

文章编号：1001-4675(2006)02-0216-07

# 塔里木沙漠公路防护林乔木状沙拐枣耗水特性<sup>\*</sup>

许 浩<sup>1,2</sup>, 张希明<sup>1</sup>, 王永东<sup>1,2</sup>, 魏 疆<sup>1,2</sup>, 梁少民<sup>1,2</sup>

(1 中国科学院 新疆生态与地理研究所 新疆 乌鲁木齐 830011 2 中国科学院 研究生院 北京 100039)

**摘要：**利用植物茎流计 测定了塔里木沙漠公路塔中段乔木状沙拐枣茎干液流变化及耗水特性。结果表明 3 株乔木状沙拐枣在一个生长季内的日平均耗水量为 4 183.4 g; 在现行的灌溉管理条件下 4~10 月 3 株基径为 3.6, 3.1, 1.9 cm 的乔木状沙拐枣日平均耗水量分别为 6 203.5, 4 829.1, 1 517.5 g, 7 月份是耗水量最大的季节。乔木状沙拐枣液流日变化呈单峰曲线型, 并随环境因子的变化有所波动, 液流高峰值出现在 12:00~15:00, 最小值出现在 0:00~3:00, 夜间仍保持较高的液流速率。乔木状沙拐枣液流速率与基径呈正相关关系, 在 6 月底, 3 株基径为 3.6, 3.1, 2.1 cm 的乔木状沙拐枣日耗水量分别为 9 521.2, 5 803.1 g/d 和 1 818.8 g/d。不同天气条件下沙拐枣日平均率日耗水量的排列顺序为: 小雨 < 阴天 < 浮尘 < 沙尘暴 < 多云 < 晴天。干旱的环境条件和较为充足的水分供应是耗水量大的一个重要原因。

**关键词：**乔木状沙拐枣; 蒸腾; 耗水; 茎干液流; 热平衡法; 塔里木盆地

中图分类号 Q945.17 文献标识码:A

水资源的可持续利用, 关系着生态系统的平衡和区域水资源安全等一系列重大问题。在荒漠生态系统中, 生物的生存在很大程度上依赖于水, 水对于荒漠生态系统的平衡和维持有十分重要的意义。塔克拉玛干沙漠面积达  $3.37 \times 10^5 \text{ km}^2$ , 是中国第一大、世界第二大流动性沙漠, 这里沙丘高大, 类型多样, 流动沙丘占 85% 以上, 素有“死亡之海”之称。该沙漠地区极端干旱、风沙频繁、土质瘠薄、地下水水质高度矿化, 被视为“生命的禁区”。

随着塔克拉玛干沙漠公路的贯通, 沿公路建起了一道绿色防沙屏障——沙漠公路防护林。防护林的建成, 不仅保障了沙漠公路的畅通, 而且改变了沙漠生态系统的原有特征。防护林在极端干旱的环境中成长, 其所需水分依靠抽取沿线地下水进行灌溉, 灌溉水的矿化度在 4~28 g/L, 防护林受到干旱和盐分的胁迫。

塔里木沙漠公路的畅通有赖于防护林的保护, 而防护林功能的发挥则依赖于水资源的支撑。因此, 植物耗水特性研究就成为防护林管理及其可持续存在的基础。关于极端干旱条件下植物耗水的研究资料很少。本试验选用热平衡包裹式探头对塔克拉玛干沙漠公路防护林乔木状沙拐枣的茎干液流及蒸腾耗水量进行测定。蒸腾耗水量的测定数据, 为

沙漠公路防护林的管理提供数据支持, 也是防护林带总耗水量估算的依据, 同时也为极端干旱条件下植物的水分生理提供了基础研究资料。

国内外对单株植物耗水和群落耗水的主要研究方法有气孔计、称重式蒸渗仪、整树蒸散计、放射性同位素和稳定同位素、热平衡热扩散法、Penman-Montieth、涡度相关法、波文比-能量平衡法、遥感等。其中, 对于单株植物耗水研究较为简便准确的手段是通过测定树干液流确定蒸腾。目前关于树干液流的测定方法最常用的是热脉冲法和热平衡法。热脉冲法是以热脉冲理论为基础发展起来的, 该方法最早在 1932 年由 Huber 提出<sup>[1]</sup>, 1987 年 Granier 对热脉冲法进行了改进<sup>[2]</sup>。国内刘奉觉、王华田、熊伟、张小由等用热脉冲方法进行过一系列的研究<sup>[3~6]</sup>。2003~2004 年, 张小由等利用热脉冲法测定了荒漠地区胡杨、柽柳荒漠植物的耗水规律<sup>[7,8]</sup>。热平衡方法于上世纪 60 年代开始应用于测定树干液流, 上世纪 80 年代以后 Steinberg 等设计了改进的测定仪器, 使该技术渐趋成熟<sup>[9]</sup>。与热脉冲法相比, 热平衡法测定简单方便, 精度高无需校正, 对树木的损伤相对较小, 连续性好<sup>[3]</sup>。国内对于热平衡法的研究报道尚不多见。

\* 收稿日期 2005-09-26; 修订日期 2005-11-17

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-342-02) 科技部“西部开发科技行动”重大项目  
(2004BA901A21-1)

作者简介: 钟浩(1979-)男, 宁夏隆德人, 在读硕士, 研究方向为水土保持与荒漠化防治。E-mail: hz92@sohu.com

# 1 材料与方法

## 1.1 试验地概况

试验地在中国科学院新疆生态与地理研究所塔克拉玛干沙漠研究站、塔中植物园(39°06'N, 83°40'E)外围公路防护林内。位于塔克拉玛干沙漠腹地。据塔中气象站的资料,该地年平均气温12.4℃,7月平均气温28.2℃,1月平均气温-8.1℃,极端最高气温45.6℃,极端最低气温-22.2℃,全年≥10℃积温4621.8℃,无霜期为283 d,年日照时数2571.3 h,年平均降水量36.6 mm,平均相对湿度29.4%,潜在蒸发量为3638.6 mm,平均风速2.5 m/s,最大瞬时风速为24.0 m/s,4~8月为风季,平均风速为3.2 m/s,大风频繁,风热同期,浮尘扬沙天气频繁。地面景观为流动性高大的复合沙垄。土壤特征随地貌不同而有所差异。绝大部分为风沙土,其盐分含量为1.26~1.63 g/kg,在下层偶尔出现亚粘土,夹杂在风沙土中间,一般只有20~60 cm。地下水矿化度4~20 g/L。测定期间5~9月份各月平均气温分别为20.5,26.5,27.3,24.9,22.0℃,5~9月份降水量分别为13.8,1.9,8.1,14.6,4.1 mm。

试验对象为8 a生人工防护林带,构成植物为柽柳(*Tamarix* spp.)、梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、沙拐枣(*Calligonum* spp.),林带为1 m×2 m行间混交,平均郁闭度0.5左右,林分平均高度为290 cm,沙拐枣平均基径3.6 cm、平均高度为309 cm。防护林主要靠抽取地下咸水的灌溉,维持其正常生长。试验测试对象为乔木状沙拐枣(*Calligonum arborescens* Litv.)。

## 1.2 热平衡茎流计的基本原理及仪器安装

1.2.1 热平衡法的基本原理 本研究采用美国Dynamax公司的Flow32茎流测定系统进行茎干液流的测定。测定原理是热平衡法。热平衡法的基本构思是如果向茎部整体或茎干的一部分提供已知数量的恒定热源,在茎干内稳定流过一定数量茎流的条件下,茎干的温度会趋向于定值。在理想情况下,即不存在热损失时,提供的热量应等于被液流带走的热量。这构成了热平衡法测定茎流的基础。热平衡法要求一个稳定的状态,而且探头加热器要有持续的能量输入,因此被测树干部分必须和周围变化的环境绝缘。对于包裹式探头而言,加热及测温元件都紧贴在植物茎干的外表面,再用厚的隔热材料包裹,防止热量交换。理想的绝热效果是不可能

的。实际上必须考虑和茎流有关的各项热损失的存在,热平衡的公式为:

$$Pin = Q_r + Q_v + Q_f (W)$$

$$Pin = V^2/R \quad \text{Ohms 定律}$$

式中:  $Pin$  为输入功率;  $Q_r$  为径向热量损失;  $Q_v$  为轴向热量损失;  $Q_f$  为树干液流带走的热量;  $V$  为输入电压;  $R$  为电阻值。

知道树干液流带走的热量  $Q_f$ ,树液热容量  $C_p$ (一般为水的热容量4.186 J/g·℃)和温度差  $dt$  就可以算出树干的液流速率  $F$ :

$$F = Q_f / (C_p \cdot dt)$$

$$= (Pin - Q_v - Q_r) / (C_p \cdot dt)$$

式中:  $Q_r$ ,  $Q_v$ ,  $dt$ ,  $V$ ,  $R$  都可以通过传感器测得, 经过自动计算得出。在数据采集程序中输入茎干截面积、茎干类型参数, 最后可以直接得到茎干液流速率(g/h)的结果。

1.2.2 茎流计的安装 在防护林带内选择适合于传感器测定直径范围的沙拐枣单株, 要求茎干被测部位通直圆滑, 无枝权结疤。用小刀将被测茎干外的死皮刮去(在刮皮时需小心, 不要损伤茎干的韧皮部), 再用砂纸将其打磨光滑。然后, 用游标卡尺精确定准备安装探头部位的茎干直径。调试探头直径和茎干直径的适合程度, 使探头与茎干紧密接触。为了增强探头和茎干的接触, 在安装探头前用G4混合油涂抹茎干, 有利于防止水分顺茎干进入测定部分或者水汽的液化, 保护探头不受损伤及与茎干的粘连等。

探头安装于被测沙拐枣的茎干基部, 将探头紧紧与茎干接触, 用探头上的绑扎带将其扎紧, 保证探头上的几个温差电偶和茎干能直接接触。然后用隔热环套将探头的上下两头密封严实。为防止太阳辐射对探头温度的影响, 在安装好探头后, 再在探头的外层包上防太阳辐射保护套。

将探头和数据采集器的电源线与电源(12V的铅酸电池)接通, 再将数据采集器进行数据传输的电线与数据采集器相应的接口进行连接, 然后将测定树木的横断面积、起始时间、数据记录的间隔等参数通过计算机输入到数据采集器(本试验设置每15 min记录一次液流速率读数, 每15 min记录一次液流累积量)。从4月11日开始对3株基径分别为1.9, 3.1, 3.6 cm的沙拐枣进行连续测量, 至10月20日结束。

## 1.3 其他因子的测定

除了茎干液流外, 还测定了0~400 cm土层土

壤含水量、清晨水势等相关因子。土壤含水量采用土钻采样，烘干称重法测定；水势采用压力室（PMS Instrument Co. Model 1000, USA）测定，每次测定取6个样，每个样3个重复，数据处理用Excel电子表格进行分析、作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 沙拐枣茎干液流速率的日变化

植物的蒸腾耗水在一天内的变化有明显的节律性，即在白天气温最高的时候蒸腾量达到最大，夜间蒸腾很小或者停止。图1是一株8a生，基径3.1 cm的沙拐枣茎干液流日变化曲线。其液流变化是：在上午8:00以后，液流速率有明显快速上升的趋势，液流速率的最大值出现在12:00~15:00，然后

开始缓慢下降，3d内液流速率最大值为1277 g/h；液流最小值出现在0:00~3:00。6月26~28日液流速率最小值为84.4 g/h。由于白天蒸腾量大、失水过多，无法及时补充损失的水分，但是夜间仍保持一定液流，以补充植物体白天的水分消耗。沙漠腹地环境特殊，夜间空气仍然很干燥，还有空气流动的影响，也存在水分蒸腾散失，这也是夜间仍能保持一定量液流的重要原因。3d平均液流值为404.14 g/h，3d平均日耗水量为9699.34 g；6月份，有时全天的耗水量大于10 kg。可见在沙漠腹地这样的环境条件下，一株基径为3.1 cm的沙拐枣，在6月底的高温条件下，耗水量较大。就目前所获的数据而言，在4~10月份的生长过程中，茎干液流速率的最大值可达1436 g/h，出现在6月下旬午后，最小值为0，出现在生长早期的4月中旬夜间。

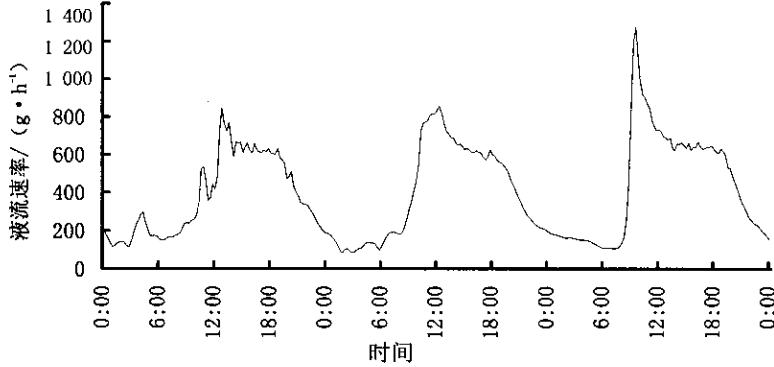


图1 第177~179天(6月26~28日)沙拐枣茎干液流连日变化

Fig. 1 Daily fluctuation of sap flow in stems of *Calligonum mongolicum* during the period from June 26 to 28 (177~179th day)

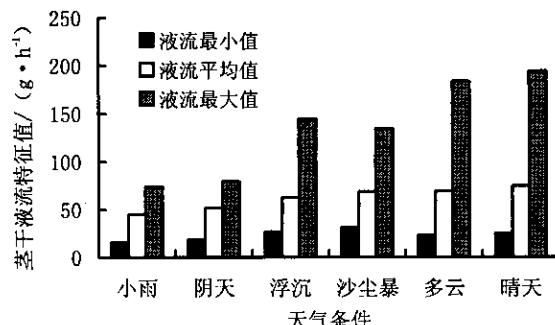


图2 不同天气条件下的茎干液流特征值

Fig. 2 Eigenvalues of sap flow in stems under different weather conditions

### 2.2 沙拐枣茎干液流对不同天气条件的响应

塔克拉玛干沙漠腹地高温干燥，沙尘天气频繁发生，年降水总量小于11.05 mm<sup>[10]</sup>。各种天气条件对于沙拐枣茎干液流速率的影响不同。由图2可以看出，一株基径为1.9 cm的沙拐枣茎干平均液流

速率在各种天气条件下的排序由小到大依次为：小雨<阴天<浮尘<沙尘暴<多云<晴天。小雨天的液流速率平均值、最大值、最小值和液流总量都是最小，分别为45.1, 74.1, 16.0 g/h和1082.9 g/d。2005年5月14日夜至5月15日上午为小雨天气，这次降雨过程的降水量为13.8 mm。降雨增加了土壤含水量和空气湿度，但气温、太阳辐射等环境变量显著降低，所以茎干液流达到了最小值。晴天液流速率的各项特征值都为最大，分别为74.8, 194.0, 24.6 g/h和1793.5 g/d。浮尘和多云天液流速率有明显的降低。沙尘暴天气条件下，平均液流速率要比浮尘天气稍高，沙尘暴天气虽然太阳辐射和空气温度比较低，但是空气流动快、空气湿度低，对液流速率影响较大，所以在浮尘天气液流速度小。各种天气条件对耗水量的影响也是如此。其日蒸腾耗水量分别是1082.9, 1246.6, 1503.3, 1651.7, 1662.1, 1793.5 g。由图3可以看出，晴

天和多云天茎干液流明显较高,有明显的峰值现象;在沙尘暴和浮尘天气条件下,茎干液流则呈现多峰值现象。这与环境因子的剧烈变动有关,尤其是太阳辐射、风速和气温的变化;而在阴雨天,茎干液流变化幅度很小,茎干液流曲线趋于平缓。

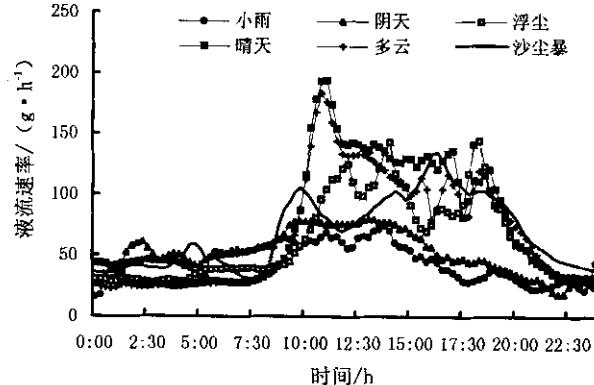


图3 不同天气条件下沙拐枣茎干液流的日变化

Fig. 3 Daily fluctuation of sap flow in stems of *Calligonum mongolicum* under different weather conditions

### 2.3 不同基径沙拐枣的茎干液流

很多研究表明,茎干液流量与茎干直径为正相关关系<sup>[11~16]</sup>,本试验也得到类似的结果。从图4可以看出,液流速率和日液流总量值随着基径的增大而增加。基径为3.6 cm的沙拐枣日平均液流速率和日液流累积量分别为396.7 g/h和9 521.2 g/d;直径为3.1 cm的沙拐枣分别为241.8 g/h和5 803.1 g/d;直径为1.9 cm的沙拐枣分别为75.7 g/h和1 818.8 g/d。液流速率和液流累积量与基径呈较为显著的正相关性。基径与日平均液流速率、日液流总量的相关性系数为0.9713。

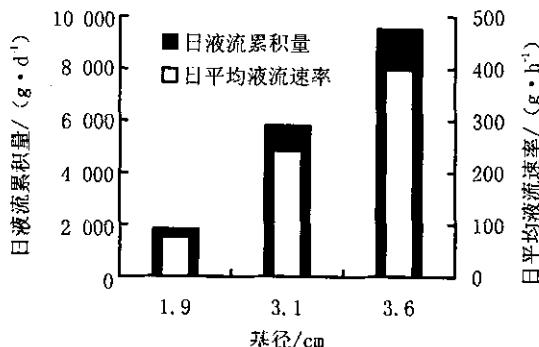


图4 不同基径沙拐枣液流量的比较

Fig. 4 Comparison of sap flow in stems of *Calligonum mongolicum* with different basal diameters

由图5可以看出,直径大的茎干液流速率高于直径小的茎干。<sup>下方数据</sup>在同一天内,3株的变化趋势基本

相同,这是因为它们受共同的环境因子变化影响所致。但是,直径较大的植株液流速率较高,更容易受到环境因子的影响,波动较为明显。

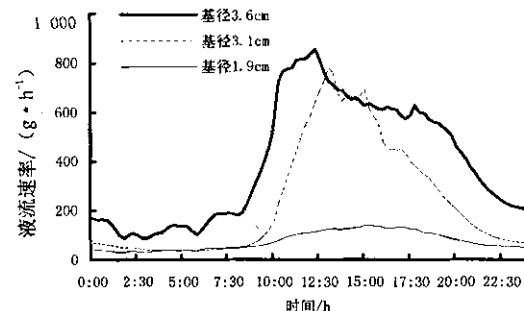


图5 不同基径沙拐枣茎干液流速率的日变化曲线

Fig. 5 Daily fluctuation of sap flow in stems of *Calligonum mongolicum* with different basal diameters

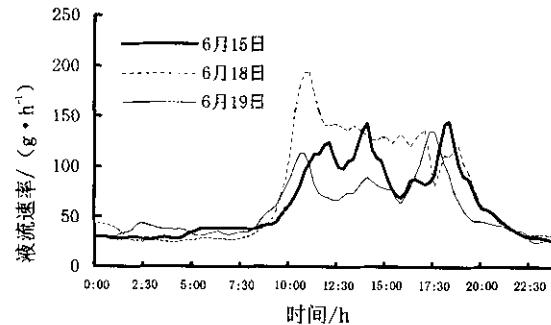


图6 土壤含水量月份变化

Fig. 6 Comparison of sap flow in stems of *Calligonum mongolicum* before and after irrigation

### 2.4 土壤水分与沙拐枣茎干液流

沙漠公路防护林灌溉管理采用无亏缺滴灌管理方式。抽取地下水灌溉,地下水的矿化度较高,盐分含量为4~28 g/L,每次持续灌溉时间12~20 h,每个滴头出水量为3.5 L/h,每次灌溉量约为35~60 kg/株。根据生长状况进行灌溉,每年共灌溉20次。由图6可以看出,各层土壤含水量的变化不大。这表明灌溉使土壤水分保持在一个较为稳定的水平。图7是一次灌水前后沙拐枣茎干液流的变化图,灌溉从6月17日晚上开始,18日上午结束。可以看出,在灌溉期间沙拐枣茎干液流速率有所增加,灌溉前和灌溉后沙拐枣茎干液流没有显著的变化。在5~10月每月中旬沙拐枣的清晨平均水势分别为-0.61,-0.99,-0.79,-0.89,-0.93 MPa,午后的水势分别为-1.17,-1.7,-1.52,-1.72,-1.80 MPa,保持了较高的清晨水势,午后水势也保持在一个相对较高的水平。说明土壤水分较为充足,能够满足沙拐枣的需要,在夜间沙拐枣的水分得

到了很好的恢复,而在午后,蒸腾作用加强使得水分损失严重、水势降低。9月份水势降低是由于沙拐枣生理功能减弱、生长衰退所致。这表明,在当前灌溉条件下,灌溉水能够满足植物生长的需要。

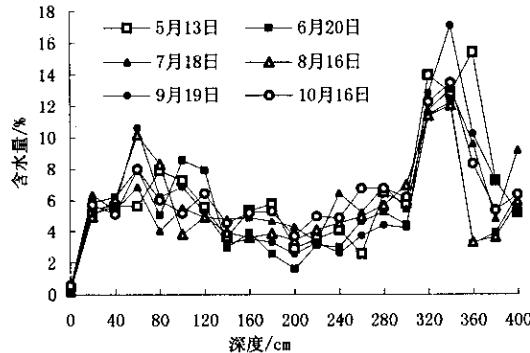


图 7 灌溉前后沙拐枣茎干液流比较

Fig. 7 Monthly change of soil moisture content

## 2.5 各月耗水量的变化

沙拐枣在4月初开始萌发,到9月生长开始衰退,10月底生长结束。整个生长季月耗水过程也是一个单峰曲线型。4月份日耗水量最低,5~7月依次升高,7月以后耗水量有开始下降,直至10月底生长结束。

表 1 不同直径的单株耗水量

Tab. 1 Daily water consumption of stems with different basal diameters

月份	日平均液流速率/(g·h <sup>-1</sup> )			日平均蒸腾耗水量/(g·d <sup>-1</sup> )		
	1.90	3.10	3.60	1.90	3.10	3.60
4	24.94	37.41	50.60	598.48	897.73	1214.51
5	55.72	174.40	211.97	1337.39	4185.51	5087.39
6	87.23	236.31	331.96	2093.62	5671.32	7966.96
7	101.66	300.71	367.79	2439.88	7217.07	8827.01
8	69.88	288.01	348.51	1677.12	6912.32	8637.61
9	59.88	243.11	313.88	1437.12	5834.59	7293.61
10	26.03	100.51	133.36	624.69	2412.16	3200.72

由表1可以看出,3株沙拐枣在一个生长季(4月11~10月20日)的总耗水量分别为281.48,913.46,1164.28 kg。从4月11日~10月20日的193 d内,3株沙拐枣的日平均耗水量为4074.61 g。耗水量最大月份为7月,3株沙拐枣日耗水量分别为2439.88,7217.07,8827.01 g,其中,基径3.6 cm的沙拐枣7月份最高耗水量可达10000 g左右;不同基径的沙拐枣耗水量也有明显的差异,基径越大,其耗水量也越大。基径为1.9,3.1,3.6 cm的沙拐枣在10月的日平均耗水量分别为

1458.33,4732.96,6032.54 g。可见,在干旱沙漠地区,空气干旱、空气流动和较为充足土壤水分供应是植物耗水量巨大的一个主要因素。

## 3 结论

(1)乔木状沙拐枣茎干液流日变化呈单峰曲线型,受环境因子影响有波动,在夜间仍然能够保持较高的液流速率,茎干液流的高峰一般出现在9:30~15:00期间,液流速率最小值一般出现在0:00~3:00期间;

(2)乔木状沙拐枣茎干液流对不同的天气条件的响应不同,在塔中几种主要天气类型条件下,阴雨天的茎干液流速率最小,日耗水量最小,沙尘暴和晴天时液流速率最大,日耗水量最大,不同天气条件下平均液流速率由小到大依次为:小雨<阴天<浮尘<多云<沙尘暴<晴天。塔克拉玛干沙漠频繁的沙尘天气和高温干燥的气候条件是植物水分损失的一个重要原因。

(3)沙拐枣液流速率与直径呈正相关关系,日平均液流速率和日耗水总量均与直径呈较为显著的线性相关;

(4)防护林的水分管理模式为无亏缺灌溉管理,灌溉水能够保持一定水平的土壤含水量,充分满足植物的生长,在当前的水分管理条件下,不存在明显的水分胁迫状况,地表以下400 cm土层的土壤含水量变化不大。在土壤水分较为充足的条件下,土壤含水量对茎干液流速率的影响减弱。

(5)3株8 a生沙拐枣在157 d(4月11日~10月20日)内的日平均耗水量约为4420.514 g,7月份是耗水量最大的季节,日平均耗水量约为6161.32 g,7月份最大的单株耗水量可达10000 g。干旱的环境条件和较为充足的水分供应是耗水量大的一个重要原因。

塔克拉玛干沙漠腹地环境特殊,沙拐枣在整个生长季都保持了较高的液流速率,夜间也有较高的茎干液流,这就决定了在整个生长季沙拐枣都是一个持续的高耗水过程。张小由等在额济纳地区对柽柳的研究表明,直径为4.0 cm和5.0 cm的柽柳在6月初日耗水量分别为0.37 kg和0.62 kg<sup>[5]</sup>,胡杨耗水量分别为23.3 kg(胸径21 cm),19.25 kg(胸径15 cm);马履一等在北京地区的研究结果表明,油松(直径10.75 cm)侧柏(直径6.79 cm)在9月底10月初的日耗水量分别为19.59 kg和3.03

kg<sup>[5,17,18]</sup>;李海涛等在北京地区对棘皮桦(胸径14.96 cm)和五角枫(直径7.9 cm)7月底3日内平均耗水量分别为24.7 kg和8.51 kg<sup>[19]</sup>。与其他地区的灌木和一些阔叶乔木相比,沙拐枣的耗水量明显大于一些灌木,甚至日耗水量相当于一些乔木树种。这表明塔克拉玛干沙漠特殊的环境条件下,即使灌木也有很高的耗水量。无疑高温干燥的气候条件和较为充分的水分供应是耗水量高的主要因素。在极端干旱的沙漠地带,有了较为充分的水分供应,植物的蒸腾耗水量十分巨大。沙漠公路防护林带的维持需要足够的水分支撑。因此,水分消耗是防护林管理必需考虑的,要采取必要的营林措施,以其防护效益为最终目标,以节水为出发点,进行科学的灌溉和合理的经营管理,以确保防护林的可持续性。

## 参考文献(References)

- [1] 严昌荣,Alec Downey,韩兴国,等.北京山区落叶阔叶林中核桃在生长中期的树干液流研究[J].生态学报,1999,19(6):793-797.[Yan Changrong,Alec Downey,Han Xingguo,et al. A study on sap flow of *Juglans mandshurica* of growth season in deciduous broad-leaf forest Beijing mountain area[J]. *Acta Ecologica Sinica*,1999,19(6):793-797.]
- [2] Granier A. Evaluation of transpiration in a *Douglas* fir stand by means of sap flow measurements[J]. *Tree Physiology*,1987,7:309-320.
- [3] 刘奉觉.树木蒸腾耗水量的测算方法[J].林业科技通讯,1991(1):27-29.[Liu Fengjue. Study on tree water consumption measurements[J]. *Forestry Science and Technology*,1991(1):27-29.]
- [4] 刘奉觉,郑世锴,巨关升.树木蒸腾耗水测算技术的比较研究[J].林业科学,1997,33(2):117-126.[Liu Fengjue,Zheng Shikai,Ju Guansheng. Study on tree waterconsumption measurements comparison[J]. *Scientia Silvae Sinicae*,1997,33(2):117-126.]
- [5] 王华田,马履一.油松、侧柏深秋边材木质部液流变化规律的研究[J].林业科学,2002,38(5):30-37.[Wang Huatian,Ma Luyi. Sap flow fluctuations of *Pinus tabulaeformis* and *Platycladus orientalis* in late Autumn[J]. *Scientia Silvae Sinicae*,2002,38(5):30-37.]
- [6] 张小由,龚家栋,等.应用热脉冲技术对胡杨和柽柳树干液流的研究[J].冰川冻土,2003,25(5):584-590.[Zhang Xiaoyou,Gong Jiadong,et al. A study on the stem sap flow of *Populus euphratica* and *Tamarix* spp. by heat-pulse technique[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*,2003,25(5):584-590.]
- [7] 张小由,龚家栋.利用热脉冲技术对梭梭液流的研究[J].西北植物学报,2004,24(12):2250-2254.[Zhang Xiaoyou,Gong Jiadong. Study on volume and velocity of stem sap flow of *Haloxylon ammodendron* by heat-pulse technique[J]. *Acta Bot. Boreali-Occident Sinica*,2004,24(12):2250-2254.]
- [8] 张小由,龚家栋,等.胡杨树干液流的时空变异性研究[J].中国沙漠,2004,24(4):489-492.[Zhang Xiaoyou,Gong Jiadong,et al. Spatial and temporal characteristics of stem sap flow of *Populus euphratica* [J]. *Jurnal of Desert Research*,2004,24(4):489-492.]
- [9] Steinberg S L, Van Bavel C H M, McFarland M J. A gauge to measure mass flow of sap flow in stem and trunk of woody plants[J]. *Journal of the American Society for Horticultural Science*,1989,114:466-472.
- [10] 周智彬,李培军,徐新文,等.塔克拉玛干沙漠腹地人工绿地对沙地盐分时空分布的影响[J].水土保持学报,2002,16(2):15-19.[Zhou Zhibin,Li Peijun,Xu Xinwen,et al. Effect of artificial green belt on salt distribution in sand land in hinterland of Taklimakan desert[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*,2002,16(2):15-19.]
- [11] 熊伟,王彦辉,等.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.[Xiong Wei,Wang Yanhui,et al. Regulations of water use for transpiration of *Larix Prinzipi-rupprechtii* and its response on environments factors in south Ningxia hilly area[J]. *Scientia Silvae Sinicae*,2003,39(2):1-7.]
- [12] Peter Becker. Sap flow in Bornean heath and *dipterocarp* forest trees during wet and dry periods[J]. *Tree Physiology*,1995,16:295-299.
- [13] Vertessy R A, Hatton T J, et al. Estimating stand water use of large mountain ash trees and validation of the sap flow measurement technique[J]. *Tree Physiology*,1997,17:747-756.
- [14] Wullschleger Stan D, Hanson P J, Todd D E. Transpiration from a multi-species deciduous forest as estimated by xylem sap flow techniques[J]. *Forest Ecology and Management*,2001,143:205-213.
- [15] Thomas J Hatton, Stephen J Moore, Peter H Reece. Estimating stands transpiration in a *Eucalyptus populnea* woodland with the heat pulse method, measurement errors and sampling strategies[J]. *Tree Physiology*,1994,15:219-227.
- [16] Vertessy R A, benyon R G, O'Sullivan S K, et al. Relationships between stem diameter, sapwood area, leaf area and transpiration in a young mountain ash forest[J]. *Tree Physiology*,1995,15:559-567.
- [17] 王华田,马履一.利用热扩式边材液流探针(TDP)测定树木整株蒸腾耗水量的研究[J].植物生态学报,2002,26(6):661-667.[Wang Huatian, Ma Luyi. Measurement of whole tree's water consumption with thermal dissipation sap flow probe[J]. *Acta Phytocologica Sinica*,2002,26(6):661-667.]
- [18] 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.[Ma Luyi, Wang Huatian,Ling Ping. Comparison of water consumption of some afforestation species in Beijing area[J]. *Journal of Beijing Forestry University*,2003,25(2):1-7.]

- [19] 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. (Li Haitao, Chen Lingzhi. A study on volume and velocity of stem sap flow of

*Betula dahurica* and *Acer mono* forests by the Heat-pulse technique[J]. Journal of Beijing Forestry University, 1998, 20(1):1~6. )

## Study on Water Consumption of *Calligonum arborescens* Litv. in Shelterbelts along the Tarim Desert Highway

XU Hao<sup>1,2</sup>, ZHANG Xi-ming<sup>1</sup>, WANG Yong-dong<sup>1,2</sup>, WEI Jiang<sup>1,2</sup>, LIANG Shao-min<sup>1,2</sup>

(1 Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China;

2 Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract :** In this paper, the sap flow in stems of *Calligonum arborescens* in the shelterbelts along the Tarim Desert Highway in hinterland of the Taklimakan Desert is measured with the stem-sap meters. The result reveals that the average daily water consumption of *Calligonum arborescens* is 4 183.38 g in growth season. Under the current irrigation and management conditions, the average daily water consumptions of three stems of *Calligonum arborescens* with diameters of 3.6 cm, 3.1 cm and 1.9 cm are 6 203.5 g, 4 829.1 g and 1 517.5 g respectively during the period from April to October. The maximum daily water consumption occurs in July. The daily variation curves of sap flow in stems of *Calligonum arborescens* Litv. are unimodal and fluctuate with the change of environmental factors. The maximum and minimum values of sap flow in stems occur at 12:00~15:00 and 0:00~3:00, respectively, and the speed rate of sap flow in stems is high at midnight. The maximum and minimum values of sap flow in a stem of *Calligonum arborescens* Litv. with basal diameter of 3.1 cm are 1 277 g/h and 0 respectively during the period from April to August, and the sap flow in stems varies in a range of 0~100 g/h at night. There is a positive correlation between the sap flow velocities in stems and the basal diameters. Under different weather conditions, the average stem sap flow rate is in an order of raining < cloudy < floating dust < overcast < sand storm < sunshine. Sap flow in stems is not affected by soil moisture content. It is considered that the extremely arid environment and the relative enough water supply are the main factors resulting in high water consumption.

**Keywords :** Tarim Desert Highway; *Calligonum arborescens* Litv.; transpiration; water consumption; stem sap flow; heat-balance technique.