

塔克拉玛干沙漠腹地多枝怪柳茎干液流及耗水量*

许浩^{1,2,3} 张希明^{1**} 闫海龙^{1,2} 姚世军¹

(¹中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; ²中国科学院研究生院, 北京 100039; ³宁夏农林科学院荒漠化治理研究所, 银川 750002)

摘要 2005年4—11月,利用植物茎流计研究了塔克拉玛干沙漠腹地沙漠公路防护林植物多枝怪柳的茎干液流特性和耗水量.结果表明:在极端干旱的沙漠腹地,土壤水分充足时,直径为3.5和2.0 cm的多枝怪柳在整个生长季的日平均耗水量分别为6.322和1.179 kg;多枝怪柳的茎干液流呈单峰曲线型,有明显的昼夜变化规律,茎干液流随环境因子变化而波动;在土壤水分充足的条件下,总辐射、风速、温度是影响茎干液流变化的主要环境因子,可以用总辐射和风速的线性回归模型预测茎干液流的变化.沙漠腹地多枝怪柳的蒸腾耗水量相对较高,是因为在较为充足的水分供应条件下,多枝怪柳通过大量的水分消耗来抵御干燥高温的沙漠环境.

关键词 塔克拉玛干 多枝怪柳 茎干液流 蒸腾耗水量

文章编号 1001-9332(2007)04-0735-07 **中图分类号** Q945.79 **文献标识码** A

Stem sap flow and water consumption of *Tamarix ramosissima* in hinterland of Taklimakan Desert. XU Hao^{1,2,3}, ZHANG Xi-ming¹, YAN Hai-long^{1,2}, YAO Shi-jun¹(¹Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China; ²Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; ³Desertification Control Institute, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Science, Yinchuan 750002, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2007, 18(4): 735-741.

Abstract: From April to November 2005, the stem sap flow and water consumption of *Tamarix ramosissima* in the hinterland of Taklimakan Desert was measured by Flow-32 System. The results showed that, in the extremely arid hinterland of Taklimakan Desert and under enough water supply, the average daily water consumption of *T. ramosissima* with a stem diameter of 3.5 cm and 2.0 cm was 6.322 kg and 1.179 kg, respectively in one growth season. The stem sap flow of *T. ramosissima* presented a single-peaked curve, with an obvious day and night variation rhythm and fluctuated with environment factors. Under enough water supply, the environmental factors such as total radiation, wind speed and air temperature were the main factors affecting the stem sap flow, and the dynamics of stem sap flow could be predicted by the liner regression model based on total radiation and wind speed. Because of the extremely arid environment and enough water supply, *T. ramosissima* had a relatively higher stem sap flow rate and a great water consumption.

Key words: Taklimakan; *Tamarix ramosissima*; sap flow; water consumption through transpiration.

1 引言

塔克拉玛干沙漠面积达 $3.37 \times 10^5 \text{ km}^2$,是中国第一大沙漠,世界第二大流动性沙漠,沙丘高大,类

型多样,流动沙丘占85%以上,素有“死亡之海”之称.该沙漠极端干旱、风沙频繁、土质瘠薄、地下水高度矿化,被视为“生命的禁区”.随着塔里木沙漠公路的贯通,沿沙漠公路建起了一道绿色生物防沙体系——沙漠公路防护林.该生态工程北起塔里木沙漠公路118.9 km处,南止561.4 km处,全长436 km(其中除去6.5 km不宜造林的北民丰隆起路

* 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-342-02)和国家科技部“西部开发科技行动”重大资助项目(2004BA901A21-1).

** 通讯作者. E-mail: zhxm@ms.xjb.ac.cn

2006-04-06 收稿,2007-01-17 接受.

段),总体宽72~78 m,林带总面积3 128 hm²,栽植苗木总量 1.8×10^7 株,是世界上第一条建设在大沙漠中的绿色长城.沙漠公路防护林的建成,不仅保障了沙漠公路的畅通无阻,也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生长,依靠抽取沿线地下水进行灌溉.灌溉水的矿化度为4~28 g·L⁻¹,因此,防护林植物是生长在一个水盐胁迫的逆境中.此外,塔克拉玛干沙漠地处我国极端干旱地区,在沙漠公路修通以前,很难深入其腹地,各类研究资料很少.即使沙漠公路修通后,关于极端干旱条件下植物耗水的研究资料也很少,因此,沙漠腹地防护林植物蒸腾耗水的研究有十分重要的意义.

怪柳属植物系怪柳科木本灌木,具有耐盐碱、耐贫瘠、耐风蚀和沙埋等特点,在我国西北荒漠半荒漠地区广泛分布,是水土保持和荒漠化防治、土壤改良的重要造林树种,也是塔里木沙漠公路防护林的一个重要构成树种.茎干液流是指通过茎干的水分养分流.液流的主要成分是水,具有特定的时空变化规律,并受空气温湿度、土壤温湿度、太阳辐射强度和风速等多种因素的影响.但随着时间和空间的变化,其影响的主导因子也随之发生变化^[6-7,12].Fredrik等^[3]认为,在正常情况下,一天的蒸腾耗水量与茎干液流总量相等.茎干液流能够准确地反映单株植物的蒸腾过程和水分利用状况.研究茎干液流的变化,可以间接地反映植物的蒸腾耗水状况和环境因子对蒸腾的影响.本试验选用热平衡包裹式探头SGB25、SGB19对塔克拉玛干沙漠腹地沙漠公路防护林植物种多枝怪柳的茎干液流及蒸腾耗水量进行测定,旨在为沙漠公路防护林的管理提供数据支持,同时为极端干旱条件下植物的水分生理研究提供基础数据.

2 研究地区与研究方法

2.1 自然概况

试验地位于塔克拉玛干沙漠腹地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).沙漠腹地年平均气温12.4℃,一年中最热月(7月)平均气温28.2℃,最冷月(12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4 621.8℃,无霜期为283 d,年日照时数2 571.3 h,年降水量36.6 mm.平均相对湿度29.4%,潜在蒸发量为3 638.6 mm,平均风速2.5 m·s⁻¹,最大瞬时风速为24.0 m·s⁻¹.4—8月为风季,平均风速为

3.2 m·s⁻¹,风热同期,大风和浮尘扬沙天气十分频繁,导致高温低湿型与大风低湿型干热风并发,不利于天然植物的成活与生长.地面景观为流动性高大复合沙垄.土壤特征随地貌不同而有所差异,绝大部分为流动风沙土,盐分含量为1.26~1.63 g·kg⁻¹,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.

试验对象为8年生人工防护林带.其构成植物为怪柳(*Tamarix* spp.)、梭梭(*Haloxylon ammodendron*)和沙拐枣(*Calligonum* spp.),林带为1 m×2 m行间混交,平均郁闭度0.5左右,平均高290 cm.被测植物为多枝怪柳(*Tamarix ramosissima*),平均基径2.4 cm、平均株高265 cm.防护林主要靠抽取地下咸水灌溉,维持其正常生长.

2.2 研究方法

2.2.1 热平衡法的基本原理 采用Flow-32茎流测定系统(美国Dynamax公司生产),应用热平衡法原理进行茎干液流变化测定.热平衡方法在20世纪60年代开始应用于茎干液流测定,20世纪80年代以后,Steinberg等^[8]改进了测定仪器,使该技术渐趋成熟.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,因此被测茎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基部茎干的外表面,再用厚的隔热材料包裹防止热量损失和热量输入.理想的绝热效果是不可能的,必须考虑和茎流有关的热损失的存在,其公式为:

$$P_{in} = Q_r + Q_v + Q_f \quad (W)$$

$$P_{in} = V^2/R \quad (\text{Ohms 定律})$$

式中, P_{in} 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 为茎干液流带走的热量; V 为输入电压; R 为电阻值.

已知茎干液流带走的热量 Q_f ,树液热容量 C_p (一般为水的热容量4.186 J·g⁻¹·°C)和温度差 dT ,就可以算出茎干的液流速率 F :

$$F = Q_f / (C_p \cdot dT) = (P_{in} - Q_r - Q_v) / (C_p \cdot dT)$$

其中, Q_r 、 Q_v 、 dT 、 V 、 R 都可以通过传感器测得,并经过自动计算得出,再在数据采集程序中输入茎干截面积、茎干类型参数,最后直接输出茎干液流速率的结果.

2.2.2 茎流计的安装 在防护林带的中间,选择适合于探头直径范围的多枝怪柳单株,将探头安装于多枝怪柳茎干的基部,要求茎干被测部位通直圆滑,无枝杈结疤.用小刀将被测茎干外的死树皮小心刮

去,不要损伤茎干的韧皮部,再用砂纸将其擦光滑,然后用游标卡尺精确测定准备安装探头的茎干直径.调试探头直径和茎干直径的适合程度,使其能与茎干紧紧接触.为了增强探头和茎干接触,在安装探头之前,用 G4 混合油涂抹茎干,以防止水分顺茎干进入测定部分或者水汽的液化,保护探头不受损伤和与茎干粘连等^[15].

将探头紧紧与茎干接触,用绑扎带将其扎紧,保证探头上的几个温差电偶接头和茎干能直接接触,然后用隔热环套将探头的上、下两头密封严实.为了防止太阳辐射对探头的影响,在安装好探头后,再在探头的外层包上防太阳辐射保护套.用数据传输电缆连接探头与数据采集器,将探头和数据采集器的电源线与电源(12 V 的铅酸电池)接通,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 1 次液流速率读数,每 15 min 记录 1 次液流累积).试验从 2005 年 4 月 11 日开始进行连续测量,直至 10 月 20 日结束.

2.2.3 其他因子测定 土壤含水量采用土钻采样,烘干称量法测定;水势采用压力室(PMS Instrument Co. Model 1000, USA)测定植株上部小枝水势,共测定 6 株,每株 3 个重复;气象因子(主要测定近地面 4 m 以内空气温度、空气相对湿度、风速和太阳辐射)采用 Campbell 公司(Campbell Scientific, Inc. USA)的标准自动气象站测定.

数据处理采用 Excel 和 SPSS 统计分析软件进行分析和作图.

3 结果与分析

3.1 多枝桧柳茎干液流的连日变化

多枝桧柳的蒸腾有明显的昼夜节律性,白天温度最高时蒸腾速率最大,晚上蒸腾速率减小或者停止.图 1 是 1 株直径为 3.5 cm 的多枝桧柳茎干液流在 6 月 26—28 日的变化.由图 1 可以看出,受环境因子的影响,多枝桧柳的茎干液流日变化呈单峰或多峰波动曲线;多枝桧柳的日平均液流速率为 $537.276 \text{ g} \cdot \text{h}^{-1}$;茎干液流速率在 8:00 呈明显的上升趋势,并在 10:00—13:00 出现液流的高峰值;在 17:30 以后液流明显下降,其最小值出现在 0:00—3:00;夜间的液流速率一般维持在 $0 \sim 100 \text{ g} \cdot \text{h}^{-1}$.这是由于在沙漠极端干旱的气候条件下,白天植物蒸腾损失大量的水分无法及时补充,因此在夜间仍然有一定的液流以补充水分.而且夜间气温高、空气

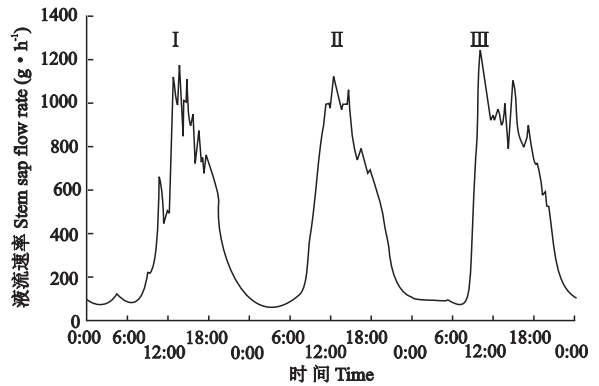


图 1 多枝桧柳茎干液流连日变化(6 月 26—28 日)

Fig. 1 Diurnal variation of stem sap flow rate of *T. ramosissima* in 3 days (Day 177 ~ 179).

I: 2005.06.26; II: 2005.06.27; III: 2005.06.28.

流动速度快、空气干燥也可能是植物水分散失的一个重要原因.

3.2 不同直径多枝桧柳茎干液流的比较

许多研究表明,植物茎干液流速率和茎干直径存在正相关关系^[1,2,4,8-10].不同直径的多枝桧柳有很大差异.图 2 为 2 株直径分别为 2.0 和 3.5 cm 的多枝桧柳在第 190 天(7 月 9 日)茎干液流的日变化和液流累积过程曲线图.由图 2 可以看出,直径为 3.5 cm 的多枝桧柳液流速率明显大于直径 2.0 cm 的多枝桧柳.在夜间,二者液流速率差别不大,但随

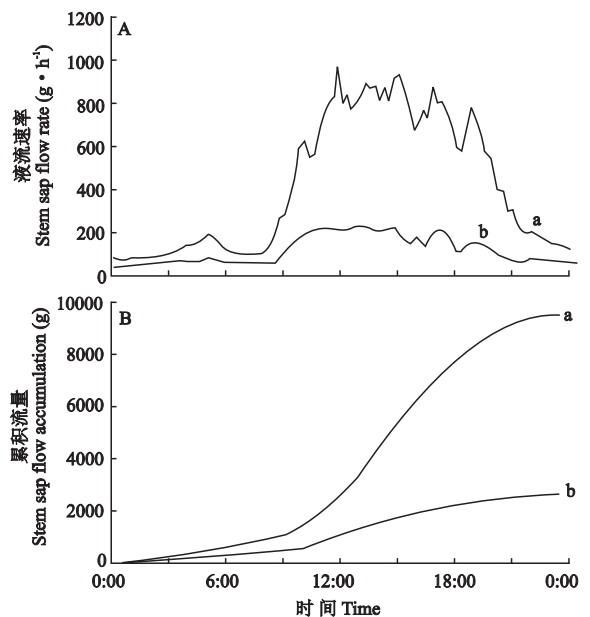


图 2 不同直径多枝桧柳茎干液流日变化(A)和日累积量(B)

Fig. 2 Diurnal fluctuation (A) and daily sap flow accumulation (B) of stem sap flow rate of *T. ramosissima* under different basal diameters.

a) 直径 3.5 cm Diameter 3.5 cm; b) 直径 2.0 cm Diameter 2.0 cm. 下同 The same below.

时间的推移,二者差距逐渐增大.在白天液流达到高峰时,二者间的差值最大达到 $758.74 \text{ g} \cdot \text{h}^{-1}$.在同一天内,受相同环境因子的影响,两株液流速率的波动趋同,但液流速率较高植株的液流波动幅度大,说明液流速率越大,越容易受环境因素的影响而波动.直径为 2.0 和 3.5 cm 的多枝怪柳的日累积流量分别为 2 690.25 和 9 503.179 g,液流通量分别为 24.5 和 $26.8 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$,直径较大者的耗水量也明显增大.这说明随着多枝怪柳的生长,其耗水量有一个不断增大的过程.

3.3 多枝怪柳水分状况、茎干液流与土壤水分的关系

为节约水资源,沙漠公路防护林采用滴灌方式.在生长季节,防护林带每月灌溉 3~4 次,每次滴灌持续 12 h,平均每次灌溉量约为每株 35~50 kg.图 3 是 1 株基径为 2.0 cm 的多枝怪柳在 6 月 17 日灌水前后茎干液流的变化情况.从中可以看出,茎干液流对于水分的响应是即时的,即在灌溉当天和灌溉后一天,茎干液流速率呈增加的趋势;但是,灌水 2 d 以后,茎干液流又恢复到灌水以前的水平.在 5—8 月,其清晨水势分别为 -0.77 、 -1.08 、 -0.92 和 -1.33 MPa ,而午后水势分别为 -2.16 、 -2.33 、 -2.85 和 -2.6 MPa .多枝怪柳保持了较低的清晨水势,说明夜间多枝怪柳的水分得到了较好的恢复,土壤提供了充足的水分;而在午后,随着蒸腾作用的加强,植株水分流失,水势降低.

由图 4 可以看出,各土层的土壤含水量相对稳定(340 cm 左右有一层约 20 cm 的粘土层,所以此处土壤含水量明显高于其他层次).防护林的灌溉管理方式使得土壤含水量比较充分而且稳定.这表明在人工灌溉条件下,灌溉水能够充分满足植物生

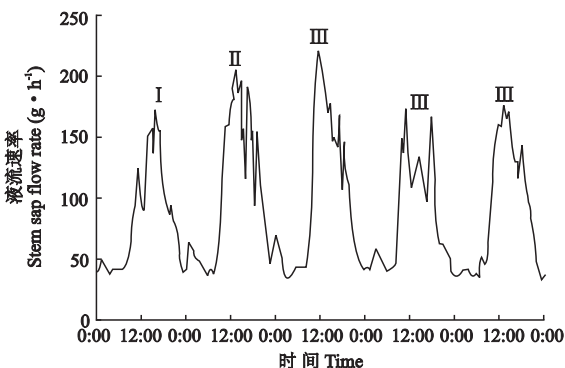


图 3 多枝怪柳茎干液流对灌溉的响应

Fig. 3 Response of stem sap flow to irrigation.

I: 灌溉前 Before irrigation; II: 灌溉 Irrigation; III: 灌溉后 After irrigation.

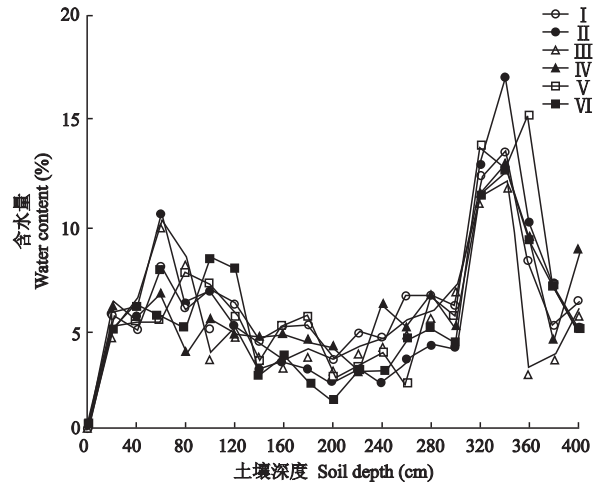


图 4 不同土层的土壤水分月变化

Fig. 4 Monthly variation of water content in different soil.

I: 5.13; II: 6.20; III: 7.18; IV: 8.16; V: 9.19; VI: 10.16.

长的需要,水分不再是影响茎干液流的主要因子.由于滴灌的作用,土壤表层含水量较高,使得多枝怪柳的根系分布发生变化,不再向更深的土层生长.通过挖掘可见,多枝怪柳根系主要分布在土壤 0~150 cm.而在自然条件下,多枝怪柳的根系分布较深,说明水分条件与根系分布有密切关系.

3.4 多枝怪柳茎干液流与气象因子的关系

茎干液流和单株蒸腾耗水量受多种环境因子的影响.熊伟等^[14]对华北落叶松茎干液流的研究表明,太阳辐射、风速和土壤含水量是影响茎干液流的主要环境因子.沙漠公路防护林带中,由于灌溉,土壤含水量比较充足,因此,茎干液流主要受到太阳辐射、风速和温度等环境因子的影响(图 5).由图 5 可以看出,茎干液流速率的波动过程与主要环境因子的变化同步,尤其是与总辐射和近地表风速同步,表明茎干液流的波动主要受总辐射和近地表风速的影响.

表 1 是 6 月 14—16 日连续 3 d 多枝怪柳茎干液流速率和几个主要的环境因子的相关性分析结果.从中可以看出,在沙漠腹地,多枝怪柳茎干液流与总辐射、温度和风速呈正相关,达极显著水平,其中与总辐射的相关性最高;而与空气相对湿度为负相关关系,并且达到了显著水平,其中太阳辐射和茎干液流的相关性最强.各环境因子对植物蒸腾过程的影响是一个十分复杂的过程.太阳辐射强烈、温度高时,植物代谢活动强烈,蒸腾加强;空气的流动使更多的干燥空气充满于植物周围,水汽压差加剧,植物的水分损失加快;空气相对湿度和植物的蒸腾是相互作用的过程,空气干燥时,空气相对湿度减小,水汽压差变大,水势梯度增加,植物蒸腾加快,使得

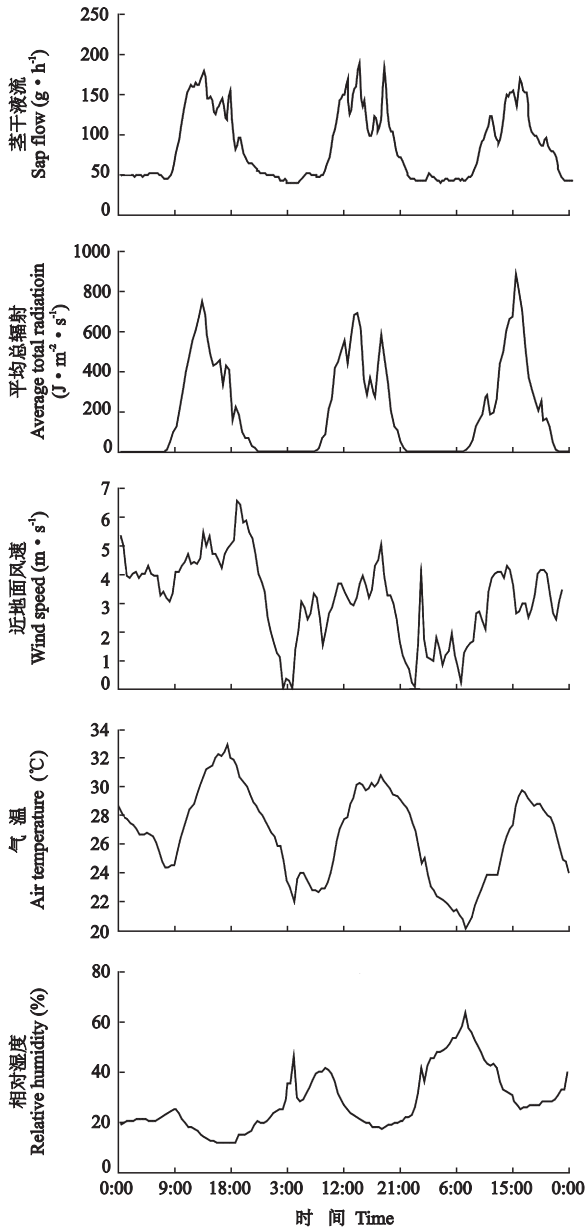


图5 茎干液流和主要环境因子的变化过程(6月14—16日)
Fig.5 Fluctuations of stem sap flow and some main environmental factors (6.14—6.16).

表1 多枝桧柳茎干液流与主要环境因子的相关分析

Tab.1 Correlation analysis between stem sap flow rate and the main environmental factors ($n=127$)

		茎干液流 Stem sap flow	总辐射 Total radiation	温度 Air temperature	风速 Wind speed	相对湿度 Relative humidity
茎干液流 Stem sap flow	Pearson correlation	1.000	0.963 **	0.566 **	0.576 **	-0.457 **
	Sig. (2-tailed)	0	0.000	0.000	0.000	0.000
总辐射 Total radiation	Pearson correlation	0.963 **	1.000	0.541 **	0.502 **	-0.411 **
	Sig. (2-tailed)	0.000	0	0.000	0.000	0.000
温度 Air temperature	Pearson correlation	0.566 **	0.541 **	1.000	0.691 **	-0.931 **
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	0	0.000	0.000
风速 Wind speed	Pearson correlation	0.576 **	0.502 **	0.691 **	1.000	-0.668 **
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	0.000	0	0.000
相对湿度 Relative humidity	Pearson correlation	-0.457 **	-0.411 **	-0.931 **	-0.668 **	1.000
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	0.000	0.000	0

** $P < 0.01$.

空气相对湿度增加。

在相关分析的基础上,利用多元线性回归确定茎干液流和几个主要环境因子的关系,通过逐步回归的筛选,确定了多枝桧柳茎干液流与总辐射和风速之间的关系模型:

$$Y = 39.686 + 0.173X_1 + 3.833X_2 \quad (R^2 = 0.969) \quad (1)$$

式中: Y 为茎干液流速率, X_1 为总辐射, X_2 为风速。

方差分析检验表明,式(1)回归显著。用总辐射和风速可以预测多枝桧柳的茎干液流速率。

3.5 生长季各月份多枝桧柳耗水量的变化

多枝桧柳在4月初开始萌发,到10月生长开始衰退,整个生长季耗水过程呈单峰曲线。这是由其生长节律所决定的。在高温干旱的沙漠环境中,空气干旱、空气流动和较为充足的水分供应导致了植物巨大的耗水量。由图6可以看出,不同直径的多枝桧柳耗水量差异较大,直径较大者耗水量也明显较高。耗水量最大的7月,基径为3.5 cm的多枝桧柳的耗水量有时高达10 kg;在整个生长季(4月11—10月15日)2株直径为3.5和2.0 cm的多枝桧柳的日平均耗水量分别为6.322和1.179 kg;总耗水量分别为1188.50和334.46 kg。

由表2可以看出,与其他地区相比,塔克拉玛干沙漠的多枝桧柳耗水量相对较大,而且比北方有些阔叶树种耗水量还大。由此可见,在干旱环境中,如果水分供应充足,多枝桧柳是不会限制自身蒸腾的,反而会更大程度地利用现有的水资源。

4 讨 论

4.1 多枝桧柳茎干液流的变化规律

植物蒸腾过程具有明显的变化规律。在干旱的沙漠腹地,多枝桧柳茎干液流日变化呈单峰或多峰

表2 不同地区不同树种的耗水量比较

Tab. 2 Comparison of daily water consumption of different species in different zones

树种 Species	直径 Diameter (cm)	测定地点 Studying site	测定时间 Time	日耗水量 Daily water consumption (kg)
多枝怪柳 <i>T. ramosissima</i>	3.5	塔中	2005.4—10	6.32
多枝怪柳 <i>T. ramosissima</i>	2.0	塔中	2005.4—10	1.18
多枝怪柳 <i>T. ramosissima</i>	5.0	额济纳 ^[17]	2002.5.24—6.7	0.62
多枝怪柳 <i>T. ramosissima</i>	4.0	额济纳 ^[17]	2002.5.24—6.7	0.37
胡杨 <i>Populus euphratica</i>	21	额济纳 ^[17]	2002.5.25—6.6	23.30
樟子松 <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i>	7.5	内蒙古乌兰察布 ^[11]	2001.8.27	25.61
棘皮桦 <i>Betula davurica</i>	14.9	北京门头沟森林生态系统定位站 ^[5]	1997.7—8	24.70
五角枫 <i>Acer mono</i>	7.9	北京门头沟森林生态系统定位站 ^[5]	1997.7—8	8.50
桉树 <i>Eucalyptus urophylla</i>	2年生	雷州半岛 ^[16]	2001.9	5.25
油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>	10.7	北京 ^[6]	2001.10	19.59
侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>	6.8	北京 ^[6]	2001.10	3.03

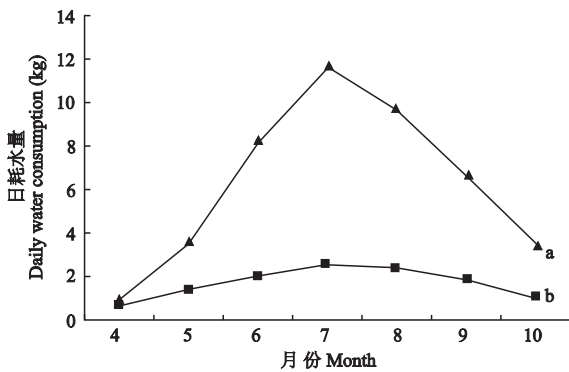


图6 不同直径多枝怪柳各月份的日平均耗水量

Fig. 6 Daily water consumption of *T. ramosissima* in different months.

曲线,有明显的昼夜变化特征,液流受环境因子变化有所波动;茎干液流的高峰一般出现在 10:00—15:00,液流速率最小值一般出现在 0:00—3:00 期间;由于干旱高温,夜间也保持了一定的茎干液流;一株直径为 3.5 cm 的多枝怪柳日平均液流速率约为 $500 \text{ g} \cdot \text{h}^{-1}$,测定期间液流速率最大值为 $1300 \text{ g} \cdot \text{h}^{-1}$.在测定期间并没有发现蒸腾有明显的“蒸腾午休”现象;多枝怪柳茎干液流与直径正相关,直径较大的茎干液流速率明显高于小直径者.

4.2 防护林带内土壤含水量和多枝怪柳水分状况

防护林的灌溉管理制度提供了较为充足的土壤水分供应,灌溉水能够满足植物的生长.多枝怪柳的水分胁迫不明显,清晨水势较高,午后水势较低;0~400 cm 土壤含水量的长期变化不大,平均土壤含水量稳定在 8% 左右;在土壤水充足条件下,灌溉对茎干液流速率的影响减弱.因此,从保证防护效益和节约水资源的角度出发,防护林还存在一定的节水空间.

4.3 主要气象因子和茎干液流的相关性

总辐射、风速、气温、空气相对湿度都与茎干液

流明显相关,其中茎干液流与总辐射的相关性最为显著,相关系数达到了 0.963.在干旱的沙漠腹地强烈的太阳辐射下,植物的生理活动强烈,叶面温度升高,蒸腾作用的加强首先是植物的生理代谢过程,同时也是为了降低植物叶面温度.

4.4 多枝怪柳的耗水量变化

植物耗水量大小差异很大,单株日耗水量从法国东部栎林(*Quercus petraea*)的 10 kg,到亚马逊雨林林冠上层木(*Euperua purpurea*)的 1180 kg,35 个属 65 个树种中的 90%(平均树高 21 m)日耗水量在 10~200 kg 范围内^[13].周平等^[18]对 9 种植物幼苗蒸腾耗水状况进行比较,认为日蒸腾速率从小到大依次为油松(*Pinus tabulaeformis*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)、黄栌(*Cotinus coggygia*)、柠条(*Caragana korshinskii*)、臭椿(*Ailanthus altissima*)、火炬树(*Rhus typhina*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、毛白杨(*Populus tomentosa*)和枸杞(*Lycium chinense*);5 年生油松和侧柏晴天的日耗水量分别为 $(61.7 \pm 9.6) \text{ g}$ 和 $(39.8 \pm 6.8) \text{ g}$;1 年生毛白杨、臭椿、火炬树和黄栌的日耗水量分别为 $(44.8 \pm 8.1) \text{ g}$ 、 $(53.4 \pm 8.8) \text{ g}$ 、 $(63.1 \pm 14.4) \text{ g}$ 和 $(38.4 \pm 17.0) \text{ g}$;枸杞、沙棘和柠条的日耗水量分别为 $(18.8 \pm 5.6) \text{ g}$ 、 $(4.8 \pm 1.1) \text{ g}$ 和 $(33.1 \pm 5.0) \text{ g}$.在沙漠腹地一个生长季,2 株直径为 3.5 和 2.0 cm 的多枝怪柳日平均耗水量分别为 6.322 和 1.179 kg,可见在干旱环境中生长的植物不一定是节水的.如果有充足的水分供应,它会充分利用水资源.干旱的环境和较为充足的水分供应成为多枝怪柳耗水量高的主要原因.

在塔克拉玛干沙漠腹地,干旱的环境条件和较为充足的土壤水分供应是防护林植物耗水量大的一个主要因素.多枝怪柳作为一个主要的沙漠公路防护林物种,其耗水量的大小受水分供应、直径大

小、气温、气流和太阳辐射等一系列因子的影响。沙漠腹地辐射强度高,风沙频繁,高温干燥的气候条件和防护林充足的水分供应状况,使多枝桧柳在整个生长季都保持了较高的液流速率。这就决定了其在整个生长季都是一个持续的高耗水过程。

参考文献

- [1] Becker P. 1995. Sap flow in Bornean heath and dipterocarp forest trees during wet and dry periods. *Tree Physiology*, **16**: 295–299
- [2] Chang X-X (常学向), Zhao W-Z (赵文智). 2004. Sap flow of *Elaeagnus angustifolia* and its relation with growth regime in middle reaches of Heihe River basin. *Journal of Desert Research* (中国沙漠), **21**(4): 472–478 (in Chinese)
- [3] Fredrik L, Anders L. 2002. Transpiration response to soil moisture in pine and spruce trees in Sweden. *Agricultural and Forest Meteorology*, **112**: 67–85
- [4] Hatton TJ, Moore SJ, Reece PH. 1994. Estimating stand transpiration in a *Eucalyptus populnea* woodland with the heat pulse method: Measurement errors and sampling strategies. *Tree Physiology*, **15**: 219–227
- [5] Li H-T (李海涛), Chen L-Z (陈灵芝). 1998. 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* (北京林业大学学报), **20**(1): 1–6 (in Chinese)
- [6] Ma L-Y (马履一), Wang H-T (王华田). 2002. Spatial and chronic fluctuation of sapwood flow and its relevant variables of *Pinus tabulaeformis*. *Journal of Beijing Forestry University* (北京林业大学学报), **24**(3): 72–76 (in Chinese)
- [7] Ma L-Y (马履一), Wang H-T (王华田), Lin P (林平). 2003. Comparison of water consumption of some afforestation species in Beijing area. *Journal of Beijing Forestry University* (北京林业大学学报), **25**(2): 1–7 (in Chinese)
- [8] Steinberg SL, Van Bavel CHM, McFarland MJ. 1989. A gauge to measure mass flow rate of sap in stems and trunks of woody plants. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **114**: 466–472
- [9] Vertessy RA, Benyon RG, O'Sullivan SK, et al. 1995. Relationships between stem diameter, sapwood area, leaf area and transpiration in a young mountain ash forest. *Tree Physiology*, **15**: 559–567
- [10] Vertessy RA, Hatton TJ, Reece P, et al. 1997. Estimating stand water use of large mountain ash trees and validation of the sap flow measurement technique. *Tree Physiology*, **17**: 747–756
- [11] Wu L-P (吴丽萍), Wang X-D (王学东), Yu Q-E (尉全恩), et al. 2003. Study on spatial and temporal variability for stem sap flow of *Pinus sylvestris* var. *mongolica*. *Research of Soil and Water Conservation* (水土保持研究), **10**(4): 65–68 (in Chinese)
- [12] Wullschlegel SD, Hanson PJ, Todd DE. 2001. Transpiration from a multi-species deciduous forest as estimated by xylem sap flow techniques. *Forest Ecology and Management*, **143**: 205–213
- [13] Wullschlegel SD, Meinzer FC, Vertessy RA. 1998. A review of whole-plant water use studies in trees. *Tree Physiology*, **18**: 499–512
- [14] Xiong W (熊伟), Wang Y-H (王彦辉), Xu D-Y (徐德应). 2003. Regulations of water use for transpiration of *Larix principis-rupprechtii* plantation and its response on environmental factors in South Ningxia hilly area. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), **39**(2): 1–7 (in Chinese)
- [15] Yan C-Y (严昌荣), Downey A, Han X-G (韩兴国), et al. 1999. A study on sap flow of *Juglans mandshurica* of growth season in deciduous broad-leaf forest Beijing Mountain area. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **19**(6): 793–7979 (in Chinese)
- [16] Zhang N-N (张宁南), Xu D-P (徐大平), Jim M, et al. 2003. Characteristics of sap flow in *Eucalyptus urophylla* plantations on the Leizhou Peninsula. *Forest Research* (林业科学研究), **16**(6): 661–667 (in Chinese)
- [17] Zhang X-Y (张小由), Gong J-D (龚家栋). 2003. A study on the stem sap flow of *Populus euphratica* and *Tamarix* spp. by heat-pulse technique. *Journal of Glaciology and Geocryology* (冰川冻土), **25**(5): 584–590 (in Chinese)
- [18] Zhou P (周平), Li J-Y (李吉跃), Zhao L-J (招礼军). 2002. Characteristics of seedling water consumption by transpiration of main afforestation tree species in north China. *Journal of Beijing Forestry University* (北京林业大学学报), **24**(5/6): 49–55 (in Chinese)

作者简介 许浩,男,1979年生,硕士研究生。从事水土保持与荒漠化防治方面的研究,发表论文2篇, E-mail: xu-hao@tom.com

责任编辑 李凤琴