

# 饱和供水条件下桂花树干液流特征及其影响因子

魏濮瑞<sup>1\*</sup>, 王柏昌<sup>1</sup>, 韩斐斐<sup>2#</sup>, 祝雁俊<sup>2</sup>, 陈星<sup>2</sup>

<sup>1</sup>国家林业和草原局华东调查规划院, 浙江 杭州

<sup>2</sup>浙江华东林业工程咨询设计有限公司, 浙江 杭州

收稿日期: 2023年12月7日; 录用日期: 2024年1月13日; 发布日期: 2024年1月22日

## 摘要

目的: 目前对桂花的研究主要集中在分类、香味、园林利用等方面, 对其树干液流与环境因子之间关系却鲜有报道。研究桂花树干液流变化特征, 分析其与温度、相对湿度、降雨、太阳辐射等环境要素间的响应, 探索树干液流速率与环境要素间的线性与非线性关系, 以阐明桂花蒸腾耗水规律并为其水分管理提供依据。方法: 选取3棵具形态学特征一致的桂花作为标准样树, 每棵样树在离地面1.3 m处的树干两侧各安置两个探针, 对树干液流进行连续观测, 以测定的平均值作为树干液流最终数值。同时建立便携式气象站, 同步监测环境因子, 绘制液流速率与气象要素同步变化过程曲线, 对其进行相关分析与回归分析, 并建立模型。结果: 桂花日液流速率白天高夜晚低, 日液流量: 晴天 > 阴天 > 雨天。桂花液流日累计量夏季较大且变化幅度较大, 冬季较小且平缓。液流速率( $F$ )与相对湿度( $RH$ )、温度( $T$ )、饱和水汽压差( $VPD$ )、太阳辐射( $S$ )、风速( $W$ )的Pearson相关系数分别为:  $-0.682$ 、 $0.726$ 、 $0.708$ 、 $0.848$ 、 $0.716$ 。结论: 桂花液流呈现明显的“日高夜低”现象, 为“几”字型单峰曲线, 降雨对树干液流速率影响明显, 液流速率和液流量晴天远超阴雨天。液流速率与各环境因素均显著相关, 其中饱和水汽压差、相对湿度与太阳辐射为主要影响因素, 通过拟合得到多元线性回归模型为:  $F = 5.227RH + 122.875VPD + 48.094W + 28.397S - 520.732$  ( $R^2 = 0.886$ )。

## 关键词

桂花, 树干液流, 环境因子, 变化特征, 回归模型

## The Characteristics and Influencing Factors of Sap Flow in *Osmanthus fragraus* under Saturated Water Supply

Purui Wei<sup>1\*</sup>, Baichang Wang<sup>1</sup>, Feifei Han<sup>2#</sup>, Yanjun Zhu<sup>2</sup>, Xing Chen<sup>2</sup>

\*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 魏濮瑞, 王柏昌, 韩斐斐, 祝雁俊, 陈星. 饱和供水条件下桂花树干液流特征及其影响因子[J]. 林业世界, 2024, 13(1): 45-54. DOI: 10.12677/wjf.2024.131007

<sup>1</sup>East China Academy of Inventory and Planning, National Forestry and Grassland Administration, Hangzhou Zhejiang

<sup>2</sup>Zhejiang East China Forestry Engineering Consulting and Design Co., Ltd., Hangzhou Zhejiang

Received: Dec. 7<sup>th</sup>, 2023; accepted: Jan. 13<sup>th</sup>, 2024; published: Jan. 22<sup>nd</sup>, 2024

## Abstract

**Objective:** At present, the research of *Osmauthus fragraus* mainly focuses on classification, fragrance, garden utilization, etc., but there are few reports on the relationship between SAP flow and environmental factors. The paper studies variation characteristics of the sap flow of *Osmauthus fragraus*, analyzes its response to temperature, relative humidity, rainfall, solar radiation and other environmental factors, and explores the linear and nonlinear relationship between sap flow rate and environmental factors, in order to clarify the law of transpiration and water consumption of *Osmauthus fragraus* and provides the basis for water management. **Method:** Three *Osmauthus fragraus* with the same morphological characteristics are selected as the standard sample trees. Two probes are placed on each side of the trunk of each sample tree 1.3 m above the ground to conduct continuous observation of sap flow, and the measured average value is taken as the final sap flow value. At the same time, a portable weather station is established to monitor environmental factors simultaneously, plot the synchronous curve of liquid flow rate and meteorological elements, carry out correlation and regression analyses, and establish a model. **Result:** The results show that the sap flow velocity of *Osmauthus fragraus* is high during the day and low at night. Diurnal cumulant of sap flow: Sunny day > cloudy sky > rainy day. Diurnal cumulant of sap flow was large and varied greatly in summer, but small and gentle in winter. The Pearson correlation coefficients between sap flow velocity ( $F$ ), relative humidity ( $RH$ ), temperature ( $T$ ), vapor pressure deficit ( $VPD$ ), solar radiation ( $S$ ) and wind speed ( $W$ ) respectively are:  $-0.682$ ,  $0.726$ ,  $0.708$ ,  $0.848$ ,  $0.716$ . **Conclusion:** The diurnal curve of sap flow velocity is a single peak curve. Rainfall has significant effects on sap flow velocity, sap flow velocity and sap flow cumulant are much higher on sunny days than on rainy days. The monthly cumulants of sap flow have a sharp distinction between the seasons focused on peak flowering. Sap flow velocity and environmental factors were significantly related, vapor pressure deficit, relative humidity and solar radiation are the main influencing factors, and the multiple linear regression model is obtained by fitting:  $F = 5.227RH + 122.875VPD + 48.094W + 28.397S - 520.732$  ( $R^2 = 0.886$ ).

## Keywords

*Osmauthus fragraus*, Sap Flow, Environmental Factors, Variation Characteristics, Regression Model

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

树干液流是指植株体内由蒸腾作用引发的上升流，是林木蒸腾耗水的关键环节[1]。超过 99.8%的树木蒸腾耗水来源于树干液流[2]，因此通过精确测量树干液流量基本可以反映植株的蒸腾耗水状况[3]。Granier 发明的热扩散探针法(TDP)可以在不破坏树木正常生长的情况下，进行连续监测并采集数据，是目前最广泛应用于树干液流测定的方法[4]。有学者对枸杞[1]、麻栎[5]、油松[6]树干液流速率与气象因子

进行相关性分析,结果显示,气象因素对树干液流变化影响显著,树干液流速率与太阳辐射、空气温度、风速均呈极显著正相关关系,与相对湿度呈负相关关系[7] [8]。也有学者研究表明树干液流与树形有关[9]。有学者在日、月、季节等不同时间尺度下对不同树种的树干液流变化特征进行了探讨,分析了日、月、季节等时段茎流变化特征及其与环境因子的响应关系[10] [11] [12] [13] [14]。气象因素对树干液流变化影响显著,因此系统研究树干液流影响因素,对林分结构的科学管理、植物蒸腾规律的分析掌握、水资源的有效利用与产业发展有着重要的意义。

桂花(*Osmauthus fragraus*)为双子叶植物纲(*Dicotyledons*)捩花目(*Contortae*)木犀科(*Oleaceae*)木犀属(*Osmauthus Lour.*)木犀组(*Sect. Osmauthus*)植物,是我国传统十大名花之一,距今已有 2500 多年栽培历史,目前对桂花的研究主要集中在分类、香味、园林利用等方面[15] [16] [17] [18] [19],关于桂花蒸腾耗水方面研究较少,对其树干液流与环境因子之间关系却鲜有报道。本文通过对上海市浦东新区苗圃基地内桂花树干液流变化特征规律及影响因素的监测研究,为苗木人工栽培的管理培育提供一定启示。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 试验区概况与供试材料

试验区地处于上海市浦东新区的苗圃基地,属亚热带季风气候,夏热冬温,降水充沛,日照充足,四季分明,年均气温 15.5℃,平均无霜期 227 天,年均降雨量 1087.1 毫米,土壤类型为潜育型水稻土。在试验区基地选择优质桂花标准木 3 株作为观测样木,树龄 10 a,其胸径、树高、冠幅、冠高分别如下表 1 所示:

Table 1. List of growth indicators of sample wood

表 1. 桂花样木生长指标一览表

样木号 Sample number	胸径(cm) DBH (diameter at breast height)	树高(m) Tree height	冠幅(m) Crown breadth	冠高(m) Crown height
树I	8.2	3.1	2.35	2.3
树II	8.25	3.5	2.36	2.3
树III	8.3	3	2.41	2.5

### 2.2. 试验方法

#### 2.2.1. 树干液流的测定

利用美国 Dynamax 公司开发的 FLGS-TDP30 插针式热耗散植物茎流计精确测量树干液流速率。在距离地面 1.3 m 的样木位置,削去粗糙树皮,得到一个 4 cm × 10 cm 的矩形空间。将钻模平放在矩形空间内,用电钻打出两个相距 4 cm 的圆孔,两个圆孔需确保位于近似的垂直面上。将 TDP 的两根热电偶探针插入边材圆孔内,露出 2 mm 的探针杆并用胶泥包裹和泡沫固定。接着,使用锡箔纸防辐射罩将安装部位完全包裹覆盖。最后,将探针与主机连接。仪器每 10 秒读取一次数据,并对每小时内的数据进行平均存储。最终获取了 2013 年 11 月 1 日至 2014 年 10 月 30 日的树干液流数据。

树干液流速率计算公式参考 Granier 经验公式(Granier 等, 1987):

$$J_s = 0.0119 \times \left( \frac{\Delta T_m - \Delta T}{\Delta T} \right)^{1.231} \quad (1)$$

$$F_s = J_s \cdot A_s \quad (2)$$

式中,  $J_s$  为树干液流密度,  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ;  $\Delta T_m$  为昼夜最大温差,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta T$  为瞬时温差,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $F$  为树干液流速率,  $\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$ ;  $A_s$  为边材面积,  $\text{cm}^2$ 。

### 2.2.2. 环境因子的测定

树干液流作为植物蒸腾作用的水分来源,是植物水分消耗的重要量化监测指标,其过程受到流体力学、叶片生物学特性、环境等多种因素的影响。使用便携式微气象站在样木附近的开阔空旷地对主要环境因子进行连续监测:太阳总辐射( $S, \text{w}\cdot\text{m}^{-1}$ )、空气温度( $T, ^\circ\text{C}$ )、空气相对湿度( $RH, \%$ )、风速( $W, \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )、降雨( $\text{mm}$ )。自2013年11月1日起至2014年10月30日,以每小时为步长,逐日获取了气象数据。

饱和水汽压差( $VPD$ )计算公式(Campbell *et al.*, 1998)如下:

$$VPD = 0.6108(1 - RH) \exp\left(\frac{17.502t}{240.97 + t}\right) \quad (3)$$

式中,  $VPD$  为饱和水汽压差,  $\text{KPa}$ ;  $RH$  为空气相对湿度,  $\%$ ;  $t$  为空气温度,  $^\circ\text{C}$ 。

绿化三维量(Living Vegetation Volume,  $LVV$ )简称绿量,本文通过测定树木冠幅直径( $D, \text{m}$ )、冠幅高度( $H, \text{m}$ ),将冠层看成圆锥体,通过立体几何体积计算估算绿量( $LVV, \text{m}^3$ ):

$$LVV = \frac{\pi}{12} D^2 H \quad (4)$$

### 2.3. 数据分析方法

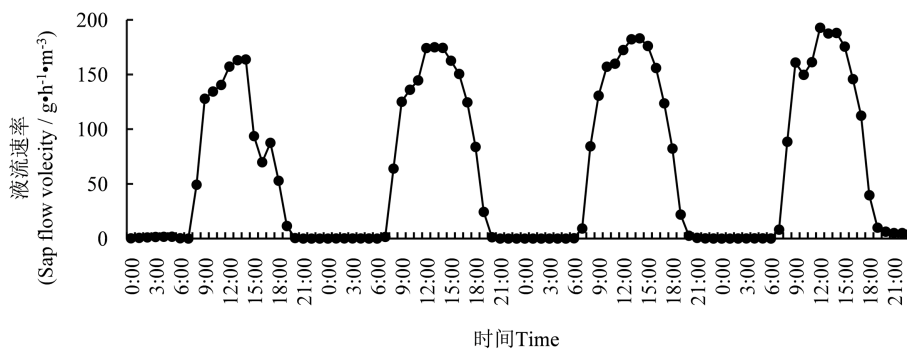
液流数据处理和相关图表制作采用微软 Excel 2016 软件,同时利用 SPSS 22.0 软件对数据进行相关分析与回归分析,并进行了线性和非线性多元回归模型的计算。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 典型天气下树干液流连日变化特征

本文对典型气象条件(晴天、雨天、阴天)下的桂花树干液流数据进行了分析,并绘制了液流速率连日变化过程的曲线图,分别为图1、图2和图3。这些图展示了不同天气条件下桂花树干液流速率的变化情况。

根据测定的液流数据,绘制2014年8月4日至7日连续四天晴天的桂花单位绿量体积液流速率变化过程曲线,如图1所示。图中显示,桂花液流具有“几”字型单峰曲线的特征,呈现出明显的“昼高夜低”规律。液流启动时间大约在早上7:00左右,启动后液流速率变化速度较快,且较高液流速率持续时间较长。在白天,液流速率变化非常显著,主要集中在9:00至21:00之间;14:00左右,液流达到峰值;21:00之后液流变得十分微弱,并持续到凌晨1:00左右基本停止。在凌晨1:00至早晨8:00的时间段内,液流量几乎为零。此外,与其它树种不同,桂花液流的“午休”现象并不明显,是由于桂花在白天的蒸腾作用相对较强,导致液流在白天始终处于较高的水平,而夜晚则出现明显的降低。这种昼夜节律与其他树种存在较大的差异[20]。



**Figure 1.** Continuous diurnal fluctuation of sap flow velocity per unit LVV volume on sunny day  
**图 1.** 晴天单位绿量体积液流速率连日变化

选取 2014 年 8 月 17 日至 20 日这四天的雨天液流数据,描绘了桂花单位体积绿量液流速率的变化曲线,图 2 所示。观察图 2 可以发现,雨天的树干液流速率在白天较高,晚上较低,呈现单峰曲线的特征。其启动时间较晴天有所延迟,早上 8 点左右开始启动,中午 12 点左右达到峰值。从图中还可以发现,在 18 日 8 点到 19 日 13 点时间段内,树干液流流速较大且出现了多个峰值,与晴天时树干液流在凌晨 1 点到早晨 8 点几乎为零的情况存在显著的差异。可能是因为在雨天期间降雨量较大,在前期降雨过程中,降雨的充分性、降雨量的较大程度以及持续时间的长短,都会对液流速率产生相应的影响,并且这种影响的时间跨度也会因此变长。因为在持续降雨的条件下,降雨的强度逐渐增大,空气的湿度也逐渐升高,导致林木内部的水分子难以通过叶表面的气孔排放至大气中。为了保持植株内部的水分平衡,防止“淹死”现象的发生,林木的根部可能会降低吸水速率或暂时停止吸水[5]。

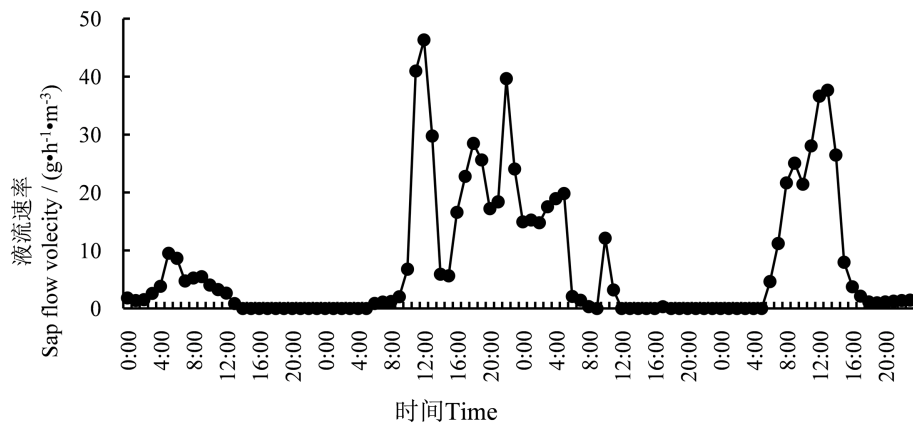


Figure 2. Continuous diurnal fluctuation of sap flow velocity per unit LVV volume on rainy day  
图 2. 雨天单位绿量体积液流速率连日变化

图 3 揭示了 2014 年 8 月 13 至 15 日期间,桂花树在阴天条件下,单位绿量体积树干液流速率在连续变化过程中的曲线。通过分析可以得知,在阴天环境下,树干液流速率呈现出一种先快后慢的单峰曲线变化规律。启动时间大约在早晨 6:30, 18:00 左右液流活动逐渐停止。

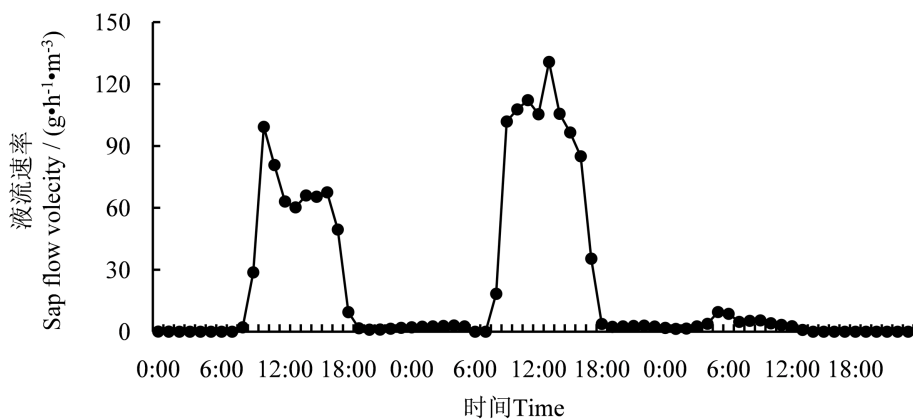


Figure 3. Continuous diurnal fluctuation of sap flow velocity per unit LVV volume on cloudy sky  
图 3. 阴天单位绿量体积液流速率连日变化

13 日和 14 日的液流速率分别在 10:00 和 16:00 以及 11:00 和 13:00 各出现了两个峰值。2 日内都出现了持续 1~2 h 的短暂液流“回升”现象,液流速率在这之后迅速降低。这可能是阴天条件下,当

温度在这两个时间段内升高时,植物的蒸腾作用增强,消耗了更多的水分;随着空气温度的下降,地表温度受地面辐射影响而缓慢下降,导致根系与冠层之间的水势差增大,从而引起了液流速率的短暂回升。

根据图 1、图 2 与图 3 的数据,可以发现以下规律:

一是在不同天气条件下,树干液流昼夜变化明显,体现在启动时间、速率均值、峰值和最低值等方面。在晴天、阴天和雨天三种天气下,液流总量大小的排序为:晴天 > 阴天 > 雨天。二是白天比夜间变化明显。白天树干液流速率相对较高,变化幅度较大;夜间则相对平缓,维持在较低水平。原因在于太阳辐射、空气温度和相对湿度等环境因素对液流的影响较大。三是夜间树干液流速率相差不大。凌晨和晚上太阳辐射弱、温度低、湿度高,树干液流速率也相应较小,但仍会保持微弱的树干液流过程,是因为以根压作用弥补树体内白天耗掉的水分[1],恢复其平衡。因此,桂花在夜间仍有弱蒸腾作用,为了补偿夜间蒸腾耗水,桂花会吸收水从而形成夜间液流现象。

### 3.2. 树干液流季节月变化特征

图 4 展示了桂花树干液流月总量与月降雨总量的变化趋势。从图 4 可以看出,2013 年和 2014 年两年的变化趋势在相同的季节内是一致的;而各月变化存在差异且有规律。当年 12 月至次年 7 月,液流月累积量呈现出逐渐上升的单峰曲线;8 月份的高温季节,液流活动会出现下降的情况,之后则会加剧并达到峰值。最小值出现在 2014 年 3 月份,为 8.43 kg;最大值在 9 月份,为 2189.42 kg。从 8 月至 10 月,液流累积量出现骤升骤降的情况,这可能是由于盛花期桂花对水分需求较大,而花落之后桂花对水分的需求量相对减少。

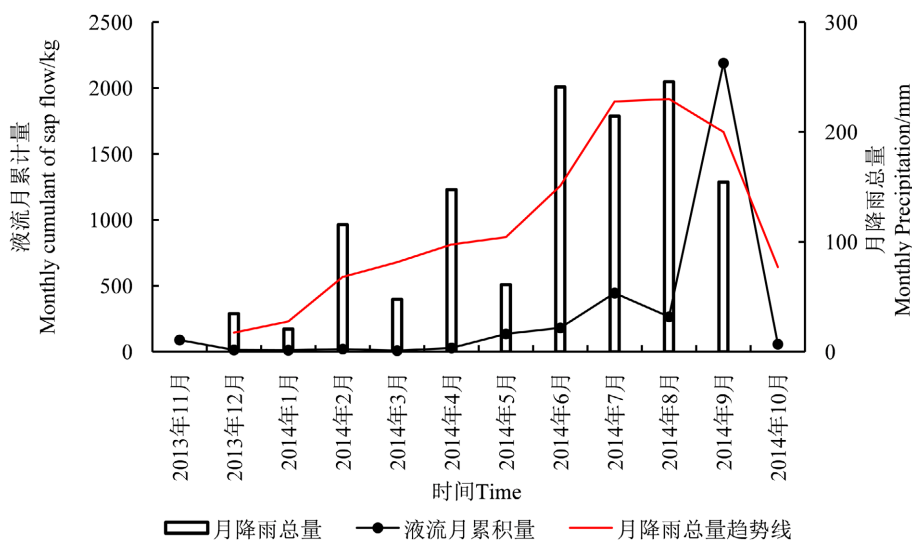


Figure 4. Monthly cumulant of sap flow

图 4. 树干液流月累积总量

从图 5 和图 6 可以观察到,冬季液流日累积量相对较少且变化平缓。冬季因温低、蒸腾弱、耗水量少,导致液流日累积量少;而夏季相反。但 9 月出现了全天“零液流”的现象,主要是因为梅雨季节影响。

### 3.3. 环境因素对树干液流的影响

经筛选和剔除数据后,本研究利用 SPSS22.0 软件对树干液流与环境要素之间的关联进行了分析,得

到了相关性系数表 2。此外, 随机选取 8 月份的 4 天, 将树干液流速率与同步的气象监测数据进行日变化过程曲线图绘制(图 7)。

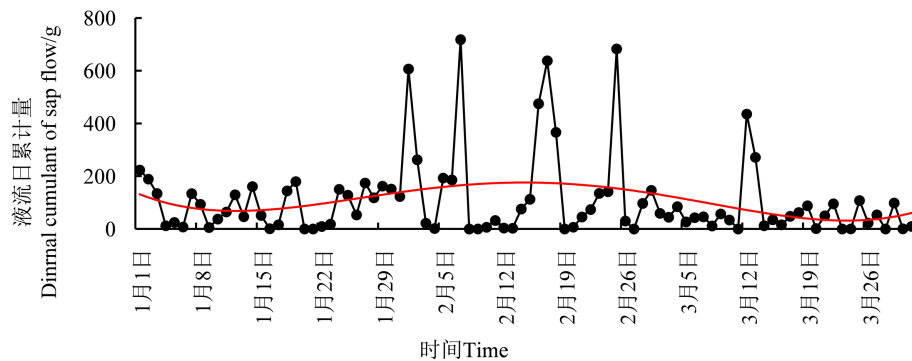


Figure 5. Diurnal cumulant of sap flow in winter

图 5. 冬季树干液流日累计量

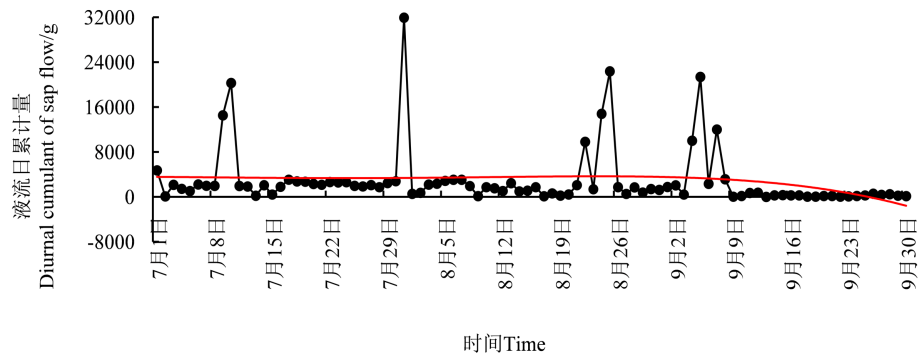


Figure 6. Diurnal cumulant of sap flow in summer

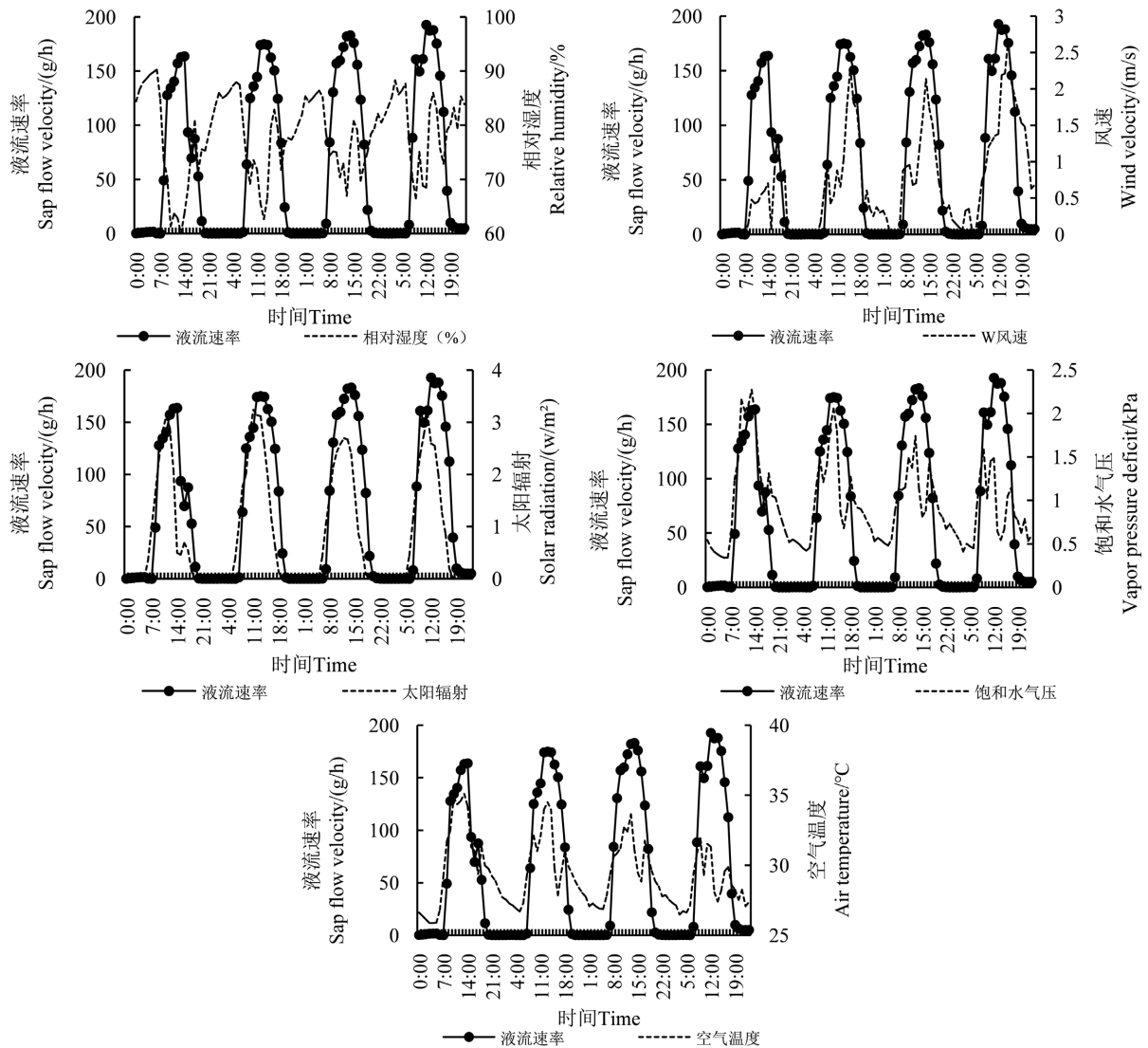
图 6. 夏季树干液流日累计量

Table 2. The correlation analysis between sap flow velocity and environment factors

表 2. 桂花液流速率与环境因子的 Pearson 相关性

指标 Index	空气相对湿度 Relative humidity	温度 Temperature	饱和水汽压差 Vapor pressure deficit	太阳辐射 Solar radiation	风速 Wind speed
液流速率 Sap flow velocity	-0.682**	0.726**	0.708**	0.848**	0.716**

表 2 的数据表明, 桂花液流速率与空气相对湿度呈负相关, 与温度、饱和水汽压差、太阳辐射和风速呈正相关, 并且这些相关性都较为显著。按照显著性大小排序得出以下顺序:  $S > T > W > VPD > RH$ 。此外, 从图 7 中可以发现, 树干液流与空气温度、饱和水汽压差、太阳辐射和风速的变化趋势相同, 但与相对湿度的变化趋势相反。尽管气象要素与树干液流的变化启动时间呈同步趋势, 但气象要素的峰值相较于树干液流存在显著的滞后现象, 树干液流的峰值大约提前 1 小时出现。当辐射增强温度上升, 植物通过蒸腾作用来降低叶片温度, 蒸腾速率加快。叶片接受的光辐射有临界值, 在高温条件下, 叶片气孔阻力增大, 导致水势降低, 进而减弱蒸腾作用。同理, 当空气湿度较低时, 叶片与大气之间的水汽压差增大, 从而加速蒸腾速率; 反之, 在空气湿度较高的情况下, 蒸腾速率则有所减缓。因此, 一般来说, 早晨和晚间空气湿度较大, 导致蒸腾速度相对较慢; 而在晴朗的午后, 蒸腾速度较高。



**Figure 7.** Continuous diurnal curve of sap flow velocity and environmental factors  
**图 7.** 液流速率与环境因子连日变化曲线

通过对桂花树干液流与环境因子进行 Pearson 线性相关性分析,可以发现它们之间存在较强的线性关系。因此,通过对树干液流速率及相应的同步气象资料的研究,采用 SPSS22.0 软件进行多元线性回归分析。在此分析中,以树干液流速率( $F$ , kg/h)作为因变量,以环境因子相对湿度( $RH$ , %)、温度( $T$ , °C)、饱和水汽压差( $VPD$ , °C)、太阳辐射( $S$ , kW/m<sup>2</sup>)和风速( $W$ , m/s)作为自变量,通过逐步多项式回归法,得到如下拟合方程:

$F = 5.227RH + 122.875VPD + 48.094W + 28.397S - 520.732$  ( $R^2 = 0.886$ )。该方程的  $R^2$  值为 0.886,表明模型拟合度良好。因此,可以通过这个方程来预测桂花树干液流速率,从而更好地理解 and 预测环境因子对桂花生长的影响。

#### 4. 结论

1) 桂花的液流表现出显著的“日高夜低”模式,呈现出“几”字型单峰曲线。在晴朗的天气状况下,液流速率和液流量显著高于阴雨天气。然而,桂花树干的液流晴天表现并不明显,阴雨天液流速率明显



较小,且持续时间较短。降雨对液流速率影响较大,特别是在前期充分降水、连续强降雨的情况下,桂花树干液流在凌晨 1:00 到早晨 8:00 的一段时间内几乎为零的情况与晴天时差异显著,在凌晨时段,树干液流受环境因素影响流速较大。

2) 桂花液流量夏季较集中,冬季很小,其月际变化曲线呈现出双峰曲线形态。在冬季,桂花液流的日累计量波动较为温和,相比之下,夏季的日累计量波动则呈现出较大的幅度,并容易受到阵发性强降雨的影响,导致树干液流呈现出无规律波动。

3) 桂花液流速率与空气相对湿度呈负相关,与温度、饱和水汽压差、太阳辐射和风速呈正相关,相关性都较为显著。按照显著性大小排序得出以下顺序: $S(0.848) > T(0.726) > W(0.716) > VPD(0.708) > RH(-0.682)$ 。

## 基金项目

国家重点研发计划项目(“低效人工林增效与生态服务提升综合集成与示范”2017YFC0505500);江苏省高等学校林学优势学科建设项目(164010641)。

## 参考文献

- [1] 徐利岗,苗正伟,杜历,等. 干旱区枸杞树干液流变化特征及其影响因素[J]. 生态学报, 2016, 36(17): 5519-5527.
- [2] Granier, A., Bobay, V., Gash, J.H.C., et al. (1990) Vapour Flux Density and Transpiration Rate Comparisons in a Stand of Maritime Pine (*Pinus pinaster* Ait.) in Les Landes Forest. *Agricultural & Forest Meteorology*, **51**, 309-319. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(90\)90115-M](https://doi.org/10.1016/0168-1923(90)90115-M)
- [3] Baker, J.M. and Bavel, C.H.M.V. (1987) Measurement of Mass Flow of Water in the Stems of Herbaceous Plants. *Plant Cell & Environment*, **10**, 777-782. <https://doi.org/10.1111/1365-3040.ep11604765>
- [4] 聂立水,李吉跃. 应用 TDP 技术研究油松树干液流流速[J]. 北京林业大学学报, 2004, 26(6): 49-56.
- [5] 刘鑫,张金池,汪春林,等. 长三角区麻栎树干液流的季节变化特征[J]. 中国水土保持科学, 2013(6): 66-73.
- [6] 任启文,毕君,李联地,等. 冀北山地油松树干液流特征及其对环境因子的响应[J]. 水土保持学报, 2017, 31(5): 183-188.
- [7] 张俊,李晓飞,李建贵,等. 干旱荒漠区银白杨树树干液流动态[J]. 生态学报, 2013, 33(18): 5655-5660.
- [8] 王小菲,孙永玉,李昆,等. 山合欢树干液流的季节变化[J]. 生态学杂志, 2013, 32(3): 597-603.
- [9] 江振斌,廖康,庞洪翔,等. “库尔勒香梨”3种树形树干液流变化及其与气象因子的关系[J]. 果树学报, 2016(7): 814-822.
- [10] 张璇,张会兰,王玉杰,等. 缙云山典型树种树干液流日际变化特征及与气象因子关系[J]. 北京林业大学学报, 2016, 38(3): 11-20.
- [11] 张晓艳,褚建民,孟平,等. 民勤绿洲荒漠过渡带梭梭东、西方位树干液流特征及相关性分析[J]. 植物资源与环境学报, 2016, 25(2): 10-22.
- [12] 姚依强,陈珂,王彦辉,等. 华北落叶松树干液流速率主要影响因子及关系的时间尺度变化[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(2): 155-161.
- [13] 张静,王力,韩雪,等. 不同时间尺度下黄土塬区 19 年生苹果树干液流速率与环境因子的关系[J]. 中国农业科学, 2016(13): 2583-2592.
- [14] 马建鹏,汪有科,陈滇豫,等. 不同时间尺度上枣树树干液流的变异特性[J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(3): 95-101.
- [15] 廖亮,吴家胜,吴江,等. 干旱胁迫对桂花幼苗生长及生理生化特性的影响[J]. 西部林业科学, 2018(2): 54-58.
- [16] 邱帅,沈柏春,李婷婷,等. 基于随机森林算法和 SRAP 分子标记的桂花品种鉴定方法[J]. 林业科学, 2018(1): 32-45.
- [17] 陈洪国,汪华. 我国桂花种资源的研究和利用及咸宁桂花发展现状[J]. 湖北科技学院学报, 2004, 24(3): 116-118.
- [18] 施远,施新程,黄旺志,等. 豫南地区桂花品种园林应用价值综合评价[J]. 信阳师范学院学报(自然科学版),

2017, 30(2): 224-227.

- [19] 杨秀莲, 施婷婷, 文爱林, 等. 不同桂花品种香气成分的差异分析[J]. 东北林业大学学报, 2015(1): 83-87.
- [20] 毛行元, 葛波, 成举荣, 等. 饱和供水条件下无患子树干液流特征及其影响因子[J]. 东北林业大学学报, 2018(7): 12-17.