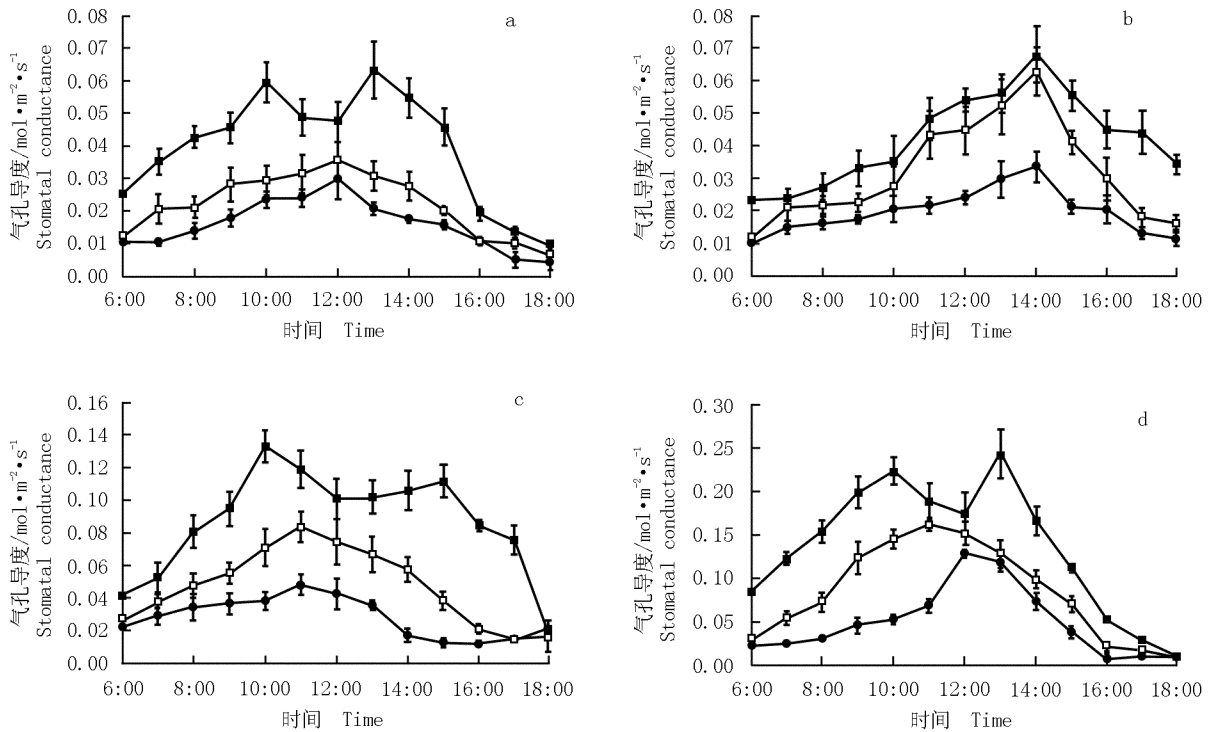


—■—: 100% 自然光照 100% of natural light; —□—: 40% 自然光照 40% of natural light; —●—: 8% 自然光照 8% of natural light.

a: 秋季 Autumn; b: 冬季 Winter; c: 春季 Spring; d: 夏季 Summer.

图2 不同季节在不同光照条件下观光木叶片蒸腾速率的日变化曲线

Fig. 2 Daily change curve of transpiration rate of *Tsoongiodendron odorum* Chun leaf under different light conditions in different seasons



—■—: 100% 自然光照 100% of natural light; —□—: 40% 自然光照 40% of natural light; —●—: 8% 自然光照 8% of natural light.

a: 秋季 Autumn; b: 冬季 Winter; c: 春季 Spring; d: 夏季 Summer.

图 3 不同季节在不同光照条件下观光木叶片气孔导度的日变化曲线

Fig. 3 Daily change curve of stomatal conductance of *Tsoongiodendron odorum* Chun leaf under different light conditions in different seasons

季观光木的气孔导度呈“单峰型”曲线,其他 3 个季节均呈“双峰型”曲线,说明在 100% 自然光照条件下,秋季、春季和夏季观光木叶片均出现光合“午休”现象。

2.3 观光木茎干液流密度与叶片水分生理指标及环境因子的相关性分析

2.3.1 与叶片水分生理指标的相关性分析 对不同光照条件下不同季节全天 6:00 至 18:00 观光木茎干液流密度的平均值与叶片的蒸腾速率和气孔导度的平均值进行相关性分析,相关系数见表 2。由表 2 可见:仅夏季在 8% 自然光照条件下茎干液流密度与叶片蒸腾速率呈显著 ($P < 0.05$) 正相关,其他季节在不同光照条件下茎干液流密度与叶片蒸腾速率均呈极显著 ($P < 0.01$) 正相关。在 100% 自然光照条件下,仅冬季茎干液流密度与气孔导度无显著相关性,其他季节二者间均呈显著或极显著正相关;在 40% 自然光照条件下,秋季、春季和冬季茎干液流密度与气孔导度均呈极显著正相关;在 8% 自然光照条件下,秋季和冬季茎干液流密度与气孔导度呈极显著正相关,春季二

者之间呈显著正相关,而夏季二者间无显著相关性。

2.3.2 与环境因子的相关性分析 对不同季节不同光照条件下观光木茎干液流密度与相关环境因子的相关性进行分析,相关系数见表 3。由表 3 可见:叶片水汽压亏缺、大气温度、大气相对湿度及光合有效辐射强度等环境因子与不同光照条件下观光木茎干液流密度的相关性较为复杂,总体上,茎干液流密度与大气相对湿度呈负相关,与其他 3 个指标呈正相关。

秋季,在不同光照条件下茎干液流密度与叶片水汽压亏缺、大气温度及光合有效辐射强度均呈极显著 ($P < 0.01$) 正相关,与大气相对湿度呈极显著负相关。

冬季,在 100% 自然光照条件下,茎干液流密度与光合有效辐射强度呈极显著正相关;在 40% 自然光照条件下,茎干液流密度与大气温度和光合有效辐射强度呈极显著正相关,与叶片水汽压亏缺呈显著正相关;在 8% 自然光照条件下,茎干液流密度与叶片水汽压亏缺呈极显著正相关,与大气温度和光合有效辐射强度呈显著 ($P < 0.05$) 正相关。而在不同光照条件下茎干液流密度与大气相对湿度均呈不显著的负相关。

表2 不同季节在不同光照条件下观光木茎干液流密度与叶片蒸腾速率和气孔导度的相关系数

Table 2 Correlation coefficient of sap flux density with transpiration rate and stomatal conductance of leaf of *Tsoongiodendron odorum* Chun under different light conditions in different seasons

季节 Season	处理 ¹⁾ Treatment ¹⁾	相关系数 ²⁾ Correlation coefficient ²⁾	
		蒸腾速率 Transpiration rate	气孔导度 Stomatal conductance
		秋季 Autumn	1
	2	0.865 **	0.765 **
	3	0.881 **	0.864 **
冬季 Winter	1	0.695 **	0.509
	2	0.897 **	0.888 **
	3	0.796 **	0.818 **
春季 Spring	1	0.710 **	0.703 **
	2	0.904 **	0.812 **
	3	0.845 **	0.616 *
夏季 Summer	1	0.834 **	0.636 *
	3	0.612 *	0.505

¹⁾ 1: 对照,100%自然光照 Control, 100% of natural light; 2: 40%自然光照 40% of natural light; 3: 8%自然光照 8% of natural light. 因探头安装失误,未能获得夏季在40%自然光照条件下茎干液流密度数据 The datums of sap flux density under 40% of natural light condition in summer could not be obtained due to mistake of the probe installation.

²⁾ * : $P < 0.05$; ** : $P < 0.01$.

表3 不同季节在不同光照条件下观光木茎干液流密度与4个环境因子的相关系数

Table 3 Correlation coefficient of sap flux density of *Tsoongiodendron odorum* Chun with four environment factors under different light conditions in different seasons

季节 Season	处理 ¹⁾ Treatment ¹⁾	相关系数 ²⁾ Correlation coefficient ²⁾			
		VPD	Ta	RAH	PAR
秋季 Autumn	1	0.687 **	0.920 **	-0.890 **	0.927 **
	2	0.769 **	0.984 **	-0.940 **	0.916 **
	3	0.705 **	0.896 **	-0.919 **	0.914 **
冬季 Winter	1	0.469	0.458	-0.336	0.767 **
	2	0.641 *	0.697 **	-0.494	0.870 **
	3	0.715 **	0.655 *	-0.549	0.677 *
春季 Spring	1	0.519	0.522	-0.552	0.900 **
	2	0.823 **	0.762 **	-0.719 **	0.914 **
	3	0.793 **	0.724 **	-0.724 **	0.964 **
夏季 Summer	1	0.902 **	0.941 **	-0.951 **	0.822 **
	3	0.558 *	0.458	-0.668 *	0.756 **

¹⁾ 1: 对照,100%自然光照 Control, 100% of natural light; 2: 40%自然光照 40% of natural light; 3: 8%自然光照 8% of natural light. 因探头安装失误,未能获得夏季在40%自然光照条件下茎干液流密度数据 The datums of sap flux density under 40% of natural light condition in summer could not be obtained due to mistake of the probe installation.

²⁾ VPD: 叶片水汽压亏缺 Vapor pressure deficit of leaf; Ta: 大气温度 Air temperature; RAH: 大气相对湿度 Relative air humidity; PAR: 光合有效辐射强度 Photosynthetically active radiation intensity. * : $P < 0.05$; ** : $P < 0.01$.

春季,在40%和8%自然光照条件下,茎干液流密度与叶片水汽压亏缺、大气温度及光合有效辐射强度呈极显著正相关,与大气相对湿度呈极显著负相关;而在100%自然光照条件下,茎干液流密度仅与光合有效辐射强度呈极显著正相关。

夏季,在100%自然光照条件下,茎干液流密度与叶片水汽压亏缺、大气温度及光合有效辐射强度呈极显著正相关,与大气相对湿度呈极显著负相关;而在8%自然光照条件下,茎干液流密度与光合有效辐射强度呈极显著正相关,与叶片水汽压亏缺呈显著正相关,与大气相对湿度呈显著负相关,与大气温度相关性不显著。

综合分析结果表明:在不同光照条件下,光合有效辐射强度是影响不同季节观光木茎干液流密度的最主要环境因子。

3 讨 论

本研究中,在3种光照条件下一年四季观光木茎干液流密度均存在明显的昼高夜低的准“单峰型”日变化规律,且其日均值和日峰值均随光照强度的降低而减小,均表现为在100%自然光照条件下最高、8%自然光照条件下最低的趋势。除春季外,不同光照条件下观光木茎干液流密度日均值基本上均有极显著($P < 0.01$)差异。

液流变化是植物自身生理特性与周围环境因子共同作用的结果。本研究中,观光木叶片蒸腾速率和气孔导度均表现为在100%自然光照条件下最高、在8%自然光照条件下最低的趋势,且除了出现“晨峰”现象外,不同光照条件下观光木茎干液流密度与蒸腾速率和气孔导度有相似的日变化规律。在不同光照条件下,各季节观光木茎干液流密度与叶片蒸腾速率均呈显著或极显著的正相关,但各季节气孔导度与观光木茎干液流密度的相关性有一定的差异。其中,在100%自然光照条件下,仅冬季观光木茎干液流密度与气孔导度呈不显著正相关,其他季节间均存在显著或极显著的正相关性;在40%自然光照条件下,秋季、冬季和春季茎干液流密度均与气孔导度呈极显著正相关;在8%自然光照条件下,在秋季和冬季茎干液流密度与气孔导度呈极显著正相关,在春季则呈显著正相关,而在夏季无显著相关性。说明光照是影响蒸腾作用的最主要外界因素,因为光照一方面直接影响植

物气孔的开闭,使气孔开放、气孔阻力减小、蒸腾作用加快;另一方面光照可提高叶片温度,使叶内外蒸汽压差增大,从而使蒸腾作用加强。另外,在不同光照条件下,在秋季、冬季和夏季茎干液流密度的日均值总体上有极显著差异,说明蒸腾作用产生的拉力是植物液流上升的主要动力,而根压只有在早春芽叶尚未展开之前才对水分上升起主导作用^[34]。此外,上午 8:00 前观光木茎干液流均没有启动,但在 6:00 左右植株就有微弱的蒸腾作用,表明液流的启动落后于冠层的蒸腾作用。而余峰等^[35]的观察结果显示:在宁夏中部干旱带,柠条(*Caragana korshinskii* Kom.)的茎干液流与蒸腾作用几乎同步启动。推测造成上述研究结果差异的原因为:在干旱区,白天气温高、空气干燥,柠条蒸腾作用强烈,夜间仍需维持较低的液流以补充白天蒸腾作用引起的水分亏缺;而观光木夜间液流几乎为 $0 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$,白天的蒸腾作用并没有过度消耗观光木体内的水分,这是观光木液流启动时间落后于蒸腾作用的主要原因。

从相关分析结果看,在不同光照条件下观光木茎干液流密度与水汽压亏缺、大气温度及光合有效辐射强度等环境因子均呈正相关,与大气相对湿度呈负相关,但在不同光照条件下不同季节仅光合有效辐射强度与茎干液流密度的相关性达到显著或极显著水平,说明光合有效辐射强度是影响不同光照条件下观光木茎干液流密度的最主要环境因子。这一结果与马长明等^[23]和马玲等^[24]的研究结果基本一致,但与陈冰冰等^[25]和史梅娟等^[26]的研究结果有所不同。陈冰冰等^[25]认为:空气相对湿度是影响藤本植物瓜馥木 [*Fissistigma oldhamii* (Hemsl.) Merr.] 茎液流速率的最主要初始环境因子;史梅娟等^[26]则认为:水汽压亏缺是影响乔木树种木荷 (*Schima superba* Gardn. et Champ.)、米槠 [*Castanopsis carlesii* (Hemsl.) Hayata] 和杉木 [*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.] 液流的最主要环境因子。造成这一差异的原因可能与植物生长的小生境不同有关,藤本植物和乔木树种的冠层均不受遮挡,因此,光合有效辐射强度不是影响其液流的主要因子。

此外,在 3 种光照条件下,虽然供试的观光木立地条件完全一致,但在有些季节(如:在 100% 光照条件下在秋季、冬季和春季,在 40% 光照条件下在冬季和春季,在 8% 光照条件下在秋季)茎干液流密度均出现明显的“晨峰”现象,即日出(茎干液流启动)后

不久即出现 1 个陡峰。结合张友焱等^[21]、于红博等^[22]、Lu 等^[36]的研究结果,表明此现象不具有普遍性。然而这一现象是否与光照存在关联,则有待进一步的深入研究。

参考文献:

- [1] ALERIC K M, KIRKMAN L K. Growth and photosynthetic responses of the federally endangered shrub, *Lindera melissifolia* (Lauraceae), to varied light environments[J]. American Journal of Botany, 2005, 92(4): 682-689.
- [2] HULME P E. Phenotypic plasticity and plant invasions: is it all Jack? [J]. Functional Ecology, 2008, 22(1): 3-7.
- [3] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 第三十卷第一分册[M]. 北京: 科学出版社, 1996: 194.
- [4] 郑群瑞, 张兴正, 姚清潭, 等. 福建万木林观光木群落学特征研究[J]. 福建林学院学报, 1995, 15(1): 22-27.
- [5] 傅立国, 金鉴明. 中国植物红皮书: 稀有濒危植物(第一册) [M]. 北京: 科学出版社, 1992: 454-455.
- [6] 吴文珊, 刘剑秋, 张清其, 等. 观光木染色体核型的研究[J]. 福建师范大学学报: 自然科学版, 1997, 14(1): 90-92.
- [7] 付琳, 曾庆文, 徐凤霞, 等. 观光木的花器官发生[J]. 热带亚热带植物学报, 2007, 15(1): 30-34.
- [8] 何开跃, 李晓储, 张双全, 等. 观光木叶片挥发油成分及其对超氧阴离子抑制与清除活性研究[J]. 林业科学研究, 2007, 20(1): 58-62.
- [9] 宋晓凯, 吴立军, 屠鹏飞. 观光木树皮的生物活性成分研究[J]. 中草药, 2002, 33(8): 676-678.
- [10] 吴承祯, 洪伟, 郑群瑞. 福建万木林保护区观光木群落物种相对多度模型的拟合研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2001, 9(3): 235-242.
- [11] 潘文钻. 福建牛姆林自然保护区观光木群落特征的初步研究[J]. 林业勘察设计, 2002(1): 13-16.
- [12] 邓贤兰, 曾晓辉, 吴新年, 等. 井冈山观光木所在群落特征研究[J]. 井冈山大学学报: 自然科学版, 2010, 31(4): 113-117.
- [13] 许涵, 庄雪影, 黄久香, 等. 广东省南昆山观光木种群结构及分布格局[J]. 华南农业大学学报, 2007, 28(2): 73-77.
- [14] 许涵, 黄久香, 唐光大, 等. 南昆山观光木所在群落优势树种的种间联接性[J]. 华南农业大学学报, 2008, 29(1): 57-62.
- [15] 黄久香, 庄雪影. 观光木种群遗传多样性研究[J]. 植物生态学报, 2002, 26(4): 413-419.
- [16] 黄久香, 庄雪影. 华南三地观光木遗传多样性的 RAPD 分析[J]. 华南农业大学学报, 2002, 23(2): 54-57.
- [17] 何开跃, 李晓储, 黄利斌, 等. 干旱胁迫对木兰科 5 树种生理生化指标的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2004, 13(4): 20-23.
- [18] 孙谷畴, 赵平, 曾小平, 等. 不同光强下焕镛木和观光木的光合参数变化[J]. 植物生态学报, 2002, 26(3): 355-362.

- [19] 钟 圣,王 健,郑怀舟,等. 福建万木林3种常绿乔木的光合生理特征比较[J]. 福建师范大学学报:自然科学版, 2010, 26(4): 110-114.
- [20] 郭志华,张旭东,黄玲玲,等. 落叶阔叶树种蒙古栎(*Quercus mongolica*)对林缘不同光环境光能和水的利用[J]. 生态学报, 2006, 26(4): 1047-1056.
- [21] 张友焱,周泽福,党宏忠,等. 利用 TDP 茎流计研究沙地樟子松的树干液流[J]. 水土保持研究, 2006, 13(4): 78-80.
- [22] 于红博,杨 劫,臧鑫鑫,等. 皇甫川流域中国沙棘树干液流日变化及其相关因子[J]. 生态学杂志, 2008, 27(7): 1071-1076.
- [23] 马长明,翟明普. 干季核桃树干液流特征及其与气象因子的关系[J]. 林业科学研究, 2007, 20(6): 883-886.
- [24] 马 玲,赵 平,饶兴权,等. 马占相思树干液流特征及其与环境因子的关系[J]. 生态学报, 2005, 25(9): 2145-2151.
- [25] 陈冰冰,郑怀舟,王 健,等. 瓜馥木茎液流特征及其与环境因子的关系[J]. 亚热带资源与环境学报, 2010, 5(1): 27-33.
- [26] 史梅娟,郑怀舟,王 健,等. 3种优势树种深秋树干液流特征与环境因子的关系[J]. 福建师范大学学报:自然科学版, 2010, 26(3): 57-61.
- [27] 郭树江,徐先英,杨自辉,等. 干旱荒漠区沙冬青茎干液流变化特征及其与气象因子的关系[J]. 西北植物学报, 2011, 31(5): 1003-1010.
- [28] 王 翠,王传宽,孙慧珍,等. 移栽自不同纬度的兴安落叶松(*Larix gmelinii* Rupr.)的树干液流特征[J]. 生态学报, 2008, 28(1): 136-144.
- [29] 岳广阳,张铜会,刘新平,等. 热技术方法测算树木茎流的发展及应用[J]. 林业科学, 2006, 42(8): 102-108.
- [30] 朱锦懋,姜志林,郑群瑞,等. 福建万木林自然保护区森林群落物种多样性[J]. 生态学杂志, 1997, 16(2): 1-6.
- [31] 许 浩,张希明,闫海龙,等. 塔克拉玛干沙漠腹地多枝桧柳茎干液流及耗水量[J]. 应用生态学报, 2007, 18(4): 735-741.
- [32] STEINBERG S, VAN BAVEL C H M, MCFARLAND M J. A gauge to measure mass flow rate of sap in stems and trunks of woody plants[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1989, 114(3): 466-472.
- [33] 严昌荣, ALEC D, 韩兴国,等. 北京山区落叶阔叶林中核桃楸在生长中期的树干液流研究[J]. 生态学报, 1999, 19(6): 793-797.
- [34] 王宝山. 植物生理学[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 22.
- [35] 余 峰,陈 林,王 峰,等. 宁夏中部干旱带人工柠条茎流及蒸腾特征研究[J]. 水土保持研究, 2011, 18(2): 143-147.
- [36] LU P, URBAN L, ZHAO P. Granier's thermal dissipation probe (TDP) method for measuring sap flow in trees: theory and practice [J]. Acta Botanica Sinica, 2004, 46(6): 631-646.

(责任编辑: 佟金凤)

欢迎订阅 2013 年《生态与农村环境学报》

《生态与农村环境学报》系国家环境保护部主管、国家环境保护部南京环境科学研究所主办的学术期刊,是中文核心期刊(GCJC)、中国科学引文数据库(CSCD)核心期刊、中国学术期刊评价研究报告(RCCSE)核心期刊、中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊)、被中国科技论文与引文数据库(CSTPCD)、中文社会科学引文索引(CSSCI)、中国学术期刊综合评价数据库(CAJCED)、中国期刊全文数据库(CJFD)、中国核心期刊(遴选)数据库、CA、CABI、BA、BP、BD、UPD、GeoBase、ZR、EM、Scopus、AGRIS、中国农业文摘、中国生物学文摘等国内外重要刊库收录。系全国优秀环境科技期刊、江苏省优秀期刊、中国期刊协会赠建全国百家期刊阅览室指定赠送期刊。

本刊宗旨:及时报道生态与农村环境保护领域研究的动态、理论、方法与成果等。主要栏目:研究报告、研究简报、研究方法、专论与综述、学术讨论与建议等。主要内容:①区域环境与发展,包括生态环境变化与全球环境影响、区域生态环境风险评价、环境规划与管理、区域生态经济与生态安全等;②自然保护与生态,包括自然资源保护与利用、生物多样性与外来物种入侵、转基因生物环境安全与监控、生态保护和生态工程与生态修复、有机农业与农业生态等;③污染控制与修复,包括污染控制原理与技术、土壤污染与修复、水环境污染与修复、农业废物综合利用与资源化、农用化学品风险评价与监控等。主要读者对象:从事生态学、环境科学、农学、林学、地学、资源科学等研究、教学、生产的科技人员,相关专业的高等院校师生以及各级决策与管理人员。

本刊为双月刊,单月25日出版,A4开本,每期136页;每期定价20.00元,全年定价120.00元;公开发行,国内邮发代号28-114,全国各地邮局均可订阅;国外由中国国际图书贸易总公司(北京399信箱)负责发行,国外发行代号Q5688。如漏订,可向本刊编辑部补订。编辑部地址:江苏省南京市蒋王庙街8号(邮编210042);电话:025-85287036,025-85287052,025-85287053;网址:<http://www.ere.ac.cn>;E-mail:ere@vip.163.com,bjb@nies.org。

欢迎订阅! 欢迎投稿!