

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第34卷 第9期 Vol.34 No.9 **2014**

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

(SHENGTAI XUEBAO)

第 34 卷 第 9 期

2014 年 5 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 基于土壤食物网的生态系统复杂性-稳定性关系研究进展 陈云峰,唐政,李慧,等 (2173)
- 滇西北高原入湖河口退化湿地生态修复效益分析 符文超,田昆,肖德荣,等 (2187)
- 典型峰丛洼地耕地、聚落及其与喀斯特石漠化的相互关系——案例研究
..... 李阳兵,罗光杰,白晓永,等 (2195)
- 青藏高原东缘高寒草原有毒植物分布与高原鼠兔、高原麝鼠的相关性 ... 金樑,孙莉,崔慧君,等 (2208)
- 周边不同生境条件对茶园蜘蛛群落及叶蝉种群时空结构的影响 黎健龙,唐劲驰,黎秀娣,等 (2216)

个体与基础生态

- 三峡库区马尾松林土壤-凋落物层酶活性对凋落物分解的影响 葛晓改,肖文发,曾立雄,等 (2228)
- 芦苇、香蒲和蘆草 3 种挺水植物的养分吸收动力学 张熙灵,王立新,刘华民,等 (2238)
- 沙化程度和林龄对湿地松叶片及林下土壤 C、N、P 化学计量特征影响 ... 胡启武,聂兰琴,郑艳明,等 (2246)
- 内蒙古典型草原小叶锦鸡儿灌丛化对水分再分配和利用的影响 彭海英,李小雁,童绍玉 (2256)
- 遮阴对米槠和杉木原位排放甲烷的影响 陈细香,杨燕华,江军,等 (2266)
- 桔小实蝇和番石榴实蝇对 6 种寄主果实的产卵选择适应性 刘慧,侯柏华,张灿,等 (2274)
- 鼠尾草属东亚分支的传粉模式 黄艳波,魏宇昆,葛斌杰,等 (2282)

种群、群落和生态系统

- 养分资源脉冲供给对几种微藻种间竞争的影响 李伟 (2290)
- 不同植被恢复类型的土壤肥力质量评价 李静鹏,徐明锋,苏志尧,等 (2297)
- 黄土丘陵区植物功能性状的尺度变化与依赖 丁曼,温仲明,郑颖 (2308)
- 湘潭锰矿栎树叶片和土壤 N、P 化学计量特征 徐露燕,田大伦,王光军,等 (2316)
- 黄土高原春小麦农田蒸散及其影响因素 阳伏林,张强,王文玉,等 (2323)
- 尾矿区不同植被恢复模式下高效固氮菌的筛选及 Biolog 鉴定 李雯,阎爱华,黄秋娟,等 (2329)
- 四川理县杂谷脑干旱河谷岷江柏造林恢复效果评价 李东胜,罗达,史作民,等 (2338)

景观、区域和全球生态

- 闽南-台湾浅滩渔场二长棘鲷群体景观多样性 蔡建堤,苏国强,马超,等 (2347)
- 面向土系调查制图的小尺度区域景观分类——以宁镇丘陵区中一小区域为例
..... 卢浩东,潘剑君,付传城,等 (2356)

气候变化对华北冬小麦生育期和灌溉需水量的影响..... 胡 玮,严昌荣,李迎春,等 (2367)

资源与产业生态

基于 LMDI 分解的厦门市碳排放强度影响因素分析 刘 源,李向阳,林剑艺,等 (2378)

可持续生计目标下的生态旅游发展模式——以河北白洋淀湿地自然保护区王家寨社区为例.....

..... 王 瑾,张玉钧,石 玲 (2388)

荔枝树干液流速率与气象因子的关系 凡 超,邱燕萍,李志强,等 (2401)

肿腿蜂类寄生蜂室内控害效能评价——以松脊吉丁肿腿蜂为例 展茂魁,杨忠岐,王小艺,等 (2411)

城乡与社会生态

内蒙古草原人类福祉与生态系统服务及其动态变化——以锡林郭勒草原为例.....

..... 代光烁,娜日苏,董孝斌,等 (2422)

基于农业面源污染分区的三峡库区生态农业园建设研究 刘 涓,谢 谦,倪九派,等 (2431)

“交通廊道蔓延”视角下山地城市典型样带空间格局梯度分析 吕志强,代富强,周启刚 (2442)

学术信息与动态

美国地理学家协会 2014 年会述评 孙然好,肖荣波 (2450)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 280 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 30 * 2014-05



封面图说: 峰丛洼地石漠化——峰丛主要分布在云贵高原的边缘部分及桂西、桂西北地区,相对高度一般为 200—300m,高的可达 600m 以上。在峰丛之间,岩溶洼地、漏斗、落水洞很发育,常形成峰丛洼地或峰丛漏斗的组合形态。峰丛洼地中的土地相当贫瘠,由于当地人们依靠这些土地种植庄稼为生,石漠化的发展趋势已经越来越明显。尤其在土地承载力低、人口压力大的区域石漠化相当严重,研究峰丛洼地耕地资源分布、土地利用强度和石漠化发育状况之间的机理,有助于从本质上认识石漠化的发生,对石漠化治理实施科学指导。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201307041839

凡超,邱燕萍,李志强,李建光,张邦跃,袁沛元.荔枝树干液流速率与气象因子的关系.生态学报,2014,34(9):2401-2410.

Fan C, Qiu Y P, Li Z Q, Li J G, Zhang B Y, Yuan P Y. Relationships between stem sap flow rate of litchi trees and meteorological parameters. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(9): 2401-2410.

荔枝树干液流速率与气象因子的关系

凡 超,邱燕萍,李志强,李建光,张邦跃,袁沛元*

(广东省农业科学院果树研究所,农业部亚热带果树生物学与遗传资源利用重点实验室,广州 510640)

摘要:采用热扩散茎流仪于 2011—2012 年连续监测‘桂味’荔枝树干液流速率,将所得数据和果园内自动气象站观测数据一起进行对比分析,建立了液流速率与气象因子的关系模型。实验结果表明:(1)树干液流速率日变化呈现“昼高夜低”的规律。季节变化有呈现“先高后低”的趋势,整体上以果实发育期和成熟期(5—7 月)液流速率较高。2011 年年平均液流速率明显大于 2012 年;(2)树干液流速率日变化在晴天时多呈单峰曲线,且振幅较大;在雨天呈多峰曲线,且振幅较小。总体上,晴天平均液流速率约是雨天的两倍;(3)回归分析表明,在一定范围内,树干液流速率与太阳辐射强度、空气温度呈正相关,与空气湿度呈负相关。影响液流速率最重要的气象因子在晴天是空气温度,在雨天是太阳辐射。

关键词:热扩散液流探针;荔枝;树干液流速率;气象因子

Relationships between stem sap flow rate of litchi trees and meteorological parameters

FAN Chao, QIU Yanping, LI Zhiqiang, LI Jianguang, ZHANG Bangyue, YUAN Peiyuan*

Institute of Fruit Tree Research Guangdong Academy of Agricultural Science, Key Laboratory of Biology and Genetic Resource Utilization of Fruit Tree in South Subtropics, Ministry of Agriculture, Guangzhou 510640, China

Abstract: The stem sap flow rates in “Guiwei” litchi trees and the meteorological conditions in the litchi orchard were observed continuously and synchronously from 2011 to 2012, using a Dynamax sap flow measuring system and an automatic weather station system, respectively. The temporal patterns of stem sap flow rates and the response to meteorological parameters were analyzed in order to establish a model of the relationship between these two variables. The principle results were as follows: (1) the stem sap flow rate followed a diurnal pattern, whereby rates were high during the day and low during the night. Seasonal variations in stem sap flow rates were observed, with higher average flow rates in the period of fruit maturation, from May to July. The average stem sap flow rate in 2011 was significantly higher than that in 2012. (2) On sunny days, the daily variation in stem sap flow-rate was characterized by a single-peak with a large amplitude of variation, while on rainy days the flow-rate was characterized by multiple peaks with a smaller amplitude of variation. On sunny days, the average value of stem sap flow-rate was twice as high as that on rainy days. (3) The regression equation based on stem sap flow rates and meteorological conditions showed that for a certain range of values, a positive correlation existed between the stem sap flow rates and solar radiation, and between the stem sap flow rates and air temperature, while a negative correlation existed between the stem sap flow rates and relative air humidity. On both sunny and rainy days, solar radiation and air temperature were the most important controls on stem sap flow rates, in terms of meteorological conditions.

基金项目:国家现代农业产业技术体系专项资金(CARS-33-12)

收稿日期:2013-07-04; 修订日期:2013-12-06

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: pyuan3022@126.com

Key Words: thermal dissipation sap flow rate probe; litchi (*Litchi chinensis* Sonn.); stem sap flow rate; meteorological factors

植物蒸腾速率主要取决于环境条件和植物自身特性,蒸腾所消耗的水分占植株根部吸收水分的99%以上^[1]。树干液流是指蒸腾在植株体内引起的上升流,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。自20世纪90年代以来,热扩散液流探针(TDP)技术在植物蒸腾测定上的应用日多并逐渐完善,因其具有可在自然条件下测定活体树木的液流量、方法简便、精确度高、可持续和可定量测定等优点被称之为“最美妙的液流速度测量方法”^[2-5],已在树干液流特性与环境因子关系的研究上获得了较多的应用^[6-8]。

我国是世界荔枝(*Litchi chinensis* Sonn.)第一生产大国,其面积及产量均居世界之首。荔枝对环境变化敏感,营养生长、花芽分化、开花和果实发育均受温度和水分的影响,并因此容易发生“大小年”^[9-13]。因此,摸清荔枝树体水分吸收和耗散规律及其与气象因子关系对制定丰产稳产栽培技术措施显得尤为重要,但基于TDP技术对荔枝树蒸腾耗水特性及水分需求生理的连续动态观察目前尚未有报道。‘桂味’荔枝是我国栽培面积较大的优质品种之一,果实品质极佳,以细核,肉质爽脆,清甜,有桂花香味而闻名^[14],但它也是典型的丰产稳产性差的荔枝品种之一^[15],因此,研究环境因子对‘桂味’荔枝蒸腾作用的影响具有重要的生产指导意义。

本文采用TDP技术测定‘桂味’荔枝树干液流速率,结合分析自动气象站观察数据,以揭示‘桂味’荔枝树干液流速率变化及其对气象因子变化的响应规律,摸清荔枝蒸腾耗水情况,为荔枝果园的合理水分管理技术提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于2011—2012年在广东省农业科学院果树研究所荔枝园内进行,该地属亚热带气候,春夏季以南风和东南风为主。年平均降雨量为1725 mm,每年3—5月为梅雨季节,年平均相对湿度为79%。年平均气温为21.8℃。年平均日照为1960 h,年平均总辐射量 106.7×4.168 kJ。2011年,降雨量为

1410.1 mm,日平均相对湿度为71.6%,日平均气温为21.8℃,日照为1871 h。2012年,降雨量为1801.5 mm,日平均相对湿度为77.6%,日平均气温为22.3℃,日照1412.1 h。所有气象数据来源于广东省气象局。

1.2 试验材料及预处理

试验材料为10年生桂味荔枝树,南北行向,株行距为4 m×4 m。实验园田间土壤为砂质红壤土,常规管理水平。选择树势一致,主干直径14.5—15.5 cm、株高2.5—3 m,生长良好,树干通直且粗壮,不偏冠的3株树作为监测样本进行连续监测。在树干南向距基部30—35 cm处刮掉大小为10 cm×20 cm的木栓化树皮,以不伤及内层活树皮为度。用10%漂白剂(次氯酸钠)将待测处洗净消毒,用细砂纸将其打磨光滑,供安装TDP探头之用。

1.3 树干液流的测定

利用Granier改进的双热电偶检测热耗散的热扩散液流探针直接测量树干液流,确定桂味荔枝树单株水分消耗(蒸腾)。根据所测树的干径选用TDP-30探头。将随机提供的钻孔模板贴在树干去皮部位,用带有规格钻头的电钻水平钻孔,并对钻孔注消毒水消毒。为确保探头与茎干接触良好,保护探头不受损伤且不与树干粘连,在探头电热条上涂上一薄层G4硅胶。将探头小心插入钻孔后,用O形环及玻璃胶将孔密封,并用塑料泡沫将探头外部固定。为了防止太阳辐射、露水和降雨等因素对探头及测量的影响,用夹有隔热材料的锡箔包裹探针和树干,最后用胶带密封。

将TDP馈线与数据采集器(DL2e Data Logger, Delta-T Devices Ltd, UK)连接,接通电源,设置数据采集器工作参数,数据采集间隔期为10 min,每隔10 d下载数据。树干液流速率计算公式如下:

$$K = (dt_{\max} - dt_i) / dt_i$$

$$V_i = 0.0119 \times K^{1.231} \times 3600$$

式中, K 为无量纲参数,双热电偶温差 dt_i 由TDP探头所测定的电压信号除以常数0.04计算得出, V_i 为实际液流速率(cm/h)。

1.4 气象资料的收集

利用安装在试验果园附近的Vantage Pro 2无线

自动气象站收集,收集的气象指标包括:太阳辐射强度(W/m^2)、空气温度($^{\circ}\text{C}$)、相对湿度(%)、风速(m/s)和降雨量(mm)等气象因子,每隔 10 min 记录 1 次。

1.5 数据分析

使用软件 SPSS13.0 和 EXCEL 对数据进行统计分析和作图。

2 结果与分析

2.1 桂味荔枝树干边材液流速率日变化规律

从 2011—2012 年连续两年树干边材液流速率变化可以看出,液流速率日变化呈现出明显的昼夜

变化规律(图 1),即白天液流速率要明显高于清晨和夜晚,振幅较大;而清晨和晚上的液流缓慢,甚至接近零,且振幅相对较小。液流速度变化曲线的第 1 个拐点(即启动时间)出现在 06:00—07:30,峰值出现时间(第 2 拐点)在 12:00—13:00。液流速率急剧减小时间(第 3 拐点)没有启动时间界限明显,多在 18:30—19:00 开始急剧降低,在 19:00—20:30 下降至极低值并趋于稳定(第 4 拐点),然后维持这一水平直到第 2 天的液流启动时期。整个日周期液流活跃阶段历时约 14 h。在不同的生长时期,树干液流启动时间、达到峰值时间和峰值均有明显差异。

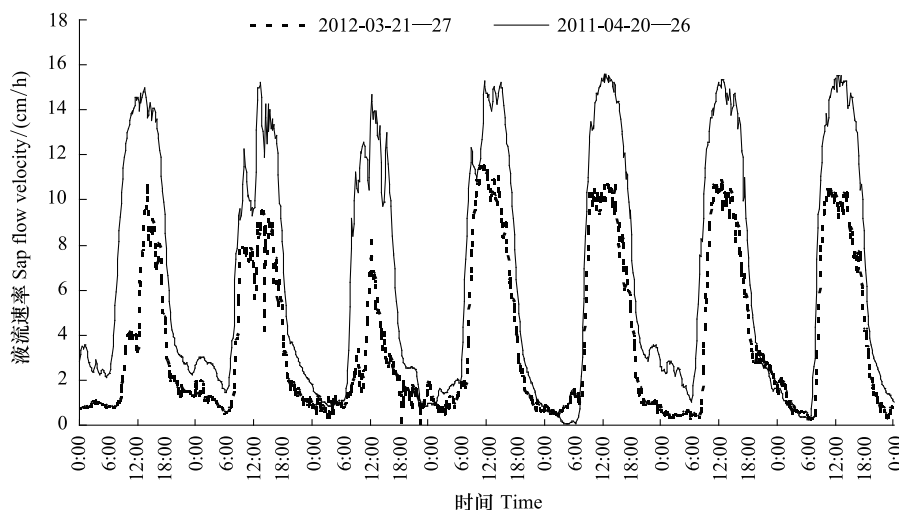


图 1 树干液流速率连日变化

Fig.1 Diurnal changes of litchi stem sap flow rates

天气条件影响树干液流速率。一般情况下,液流速率表现为晴天>阴天^[16]。选取两年中典型的晴天和雨天树干液流速率数据绘制出平均液流速率变化图(图 2),可见在晴天条件下液流速率多表现为明显的单峰曲线,在雨天表现为多峰曲线。而两种典型天气条件下液流启动时间差异不大,但峰值出现的时间和出现次数差异较大,且雨天到达峰值的时间不定,液流停止的时间较晴天略早。统计表明,晴天和雨天平均液流速率分别为 5.18 cm/h 和 3.11 cm/h,晴天约是雨天的 1.67 倍。其中,在 06:00—19:00 时间段,晴天和雨天平均液流速率为 8.45 cm/h 和 5.13 cm/h,分别占全天平均液流总速率的 88.12%和 85.23%。

2.2 不同月份桂味荔枝树干边材平均液流速率变化规律

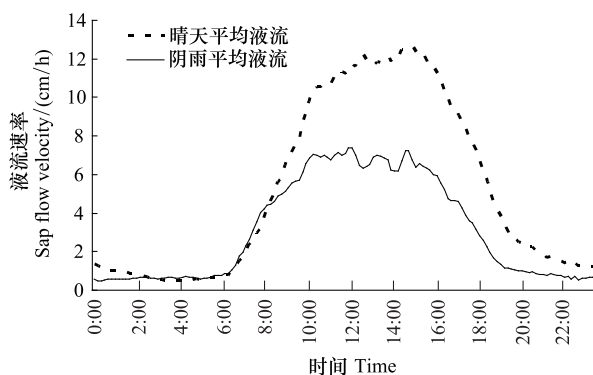


图 2 典型天气条件下树干液流平均速率变化规律

Fig.2 Comparison of diurnal changes in average stem sap flow rates between typical sunny and rainy days

将桂味荔枝主要生长季各月对应时刻的树干边材液流速率进行平均,得出各月平均液流速率日变

化图(图3)。各月平均液流速率日变化均为单峰曲线。不同月份间平均液流速率的日变化趋势基本一致,但各拐点出现时间和液流峰值等具有明显的差异。经统计,2011年主要生长季各月树干平均液流

速率大小依次是:4月>7月>8月>6月>5月>3月。2012年主要生长季各月树干平均液流速率大小依次是:7月>6月>8月>5月>4月>3月。

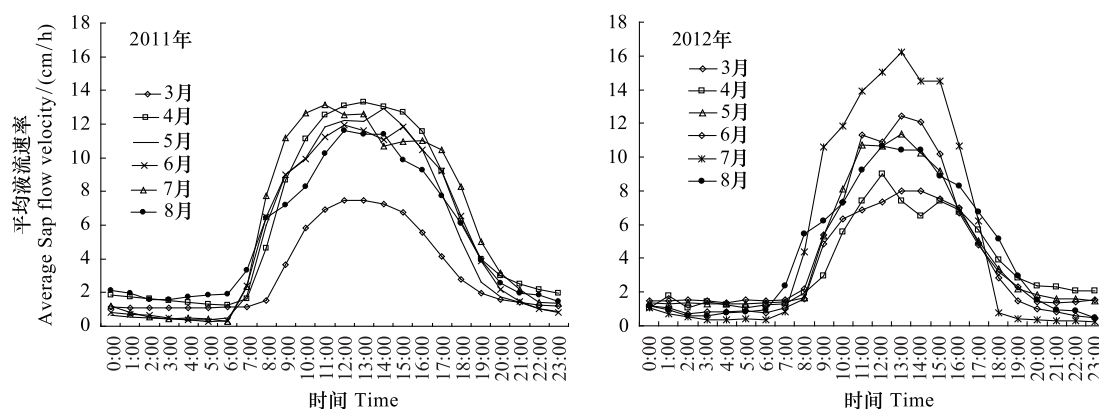


图3 不同月份树干边材平均液流速率

Fig.3 Changes in monthly average stem sap flow rates during litchi growing seasons

2.3 不同年份桂味荔枝树干边材平均液流速率变化规律

将连续两年同一探头测得的树干边材每日对应时间的液流速率进行平均,得出各年平均液流速率日变化规律。由图4可知,2011年和2012年平均每日液流速率开始上升时间分别为7:00和7:30,液流速率趋于停止的时间分别为20:00和19:00,液流速率达到峰值的时间均为12:40,峰值分别为10.78 cm/h、3.75 cm/h。2011年和2012年总平均液流速率分别为4.69 cm/h和1.82 cm/h,其中,在06:00—19:00时间段,2011年和2012年总平均液流速率为7.25 cm/h和2.56 cm/h,分别占全年平均液流总速率的83.81%和75.94%。

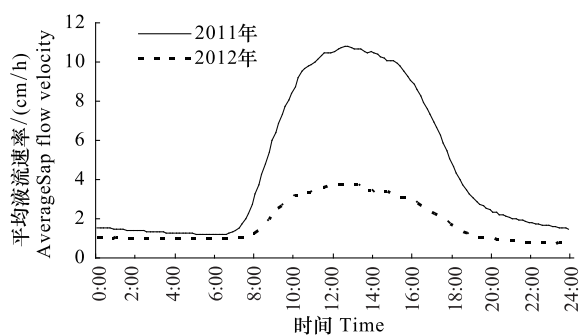


图4 不同年份树干平均液流速率

Fig.4 Comparison of diurnal changes in annual average stem sap flow rates between 2011 and 2012

2.4 气象因子对桂味荔枝树干液流的影响

为了更好的分析液流速率与各种气象因子之间的关系,选择不同天气条件下测得的边材液流速率与气象数据进行分析(包括432组晴天数据和864组雨天数据),并用11种常用的经验曲线对液流速率与各气象因子进行拟合。

2.4.1 晴天天气条件下气象因子对桂味荔枝树干液流的影响

(1) 太阳辐射强度对桂味荔枝树干液流的影响

从图5中可以看出,液流速率与太阳辐射强度的变化趋势相似,液流速率随着太阳辐射强度的增加而加快,但液流速率变化各时间拐点略晚于太阳辐射强度变化,反映出液流的启动和停止与光照紧密相关。从液流速率和太阳辐射拟合曲线分析可知(图6),当太阳辐射小于 400 W/m^2 时,液流速率随着太阳辐射的增强而急剧升高。当大于 450 W/m^2 时,液流速率增加趋缓。

(2) 空气温度对桂味荔枝树干液流的影响

从图7中可以看出,液流速率的变化趋势与空气温度的变化趋势基本一致。从6:00左右开始,液流速率随着空气温度的升高而增大,启动时间较空气温度急剧上升时间要晚。空气温度和液流速率在13:00先后达到峰值,然后均开始下降,但空气温度较液流速率下降慢,进入较稳定状态的时间较早,稳定状态持续时间较短。从液流速率和空气温度拟合

曲线分析可知(图 8),在 19—30 ℃ 内,液流速率随着空气温度的上升而快速上升,当气温高于 30 ℃ 时,液流速率上升速度明显减缓。

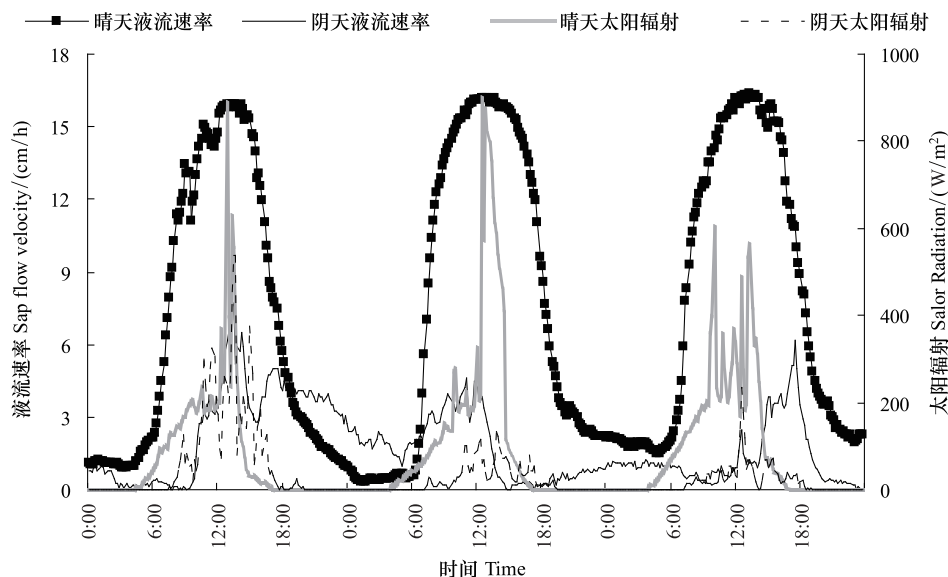


图 5 树干液流速率与太阳辐射的关系

Fig.5 Relationship between stem sap flow rate and solar radiation strength

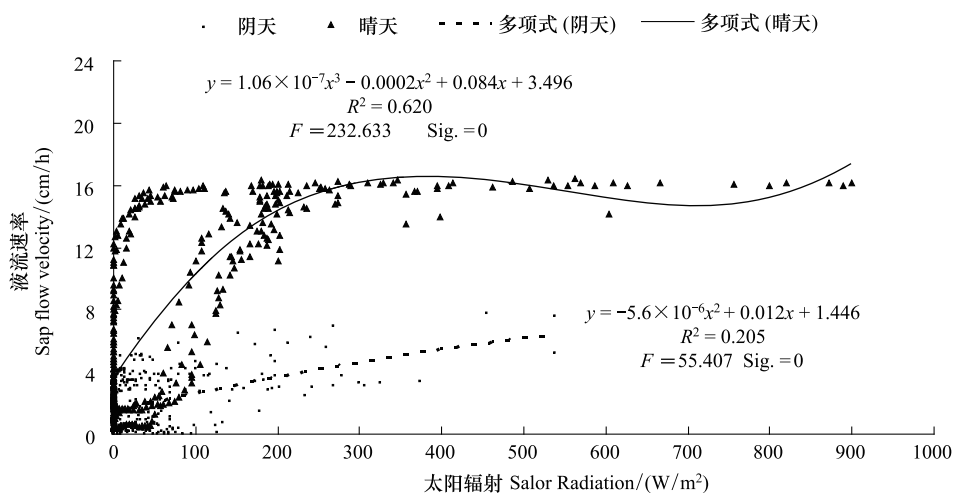


图 6 树干液流速率与太阳辐射强度拟合图

Fig.6 Curve fitting between stem sap flow rates and solar radiation strength

(3) 空气相对湿度对桂味荔枝树干液流的影响

从图 9 中可以看出,液流速率变化趋势与空气相对湿度相反。液流启动时间、停止时间和达到峰值时间滞后空气相对湿度变化的相应拐点出现的时间。白天空气相对湿度随着温度的升高逐渐降低,而液流速率则急剧增大,到中午前后空气湿度达到最低值,一般在 50%—60%之间,午后空气相对湿度缓慢增加,液流速率逐渐减小。夜间空气相对湿度

较大,最大值达到 85.8%,液流速率最小且变化平稳。液流速率和空气相对湿度拟合曲线见图 10。

2.4.2 雨天天气条件下气象因子对桂味荔枝树干液流的影响

由图 5、图 7、图 9 可以看出,在雨天天气条件下,液流速率与各环境因子的关系较晴天复杂,常呈多峰曲线。液流速率与太阳辐射、空气温度和湿度变化的关系和晴天情况基本类似,液流速率启动、达

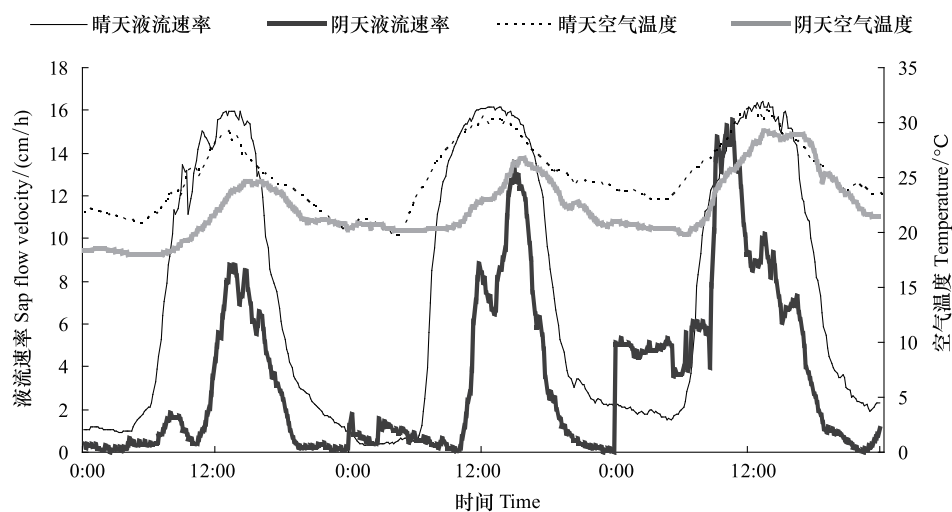


图7 树干液流速率与空气温度的关系

Fig.7 Relationship between stem sap flow rate and air temperature

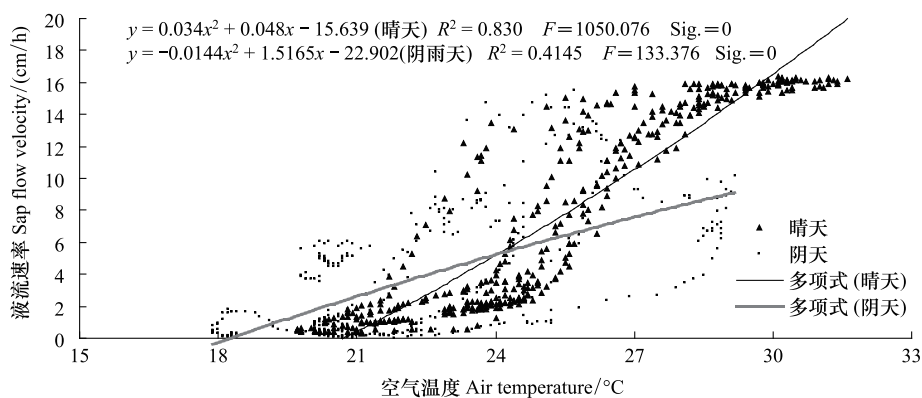


图8 树干液流速率与空气温度拟合

Fig.8 Curve fitting between stem sap flow rate and air temperature

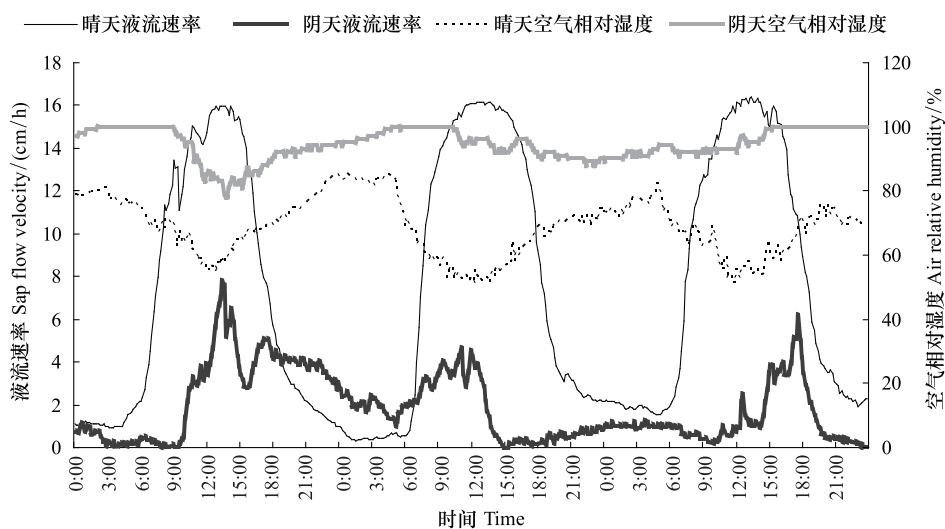


图9 树干液流速率与空气相对湿度的关系

Fig.9 Relationship between stem sap flow rate and air relative humidity

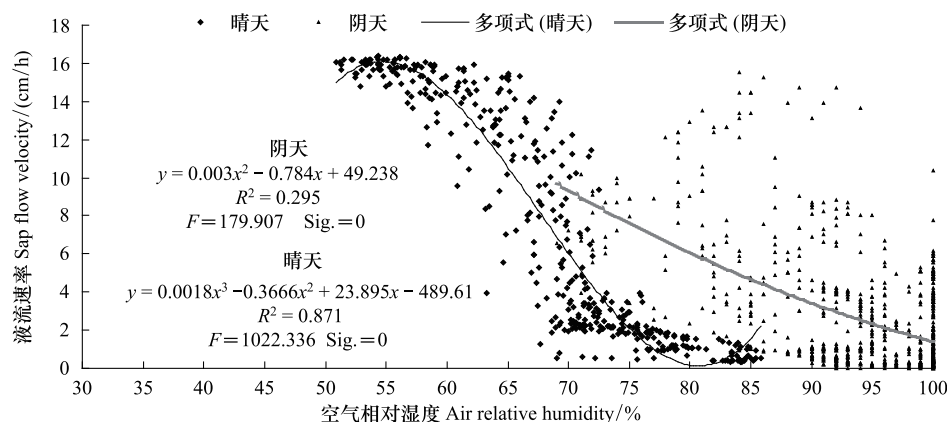


图 10 树干液流速率与空气相对湿度拟合图

Fig.10 Curve fitting between stem sap flow rate and air relative humidity

到峰值和停止等各主要拐点出现的时间略晚于空气温度,略早于空气相对湿度。当太阳辐射小于 200 W/m^2 、空气温度在 $18\text{—}27\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、空气相对湿度在 $80\%\text{—}100\%$ 时,液流速率随着太阳辐射的增强和空气温度的上升而急剧增大,随着空气相对湿度的增加而急剧下降。虽然各曲线经 F 检验达到极显著相关水平,但相关系数 R^2 较低,反映出液流速率与太阳辐射、空气温度、空气相对湿度等之间的相关性不是很高。

2.4.3 桂味荔枝树干液流速率与气象因子的相关性及其模型

回归分析表明,液流速率与风速和降雨量相关性不高。尽管其余各独立气象因子与液流之间拟合关系是非线性的,但用线性模型分析同样具有较高的相关性,采用二次以上多项式回归方程的拟合效果比用一元线性回归方程和指数回归方程更能反映

各生态因子与液流速率的关系。因此,采用多元逐步回归方程来拟合观测数据,结果如图 11—12。从中可以看出,在晴雨两种典型天气条件下,实际观测值与模拟值之间的残差呈正态分布,标准差分别为 0.997 和 0.998,而且标准残差正态 P-P 图中观测值与预测值几乎成一条直线。可见,在一定范围内,桂味荔枝树干边材液流速率与太阳辐射强度、空气温度呈正相关,与空气湿度呈负相关。在典型的晴天和雨天天气条件下,影响液流速率最重要的气象因子分别是空气温度和太阳辐射。拟合方程如下:

晴天 $y = -0.83 + 0.003x_1 + 0.996x_2 - 0.248x_3$

$R = 0.921, R^2 = 0.849$,校正后 R^2 为 0.847

雨天 $y = 6.012 + 0.21x_1 + 0.037x_2 - 0.056x_3$

($R = 0.748, R^2 = 0.559$,校正后 R^2 为 0.558)

式中, y 为液流速率, x_1, x_2, x_3 分别为太阳辐射、空气温度、空气相对湿度。

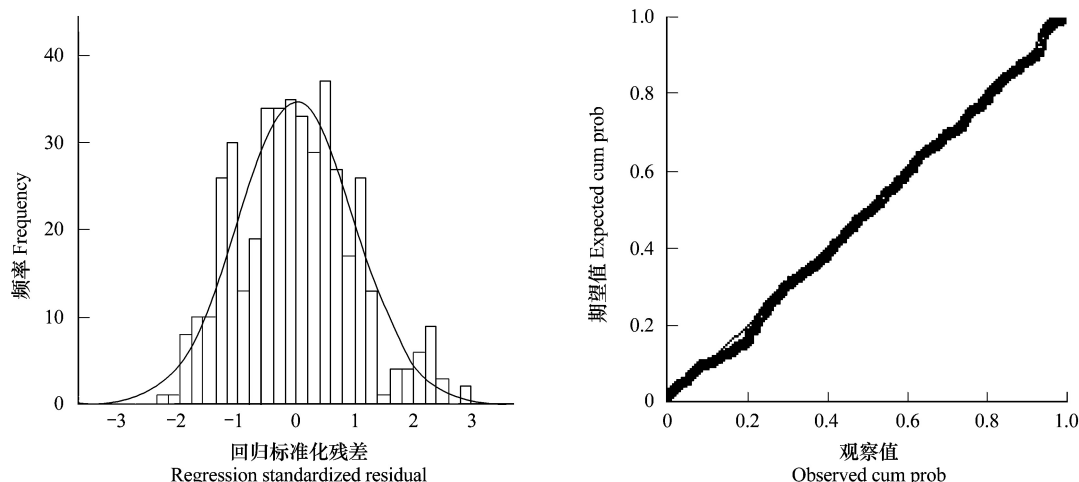


图 11 晴天树干液流速率与环境因子回归模型的残差频率及回归标准残差正态 P-P 图

Fig.11 Regression residual frequency and standardized residual normal P-P plot of model between stem sap flow rates and environmental factors in sunny days

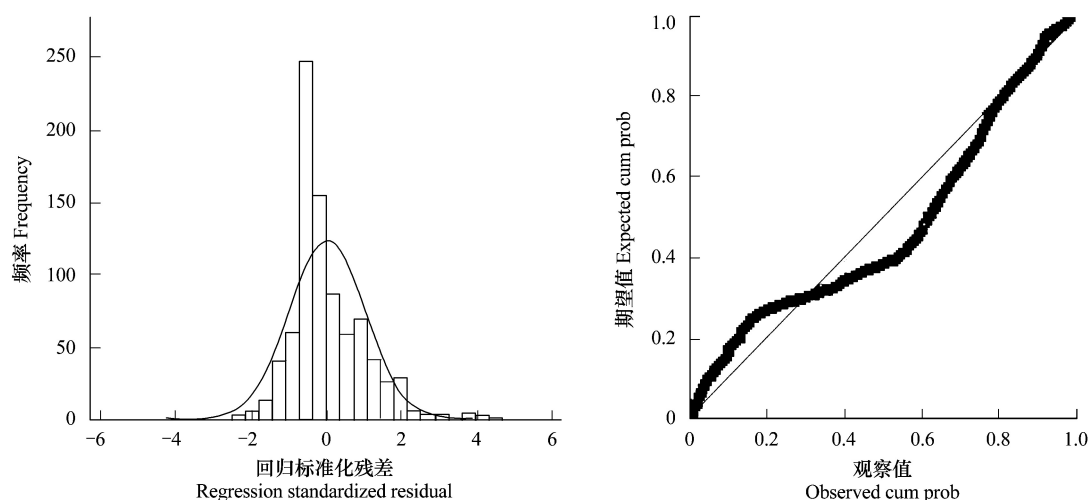


图 12 雨天树干液流速率与环境因子回归模型的残差频率及回归标准残差正态 P-P 图

Fig.12 Regression residual frequency and standardized residual normal P-P plot of model between stem sap flow rate and environmental factors in rainy days

3 结论与讨论

(1) 桂味荔枝树干边材液流具有明显的变化规律。其日变化呈现明显的“昼高夜低”的规律,且晚间也有一定的上升液流。液流速率与气象因子之间存在密切关系,这与孙慧珍^[17]、李焕波^[18]、高荣^[19]等研究结果一致。在季节变化方面,液流速率变化整体呈现先升后降的趋势,但在不同年份、不同生长季节之间,液流启动时间、峰值出现时间、峰值大小和停止时间等有较大的差异。从生长季(3—8月)的天气条件与该时期荔枝生长特性上看^[20-21],3月份广州地区雨天较多、温度较低、空气湿度大、太阳辐射强度小,荔枝叶片内外的水蒸汽压力梯度小,树体水分蒸腾拉力小,树干液流上升速度慢^[22-23]。4月以多云或晴天天气为主,气温较3月有很大上升,且上中旬正值荔枝盛花期,树体耗水量极大,致使液流速率大幅升高。5—7月份正值果实发育和成熟期,树体耗水量大,太阳辐射较强,气温偏高,液流速率持续升高。8月份果实已采收完毕,树体对水分需求量不大,液流速率虽然开始下降,但由于天气以晴到多云为主,太阳辐射较强、空气温度较高,树体蒸腾失水迅速,液流速率仍然维持在较高水平。2011年液流平均速率明显大于2012年,这是由于2012年阴雨天较多,降雨量较大(比2011年多约400mm),空气相对湿度较大,平均温度较低等原因造成的。

(2) 晴天和雨天下,荔枝树干边材液流速率变化规律并不完全一致,液流速率变化曲线的主要拐点出现的时间有显著差异。晴天树干液流速率日变化多呈单峰曲线,振幅较大,各拐点出现的时间略晚于太阳辐射、空气温度和空气相对湿度的变化拐点。阴雨天呈多峰曲线,振幅较小,液流速率的变化拐点略晚于太阳辐射和空气温度拐点,但却略早于空气相对湿度拐点。这与王瑞辉^[24]、马玲^[25]、赵文飞^[26]等研究认为树干液流与环境因子之间存在时滞效应的结果一致,这是因为蒸腾作用主要受太阳辐射、降雨量、土壤水势及自身水分传输等因素^[27]的影响。

树干边材液流与气象因子之间存在着良好的相关性。在一定范围内,树干液流速率与太阳辐射强度、空气温度呈正相关,与空气湿度呈负相关,但与风速和降雨量相关性差。在典型晴天和雨天天气条件下,影响液流速率最重要的气象因子分别是空气温度和太阳辐射。晴天,由于太阳辐射增强,气温升高,空气湿度下降,加上叶片光合等生理活性增强,气孔导度增大等原因,叶肉细胞间隙的水气压高,外界大气的水气压低,有利于水分从叶内逸出,从而促使植物蒸腾加快^[1,28]。雨天则相反^[25,29]。另外,很多学者通过对不同树种液流的研究也发现,在影响液流的各种环境因子中,太阳辐射、空气相对湿度和空气温度是影响液流变化的主导因子^[23,30],但也有例外的情况^[17],液流速率与叶片内外蒸汽压差、土壤温湿度、土壤供水水平、风速以及树木自身的直

径、高度、水容等生物学因素也有不同程度的相关性^[27,31-35]。

荔枝是一种对环境变化敏感的亚热带果树,营养生长、花芽分化、开花和果实发育均受温度和水分的影响,气象因子是造成荔枝大小年的一个重要因素^[4]。树干液流的变化受到各种环境因子、季节、树体生理状况的影响,因此,进行荔枝水分管理时需要综合考虑这些因素。虽然本研究结果可作为制定水分管理措施时的参考,但由于所得数据有限,尚不能作为定量的依据。除地上部的环境因素外,土壤中的环境因素本文并未涉及,相关影响有待深入研究。

References:

- [1] Pan R C. Plant Physiology. Beijing: Higher Education Press, 2008.
- [2] 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.
- [3] Li G D, Jia L M, Kong J J. Advances in thormal techniques on stem sap flow. Journal of Northwest Forestry University, 2008, 23(3): 94-100.
- [4] Yunusa I A M, Walker R R, Loveys B R, Blackmore D H. Determination of transpiration in irrigated grapevines: comparison of the heat-pulse technique with gravimetric and micrometeorological methods. Irrigation Science, 2000, 20(1): 1-8.
- [5] Bethenod O, Katerji N, Goujet R, Bertolini J M, Rana G. Determination and validation of corn crop transpiration by sap flow measurement under field conditions. Theoretical and Applied Climatology, 2000, 67(3/4): 153-160.
- [6] Ma L Y, Wang H T. Spatial and chronic fluctuation of sapwood flow and its relevant variables of Pinus tabulaeformis. Journal of Beijing Forestry University, 2002, 24(3): 23-27.
- [7] Sun H Z, Sun L, Wang C K, Zhou X F. Sap flow of the major tree species in the Eastern Mountainous Region in Northeast China. Scientia Silvae Sinicae, 2005, 41(3): 36-42.
- [8] Zhang X Y, Kang E S, Zhang Z H, Zhou M X, Si J H. Research on dynamics of stem sap flow of Elaeagnus angustifolia. Journal of Desert Research, 2006, 26(1): 146-151.
- [9] Menzel C M, Rasmussen T S, Simpson D R. Effects of temperature and leaf water stress on growth and flowering of litchi (Litchi chinensis Sonn.). Journal of Horticultural Science, 1989, 64(6): 739-752.
- [10] Sten R A, Meron M, Naor A, Wallach R, Bravdo B, Gazit S. Effect of fall irrigation level in 'Mauritius' and 'Floridian' lychee on soil and plant water status, flowering intensity, and yield. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1998, 123(1): 150-155.
- [11] Zhao X Q, Song S W, Li J G, Xie S G, Wang Z H, Li C B, Ji Z L. Phytomonitoring studies on water physiological factors related to Litchi production. Journal of Fruit Science, 2005, 22(6): 644-648.
- [12] Deng W G, Zhang L M, Tang S M. Progress in the study of effects of environmental factors on floral bud differentiation in Litchi. Journal of South China University of Tropical Agriculture, 2004, 10(1): 17-22.
- [13] Tao Z L, Gao A P, Zhou Z D. Weather conditions on the study on the impact of litchi production were reviewed. South China Fruits, 2001, 30(4): 29-31.
- [14] Zhang Z W. Litchi Pictorial Narration of Cultivation. Guangzhou: Guangdong Economy Press, 1999: 105-105.
- [15] Lai H L, Chen S W, Liu Y N, Zhuo Y Z, Yu X R. Research on the relationships between different branch types and Blossoming and fruiting, 2005, 34(6): 33-35.
- [16] Liu S M, Sun B Y, Sun C Z. Relationship between Pinus tabulaeformis transpiration and environmental elements. Journal of Northwest Forestry University, 1999, 14(4): 27-30.
- [17] Sun H Z, Zhou X F, Zhao H X. A researches on stem sap flow dynamics of Betula platyphylla. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(9): 1387-1391.
- [18] Li H B. Research on Sap Flow Rat of Red Fuji Apple Trees Grown in the Loess Plateau [D]. Xi'an: Northwest A&F University, 2008: 23-27.
- [19] Gao R. Research of Fuji Apple Tree Transpiration and Fertilizer Coupled in Weibei Plateau [D]. Xi'an: Northwest A&F University, 2008: 18-29.
- [20] Wu S X. China's Fruit Trees Volunteers-Litchi. Beijing: China's Forestry Press, 1998.
- [21] Li J G. The Litchi. Beijing: China Agriculture Press, 2008.
- [22] Yan C R, Downey A, Han X G, Chen L Z. A study on sap flow of Juglans mandshurica of growth season in deciduous broad leaf forest Beijing Mountain area. Acta Ecologica Sinica, 1999, 19(6): 193-197.
- [23] Cao W Q, Han H R, Ma Q Y, Kang F F, Lin C. Sap flow flux of Quercus liaotungensis in summer in deciduous broad-leaf forest of Taiyue Mountain in Shanxi Province. Scientia Silvae Sinicae, 2004, 40(2): 174-177.
- [24] Wang R H, Xi R C, Xu J L, Ma R Y. Measurement of the water consumption of gardening trees with thermal dissipation sap flow probe(TDP). Journal of Central South Forestry University, 2006, 26(2): 7-12.
- [25] Ma L, Zhao P, Rao X Q, Cai X A, Zeng X P, Lu P. Effects of environmental factors on sap flow in Acaci mangium. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(9): 2145-2151.
- [26] Zhao W F, Wang H T, Qi Y Y, Zhang Y H. Spatial variation of sap flow of Quercus acutissima and its lag effect during spring. Journal of Plant Ecology, 2007, 31(2): 320-325.
- [27] Wang L C, Zhai M P, Liu D P, Zhou Z F. Relationship between stock sap flow rate of Zizyphus acidujuba Hu and environmental factors. Journal of Beijing Forestry University, 2009, 31(6): 134-138.
- [28] Sun P S, Ma L Y, Wang X P, Zhai M P. Temporal and special variation of sap flow of Chinese Pine (Pinus tabulaeformis). Journal of Beijing Forestry University, 2000, 22(5): 1-6.
- [29] Su F L, Zhao H K, Guo C J, Jia Y H. Characters of sap flow of

- Populus × xiaozhuanica* and its relations with environment factors. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2010, 19(1): 164-173.
- [30] Xiong W, Wang Y H, Xu D Y. Regulations to water use for transpiration of *Larix principirupprechtii* Plantation and its response of environmental factors in Southern Ningxia Hilly area. *Scientia Silvae Sinicae*, 2003, 39(2): 1-7.
- [31] Zhang N N, Xu D P, Morris J, Zhou G Y, Zhou G Y, Wu Z M. Characteristics of sap flow in eucalyptus urophylla plantations on the Leizhou Peninsula. *Forest Research*, 2003, 16(6): 661-667.
- [32] Chang X X, Zhao W Z. Sap flow of *elaegnus angustifolia* and its relation with growth regime in middle reaches of Heihe River Basin. *Journal of Desert Research*, 2004, 24(4): 473-478.
- [33] Yue G Y, Zhang T H, Zhao H L, Niu L, Liu X P, Huang G. Characteristics of sap flow and transpiration of *Salix gordejvii* and *Caragana microphylla* in Horqin Sandy Land, Northeast China. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(10): 3205-3212.
- [34] Xu D, Li Y N, Liu Y, Goncalves J M, Pereira L S. Applied study of a DSS model for improving performances of farm and delivery and distribution systems. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2004, 23(2): 6-12, 25.
- [35] Yin G C, Zhou G Y, Wang X, Chu G W, Huang Z H. A study on sap flux density of two eucalyptus (*Eucalyptus urophylla*) plantations in southeastern China by heat-pulse method. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(10): 1984-1990.
- 类型与开花结果的关系研究. *中国南方果树*, 2005, 34(6): 33-35.
- [16] 刘淑明, 孙丙寅, 孙长忠. 油松蒸腾速率与环境因子关系的研究. *西北林学院学报*, 1999, 14(4): 27-30.
- [17] 孙慧珍, 周晓峰, 赵惠勋. 白桦树干液流的动态研究. *生态学报*, 2002, 22(9): 1387-1391.
- [18] 李焕波. 黄土高原红富士草果树树干茎流速率的研究[D]. 西北农林科技大学, 2008: 23-27.
- [19] 高荣. 渭北高原红富士苹果树蒸腾规律与水肥耦合研究[D]. 西北农林科技大学, 2008: 18-29.
- [20] 吴淑娟. *中国果树志·荔枝卷*. 中国林业出版社, 1998.
- [21] 李建国. *荔枝学*. 中国农业出版社, 2008.
- [22] 严昌荣, Alec Downey, 韩兴国, 陈灵芝. 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. *生态学报*, 1999, 19(6): 193-197.
- [23] 曹文强, 韩海荣, 马钦彦, 康峰峰, 蔺琛. 山西太岳山辽东栎夏季树干液流通量研究. *林业科学*, 2004, 40(2): 174-177.
- [24] 王瑞辉, 奚如春, 徐军亮, 马履一. 用热扩散式茎流计测定园林树木蒸腾耗水量. *中南林学院学报*, 2006, 26(2): 7-12.
- [25] 马玲, 赵平, 饶兴权, 蔡锡安, 曾小平, 陆平. 马占相思树干液流特征及其与环境因子的关系. *生态学报*, 2005, 25(9): 2145-2151.
- [26] 赵文飞, 王华田, 亓立云, 张迎辉. 春季麻栎树干边材木质部液流垂直变化及其滞后效应. *植物生态学报*, 2007, 31(2): 320-325.
- [27] 王连春, 翟明普, 刘道平, 周志峰. 酸枣树干液流速率与环境因子的关系. *北京林业大学学报*, 2009, 31(6): 134-138.
- [28] 孙鹏森, 马履一, 王小平, 翟明普. 油松树干液流的时空变异性研究. *北京林业大学*, 2000, 22(5): 1-6.
- [29] 苏芳莉, 赵鸿坤, 郭成久, 贾玉华. 小钻杨树树干液流特征及其与环境因子的关系. *西北农业学报*, 2010, 19(1): 164-173.
- [30] 熊伟, 王彦辉, 徐德应. 宁南山区华北落叶松人工林蒸腾耗水规律及其对环境因子的响应. *林业科学*, 2003, 39(2): 1-7.
- [31] 张宁南, 徐太平, Jim Morris, 周光益, 周国逸, 吴仲民. 雷州半岛尾叶桉人工林液流茎流特征的研究. *林业科学研究*, 2003, 16(6): 661-667.
- [32] 常学向, 赵文智. 黑河中游沙枣树干液流的动态变化及其与林木个体生长的关系. *中国沙漠*, 2004, 24(4): 473-478.
- [33] 岳广阳, 张铜会, 赵哈林. 科尔沁沙地黄柳和小叶锦鸡儿茎流及蒸腾特征. *生态学报*, 2006, 26(10): 3205-3212.
- [34] 许迪, 李益农, 刘钰, 蔡林根, J M Goncalves, L S Pereira. 改善农田与输配水系统性能的 DSS 模型应用研究. *灌溉排水学报*, 2004, 23(2): 6-12, 25.
- [35] 尹光彩, 周国逸, 王旭, 褚国伟, 黄志宏. 应用热脉冲系统对桉树人工林液流通量的研究. *生态学报*, 2003, 23(10): 1984-1990.

参考文献:

- [1] 潘瑞炽. *植物生理学*. 北京: 高等教育出版社, 2008.
- [3] 李广德, 贾黎明, 孔俊杰. 运用热技术检测树干边材液流研究进展. *西北林学院学报*, 2008, 23(3): 94-100.
- [6] 马履一, 王华田. 油松边材液流时空变化及其影响因子研究. *北京林业大学学报*, 2002, 24(3): 23-27.
- [7] 孙慧珍, 孙龙, 王传宽, 周晓峰. 东北东部山区主要树种树干液流研究. *林业科学*, 2005, 41(3): 36-42.
- [8] 张小由, 康尔泗, 张智慧, 周茂先, 司建华. 沙枣树干液流的动态研究. *中国沙漠*, 2006, 26(1): 146-151.
- [11] 赵晓勤, 宋世文, 李建国, 谢世恭, 王泽槐, 李楚彬, 季作梁. 荔枝生产相关的水分生理指标远程监测研究. *果树学报*, 2005, 22(6): 644-648.
- [12] 邓万刚, 张黎明, 唐树梅. 环境因子对荔枝花芽分化的影响研究进展. *华南热带农业大学学报*, 2004, 10(1): 17-22.
- [13] 陶忠良, 高爱平, 周兆德. 气象条件对荔枝产量的影响研究综述. *中国南方果树*, 2001, 30(4): 29-31.
- [14] 张展薇. *荔枝品种与栽培图说*. 广州: 广东经济出版社, 1999: 105-105.
- [15] 赖汉龙, 陈盛文, 刘婴娜, 卓月专, 余秀蓉. 桂味荔枝不同枝梢

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34 ,No.9 May ,2014(Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Research progress on ecosystem complexity-stability relationships based on soil food web CHEN Yunfeng, TANG Zheng, LI Hui, et al (2173)
- The ecological restoration effort of degraded estuarine wetland in Northwest Yunnan Plateau, China FU Wenchao, TIAN Kun, XIAO Derong, et al (2187)
- The correlations among arable land, settlement and karst rocky desertification-cases study based on typical peak-cluster depression ... LI Yangbing, LUO Guangjie, BAI Xiaoyong, et al (2195)
- Correlation between the distribution characteristics of poisonous plants and *Ochotona curzoniae*, *Myospalax baileyi* in the East of Tibetan Plateau Alpine meadow ecosystem JIN Liang, SUN Li, CUI Huijun, et al (2208)
- Effects of the surrounding habitat on the spider community and leafhopper population in tea plantations LI Jianlong, TANG Jingchi, LI Xiudi, et al (2216)

Autecology & Fundamentals

- Effect of soil-litter layer enzyme activities on litter decomposition in *Pinus massoniana* plantation in Three Gorges Reservoir Area GE Xiaogai, XIAO Wenfa, ZENG Lixiong, et al (2228)
- Kinetics of nutrient uptake by three emergent plants, *Phragmites australis*, *Typha orientalis* and *Scirpus triquetra* ZHANG Xiling, WANG Lixin, LIU Huamin, et al (2238)
- Effects of desertification intensity and stand age on leaf and soil carbon, nitrogen and phosphorus stoichiometry in *Pinus elliotii* plantation HU Qiwei, NIE Lanqin, ZHENG Yanming, et al (2246)
- Effects of shrub (*Caragana microphalla* Lam.) encroachment on water redistribution and utilization in the typical steppe of Inner Mongolia PENG Haiying, LI Xiaoyan, TONG Shaoyu (2256)
- Effects of shadowing on methane Emissions from *Castanopsis carlesii* and *Cunninghamia lanceolata* CHEN Xixiang, YANG Yanhua, JIANG Jun, et al (2266)
- Oviposition preference and offspring performance of the oriental fruit fly *Bactrocera dorsalis* and guava fruit fly *B. correcta* (Diptera: Tephritidae) on six host fruits LIU Hui, HOU Bohua, ZHANG Can, et al (2274)
- Pollination Mechanisms of genus *Salvia* (Lamiaceae) in East Asia (China) HUANG Yanbo, WEI Yukun, GE Binjie, et al (2282)

Population, Community and Ecosystem

- The effect of resource pulse supply on interspecific competition of a few algal species LI Wei (2290)
- Soil fertility quality assessment under different vegetation restoration patterns LI Jingpeng, XU Mingfeng, SU Zhiyao, et al (2297)
- Scale change and dependence of plant functional traits in hilly areas of the loess region, Shaanxi Province, China DING Man, WEN Zhongming, ZHENG Ying (2308)
- N and P stoichiometry of *Koeleria paniculata* leaf and soil in Xiangtan Manganese Mine wasteland XU Luyan, TIAN Dalun, WANG Guangjun, et al (2316)
- Evapotranspiration and factors influencing evapotranspiration in the spring wheat farmland of China's Loess Plateau YANG Fulin, ZHANG Qiang, WANG Wenyu, et al (2323)
- Isolation and Biolog identification of the high-efficiency azotobacter from iron tailing under different vegetation restoration modes LI Wen, YAN Aihua, HUANG Qiuxian, et al (2329)
- Assessing effects of *Cupressus chengiana* plantations in the dry valley of Zagunao River, Li county of Sichuan Province LI Dongsheng, LUO Da, SHI Zuomin, et al (2338)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Landscape diversity of *Paerargyrops edita* Tanaka stock in Minnan-Taiwan Bank Fishing Ground CAI Jiandi, SU Guoqiang, MA Chao, et al (2347)
- Landscape classification in a small area for soil series survey and mapping: a case study in the Ningzhen hills, China LU Haodong, PAN Jianjun, FU Chuancheng, et al (2356)
- Impacts of climate change on winter wheat growing period and irrigation water requirements in the north china plain HU Wei, YAN Changrong, LI Yingchun, et al (2367)

Resource and Industrial Ecology

- Factor decomposition of carbon intensity in Xiamen City based on LMDI method LIU Yuan, LI Xiangyang, LIN Jianyi, et al (2378)
- Evaluation index system of sustainable livelihoods ecotourism strategy: a case study of wangjiazhai community in baiyangdian wetland nature reserve, Hebei WANG Jin, ZHANG Yujun, SHI Ling (2388)
- Relationships between stem sap flow rate of litchi trees and meteorological parameters FAN Chao, QIU Yanping, LI Zhiqiang, et al (2401)
- Evaluation on control efficiency of bethylid parasitoids on pest insects indoor: a case of *Sclerodermus* sp. (Hymenoptera: Bethylidae) ZHAN Maokui, YANG Zhongqi, WANG Xiaoyi, et al (2411)

Urban, Rural and Social Ecology

- The dynamic change of herdsmen well-being and ecosystem services in grassland of Inner Mongolia: take Xilinguole League as example DAI Guangshuo, NA Risu, DONG Xiaobin, et al (2422)
- The construction of the eco-agricultural yards in three gorges reservoir area based on agricultural non-point source pollution zones LIU Juan, XIE Qian, Ni Jiupai, et al (2431)
- Spatial pattern gradient analysis of a transect in a hilly urban area in China from the perspective of transportation corridor sprawl LÜ Zhiqiang, DAI Fuqiang, ZHOU Qigang (2442)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 于贵瑞

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 34 卷 第 9 期 (2014 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 9 (May, 2014)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



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 90.00 元