

盐池毛乌素沙地白榆树干液流研究^{*}

赵 奎, 匡栋, 原鹏飞, 张进虎, 孙 毅, 刘 楠

(北京林业大学 水土保持学院 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083)

摘 要: 采用基于热扩散原理的 ES-SF 茎流测量系统, 监测了盐池毛乌素沙地白榆树干液流的动态变化, 同时用自动气象站记录附近的太阳辐射、最高与最低气温、空气相对湿度、风速等气象因子, 探讨气象因子对树干液流的影响。结果表明: 白榆树干液流日变化为多峰型, 昼夜变化显著且夜间液流量小而稳定, 晴天变化幅度最大, 阴天变化幅度最小; 树干液流主要集中在 8:00–18:00, 占全天液流总量的 80% 多; 白榆树干液流变化趋势与环境因子变化趋势相吻合, 相关性分析表明, 影响液流变化的主要环境因子依次为太阳辐射、空气温度、空气相对湿度和风速。

关键词: 毛乌素沙地; 白榆; 热扩散技术; 树干液流

中图分类号: S792.19.02

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2008)06-0085-04

A Research on Stem Sap Flow Dynamics of *Ulmus pumila* in Mu Us Sandy Area, Yanchi County

ZHAO Kui, DING Guo-dong, YUAN Peng-fei, ZHANG Jing-hu, SUN Yi, LIU Nan

(College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating, Ministry of Education, Beijing 100083, China)

Abstract: The EG-SF Sap Flow Measuring System were applied to study the diurnal changes of stem sap flows for *Ulmus pumila* based on the thermal dissipation theory. At the same time, the circumstance factors around the *Ulmus pumila* were recorded by radiation, air temperature, air relative humidity and wind speed sensor, and relationship between the sap flow velocity and the circumstance factors were discussed. The results showed that the diurnal variations of sap flow velocity of the *Ulmus pumila* were as a multi-peaked curve; the stem sap flow varied regularly in the diurnal term and the sap flow velocity is little and standy; Magnitude of sap flow changed considerably between sunny and rainy days. The sap flow density between 8:00 and 18:00 was the major in one day, and it was more than 80%. The sap flow density of the *Ulmus pumila* was positively correlated with some ambient environmental factors. The order of their coefficient from correlation analysis was solar radiation > air temperature > air relative humidity > wind speed.

Key words: Mu Us Sandy Area; *Ulmus pumila*; thermal dissipation method; stem sap flow

随着全球气候的变化和荒漠化进程的加剧, 研究干旱半干旱地区植被的耗水量, 确定沙地水分合理的承载力, 对于干旱半干旱地区生态植被建设有重要意义。如何准确测定植被耗水量一直是研究中的难点, 国内外学者采用大型蒸渗仪法、快速称重法、叶室法、热脉冲技术等对植被蒸腾耗水进行了大量研究^[1-4]。但这些方法不能连续观测或者由于自身缺陷误差过大, 很难获得理想的结果。而热扩散法的出现解决了以上难题, 热扩散法的优点是直接给出液流量, 尤其是由 Granier^[5] 发展起来的 TDP 法 (thermal dissipation probe) 测茎流具有精度高、无需校正等优点, 并经实验证明可信度高, 且与独立观测结果具有一致性^[5-9]。在我国, 热扩散法的应用也越来越广泛^[7-10]。白榆 (*Ulmus pumila*) 是干

旱半干旱区常见乔木树种, 以往研究多集中在白榆生理特征和育苗更新^[11-12], 对白榆树干液流和耗水特征的研究罕有报道。本研究采用 Vantage Pro 2 自动气象站, 基于热扩散原理的 EG-SF 茎流系统对盐池毛乌素沙地的白榆树干液流进行研究, 分析树干液流本身变化规律及其与环境因子的关系, 为沙区植被建设提供基本依据。

1 研究区概况

研究区宁夏盐池沙地旱生灌木园位于宁夏回族自治区东部的盐池县, 处于毛乌素沙地南缘, 37°48' N, 107°23' E, 海拔为 1 354 m, 是典型的中温带大陆性季风气候, 降水主要集中在夏秋两季, 7–9 三个月合计占全年总降水量的 62%; 光

^{*} 收稿日期: 2008-01-21

基金项目: 国家十一五科技支撑专题“沙区人居环境保障与工程防沙技术研究” (2006BAD26B03)

作者简介: 赵奎 (1984–), 男, 湖北人, 硕士研究生, 主要研究方向: 水土保持与荒漠化防治。E-mail: iamzhk@163.com

通信作者: 匡栋 (1963–), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 水土保持荒漠化防治。E-mail: dch1999@263.net

能丰富, 热量较适中, 年太阳辐射值为 $1.4 \times 10^5 \text{ J/cm}^2$, $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温 $2\,944.9^\circ\text{C}$; 年平均气温 7°C , 年降水量 287 mm , 年平均风速 2.6 m/s , 年平均相对湿度 51% ; 无霜期为 128 d , 绝对无霜期为 100 d 。主要乔木树种为白榆(*Ulmus pumila*), 其次是新疆杨(*Populus alba* L. var. *pyramidalis*), 灌木主要有柽柳(*Tamarix* spp.), 柠条(*Caragana* spp.)。土壤为风砂土, pH 值 $8.5 \sim 8.8$ 。

2 实验材料与方法

2.1 实验材料

实验林地为 1983 年栽植的行带状白榆树, 密度 $2 \text{ m} \times 5 \text{ m}$, 通过测量白榆的胸径, 在试验地上选取 1 株具有代表性的林分平均木, 胸径为 20 cm , 树高 8.3 m , 冠幅 $4.3 \text{ m} \times 4.5 \text{ m}$, 去皮直径为 16.8 cm , 心材半径 1.65 cm , 样木生长良好, 树干通直, 无病虫害, 无被挤压现象。

2.2 树干液流与环境因子的测定

实验在白榆的生长旺季 6—8 月进行, 按照 EG-SF 茎流系统的安装要求, 在样木胸高处 (1.3 m) 安装 TDP50 探针, 探针馈线与数据采集器 (DT50) 相应接口连接, 装上电源, 用笔记本电脑启动程序, 数据测定时间间隔设定为 10 min 。在样木 100 m 远处安装 Vantage Pro 2 气象站, 自动记录附近的太阳辐射、空气温度、空气相对湿度、风速等气象因子。树干液流与气象数据同步、连续测定, 根据数据采集器内存大小, 定期下载液流和气象数据。

2.3 数据处理

液流数据用仪器自带软件处理, 其他数据运用 Excel 软件完成, 统计工具采用 SPSS 13.0。

3 结果与分析

3.1 白榆树干液流的昼夜及日际变化规律

在整个生长季节里, 白榆树干液流的昼夜变化都具有相

似的一致性, 如图 1 所示, 8 月 2 日、6 日为晴天, 8 月 4 日为阴雨天, 8 月 3 日、5 日为多云天气。从图中可以看出白榆树干液流日进程呈明显多峰型且昼夜变化显著, 夜间至凌晨液流量很小, 液流速率相对稳定, 变化幅度较小。白天液流在 6:10 左右开始启动, 并迅速达到高峰状态, 这一过程一直持续到 18:00, 随后液流速率开始迅速下降, 直到 20:30 左右下降到极低值, 一天中白榆树干液流活跃期持续 14 h 。以 8 月 3 日为例, 白榆树干液流在 6:10 左右开始稳步上升, 8:00 左右达到第一个高峰, 为 $2\,019 \text{ g/h}$, 随后液流速率有所下降, 但依然维持较大值, 在 11:00 左右出现了第二个峰值, 为 $2\,249 \text{ g/h}$, 此后液流速率再度下降, 直至 16:00 再次出现峰值, 为 $2\,754 \text{ g/h}$, 18:00 左右液流速率开始急剧下降, 20:30 左右基本趋于稳定。以上说明白榆树干液流并无明显的“午休”现象, 虽然这一阶段气孔开度可能处于变小状态, 但由于午间空气相对湿度降低, 气孔内外水气压差变大, 促进了白榆的蒸腾作用, 这足够抵消了由于气孔关闭而引起的蒸腾作用减弱现象^[13]; 而高峰阶段出现的多峰波动状态, 可能是由白榆蒸腾速率对周围环境因子瞬时变化的响应所引起。

图 1 表明, 白榆树干液流量的日际变化呈明显的波动状态, 产生波动的主要原因可能是: 沙漠干旱区水分亏缺严重, 空气相对湿度低, 太阳辐射强, 叶片气孔开度要不断调节以维持根系吸水速率和蒸腾速率之间的平衡^[14]。图 1 中 8 月 4 日全天阴雨, 气温较低, 空气相对湿度大, 其液流数率显著降低, 而在随后的多云和晴朗天气里, 其液流速率明显增大, 主要原因可能是空气相对湿度减小, 叶片气孔内外水气压差变大, 太阳辐射增加, 气温升高, 其蒸腾耗水随之增加。

图 1 还表明, 一天中白榆树干液流量主要集中在 8:00 和 18:00 之间的高峰阶段, 通过分段计算, 这段时间液流量占全天液流总量的 80% 还多 (见表 1), 从 5 d 白榆树干液流量来看, 标准白榆树干液流量晴天平均为 29 L , 阴雨天 18 L , 多云天 23 L 。

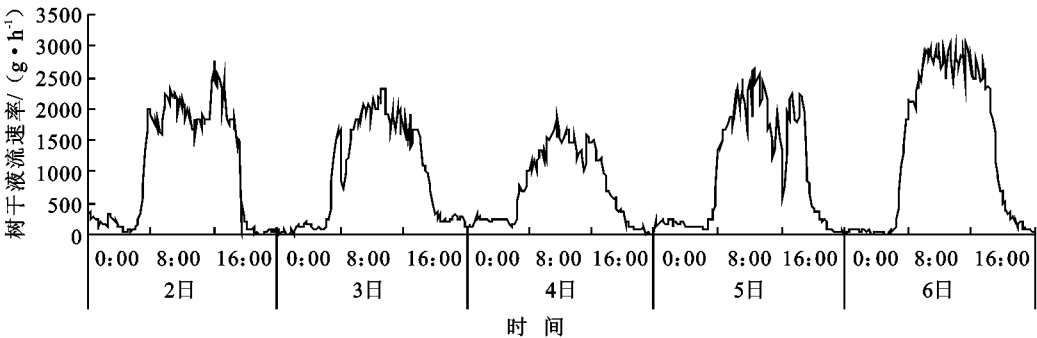


图 1 白榆树干液流连日变化(8 月 2—6 日)

表 1 高峰时段树干液流量

日期	8 月 2 日	8 月 3 日	8 月 4 日	8 月 5 日	8 月 6 日
全天液流量/L	25.7	22.8	17.5	23.8	32.3
8:00—18:00 液流量/L	21.9	18.9	14.2	20.7	28.7
所占百分比/%	85.2	82.9	81.1	86.9	88.8

3.2 不同天气条件下的白榆树干液流变化规律

在白榆整个的生长季节中, 选取几种典型的天气进行液流速率比较。从图 2 可以看出, 在 8 月 6 日的晴天里, 液流速

率最大, 变化幅度也最大, 阴天(8 月 4 日)和多云天(8 月 5 日)的液流速率相差不大, 且阴天液流速率变化幅度最小, 液流速率相对稳定。值得注意的是, 8 月 5 日的多云天里, 液流速率在 16:00 大幅下降后在 18:00 又出现大幅回升, 主要原因是 16:00 左右天空云层大量聚集, 完全遮蔽太阳, 18:00 左右云层变薄, 辐射水平显著提升, 随着温度升高、相对湿度的降低等, 液流速率开始回升。这说明同一种植物, 在土壤水分相同的条件下, 气象因素是影响其蒸腾耗水的主要因子。

3.3 白榆树干液流与气象因子关系的分析

白榆树干液流的变化主要受其本身的生物学特性和外界环境因子的影响, 外界环境因子包括土壤水分和气象因素。

建立气象因素与树干液流之间的相关关系不仅可以揭示气象因子对树木水分平衡状况的影响, 而且还可以根据气象因素估算树木蒸腾耗水, 为区域水资源的合理配置提供科学依据。

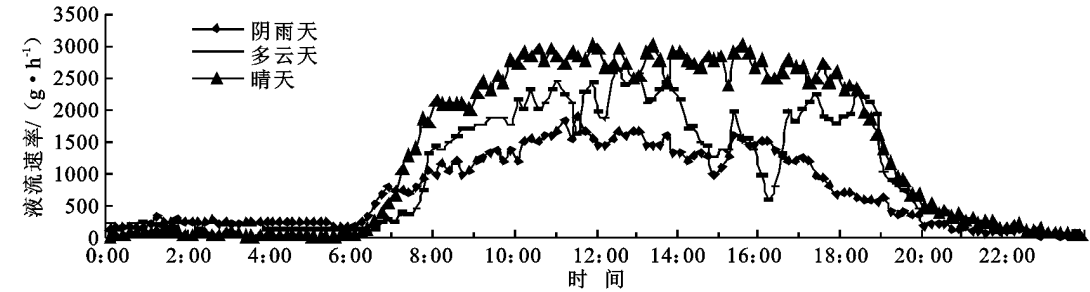


图 2 不同天气条件下白榆树干液流昼夜变化

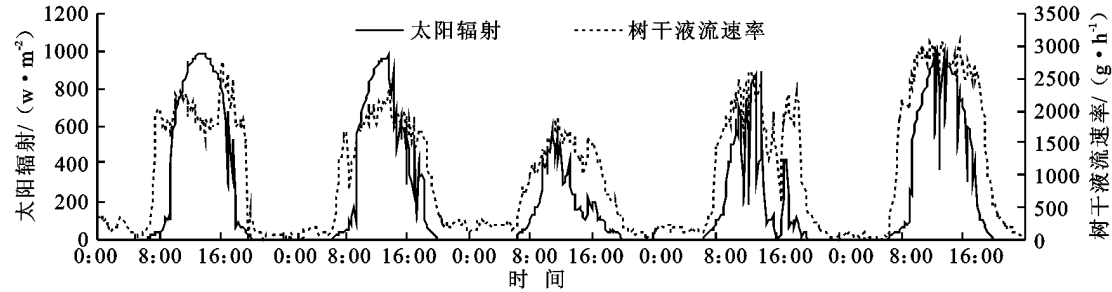


图 3 太阳辐射与白榆树干液流连日变化

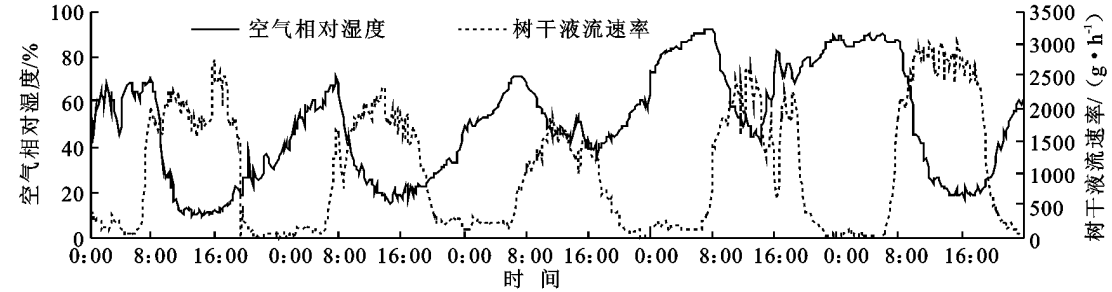


图 4 空气相对湿度与白榆树干液流连日变化

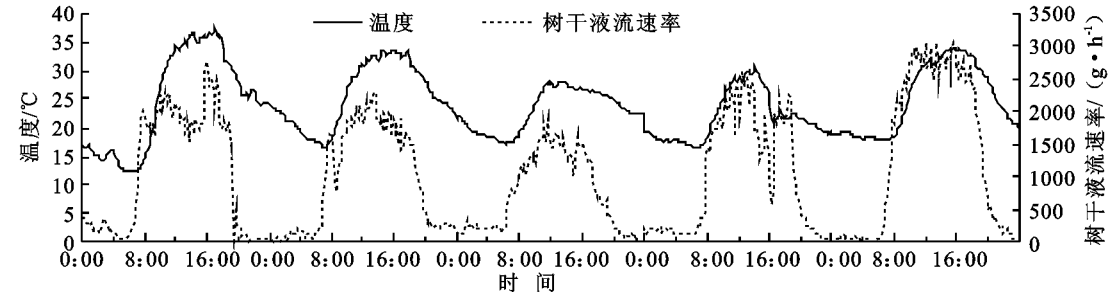


图 5 空气温度与白榆树干液流连日变化

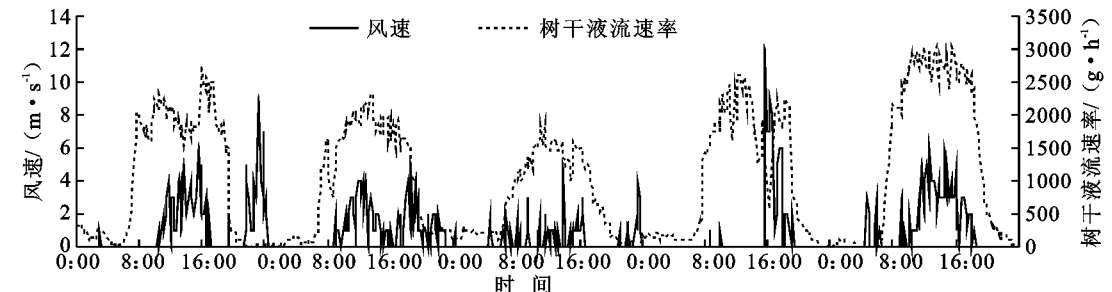


图 6 风速与白榆树干液流连日变化

白榆树干液流量与同步气象因子连日变化曲线见图(3-6), 可见白榆树干液流量与主要气象因子的变化趋势基本保持一致, 说明白榆树干液流受气象因子影响明显。白天, 太阳辐射在 6: 10 左右出现, 诱导叶片气孔开张, 白榆树干液

流开始启动,随着太阳辐射的增强,空气温度上升,空气相对湿度下降,白榆树干液流也逐步上升,并在 8:00–18:00 维持高峰状态。此后,随着太阳辐射水平的下降、空气温度降低、空气相对湿度增大,白榆树干液流开始迅速下降。直到 20:30 左右太阳辐射为 0,叶片气孔关闭,白榆树干液流量也降到极低值。但夜间依然存在较小的树干液流,一般认为是由于白天树木蒸腾耗水较多,树体处于水分亏缺状态,夜间通过根压作用继续吸水,以维持树木正常的生理需要^[15–16]。经过整夜的补水,树体水分充足,此时叶片水势较高,随着太阳辐射的增加,空气温度上升和空气湿度降低,空气水势迅速下降,叶水势与空气水势差值变大,使得蒸腾速率迅速上升,树干液流很快达到高峰状态;树干液流下降时,情况相反,此时叶片水势较低,而空气水势逐步上升,树干液流量迅速下降。

试验期内白榆逐日树干液流量(F_s)与主要气象因子太阳辐射(R_a)、空气温度(T_a)、空气相对湿度(RH)和风速(V)的单因子相关分析表明:液流量(F_s)与太阳辐射(R_a)、空气温度(T_a)相关性大,且为正相关,与空气相对湿度(RH)负相关,风速(V)对液流影响不明显,相关分析结果见表 2。

表 2 白榆树干液流速率与主要气象因子之间相关关系

气象因子	太阳辐射	空气温度	空气相对湿度	风速
相关系数 R^2	0.705	0.543	0.296	0.190
回归系数	2.620	130.715	-24.271	1.183
F 值	1026.819**	511.939**	181.043**	-
Sig.	0.000	0.000	0.000	0.000

** 在 0.01 水平上极显著(双尾)

利用 SPSS 13.0,采用逐步回归方法,以 5% 的可靠性作为因变量的入选和剔除临界值,对试验期内逐日测定的液流与上述气象因素进行多元线性回归分析。结果表明:白榆树干液流是由太阳辐射、空气温度和空气相对湿度共同作用的结果。风速没能入选作用因子,可见风速对树干液流的影响机理复杂。考虑气象因子间的自相关性,将白榆在试验期内逐日树干液流量(F_s)与太阳辐射(R_a)、空气温度(T_a)、空气相对湿度(RH)等主要气象因素的 432 组试验数据进行多元线性回归分析,得到树干液流量与气象因素的最优回归模型:

$$F_s = -2475.536 + 1.860R_a + 100.251T_a + 13.226RH$$
$$R^2 = 0.759$$

式中: F_s , R_a , T_a 的单位分别为 g/L , w/m^2 , $^{\circ}C$, RH 为无量纲量,以%记。 $F=449.475$,经查表,远远大于 $F_{0.01}=3.85$,达到了极显著水平。

4 结 论

- (1) 白榆树干液流日变化呈多峰型且昼夜变化显著,夜间液流量小,相对稳定,变化幅度小。
- (2) 白榆树干液流昼夜变化在不同天气条件下有一定差异,晴天变化幅度较大,多云天气次之,阴雨天变化幅度最小。
- (3) 白榆树干液流量在不同天气条件下差异不大,晴天平均为 29 L/d,多云天为 23.2 L/d,阴雨天为 17.5 L/d,平均 23.2 L/d。

- (4) 白榆树干液流主要集中在 8:00–18:00,占全天液流量的 80% 多,这段时间液流量大且相对稳定,变化幅度较小。
- (5) 白榆树干液流变化趋势与主要气象因子变化趋势相吻合。相关分析表明,影响树干液流的气象因子依次为太阳辐射、空气温度、空气相对湿度、风速。

参考文献:

- [1] 陈建耀,刘昌明,吴凯.利用大型蒸渗仪模拟土壤-植物-大气连续体水分蒸散[J].应用生态学报,1999,10(1):45-48.
- [2] 李海涛,陈灵芝.应用热脉冲技术对棘皮桦和五角枫树干液流的研究[J].北京林业大学学报,1998,20(1):1-6.
- [3] 刘增文,余清珠,王进鑫.黄土高原残塬沟壑区坡地刺槐不同皆伐更新幼林地土壤水分动态[J].生态学报,1997,17(3):234-238.
- [4] 孙龙,王传宽,杨国亭,等.生长季红松树干液流密度的特征[J].东北林业大学学报,2006,34(1):12-14.
- [5] Grainer A. Evaluation of transpiration in a Douglas fir stand by means of sap flow measurement[J]. Tree Physiology, 1987, 3: 309-320.
- [6] Grainer A, Huc R, Barigali S T. Transpiration of natural rain forest and its dependence on climatic factors[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1996, 78: 19-29.
- [7] 张小由,康尔泗,张智慧,等.黑河下游天然胡杨树树干液流特征的试验研究[J].冰川冻土,2005,27(5):742-746.
- [8] 张劲松,孟平,孙惠民,等.毛乌素沙地樟子松蒸腾变化规律及其与微气象因子的关系[J].林业科学研究,2006,19(1):45-50.
- [9] 马履一,王华田,林平.北京地区几个造林树种耗水性比较研究[J].北京林业大学学报,2003,25(2):1-7.
- [10] 孙慧珍,周晓峰,赵惠勋.白桦树干液流的动态研究[J].生态学报,2002,22(9):1387-1391.
- [11] 朱玉伟,陈启民,刘康,等.滴灌条件下4种树木生长发育规律的研究[J].防护林科技,2005,64(1):1-5.
- [12] 朱艳艳,贺康宁,唐道锋,等.不同土壤水分条件下白榆的光响应研究[J].水土保持研究,2007,14(2):92-94.
- [13] 张利平,王新平,刘立超,等.沙坡头主要建群植物沙蒿和柠条的气孔交换特征研究[J].生态学报,1998,18(2):133-137.
- [14] 夏桂敏,康绍忠,李王成,等.甘肃石羊河流域干旱荒漠区柠条树干液流的季节变化[J].生态学报,2006,26(4):1186-1192.
- [15] Edwards W R N, Warwick N W M. Transpiration from a kivifruit vine as estimation by the heat pulse-technique and the Penman-Monteith equation[J]. New Zealand Journal of Agricultural Research, 1984, 27: 537-543.
- [16] 王华,赵平,王权,等.马占相思夜间树干液流特征和水分补充现象的分析[J].生态学杂志,2007,26(4):476-482.