

利用 TDP 茎流计研究沙地樟子松的树干液流

张友焱^{1,2}, 周泽福², 党宏忠², 李 卫²

(1. 北京林业大学, 北京 100083; 2. 中国林业科学研究院林业研究所, 国家林业局森林培育重点实验室, 北京 100091)

摘 要:用 TDP 茎流计连续测定了沙地樟子松南北两方向的树干液流,并用传感器同步记录环境因子变化,探讨环境因子对树干液流的影响。沙地樟子松树干液流日变化呈双峰有规律变化,南面树干液流速度和变化幅度大于北面树干液流速度和变化幅度;树干液流启动比环境因子晚 1 小时左右,然后迅速上升,在 9:30 达到第一个峰值,在 17:20 左右迅速下降,南面树干液流速度峰值出现在 9:30 左右,北面峰值出现在 13:20 左右;通过相关系数分析,树干液流与空气温度、空气相对湿度、太阳辐射和土壤水分相关明显,南北两方向的树干液流受环境因子的影响程度不一样,在南面,太阳辐射 > 空气温度 > 空气湿度,而在北面空气温度 > 太阳辐射 > 空气湿度;日树干液流量集中在 9:30 到 17:20,占全天树干液流量的 70 % 多,北面树干液流量是南面树干液流量的 0.5 ~ 0.6。

关键词:沙地樟子松; TDP 茎流计; 树干液流速度; 树干液流量

中图分类号: S718.5

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)04-0078-03

A Study on the Sap Flow of *Pinus Sylvestris* var. *mongolica* with Thermal Dissipation Probe

ZHANG You-yan^{1,2}, ZHOU Ze-fu², DANG Hong-zhong², LI Wei²

(1. Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. Research Institute of Forestry, CAF; Key Laboratory of Forest Silviculture of the State Forestry Administration, Beijing 100091, China)

Abstract: By using thermal dissipation probe, sap flow of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* was measured on south and north side of the tree. At the same time, the circumstance factors were recorded by radiation, temperature and humidity sensor, and relationship between the sap flow velocity (SFV) and the circumstance factors were discussed. The SFV fluctuated with several climax in one day, and the SFV on the south side of the tree was bigger than that on the north side, and its range was wide. One hour after the change of the circumstance factor, the SFV increased quickly and reached first climax at 9:30, and decreased quickly at 17:20. The SFV increased quickly between the SFV beginning to increase and the first climax, and decreased quickly between last climax and SFV being small, and maintained a higher velocity between 9:30 and 17:20. The climax of SFV on the south side occurred at 9:30, and it occurred at 13:20 on the north side. Correlation existed among the SFV, air temperature, air humidity, solar radiation and soil water, but influence of these factors was different to the SFV on the south and north side. On the south side of tree, solar radiation was the most important factor and then air temperature, air humidity, on the north of it, air temperature was the most important factor and then solar radiation, air humidity. The sap flux density between 9:30 and 17:20 was the major in one day, and it was more than 70 percent. The sap flux density on the north side of the tree was 0.5 - 0.6 of that on the south side.

Key words: *Pinus sylvestris* var. *mongolica*; Thermal Dissipation Probe; Sap flow velocity; Sap flux density

植物蒸腾是土壤 - 植物 - 大气连续体水热传输过程中一个极为重要的环节,如何精确测定植物的蒸腾耗水成为 SPAC 系统研究的难点和重点。国内许多学者采用快速称重法、叶室测定法、大型蒸散仪和热脉冲技术对植物蒸腾耗水进行了大量的研究^[1~5],但由于这些方法不能连续测定或者对整株植物测定精度不高,不能精确确定植株一段时间的蒸腾耗水。TDP (Thermal Dissipation Probe) 茎流计采用热扩散原理,克服了以上方法的缺点,能连续精确测定整株植物的液流量,进而计算其蒸腾耗水,为树木蒸腾耗水的研究提供了有效的方法,近几年被一些学者应用^[6,7]。沙地樟子松 (*Pinus sylvestris* var. *mongolica*) 是一种良好的沙地造林

树种,以往对沙地樟子松的研究主要集中在培育和更新^[8,9],对其蒸腾耗水的研究少见,而对沙地樟子松需水规律的了解和准确测定其耗水量是环境水分定量研究的需要。本文用 TDP 茎流计测定沙地樟子松的树干南北两方向的液流,探讨沙地樟子松树干液流规律,以及树干液流和几个环境因子的关系,为沙区植被建设提供依据。

1 试验区概况

试验地位于内蒙古乌审旗,地处北纬 38°57',东经 109°17',海拔高度为 1 200 ~ 1 350 m。该区属于温带大陆性半干旱气候,年平均温度 6.4℃,多年平均降水量 347.5 mm,

* 收稿日期: 2006-03-29

基金项目: 国家重大农业节水专项(2002AA2Z4271) 部分研究内容

作者简介: 张友焱(1975 -),男,助理研究员,北京林业大学博士生,主要从事林业生态工程方面的研究。

年际变化较大,丰水年可达 634 mm,枯水年仅为 132.9 mm,其中 70 %降水集中于 7 月至 9 月;年蒸发量 2 300 mm;极端最高气温 36.5 ,极端最低气温 - 30.1 , 10 的有效积温 2 804.3 ~ 3 052.9 。年日照时数 2 886 h 左右,无霜期 120 ~ 135 d;土壤类型以沙土为主。林下植被主要以油蒿 (*Artemisia ordosica*)、柠条 (*Caragana korshinskii*) 和少量沙柳 (*Salix psammophyla*) 为主。

2 研究材料和方法

2.1 试验材料

试验用的沙地樟子松是 1983 年营造的沙地樟子松纯林,株行距为 2 m ×6 m,郁闭度约 50 %。通过测量樟子松林树木的胸径,选取一株标准木作为测量对象,所选沙地樟子松树树高为 6.5 m,胸径 13.5 cm、树冠 3.0 m。

2.2 树干液流及环境因子测定

在树南北两方向各安装一个 TDP50 茎流计探针 (Dynamax, U. S. A),自动连续测量记录两探针间的温度差,同时用 Li200X 太阳辐射传感器 (COMPBELL, U. S. A) 测定树冠上太阳辐射,用 HMP45C 空气温湿度传感器 (COMPBELL, U. S. A) 测定空气温度和湿度,用生长锥确定测定位置的边材面积,传感器和探针连接到同一数据采集器。观测从 2004 年 7 月底持续不断的测量,数据采集为 5 min 采集一次数据,10 min 内对两个数据进行平均并存储。茎流计探针的使用方法按照 Dynamax 说明书进行安装。

2.3 数据处理及计算

数据处理采用 EXCEL 软件完成,树干液流的计算采用 Granier^[11]得出的计算公式。

3 结果与分析

3.1 树干液流日变化规律

沙地樟子松树干液流速度白天呈双峰有规律变化(图 1),图中采用了 9 月 6 日到 9 月 10 日共 5 d 的数据,其中 9 月 6 日为多云天气,其它日为晴天。除树干北面液流速度有一变化陡的峰值,树干液流的变化曲线大致呈“几”字型变化,从树干液流上升到第 1 个峰值和从最后一个峰值到树干液流较小这两段时间,树干液流急剧上升和下降,变动速率大;两段时间中间维持一个较大的流速,但变化相对较缓。晚上,树干液流没有完全停止,仍然存在很小的液流速度,在第 2 天日出前达到最低。

由沙地樟子松连续 5 日的树干液流变化曲线可知,树干液流速度变化南北方向趋势基本吻合,但不尽相同。南面液流速度和变化幅度大于北面液流速度和变化幅度,与 R. Oren 的研究有相同趋势^[12]。北边树干液流 7:20 左右开始上升,在 13:20 左右达到最大值,然后在 17:20 左右迅速下降;白天其树干液流出现 2 个峰值,第 1 个峰值出现在 9:30 左右,第 2 个峰值出现在 17:20 左右。南边树干液流启动和北面基本同步,但其最大值一般在 9:30 左右,在 13:30 左右出现第 2 个峰值,然后缓慢下降,在 17:20 左右迅速下降;南面树干液流达到最大后迅速下降,然后在一定值平稳变化,其最大值在这 5 d 内逐渐增大。

由于南北液流速度不一样,沙地樟子松南北边树干液流量不一样,南面液流量大于北面,经观测期内南北树干液流量计算,北面树干液流量是南面的 0.5 ~ 0.6。沙地樟子松树干液流量集中 9:30 和 17:20 之间,通过全天分时段计算,这段时间的树干液流量占全天的 70 %多(见表 1),集中了全天大部分的树干液流量。从 5 d 樟子松的液流量来看(表 1),标准木樟子松的日液流量在 6 L 左右,9 月为樟子松的生长末期,从而可以知道,在生长末期,樟子松日耗水量在 6 L 左右。

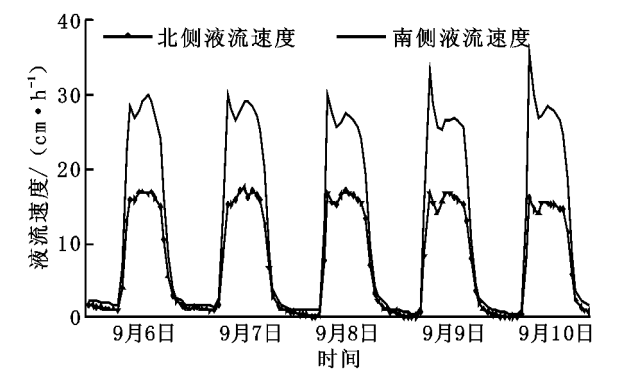


图 1 樟子松树干南北液流连日变化

表 1 高峰时段树干液流量					
日 期	9月6日	9月7日	9月8日	9月9日	9月10日
全天液流量/L	6.023	6.293	6.031	6.100	5.978
9:30~17:20树干液流量/L	4.428	4.439	4.295	4.389	4.328
所占百分比/%	73.52	70.53	71.22	71.94	72.39

3.2 树干液流速度和环境因子关系

3.2.1 树干液流速度与空气温度

随着空气温度的升高,树干液流逐渐变大,呈现正相关(图 2),经 Excel 对空气温度和树干液流速度 5 天数据进行相关系数分析,两者间相关系数北面为 0.863,南面为 0.834,相关明显。相对于空气温度,树干液流启动有一相对延迟,在空气温启动 1 h 左右后开始启动。树干液流的最大峰值出现在空气温度最大之前,在温度升高的前段时间,树干液流随温度的升高而升高,而再随着温度的升高,树干液流呈波动变化。

3.2.2 树干液流与空气湿度

空气湿度与树干液流速度呈负相关(图 3),相关系数北面为 - 0.847,南面为 - 0.827,其变化趋势与空气温度与树干液流速度的变化趋势相似,只是随湿度的减小,树干液流逐渐上升。空气湿度在日出前达到最大,然后下降。从下降到 9:30 这段时间,其变动较大,从 5 d 的数据,空气湿度变动在 35.8 %到 63.5 %之间。

3.2.3 树干液流速度与太阳辐射

树干液流速度与太阳辐射呈现正相关(图 4),相关系数为北面为 0.859,南面为 0.877。在太阳辐射上升 1 h 后,随着太阳辐射的增加,树干液流速度逐渐增大,北面液流速度最大值和南面液流速度的第 2 峰值出现在太阳辐射最大值 40 min 左右。

3.2.4 树干液流速度和土壤水分

土壤水分是植物蒸腾的水源,和植物蒸腾耗水关系密切。通过对沙地樟子松连日的日树干液流量的分析(图 5),土壤水分对沙地樟子松的日树干液流量影响较大。在 9 月 5 日到 9 月 17 日这段时间里,9 月 6 日为多云天气,9 月 5 日、17 日为降雨日,9 月 5 日降雨 3.4 mm,其他日为晴朗天气,从 9 月 7 日开始日树干液流量逐渐减小,而这段时间其他环境因子变化不大,起主要作用的是土壤水分。随着时间的推移,由于地面蒸发和植物耗水,土壤水分逐渐减小,限制了沙地樟子松从土壤中获取的水量,从而减少了沙地樟子松的树干液流量。

3.3 树干液流变化分析

树木的液流量 99.8 %以上是用于蒸腾耗水^[10],可以用液流量直接反映树木的耗水能力。沙地樟子松树干液流变化与环境因子关系密切,随着太阳辐射和温度的上升,沙地樟子松叶气孔逐渐开放,所以相对太阳辐射和空气温度,沙地樟子松树干液流有一相对延迟,而后随着空气温度和太阳辐射的逐渐升高,树干液流迅速上升。晚上,太阳辐射为零,沙地樟子松气孔关闭,树的蒸腾停止,但在这段时间依然存

在较小的树干液流,一般认为是由于白天的蒸腾耗水较多,树木出现水分亏缺,晚上通过根吸水补充,从而出现树干液流^[13]。经过晚上水分的补充,树体内水分较充足,此时叶水势高,随着空气温度上升和空气湿度的下降,空气水势迅速下降,叶水势和空气水势差值变大,使得蒸腾速率迅速上升,所以,从树干液流上升到第一个峰值,树干液流迅速上升;而在最后一个峰值后,情况相反,叶水势下降,空气水势上升,使得树干液流迅速下降。

树干液流和环境因子的相关分析表明,环境因子对树干

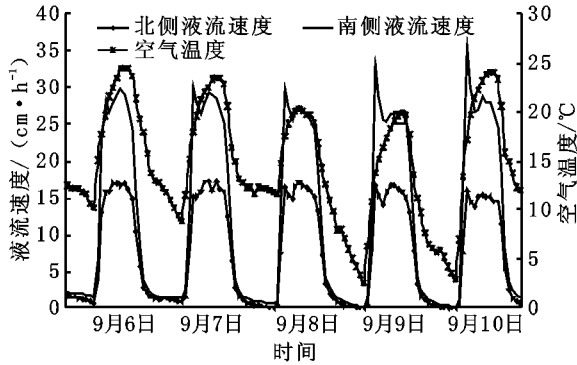


图2 液流速度与空气温度变化

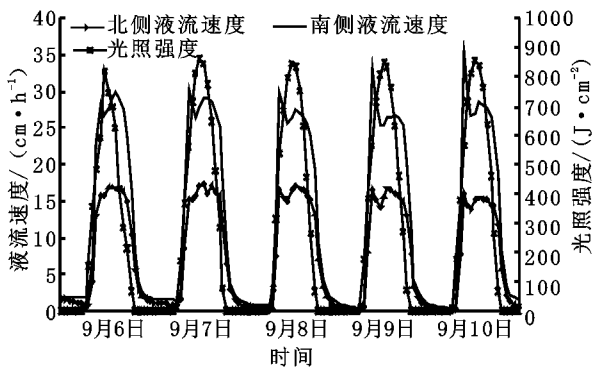


图4 液流速度与太阳辐射变化

4 初步结论

(1) 沙地樟子松树干液流日变化呈多峰型,北面树干液流最大峰值出现在 13:20 左右,南面树干液流最大值出现在 9:30 左右。

(2) 沙地樟子松日树干液流量集中在 9:30 到 17:20,占全天树干液流量的 70% 多,这段时间树干液流速率大且持

参考文献:

- [1] 杨士弘. 城市绿化树木的降温增湿效应研究[J]. 地理研究, 1994, 13(4): 74 - 80.
- [2] 刘增文, 余清珠, 等. 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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[J]. 林业科学, 2003, 39(2): 1 - 7.
- [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[J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(3): 23 - 27.
- [7] 孙慧珍, 孙龙, 王传宽, 等. 东北东部山区主要树种树干液流研究[J]. 林业科学, 2005, 41(3): 36 - 42.
- [8] 曾德慧, 姜凤岐, 范志平, 等. 沙地樟子松人工林自然稀疏规律[J]. 生态学报, 2000, 20(2): 235 - 242.
- [9] 韩广, 张桂芳, 杨文斌. 影响沙地樟子松天然更新的主要生态气候因子的定量分析[J]. 林业科学, 1999, 35(5): 22 - 27.
- [10] 王沙生, 高荣孚, 吴贯明. 植物生理学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1991. 192.
- [11] Granier A. Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurement[J]. Tree Physiology, 1987, 3: 309 - 320.
- [12] R Oren, N Phillips, B E Ewers, et al. Sap-flux-scaled transpiration responses to light, vapor pressure deficit, and leaf area reduction in a flooded Taxodium distichum forest[J]. Tree Physiology, 1999, 19: 337 - 347.
- [13] Edwards W R N, Warwick N W M. Transpiration from a kivi fruit vine as estimation by the heat pulse technique and the Penman - Monteith equation[J]. New Zealand Journal of Agricultural Research, 1984, 27: 537 - 543.

液流的影响南北两方向不一样,北面为空气温度 > 太阳辐射 > 空气湿度,而南边为太阳辐射 > 空气温度 > 空气湿度。在树南面,早上太阳直射,北面树冠受太阳辐射的影响小于南面,所以太阳辐射对南北树干液流的影响程度不一样。南面受太阳光线的影响,出现了小气候的不一样,南面空气温度高于北面,使得树干液流急速上升,这也是南面树干液流出现在 9:30,而北面液流出现在 13:20 左右的原因。在太阳辐射最高值后 40 min 左右,此时并不是空气温度的最高点和空气湿度的最低点,说明太阳辐射对液流的峰值存在较大的影响。

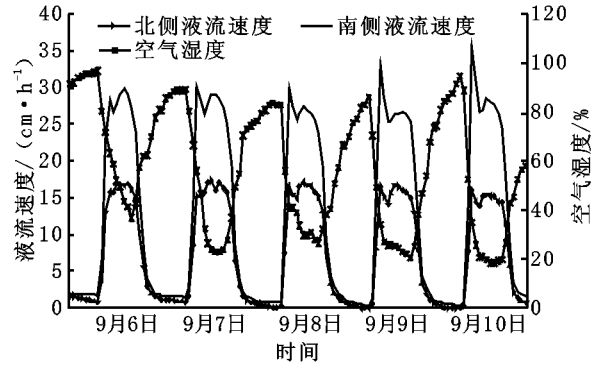


图3 液流速度与空气湿度变化

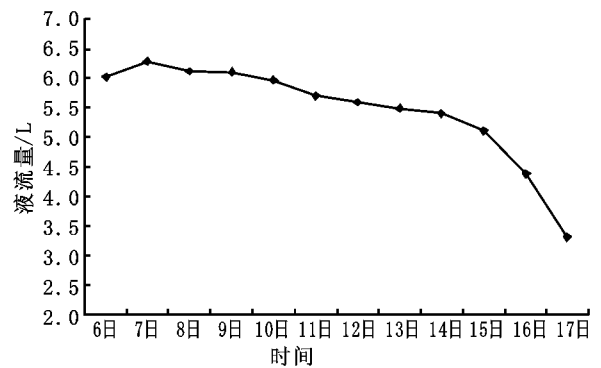


图5 连日树干液流量变化图

续时间长,但波动较小。

(3) 土壤水分对树干液流影响大,在适宜的空气温、湿度下,随着土壤水分的降低,日树干液流量逐渐下降。

(4) 树干液流与空气温度、空气湿度、太阳辐射相关明显,对北面树干液流的影响依次为空气温度、太阳辐射和空气湿度。对南面树干液流的影响依次为太阳辐射、空气温度和空气湿度。