

油松、栓皮栎树干液流速率比较

聂立水, 李吉跃\*, 翟洪波

(北京林业大学森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083)

摘要:应用 TDP(Thermal Dissipation Probe)技术对油松和栓皮栎树干液流进行了初步研究,经过野外近 1a 的实地定位观测,研究结果显示:栓皮栎月平均树干液流速率在整个生长期都较油松的月平均树干液流速率要高。前者大约是后者的 5~10 倍。栓皮栎在土壤干旱时期能够在白天产生明显的树干液流。在土壤干旱时期油松白天不产生树干液流而在晚上产生明显树干液流。在土壤相对湿润时期,油松和栓皮栎树干液流速率的波形与太阳总辐射的波形变化一致,但不同的是油松的树干液流速率波形呈明显的单峰状,而栓皮栎树干液流速率波形呈明显的多峰状。在土壤相对湿润时期太阳总辐射很低时能对油松树干液流速率产生明显的降低作用,而对栓皮栎树干液流则没有明显影响。在土壤干旱时期,油松和栓皮栎树干液流速率的峰值分别大约为 0.0001cm/s 和 0.0006 cm/s 左右;在土壤水分充足时期,油松和栓皮栎树干液流速率的峰值分别大约相等约为 0.0015 cm/s 左右,分别是油松和栓皮栎在干旱日期的液流速率峰值的 10 倍和 2.5 倍。

关键词:树干液流速率;太阳总辐射;土壤水势

文章编号:1000-0933(2005)08-1934-07 中图分类号:S791.254,S792.189 文献标识码:A

Study of the rate of stem sap flow in *Pinus tabulaeformis* and *Quercus variabilis* by using the TDP method

NIE Li-Shui, LI Ji-Yue, ZHAI Hong-Bo (The Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(8): 1934~1940.

**Abstract:** This study assessed the sap flow velocity of pine (*Pinus tabulaeformis*) and oak (*Quercus variabilis*) using Thermal Dissipation Probe (TDP), one of methods (others including the injection of dyes, radioactive tracers, heat pulse, water balance and nuclear magnetic resonance imaging) to estimate sap flow velocity. Then, the trans-evaporation of the stand and related factors were estimated based on the sap flow velocity. The study site was in the Experimental Station of Beijing Forestry University (about 800 ha), which locates on the north end of Taihang mountain, and closes to the east end of Yanshan mountain in Beijing. Longitude is 116(28'E and latitude is 39(54'N. The original vegetation was temperate mixed conifer-deciduous broad leaf forest with the pine and oak forest as the main forest type. The sampled plot was a 31 year old uniform mixed conifer-deciduous broad leaf forest. The crown density was 0.8 while the tree density was 1433 trees/hm<sup>2</sup> with a stand composition of 70% of pine and 30% of oak. In average, the diameters at breast height (DBH) were 11.4 cm and 20.6 cm, the heights (H) were 8.9 m and 12.8 m, and crown widths were 2 to 3 m and 3 to 4 m with the density of 1051 trees/ha and 382 trees/ha for the pine trees and oak trees respectively. The edge of the plot (30 m<sup>2</sup>) was trenched to the hard rock with asphalt felt buried to prevent soil water horizontal exchange from nearby. In the plot, one mean pine tree (H=9 m, DBH=11.3 cm) and one mean oak tree (H=13 m, DBH=21.2 cm) were selected for the study. A pair of TDP-50 probes connected with a data logger was inserted into the stem of each tree at a height of 1.5 m to monitor the sap flow velocity using the Stem Flow System (ICT Corporation, Australia) for about one year.

The monthly average of sap flow velocity in oak stems was five to ten times higher than that in pine stems. In the dry

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30070637);北京林业大学振兴计划人才培养专项课题资助项目

收稿日期:2004-10-29;修订日期:2005-06-10

作者简介:聂立水(1963~),男,博士生,副教授,主要从事土壤-植物-大气水分循环研究. E-mail: nielishui@sohu.com

\* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: ljyymy@vip.sina.com

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (No. 30070637)

Received date: 2004-10-29; Accepted date: 2005-06-10

Biography: NIE Li-Shui, Ph. D., Associate Professor, mainly engaged in water transport in SPAC. E-mail: nielishui@sohu.com

season there was still sap flow in oak stems during daytime, but no in pine stems. However, remarkable sap flow did happen in pine stems during nighttime. The sap flow velocity in pine and oak stems were about 0.0001 cm/s and 0.0006 cm/s respectively. In the wet season, the patterns of sap flow velocity in stems of both pine and oak followed the patterns of the total solar radiation, but mono-peak found in pine while multi-peak in oak. Low total solar radiation decreased the sap flow velocity in pine stems, but did not affect it in oak stems. The sap velocities in the stems of both pine and oak were about 0.0015 cm/s, which were about 10 and 2.5 times higher than the sap flow velocities in stems of pine and oak in dry season respectively.

**Key words:**sap flow velocity; total solar radiation; soil water potential

树木蒸腾在单株水平的测定有称重法、截干法、茎流速率法等。茎流速率的研究方法有染色法、放射性同位素示踪法、热脉冲法、TDP(Thermal Dissipation Probe)热扩散探针法、热平衡法、核磁共振图像扫描法等<sup>[1]</sup>。不同测定方法的测定结果并不一致<sup>[2]</sup>。李吉跃用称重法对 9 个北方主要造林树种的蒸腾速率及实际蒸腾量在干旱胁迫下进行了研究表明不同林木有不同的耗水量,在严重干旱胁迫的条件下,油松的耗水量可降至正常水分条件的 11.7%<sup>[3]</sup>。满荣洲等利用氡水示踪法对华北油松人工林蒸腾的研究表明林分蒸腾速度变化明显,其最高值出现在 7 月,但对氡水示踪法测定树木蒸腾的效果难以做出最终的准确评价<sup>[4]</sup>。刘春江等用同样的方法对栓皮栎林分的蒸腾量进行的研究表明栓皮栎单株林木的平均蒸腾强度为 9841mL/d,6 月 1 日至 10 月 31 日的总蒸腾量为 353 mm<sup>[5]</sup>。利用热脉冲法研究树干液流在我国主要开始于 20 世纪 80 年代<sup>[6~8]</sup>。李海涛利用热脉冲法研究的树种有棘皮桦、五角枫的液流变化及微气象影响因子<sup>[9]</sup>。孙鹏森、马李一等则用此方法研究了油松、刺槐液流变化及微气象影响因子,并用此推算林分水平的蒸腾量<sup>[10~11]</sup>。TDP 热扩散探针法由 Granier 设计并研究应用,热带雨林林分的蒸腾和影响因子<sup>[12~13]</sup>。利用 TDP 法研究树干液流在国内的研究正处于积极探索阶段,主要研究不同树种的树干液流规律及影响因子<sup>[14~20]</sup>。由于树干液流速率除了与 SPAC 系统中的水势差有关之外还与树干、树枝的水力结构有关,在这方面进行研究的有 Tyree M. T.、Sperry J. S.、翟洪波<sup>[21~23]</sup>。Do. F and Rocheteau. A 曾试图改进 TDP 法的测量精度<sup>[24]</sup>。本项研究的目的在于探讨油松树干液流和栓皮栎树干液流的变化规律,并利用油松、栓皮栎树干液流速率来推求林地蒸散及其影响因素。

## 1 研究区概况

试验区设在北京林业大学妙峰山林场,它位于北京市西北郊太行山北部,燕山东端,北纬 39°54',东经 116°28',面积 811.73 hm<sup>2</sup>,植被属于温带落叶松林带的山地栎林和油松林带,气候属于华北大陆性季风气候型,春季干旱多风,夏季炎热多雨,冬季干旱寒冷。年均温 12.2℃,最高气温 39.7℃,最低气温-19.6℃,降雨量近 700 mm,多集中在 7~8 月份。植物生长期为 220 d,无霜期为 180 d,晚霜于 4 月上旬,早霜于 9 月上旬。

境内山峦绵延,高差大,地形复杂,在林业用地中,坡度为 16~35°占 70.4%,36°以上占 25.2%,土壤在海拔 700~900 m 之间为山地淋溶褐土,900 m 以上为棕壤。岩石由低到高依次交错分布有:花岗岩、石灰岩、凝灰岩、砂岩及砾岩等。山地母质多为上述岩石风化的残积、坡积物。土层薄,石砾含量大。

试验地在妙峰山林场海拔 465 m 的雁儿岭,植被为已郁闭的油松(*Pinus tabulaeformis*)栓皮栎(*Quercus* spp.)混交林和侧柏(*Platycladas orientalis*)人工林,地被物为黄背草(*Themeda. Japonico*)和部分荆条等。样地为油松栓皮栎混交林,林龄 31a,林相整齐,郁闭度 0.8,林分组成 7 油 3 栓,密度为 1433 株/hm<sup>2</sup>,其中油松的密度为 1051 株/hm<sup>2</sup>,平均胸径为 11.4 cm,平均树高 8.9 m。冠幅 2~3 m。栓皮栎的密度为 382 株/hm<sup>2</sup>。平均胸径为 20.6 cm,平均树高 12.8 m。林下灌木和草本稀疏,主要为荆条、绣线菊、地榆和半夏等,盖度为 0.2 左右。林地为水平阶整地,坡向为北偏东 85°,坡度 15°,土壤为淋溶褐土,枯落物层厚 5 cm,呈 L-F 结构,土层厚 80cm。

## 2 研究方法

### 2.1 实验地的布置

选择的林地进行标准地调查,根据地形、林木分布选定 30 m<sup>2</sup> 的林地作为实验地,四周用油毡围起来,围深直到不透水的土壤母岩层。这样就形成一个研究系统。进行每木调查,选择一株油松(树高 9 m、胸径 11.3 cm)为标准木,将一组 TDP-30 探针插入树干 1.5 m 高度处进行树干液流测定。用同样方法选择一株栓皮栎(树高 13 m、胸径 21.2 cm)为标准木,将一组 TDP-50 探针插入树干 1.5 m 高度处进行树干液流测定(研究的各项测定均在实验地中进行)。

### 2.2 仪器及方法

应用澳大利亚 ICT 公司生产的 TDP 热扩散液流探针(Thermal Dissipation Sap Velocity Probe),将其和自动气象站的其它传感器并用形成植物树干液流仪(Stem Flow System)。它利用热扩散原理,通过测定插入树干边材的热探针与参比探针的温度

差  $dT$  的方法来估算平均茎流速率。Grainer 提出了一个无量纲的参数  $K$ ,  $K = \frac{dT_m - dT}{dT}$ , 其中  $dT$  是无液流时的  $dT$ , 进一步给出平均液流速率  $V_s(\text{cm/s})$  的经验公式<sup>[12]</sup>

$$V_s = 0.0119 \times K^{1.231}$$

与树干液流同时测定的项目有温度、湿度、总辐射强度、风向、风速, 采样的时间间隔为 10 min, 每 30 min 将所采集的数据平均后记录。

土壤容积含水量的测定采用 TDR (Time Domain Reflectometry) 法, 仪器为德国 IMKO 公司生产的 TRIME、探头为 T3 型, 在实验地埋设两支管子进行长期定位观测, 约每天 10:00 测定 1 次土壤容积含水量。土壤水势的测定采用美国 WESCOR 公司生产的 HR33T 型露点水势仪, 探头为 PST-55 型, 埋深分别为 5 cm、25 cm、50 cm、75 cm, 长期定位观测, 约每周 1 次, 每次测定约在 10:00 进行。

3 结果与分析

影响树干液流的两个主要因素为树木特性和环境因子, 其中影响树干液流的重要树木特性有叶水势、小枝水势、根水势、植物的水力结构, 整个植物体的水容等。环境因子中又分为土壤因子和气象因子。土壤因子中最重要的有土壤含水量、土壤水势、土壤比水容量、土壤导水率、土壤温度等。重要的气象因子有太阳总辐射、风速、空气相对湿度、温度、大气水势等。本文主要比较油松、栓皮栎树干液流的各月变化以及在干旱月份(5 月份)和湿润月份(7 月份)油松、栓皮栎树干液流速率的日变化。

3.1 油松、栓皮栎树干液流速率在整个生长季的变化

3.1.1 土壤容积含水量、土壤水势、小枝水势在整个生长季的变化 土壤容积含水量、土壤水势、小枝水势在整个生长季的变化见表 1, 表 1 显示土壤的容积含水量在全年都小于 15%, 6、7、8 月份和 4 月份的土壤月平均含水量大于 10%, 其它月份则小于 10%, 5 月份土壤处于最干旱时期, 而 7、8 月份为最湿润时期。与此相对应土壤水势有相同的趋势, 在 7、8 月份有最小值, 大于 -1.5 MPa, 而其他月份则小于 -1.5 MPa。5 月份为最干旱时期, 水势低于 -2.0 MPa, 最低值接近 -2.5 MPa, 9、10 月份有断续干旱现象, 土壤水势接近 -2.0 MPa。油松小枝的水势变动在 -0.96 ~ -2.45 MPa, 与土壤水势有同样的变化趋势, 在五月份有最小值, 为 -2.45 MPa, 在 7、8 月份有最高值, 高于 -1 MPa。与油松相比栓皮栎小枝水势明显要低许多, 变动在 -1.2 ~ -2.85 MPa 之间。栓皮栎小枝水势的整个生长季变化与油松和土壤水势有同样的趋势, 在五月份有最小值, 为 -2.85 MPa, 在 7、8 月份有最大值, 为 -0.75 MPa。

3.1.2 油松、栓皮栎树干液流速率在整个生长季的变化 将全天 24h 的油松和栓皮栎树干液流速率加权平均, 得到每天的树干液流平均速率, 再将不同月份各天的液流速率做加权平均得各月份的树干液流速率(表 2)。由表 2 可见, 在 2002 年, 研究区油松和栓皮栎树干液流速率在 5 月份最小, 分别为 0.169 cm/h 和 0.797 cm/h, 在 7 月份最大, 分别为 1.014 cm/h 和 7.377 cm/h。其中, 油松 7 月份的树干液流速率是 5 月份的 6.15 倍, 而栓皮栎是 9.26 倍。从表 1 中可以看出 5 月份是土壤最干旱时期, 油松和栓皮栎都遭受比较严重的干旱胁迫, 而 7 月份是土壤最湿润时期, 油松和栓皮栎的水分状况都趋于正常, 这表明, 干旱胁迫对树干液流速率的影响是很大, 但不同树种之间这种影响的差异也是比较明显的。

表 2 不同时期的油松树干液流月平均流速 ( $V_s$ ) 值 (cm/h)

Table 2 The monthly average of stem sap velocity of <i>Pinus tabulaeformis</i> and <i>Quercus variabilis</i> in different month							
月份 Month	4	5	6	7	8	9	10
油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>	0.720	0.169	0.527	1.014	0.801	0.233	0.369
栓皮栎 <i>Quercus variabilis</i>	4.592	0.797	5.160	7.377	6.350	4.327	3.270
栓皮栎: 油松 <i>Quercus variabilis</i> : <i>Pinus tabulaeformis</i>	6.4	4.7	9.8	7.3	7.9	18.6	8.9

另外, 在整个研究时期, 栓皮栎树干液流速率明显大于油松, 9 月份栓皮栎树干液流速率与油松的树干液流速率的比值最大, 高达 18.6, 在 5 月份两者的比值最小, 仅为 4.7, 其它月份的比值大约变动在 6~9 之间。这表明针叶树种和阔叶树种之间的树干液流速率有很大差异, 通常是阔叶树种大于针叶树种。

3.2 土壤干旱时期油松、栓皮栎树干液流速率的日变化

本文指的土壤干旱时期是指土壤水分容积含水量在10%以下的时期。5月25日、26日的土壤土体平均容积含水量分别为8.1%、8.0%;土壤水势变动在-1.5~-1.8 MPa;油松小枝水势变化在-2 MPa左右;栓皮栎小枝水势变化在-2.3~-2.8 MPa左右。5月25日、26日的太阳的总辐射强度的最高值约为0.8 kW/m<sup>2</sup>。其日变化规律见图1,是5月份典型的晴天天气。

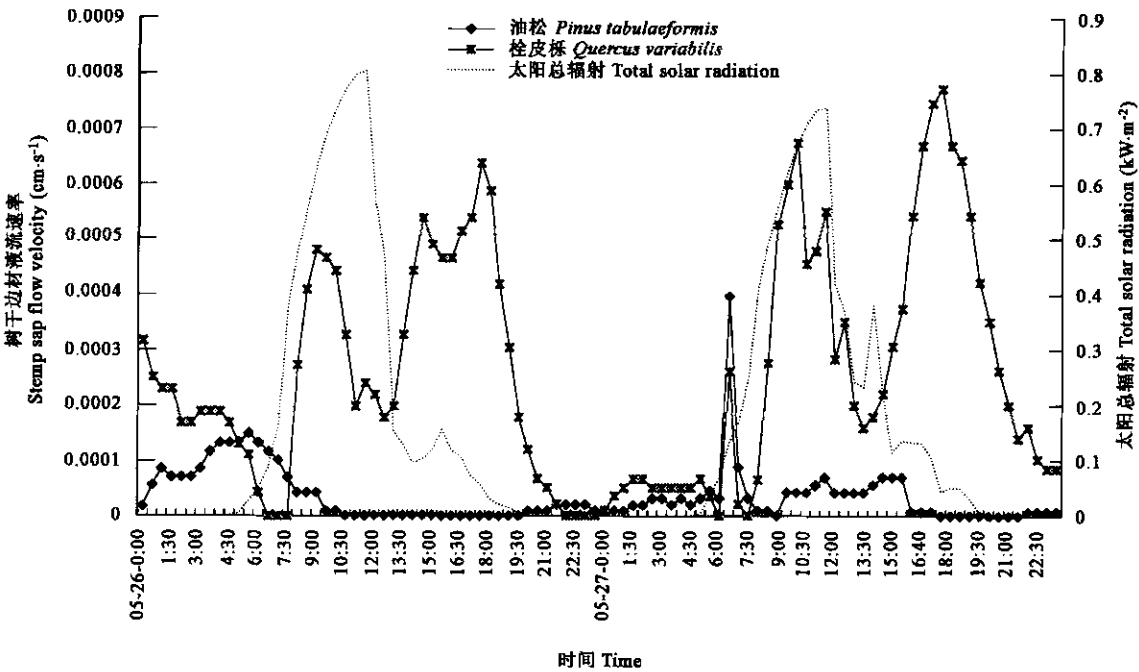


图1 5月26日、27日油松、栓皮栎树干液流速率日变化

Fig.1 The sap flow velocity of *Pinus tabulaeformis* and *Quercus variabilis* in May 26<sup>th</sup> to May 27<sup>th</sup>

3.2.1 干旱时期油松和栓皮栎树干液流速率在白天的变化 在土壤干旱阶段,油松树干液流速率变化极不规律,液流波形与太阳总辐射波形不一致(见图1)。26日的油松树干液流在日出时出现最大值,约为0.00015 cm/s 随后逐渐降低至10:30后则不产生液流,到晚上太阳总辐射降为零后又有少量液流出现。这一结果与马履一等<sup>[17]</sup>在同一地区对大龄油松树干液流速率研究的结果相近,而与王华田对油松的研究结果相差很大<sup>[15]</sup>。26日白天栓皮栎液流的变化与太阳总辐射波形基本一致,这与油松明显不同。从7am开始有液流产生,在10:00逐渐升到最大值0.0005 cm/s 后下降并出现峰谷,在13:30液流又复而上升并在18:30出现又一最大值约为0.0006 cm/s,后又逐渐下降延续到夜间。27日7:30左右油松树干液流出现短时峰值,最高值达0.0004 cm/s。与26日不同,由于此前正好有少量降水出现,白天出现油松树干液流的峰值,其最高值约为0.0001 cm/s,到晚上油松树干液流速率又趋于零,这反映油松极度缺水,土壤水分对油松树干液流的影响非常显著。油松树干液流速率这种在白天几乎无树干液流而在晚上有液流的现象反映了油松适应土壤水分的严重胁迫是靠晚上液流来补充白天的蒸腾耗水。27日白天栓皮栎的液流波形与26日的基本相同并与太阳总辐射的波形基本一致。从凌晨6:00栓皮栎树干液流速率又恢复流动,在27日白天栓皮栎树干液流速率同样呈双峰状,最高值同样分别出现在8:00~10:00和14:00~20:00,分别约为0.0007 cm/s、0.0008 cm/s,峰值要大一些。栓皮栎树干液流速率在27日7:30左右也同样出现短时峰值,最高值达0.0004 cm/s,峰值的增大和短时峰值的出现反映了栓皮栎同样对降水导致的土壤水分增加反应迅速。

3.2.2 油松、栓皮栎树干液流速率的夜间变化 在26日凌晨,油松有明显的液流峰,其峰值为0.00015cm/s,最高值出现在5:00~6:00并延续到白天。栓皮栎在此时段也有液流,峰值为0.0005 cm/s,出现在0:00。26日夜间到27日凌晨整个时段油松同样有液流,液流速率约为0.00003 cm/s,栓皮栎也一样,只是栓皮栎的树干液流速率要比油松高一些。一般认为夜间气孔关闭没有蒸腾拉力,因此没有液流或很小。夜间有明显液流这种现象说明树木受到严重水分胁迫,在白天由于蒸腾失水强烈,小枝水势变得很低而形成较大土壤-植物水势差以供应水分消耗,可能由于土壤导水率太低而产生空穴栓塞使得无法将水分送到树冠上部。在夜间由于气孔关闭失水很少,水势差变小,加上根压的作用相对变大反而有利于消除空穴栓塞促进水分输导,来弥补树冠白天的水分消耗<sup>[1]</sup>。

3.3 土壤水分供应充足时期油松、栓皮栎树干液流速率的变化

在土壤水分供应充足时期是指土壤水分 10% 以上时的时期,7 月 25 日、26 日和 27 日的土壤平均容积含水量分别为 14.2%、12.6% 和 13.6%;土壤水势变化在  $-1.0 \sim -1.5$  MPa; 油松小枝水势变化在  $-1.2 \sim -2$  MPa 左右;栓皮栎小枝水势变化在  $-2.2 \sim -2.6$  MPa 左右;太阳的总辐射强度日变化见图 2,25、26 两日为本月典型的晴天,在中午以前太阳总辐射的最大值为  $0.8 \sim 0.9$  kW/m<sup>2</sup>,午后明显减弱并呈多峰状,这是由于天气湿度大,午后多云的缘故。27 日则是阴雨天气,太阳总辐射峰值为  $0.2$  kW/m<sup>2</sup>。

**3.3.1 油松、栓皮栎树干液流速率在晴天天气的变化** 在土壤水分供应充足时期,油松、栓皮栎树干液流速率的日变化见图 2。图 2 显示油松树干液流速率变化非常规律,25、26 二日的树干液流速率峰出现在白天,晚上几乎无液流,呈单峰状,波形平缓。液流起始于 6:00 以后,最高值出现在 11:00~16:00,约为  $0.0004 \sim 0.0014$  cm/s,结束于 19:00 左右,晚于太阳总辐射约 2h。26 日白天油松树干液流速率峰值最大,高达  $0.00143$  cm/s。栓皮栎树干液流速率变化与油松树干液流速率的波形大体相似,也与太阳总辐射的波形大体一致。25 日、26 日的树干液流速率峰也出现在白天,晚上则几乎无液流,呈单峰状,与油松树干液流波形不同的是栓皮栎的树干液流波形呈多峰状,变化较多。液流速率的最高值出现在 10:00~17:00,约为  $0.0015$  cm/s,这一研究结果与鲁小珍在南京对栓皮栎树干液流速率的研究相近<sup>[14]</sup>,但要偏低一些。这一研究结果与王华田在同一地区同一树种的研究结果相差很大<sup>[15]</sup>。栓皮栎树干液流速率的最高值与油松的树干液流速率的最高值相近,但其树干液流的波长要比油松树干液流的波长要宽。

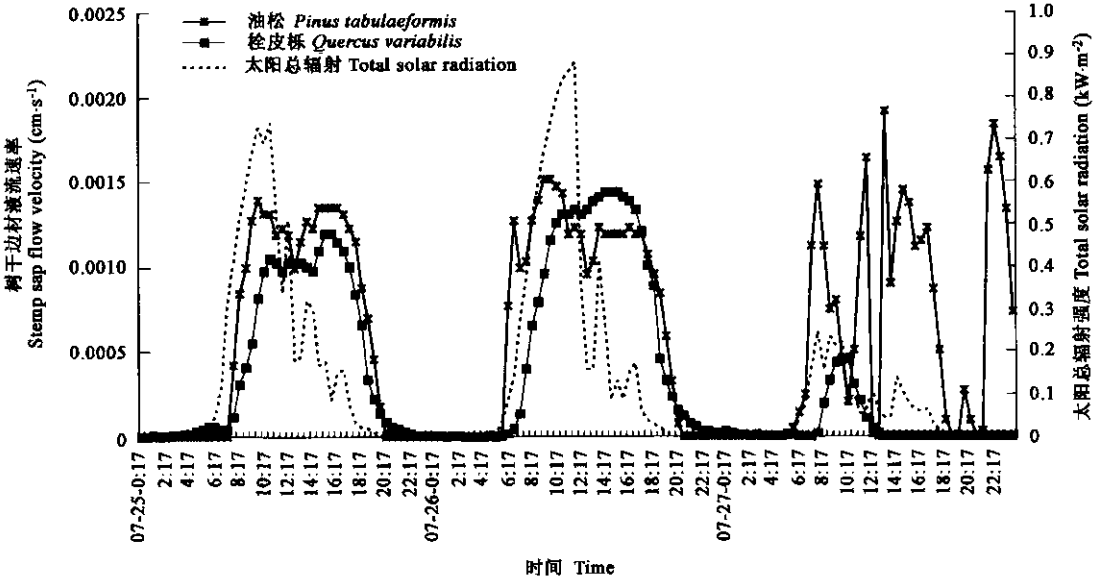


图 2 7 月 25、26、27 日油松、栓皮栎树干液流的日变化

Fig. 2 The sap flow velocity of the *Pinus tabulaeformis* and *Quercus variabilis* from July 25<sup>th</sup> to July 27<sup>th</sup>

**3.3.2 油松和栓皮栎树干液流速率在阴雨天气的日变化** 27 日白天油松树干液流速率较小,峰值约为  $0.00046$  cm/s,约为 26 日的 1/3,这是因为阴天,太阳辐射弱的缘故,随后油松树干液流速率又趋于零。反映了太阳辐射弱时对油松树干液流影响明显。与油松明显不同 27 日白天栓皮栎树干液流速率峰呈多峰状,峰值几乎与 25、26 日的树干液流速率峰值相近。27 日白天 15:00 后栓皮栎树干液流速率仍然较高,达  $0.0015$  cm/s 左右直到 22:00,其间虽有树干液流速率趋于零时段,但此时油松树干液流速率已趋于零。这种区别的原因可能是油松和栓皮栎气孔对光强的反映不同所造成的,但有待进一步研究。

**3.4 干旱时期与水分充足时期树干液流的比较**

在土壤干旱阶段,油松树干液流速率变化极不规律,液流波形与太阳总辐射波形不一致。在早晨或夜间出现油松树干液流的峰值,但非常低,其最高值约为  $0.0001 \sim 0.00015$  cm/s。强的太阳总辐射可导致油松树干液流停止而短时的降水能明显促进液流的快速产生,这反映油松极度缺水,土壤水分的升高促进油松树干液流速率的提高,而强的太阳总辐射可降低油松树干液流,土壤水分和太阳总辐射对油松树干液流的影响非常显著。栓皮栎液流与太阳总辐射的波形基本一致这与油松明显不同,最大值约为  $0.0006$  cm/s,强的太阳总辐射只是导致栓皮栎树干液流出现短时峰谷,而短时的降水能明显促进液流的快速产生,

这反映油松极度缺水,土壤水分的升高促进栓皮栎树干液流速率的提高,太阳总辐射和土壤水分同样对栓皮栎树干液流的影响也非常显著。

在土壤水分供应充足时期,晴朗天气油松、栓皮栎树干液流速率变化非常规律,树干液流速率峰出现在白天,晚上几乎无液流,呈单峰状,油松树干液流波形平缓变动在 0.0004~0.0015 cm/s,是干旱时期的 4~10 倍。栓皮栎树干液流速率变化与油松树干液流速率的波形大体相似,也与太阳总辐射的波形大体一致。与油松树干液流波形不同的是栓皮栎的树干液流波形呈多峰状,变化较多。液流速率的最高值约为 0.0015 cm/s,是干旱时期的 2.5 倍。

在干旱时期,阴雨天气能强烈促进油松和栓皮栎液流的流动;在水分充足时期阴雨天气则明显降低油松树干液流的流速而对栓皮栎则无明显影响。

#### 4 结论与讨论

本文经过对油松和栓皮栎树干液流速率的研究有如下初步结论:  
油松和栓皮栎的月平均树干液流速率有明显不同。栓皮栎月平均树干液流速率在整个生长期的树干液流速率都较油松的月平均树干液流速率要高。前者大约是后者的 5~10 倍。

栓皮栎和油松适应土壤干旱的机理不同。栓皮栎在土壤干旱时期能够在白天产生明显的树干液流。在土壤干旱时期油松白天树干液流可能停止而在晚上产生明显树干液流来弥补白天由于蒸腾消耗的水分。

在土壤相对湿润时期,油松和栓皮栎树干液流速率的波形与太阳总辐射的波形变化一致,但不同的是油松的树干液流速率波形呈明显的单峰状,而栓皮栎树干液流速率波形呈明显的多峰状。在土壤相对湿润时期太阳总辐射很低时能对油松树干液流速率产生明显的降低作用,而对栓皮栎树干液流则没地明显影响,这一结论有待进一步研究验证。

在土壤水分供应充足时期,晴朗天气油松树干液流速率变动在 0.0004~0.0015 cm/s,是干旱时期的 4~10 倍。栓皮栎树干液流速率的最高值约为 0.0015 cm/s,是干旱时期的 2.5 倍。

在干旱时期,阴雨天气能强烈促进油松和栓皮栎液流的流动;在水分充足时期阴雨天气则明显降低油松树干液流的流速而对栓皮栎则无明显影响。

关于栓皮栎树干液流速率与土壤因子如土壤含水量、土壤水势、土壤比水容量、土壤导水率、土壤温度和气象因子如太阳总辐射、风速、大气水势、大气相对湿度、绝对温度的关系有待进一步研究。

#### References:

[ 1 ] Kramer P J, Boyer J S. *Water relations of plants and soils*. London: Academic Press Inc, 1995. 1~15, 224,242~243.

[ 2 ] Liu F J, Zheng S K, Ju G *et al*. A study on comparison of measuring water- consumption for transpiration in poplar. *Scientia Silvae Sinicae*, 1997, **33**(2):118~225.

[ 3 ] Li J Y, Zhou P, Zhao L J. Influence of drought stress on transpiring water-consumption of seedlings. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, **22**(9): 1380~1386.

[ 4 ] Man R Z, Dong S R, Guo J T. Study on transpiration of Hua Bei Chinese Pine plantation. *Journal of Beijing Forestry University*, 1986, (2):1~6.

[ 5 ] Liu C j. Study on transpiration of Oriental Oak stand. *Journal of Beijing Forestry University*, 1991,**13**(Supp 2):226~229.

[ 6 ] Liu F M. Measuring sap flow of pine tree by using calibrated heat pulse method. *Journal of Guansu Agricultural University*, 1996, **31**(2): 167~223.

[ 7 ] Yan C L,A lec Downey,Han X G,*et al*. A study on sap flow of *Juglans mandshurica* of grow season in deciduous broad-leaf forest Beijing Mountain area. *Acta Ecologica Sinica*,1999,**19**(6):793~797.

[ 8 ] Wu L P, Wang X D, Yu Q E, *et al*. Study on spatial and temporal Variability of Stem-sap Flow of *Pinus sylvestris* Var. *mongolica*. *Research of Soil and Water Conservation*,2003, **10**(4):66~68.

[ 9 ] Li H T, Chen L Z. A study on the volume and velocity of stem sap flow of *Betula dahurica* and *Acer mono* forest by the heat-pulse technique. *Journal of Beijing Forestry University*, 1998, **20**(1):1~6.

[10] Sun P S, Ma L Y. *Research and application on water use characteristics of water source tree species*. Beijing: China Environmental Science Press,2002.

[11] Ma L Y, Sun P S, Ma L Y. Sapwood area calculation and water use scaling up from individual trees to stands of Chinese pine and black locust. *Journal of Beijing Forestry University*, 2001, **23**(4):1~5.

[12] Granier A. Evaluation of transpiration in a Douglas fir stand by means of sap flow measurements. *Tree Physiology*, 1987, **3**: 309~32.

[13] Granier A, Huc R, Barigah S T. Transpiration of natural rain forest and its dependence on climatic factors. *Agricultural and Forest*

*Meteorology*, 1996, **78**: 19~29.

[14] Lu X Z. Study on sap flow of *Pinus massoniana* and *Quercus variabilis* in growing season. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2001, **28**(4): 401~404.

[15] Wang H T, Ma L Y. Measurement of Whole tree water consumption with thermal dissipation sap flow probe (TDP). *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, **26**(6): 661~667.

[16] Sun H Z, Zhou X F, Zhao H X. A research on stem sap flow dynamics of *betula platyphylla*. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, **22**(9): 1387~1391.

[17] Ma L Y, Wang H T, Lin P. Comparison of water consumption of some afforestation species in Beijing area. *Journal of Beijing Forestry University*, 2003, **25**(2): 1~7.

[18] Yu M K, Jiang Z L, Lu X Z, *et al.* A study on the stem flow of *Pinus taeda*. *Journal of Nanjing Forestry University*, 2003, **27**(3): 7~10.

[19] Sun H Z, Zhou X F, Kang Sh Z. Effect of leaf spot on the stem sap flow of *betula platyphylla*. *Acta Bot. Boreal. -Occident. sin.*, 2004, **24**(5): 837~842.

[20] Sun H Z, Zhou X F, Kang S Z. Research advance in application of heat technique in studying stem sap slow. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, **15**(6): 1074~1078.

[21] Tyree M T. A dynamic model for water flow in a single tree: evidence that models must account for hydraulic architecture. *Tree Physiology*, 1988, **4**: 195~227.

[22] Sperry J S, Hake U G, Oren R, *et al.* Water deficits and hydraulic limits to leaf water supply. *Plant, Cell and Environment*, 2002, **25**: 251~263.

[23] Zhai H B, Li J Y. Application of Darcy's laws in testing water conductivity characteristic of *Pinus tabulaeformis* xylem. *Journal of Beijing Forestry University*, 2001, **23**(4): 6~9.

[24] Do F and Rocheteau A. Influence of natural temperature gradients on measurements of xylem sap flow with thermal dissipation probes. 2. Advantages and calibration of a noncontinuous heating system. *Tree Physiology*, 2002, **22**: 649~654.

参考文献:

[ 2 ] 刘奉觉, 郑世锴, 巨关升, 等. 树木蒸腾耗水测算技术的比较研究. 林业科学, 1997, **33**(2): 118~225.

[ 3 ] 李吉跃, 周平, 招礼军. 干旱胁迫对苗木蒸腾耗水的影响. 生态学报, 2002, **22**(9): 1380~1386.

[ 4 ] 满荣洲, 董世仁, 郭景唐. 华北油松人工林蒸腾的研究. 北京林业大学学报, 1986, (2): 1~6.

[ 5 ] 刘春江. 栓皮栎林分蒸腾量的研究. 北京林业大学学报, 1991, **13**(Supp 2): 226~229.

[ 6 ] 刘发民. 利用较准的热脉冲方法测定松树树干液流. 甘肃农业大学学报, 1996, 31(2): 167~223.

[ 7 ] 严昌荣, A lec Downey, 韩兴国, 等. 北京山区落叶阔叶林中核桃楸在生长中期树干液流的研究. 生态学报, 1999, **19**(6): 793~797.

[ 8 ] 吴丽萍, 王学东, 尉全恩, 等. 樟子松树干液流的时空变异性研究. 水土保持研究, 2003, **10**(4): 66~68.

[ 9 ] 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. 北京林业大学学报, 1998, **20**(1): 1~6.

[10] 孙鹏森, 马履一. 水源保护树种耗水特性研究应用. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.

[11] 马李一, 孙鹏森, 马履一. 油松、刺槐单木与林分水平耗水量的尺度转换. 北京林业大学学报, 2001, **23**(4): 1~5.

[14] 鲁小珍. 马尾松、栓皮栎生长盛期树干液流的研究. 安徽农业大学学报, 2001, **28**(4): 401~404.

[15] 王华田, 马履一. 利用热扩式树干液流探针(TDP)测定树木整株蒸腾耗水量的研究. 植物生态学报, 2002, **26**(6): 661~667.

[16] 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.

[17] 马履一, 王华田. 北京地区几个造林树种耗水性比较研究. 北京林业大学学报, 2003, **25**(2): 1~7.

[18] 虞沐奎, 姜志林, 鲁小珍, 等. 火炬树树干液流的研究. 南京林业大学学报, 2003, **27**(3): 7~10.

[19] 孙慧珍, 周晓峰, 康绍忠. 叶斑病对白桦树干液流的影响. 西北植物学报, 2004, **24**(5): 837~842.

[20] 孙慧珍, 周晓峰, 康绍忠. 应用热技术研究树干液流进展. 应用生态学报, 2004, **15**(6): 1074~1078.

[23] 翟洪波, 李吉跃. Darcy 定律在测定油松木质部导水特征中的应用. 北京林业大学学报, 2001, **23**(4): 6~9.