

塔克拉玛干沙漠腹地梭梭 (*Haloxylon ammodendron*) 蒸腾耗水规律

许 浩^{1,2}, 张希明¹, 闫海龙¹, 孙红叶¹, 单立山^{1,3}

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

3 甘肃农业大学林学院, 兰州 730070)

摘要:塔里木沙漠公路防护林生长于极端干旱的塔克拉玛干沙漠中, 防护林植物的蒸腾耗水和灌溉管理是防护林可持续的核心问题。利用植物茎流计连续测定了塔里木沙漠公路塔中段防护林植物梭梭的茎干液流、蒸腾耗水量。结果表明: 梭梭茎干液流具有明显昼夜节律性, 液流的高峰值出现在白天 10:00 ~ 15:00, 最小值出现在 0:00 ~ 03:00, 夜间也保持较小的液流; 茎干液流受环境因子影响而波动, 太阳辐射、气温和风速与茎干液流有较明显的正相关关系, 相对湿度和茎干液流呈负相关关系; 滴灌条件下, 防护林带内土壤含水量充足且在各个月份变化不大, 土壤含水量对茎干液流影响不大; 依据清晨和午后水势变化, 梭梭体内水分在夜间得到了较好的恢复; 在一个生长季内, 3 株直径为 2.0、2.8、3.4 cm 的梭梭总的耗水量分别为 295、436、616 kg, 日平均耗水量分别为 1.48、2.18、3.08 kg; 现行灌溉模式提供了充足的水分供应, 梭梭的水分状况良好; 在充足水分条件下, 梭梭有较大的蒸腾耗水量, 干旱的环境条件和较为充足的水分供应是梭梭耗水量大的主要原因; 依据梭梭的水分状况, 当前水分管理为防护林提供了较充足的水分。

关键词:塔克拉玛干沙漠; 梭梭; 蒸腾; 耗水量; 茎干液流; 气象因子

文章编号: 1000-0933(2008)08-3713-08 中图分类号: Q948, S715 文献标识码: A

Water consumption and transpiration of *Haloxylon ammodendron* in hinterland of Taklimakan desert

XU Hao^{1,2}, ZHANG Xi-Ming¹, YAN Hai-Long¹, SUN Hong-Ye¹, SHAN Li-Shan^{1,3}

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

2 Institute of Desertification Control, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Science, Yinchuan 750002, China

3 Forestry School, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(8): 3713 ~ 3720.

Abstract: The Tarim desert highway protection forest grows in the hyperarid Taklimakan Desert. Therefore, irrigation and water use are crucial for a sustainable management of this protection forest. In a protected part of the forest near the Tarim Desert highway, stem sap flow and water use of *Haloxylon ammodendron* were measured using the heat-balance technique. The stem sap flow exhibited a distinct diurnal course with maximum values between 10:00 to 15:00, and minimum values between 00:00 to 03:00. Generally, sap flow was lower at night than during the day. The sap flow was influenced by environmental factors; it was positively correlated with solar radiation, air temperature and wind speed, and negatively correlated with the relative humidity. Under the present irrigation scheme, the soil moisture remained almost constant, and

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向资助项目 (KZCX3-SW-342-02); 国家科技部西部开发科技行动重大资助项目 (2004BA901A21-1)

收稿日期: 2007-05-08; 修订日期: 2007-11-23

作者简介: 许浩 (1979 ~), 男, 宁夏隆德人, 硕士, 从事水土保持与荒漠化防治研究. E-mail: xu-hao@tom.com

Foundation item: The project was financially supported by Knowledge Innovation Project of CAS (No. KZCX3-SW-342-02); Key Project (No. 2004BA901A21-1) of the "West China Science and Technology Development Action" by MOST, China

Received date: 2007-05-08; **Accepted date:** 2007-11-23

Biography: XU Hao, Master candidate, mainly engaged in soil and water conservation. E-mail: xu-hao@tom.com

was not correlated with sap flow. In *Haloxylon ammodendron*, the values of predawn and midday water potential provided no indications of drought stress. The average daily water use of three individuals of *Haloxylon ammodendron* with a diameter of 2.0 cm, 2.8 cm and 3.4 cm were 1.48 kg, 2.18 kg and 3.08 kg, respectively, amounting to an annual water consumption of 295 kg, 436 kg and 616 kg. The good water status of *Haloxylon ammodendron* indicated that the water supply to the protection forest by the present water management is sufficient. When sufficiently irrigated, *Haloxylon ammodendron* used a relatively large amount of water, what was also caused by the extremely arid environment.

Key Words: Taklimakan desert; *Haloxylon ammodendron*; transpiration, water consumption; stem sap flow; meteorological factors

干旱半干旱区属于典型的生态脆弱带,在农林牧业综合发展和人工植被建设中,如何根据区域不同地形、土壤和水分条件的特点,对不同类型植物合理布局,达到生态效益与经济效益、防护性与开发性的有机结合,以提高资源的利用率等问题至今没有得到很好的解决;通过比较不同类型植物的水分利用特点及其适应性差异,探明不同植物的水分生态适应特征及其生理生态学机理,是针对该区不同立地条件,科学合理地选择和配置植物类型的基础^[1]。塔里木沙漠公路防护林横穿塔克拉玛干沙漠,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。塔里木沙漠公路防护林自建成以来,一直采用地下水进行人工滴灌, 1.8×10^7 株的防护林植物耗水在沙漠公路沿线乃至塔里木盆地水资源损失中占有重要的份额,但沙漠公路的畅通依赖于防护林的保护,而防护林功能的发挥又决定于水资源的支撑。因此,防护林植物的耗水研究就成为防护林管理及其可持续存在的基础,分析和研究防护林植物耗水与需水规律,对合理搭配、科学灌溉现有防护林,对更有效地发挥防护林的防护功能,解决水分供需矛盾有重要的指导意义。同时,沙漠腹地植物耗水研究对了解干旱环境中植物水分生理有重要意义。

茎干液流(stem sap flow)是指通过茎干的水分养分流动,液流的主要成分是水。茎干液流具有特定的时空变化规律,并受多种因素的影响。Fredrik 等总结了国际上对茎干液流和蒸腾量关系的研究成果,指出正常情况下一天的蒸腾耗水量与茎干液流总量相等^[2]。因此在日时间尺度上,可以用茎干液流量表征蒸腾耗水量,茎干液流能够准确反映单株植物的蒸腾作用和水利用状况。研究茎干液流的变化,可以直接的反映出植物的蒸腾耗水状况和环境因子对蒸腾的影响。本研究通过测定沙漠公路防护林植物梭梭茎干液流、水势、林带土壤含水量,研究了滴灌条件下梭梭的茎干液流、耗水量大小、土壤水分状况和气象因素对梭梭耗水的影响,这对沙漠公路防护林的管理及了解灌溉条件下梭梭生理生态学特性有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于塔克拉玛干沙漠腹地中科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(N39°06', E83°40')外围公路防护林内。据塔中气象站资料,沙漠腹地年平均气温 12.4℃,一年中最热月为 7 月份,月平均气温 28.2℃,最冷月为 12 月份,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 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温 4621.8℃,无霜期为 283 d,年日照时数 2571.3h,年降水量 36.6mm。平均相对湿度 29.4%,潜在蒸发量为 3638.6mm,平均风速 2.5m/s,最大瞬时风速为 24.0m/s。4~8 月份为风季,平均风速为 3.2m/s,大风频繁,风热同期,浮尘扬沙天气十分频繁,这种气候特点导致高温低湿型与大风低湿型干热风并发危害,对天然植物的成活与生长极为不利。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 $1.26 \sim 1.63\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,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,构成植物为怪柳(*Tamarix* spp)、梭梭、沙拐枣(*Calligonum* spp),林带为 1m × 2m 行间混交,平均郁闭度 0.5 左右,林分平均高 290cm;梭梭平均高 233.74cm、平均冠幅 175.71cm ×

164.16cm,平均基径3.91cm。防护林采用滴灌方式,通过水井抽取地下水灌溉,地下水盐分含量为 $4\sim 5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$;每年共灌溉20次,每月灌溉次数为 $3\sim 4$ 次,每次持续灌溉时间 $8\sim 10\text{ h}$,每个滴头出水量为 $3.5\text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$,每次灌溉量约为 $35\text{ kg}\cdot\text{株}^{-1}$,灌溉根据生长状况进行。

1.2 研究方法

1.2.1 茎干液流及耗水量的测定

茎干液流采用美国Dynamax公司的Flow32茎流系统测定,其测定原理是热平衡法。热平衡法原理及仪器的安装调试见参考文献^[3,4]。本试验设置数据采集器每15min记录一次液流速率读数和液流累积量,测定选择3株梭梭(基径2.0、2.8、3.4cm),采用包裹式探头SGB19、SGB25、SGB35对其进行测定,从4月11日开始进行连续不间断测量直至10月20日结束。

1.2.2 植物水势的测定

植物水势采用压力室(PMS. Instrument Co. Model 1000, USA)测定。主要测定带叶小枝和同化枝的水势,取样6株,每株3个重复。5~9月份每月中旬分别于7:00和14:00测定一次清晨和午后水势。

1.2.3 气象因子及土壤含水量的测定

在茎测定干液流的同时,对气象因子也进行了同步测定,气象因子采用环境监测仪测定(Campbell Co. LTD, USA)数据,环境监测仪是塔中沙漠研究站于2002年设立,可连续采集环境及气象数据。监测仪采集设定的记录数据时间间隔为30min,本文采用了近地面2m内对蒸腾有影响的气象因子太阳辐射、气温、空气湿度、近地面风速进行分析。

土壤含水量采用土钻取样烘干称重法测定,钻取土壤400cm土层测定其含水量的长期变化,每20cm为一层取样,取3个重复,5~10月份每月中旬采样1次。

论文中所有数据处理用Excel和SPSS13.0软件进行分析。

2 研究结果

2.1 梭梭茎干液流特征及其与直径的关系

梭梭的茎干液流随环境因子波动。图1是3株不同直径的梭梭在168~170d(6月17~6月19日)茎干液流的连日变化图,可以看出,在一天内梭梭茎干液流的变化呈单峰曲线型;茎干液流在夜间一直保持较低值,8:00左右有明显的上升趋势;液流速率峰值一般出现在12:00左右,液流速率最大值接近 $500\text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$;然后开始缓慢下降,在22:00至翌日7:00期间一直保持在一个较低的水平,液流速率维持在 $50\sim 100\text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ 。可见,梭梭蒸腾的高峰值没有在太阳辐射最强、气温最高的14:00,而是出现在12:00左右,有明显的“早高峰”(Morning peak)^[5]现象;而且在夜间梭梭也保持了一定的茎干液流。

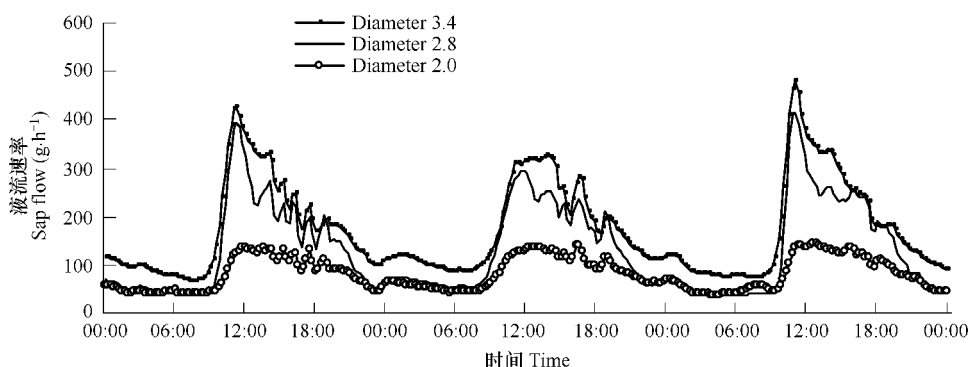


图1 3株梭梭茎干液流日变化

Fig. 1 The stem sap flow daily fluctuation of 3 *Haloxylon ammodendron*

由图1还可以看出,不同直径的梭梭受共同环境因子的影响有相同的波动趋势;直径不同,茎干液流速率也有较大差异,直径大者茎干液流速率高,更容易受到环境条件变化的影响,波动更为明显;不同直径的梭梭

茎干液流在夜间差别不是很大,随着液流速率的增加,差距越来越明显,液流速率最大时差值也达到最大;日平均液流速率和直径有显著的正相关性,直径越大,日平均液流速率也越大。

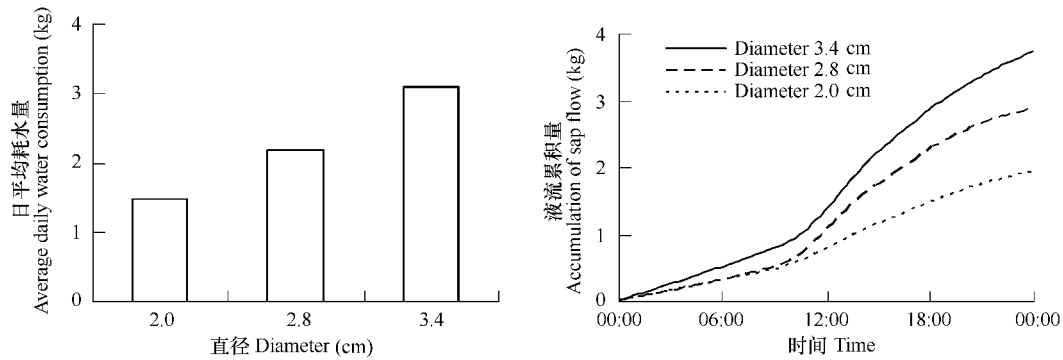


图2 不同直径梭梭日平均耗水量及茎干液流的日累积过程

Fig. 2 Daily water consumption and sap flow accumulation process of *Haloxylon ammodendron* under different diameters

图2是3株不同直径梭梭在一个生长季的日耗水量平均值和一天内液流累积过程,可以看出,直径越大的梭梭,耗水量也越大,而且直径与耗水量之间有明显的相关性,分析表明直径与耗水量的相关性系数 $R^2 = 0.989$ 。3株直径为2.0、2.8、3.4cm的梭梭在一个生长季内日平均耗水量分别为1.48、2.18、3.08kg。同时可以看出液流累积过程曲线都呈现一种“S”型,这也与其蒸腾过程吻合。在0:00~8:00和20:00~23:00,蒸腾很小,所以水分消耗量也很少,液流累积量曲线上升很慢,在10:00~20:00这段时间蒸腾作用加强,植物水分消耗速度增加,曲线上升的速度较快。由图还可以看出,不同直径的同一种植物,直径越大耗水量也越大,而且不同直径的植株茎干液流累积量差别也越大。

2.2 林带内土壤水分条件和梭梭水分状况

滴灌条件下防护林内土壤水分条件较好,保证了植物的成活和良好的生长。图3是试验地林带内400cm土层5~10月份的土壤含水量,可以看出,各层次的含水量的月变化不是很大,各月土壤含水量基本保持了相对稳定的水平,而且平均含水量维持在8%左右,土壤水分比较充足,目前的灌溉制度使土壤水分保持在一个相对稳定的水平。在340cm处,有一粘土层,粘土的持水力较强,所以该层土壤含水量一直较高。观察灌溉前后茎干液流的变化,在灌溉后第2天,梭梭茎干液流速率有所升高,但是灌溉3d以后,茎干液流速率又恢复到了灌溉以前的水平,而同期的天气条件没有很大变化。这说明了在土壤水分较为充足的条件下,灌溉量的增加并不能够使植物的水分吸收量显著增加,灌溉对茎干液流影响不甚明显。这也可能与滴灌的灌溉方式和沙土的持水力相对较差有关。

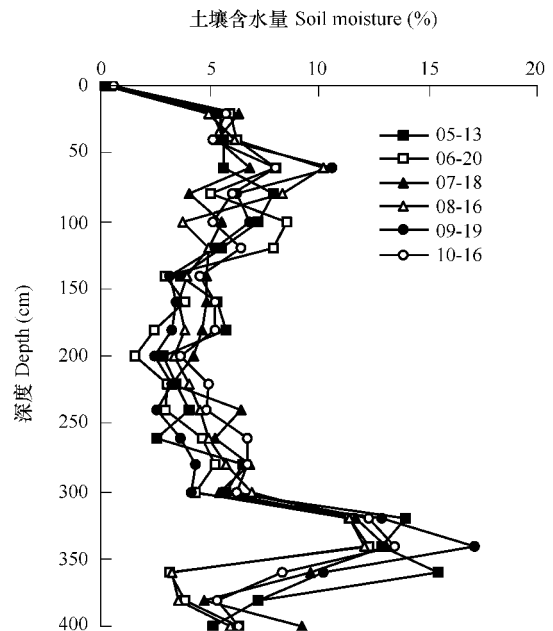


图3 表层(400 cm)土壤水分的月变化

Fig. 3 400 cm surface soil moisture in different month

表1 各月份梭梭清晨和午后水势值

Table 1 Predawn and midday water potential of *Haloxylon ammodendron* in different month

月份 Month	清晨水势(-MPa) Predawn water potential	午后水势(-MPa) Afternoon water potential
5	1.77	3.27
6	3.14	4.20
7	2.14	3.98
8	2.52	4.49
9	3.18	3.99

清晨水势和午后水势反映了植物在两个时间段的水分状况,进而可以表明植物体内的水分状况差异。梭梭是一种低水势植物,具有很强的抗旱性。表1是梭梭在5~9月份各月清晨和午后水势变化值。可以看出,梭梭清晨和午后水势值相差较大,这说明了在清晨梭梭水分状况良好,午后水分损失较多,导致水势值相差达到近2MPa;清晨水势值高,表明梭梭在通过一夜的吸收以后,体内水分状况得到了很好的恢复,水势较高,通过几个小时的蒸腾以后,体内水分损失较多,午后水势降低。夜间能够保持一定的液流速率也说明了在夜间根系的吸收活动并没有结束,而是通过夜间的吸收来补充白天植物体内水分的损失,满足白天蒸腾的需要。

2.3 气象因子对梭梭蒸腾的影响

由于沙漠公路防护林现行的灌溉方式,使土壤水分保持在一个较为稳定的水平,为植物提供了较为充足的水分供应,因此,梭梭蒸腾主要受到气象因子的影响。图4是梭梭茎干液流变化与主要气象因子变化的趋势图,由图可以看出茎干液流的波动和总辐射、温度、风速的波动趋势十分相似,尤其是总辐射和温度的波动与梭梭茎干液流的波动趋于一致。表2是梭梭茎干液流和一些主要环境因子的相关性分析结果,可以看出,梭梭茎干液流速率和太阳辐射、气温、相对湿度、风速有显著相关性($\alpha = 0.01$);茎干液流与总辐射的相关关系最强,相关性系数0.885;与气温和风速也有明显的正相关性;茎干液流与空气相对湿度呈负相关关系。利用多元回归的方法建立了梭梭茎干液流和气象因子的相关性回归模型,通过逐步回归确定了梭梭茎干液流和两个主要的气象因子太阳辐射和空气相对湿度的模型:

$$S_f = 145.705 + 0.211X_1 - 1.07X_2$$

$$R^2 = 0.905$$

或茎干液流和总辐射的回归模型:

$$S_f = 107.086 + 0.237X_1$$

$$R^2 = 0.885$$

式中, S_f 为茎干液流速率, X_1 为总辐射, X_2 为相对湿度。

2.4 梭梭的耗水量

梭梭的耗水过程是随着生长而变化的,在4月初生长萌动,10月生长开始衰退,整个生长季的耗水过程是单峰型,这是由其生长节律所决定的。图5是3株基径分别为2.0、2.8、3.4cm梭梭在生长季各月日平均耗水量曲线图。由图可以看出,不同直径的梭梭耗水量差异比较大,直径较大者耗水量也明显较高。6~8月是耗水量较大的时段。在整个生长季3株直径为2.0、2.8、3.4cm的梭梭日平均耗水量分别为1.48、2.18、3.08kg;总耗水量分别295.12、436.26、615.80kg。在沙漠干旱的环境条件下,如果有了充分的水分供应,灌木也会有很大的蒸腾耗水量。

3 结论和讨论

(1)茎干液流是通过植物茎干的水分和养分流动,茎干液流大小和植物本身的遗传特性和生理特征有关,还与个体大小(直径、叶面积等)和环境要素密切相关^[6,7]。植物蒸腾的规律性在任何环境条件下都表现为白天高夜间低,在干燥的沙漠地带,荒漠植物有较大的茎干液流,植物通过大量的蒸腾可以避免过分的干化

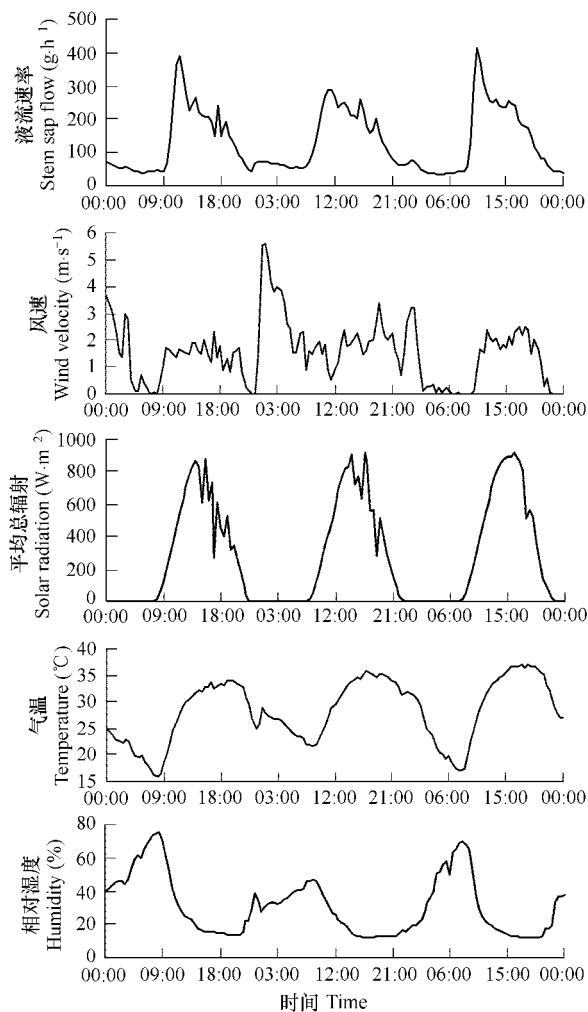


图4 气象因子与梭梭茎干液流的变化

Fig. 4 The variation of stem sap flow and meteorological factors

表2 梭梭茎干液流和气象因子的相关关系

Table 2 The correlation analysis between stem sap flow and meteorology factors

项目 Item		茎干液流 Sap flow	总辐射 Solar radiation	温度 Air temperature	风速 Wind speed	相对湿度 Relative humidity
茎干液流 Sap flow	Pearson Correlation	1.000	0.885 **	0.686 **	-0.577 **	0.379 **
	Sig. (2-tailed)	0	0.000	0.000	0.000	0.000
总辐射 Solar raiation	Pearson Correlation	0.885 **	1.000	0.614 **	-0.464 **	0.371 **
	Sig. (2-tailed)	0.000	0	0.000	0.000	0.000
温度 Air temperature	Pearson Correlation	0.686 **	0.614 **	1.000	-0.944 **	0.425 **
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	0	0.000	0.000
风速 Wind speed	Pearson Correlation	-0.577 **	-0.464 **	-0.944 **	1.000	-0.493 **
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	0.000	0	0.000
相对湿度 Relative humidity	Pearson Correlation	0.379 **	0.371 **	0.425 **	-0.493 **	1.000
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.

$N = 145$; Pearson Correlation-Pearson 相关系数; Sig. (2-tailed) - P 值(双尾)

和高温灼烧;同时,如果有充足的水分供应,荒漠植物是不会限制自身的蒸腾。夜间存在上升液流,部分原因可能是由于白昼的蒸腾作用,导致植株地上部位水势较低——根据“蒸腾拉力-内聚力”学说^[8],白天树冠蒸腾主要是由于气孔开放,形成了叶片-冠-根的水势差,日落后气孔关闭,此时水势梯度并不立即消失,由于水势差的存在,仍会有部分水分在一段时间内被动地通过根部进入树干及叶,形成夜间补偿流,使树干部位的水分储存得以恢复^[9],对油松液流进行研究后得到过相似结论^[10]。在沙漠极端干旱的气候条件,白天失去的水分无法及时补充,在夜间仍然有一定的液流以补充植物体白天的水分消耗,而且由于夜间气温较高、空气流动速度快、空气干燥也可能是夜间蒸腾的一个重要原因。

茎干液流是受诸多环境因子影响,有时会出现双峰或者多峰,如果环境条件比较稳定,例如无风的晴天茎干液流曲线波动也就不明显,蒸腾过程呈现较平滑的单峰曲线型。从一个生长季的蒸腾日变化过程可以看出,蒸腾日变化的长期趋势是稳定的单峰型占据了主导地位。

(2) 蒸腾是植物耗水的主要途径,其大小受控于土壤湿度和气象条件^[11];研究发现土壤湿度对树干液流速率影响很大^[12-16]。荒漠环境中,土壤含水量一般都很低,研究表明在黑河荒漠绿洲区,梭梭林地土壤湿度一直低于 2.0%^[25];在额济纳绿洲梭梭和柽柳根部土壤含水量分别为 0.436% 和 0.469%^[15];在古尔班通古特沙漠,夏季梭梭林土壤 1~200cm 平均土壤水分 <1.0%^[16]。沙漠公路防护林现行的灌溉制度(灌溉周期为 10d,灌溉量为 $1000 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)能保证植物的成活和良好的生长状况。在防护林带内,400cm 土壤平均含水量稳定在 8%,对梭梭而言,这是一个水分充裕的环境。依据现行的灌溉制度和林带土壤含水量、对比自然环境下荒漠区土壤含水量可以判断,防护林现行的灌溉模式是一种足量灌溉。

(3) 水势是植物水分状况的重要指标之一,它的高低表明植物从土壤或相邻细胞中吸收水分能力的强弱。对不同植物水势的比较分析表明,不同类型的植物水势不同,一般来说,旱生植物比较忍受干旱,水势最低^[17]。清晨水势可以反映植物水分的恢复状况,从而可以用来判断植物水分亏缺的程度^[18]。梭梭在清晨水势较高,这说明,梭梭水分状况在夜间得到了很好的恢复;而午后水势较低则表明在白天的蒸腾损失很大,导致清晨和午后水势的差距较大。通过防护林梭梭水分状况和土壤含水量可以看出,其水分供应充足,体内水分状况较好,不存在水分亏缺,相反,夜间吸收补充的水分在白天大量损失,导致梭梭耗水量较高。

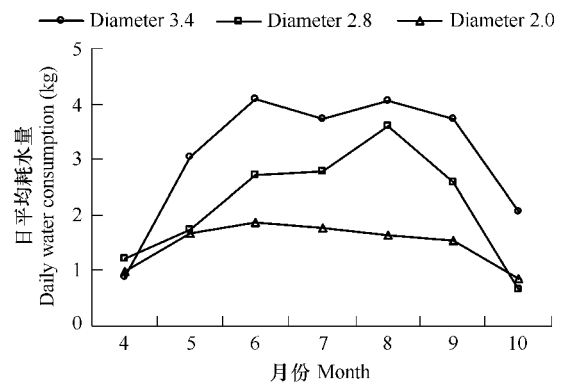


图5 梭梭各月平均日耗水量

Fig. 5 Average daily water consumption of *Haloxylon ammodendron* in different month

(4)多数研究表明,太阳辐射、风速、温度和土壤含水量是影响树干液流的主要环境因子^[19~24]。在塔克拉玛干沙漠腹地,太阳辐射、温度、风速、相对湿度都和茎干液流速率有很强的相关性,这些气象因子都会影响到植物的茎干液流和耗水。茎干液流和太阳总辐射、气温、风速呈明显正相关,与空气相对湿度呈负相关关系,其中太阳总辐射与茎干液流的相关性最大。这是因为:蒸腾作用首先决定于植物自身的生理特性,太阳辐射直接影响植物的光合生理特性,在太阳辐射强烈的时候,植物的光合作用加强,各项生理指标都比较活跃,所以蒸腾作用加强,茎干液流也明显较大;气温是通过影响植物的生理活动和植物叶面温度来影响蒸腾,进而影响茎干液流,在沙漠的高温条件下,植物通过加强蒸腾作用来降低叶面温度,以免高温灼伤;在沙漠腹地,空气相对湿度一般都保持在 30% 左右,防护林带的蒸腾作用使得局部小气候有所改变,尤其是空气相对湿度的变化最为明显。空气相对湿度和植物蒸腾是一个相互作用的过程:当空气干燥时,相对湿度较低,使得空气水汽压差变大,水分更容易从植物体散失,所以相对湿度和蒸腾作用是负相关的,而蒸腾作用的加强又使更多的水汽进入空气,使得局部空气相对湿度有所增加,空气的流动使得更多的干燥空气取代植物周围湿度较高的空气;风对茎干液流的影响主要是以更干燥的空气替换植物体周围相对湿度较高的空气,使空气水汽压差变大,导致了蒸腾作用的加强,所以风速越大,空气交换越频繁,蒸腾作用也就更趋于强烈,但是植物蒸腾主要是在太阳辐射强、生理活动活跃的白天进行,白天风速对茎干液流有明显的影响;而进入夜间以后,植物生理活动减弱,蒸腾作用很弱,所以在夜间风速对茎干液流几乎没有什么影响。在干旱的沙漠腹地,太阳辐射强烈、温度高、风大、空气干燥,这些气象因子在很大程度上影响了梭梭的蒸腾,如果水分充足,梭梭必然会充分利用已有的水分条件。

(5)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 21m) 日耗水量在 10 ~ 200 kg 范围内^[25,26]。黑河流域基径 6.5 ~ 14.5cm 的梭梭平均日耗水量为(0.3 ± 0.2)mm,生长季节单株木耗水量达 49.4mm^[15];在古尔班通古特沙漠,2 龄、3 龄和 4 龄梭梭,年均蒸腾耗水分别为 33.603、98.827、132.232kg^[16]。在塔克拉玛干沙漠腹地,灌溉条件下 3 株直径为 2.0、2.8、3.4cm 的梭梭日平均耗水量分别为 1.48、2.18、3.08kg;生长季耗水量分别 295.12、436.26、615.80kg。可见,梭梭有明显较高的耗水量。在干旱环境条件下,土壤水分条件和干旱的环境条件共同影响梭梭的蒸腾,如果有充分的水分供应,梭梭的蒸腾耗水量会很大。依据目前梭梭的生长状况、水势和土壤水分状况,可以确定当前的防护林灌溉模式提供了较充足的水分供应,如果在此基础上进行灌溉制度的优化,防护林还有一定的节水空间。

Reference:

- [1] Xu B C, Shan L, Li F M. Comparison of ecophysiological characteristics of seven plant species in semiarid loess hillygully region. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(5): 990—996.
- [2] Fredrik L, Anders L. Transpiration response to soil moisture in pine and spruce trees in Sweden. *Agriculture and Forest Meteorology*, 2002, 112: 67—85.
- [3] Steinberg SL, Van Bavel C H M and McFarland M J. A gauge to measure mass flow of sap flow in stem and trunk of woody plants. *Journal of the American Society Horticultural Science*, 1989, 114: 466—472.
- [4] Yan C R, Alec Downey, Han X G, et al. A study on sap flow of *Juglans mandshurica* of growth season in deciduous broad-leaf forest Beijing mountain area. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(6): 793—797.
- [5] Lu P, Laurent Urban, Zhao P. Granier's Thermal Dissipation Probe (TDP) Method for Measuring Sap Flow in Trees: Theory and Practice. *Acta Botanica Sinica*, 2004, 46(6): 631—646.
- [6] 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. *Tree Physiology*, 1995, 15: 559—567.
- [7] Thomas J Hatton, Stephen J Moore, Peter H. Reece. 1994. Estimating stands transpiration in a *Eucalyptus populnea* woodland with the heat pulse method: measurement errors and sampling strategies. *Tree Physiology*, 1995, 15: 219—227.
- [8] Krftner P J, Koflowski T T. *Physiology of woody plants*. New York: Academic Press, 1979.
- [9] Li H T, Xiang L, Xia J, et al. Applying the heat dissipation technique to study the sap flow of *pinus elliottii* in the red earth area of subtropical

- China. *Scientia Silvae Sinicae*, 2006, 42(10): 31–38.
- [10] Wang H T, Ma L Y, Sun P S. Sap flow fluctuations of *pinus tabulaeformis* and *platycladus orientalis* in late autumn. *Scientia Silvae Sinicae*, 2002 (5), 38: 31–39.
- [11] Fredrik L, Anders L. Transpiration response to soil moisture in pine and spruce trees in Sweden. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2002, 112: 67–85.
- [12] Irvine J, Perks M P, Magnani F, *et al.* The response of *Pinus sylvestris* to drought: stomatal control of transpiration and hydraulic conductance. *Tree Physiology*, 1998, 18: 393–402.
- [13] Stewart J B. Modelling surface conductance of pine forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1988, 43: 19–35.
- [14] Ewers B E, Oren R, Phillips N, *et al.* Mean canopy stomatal conductance responses to water and nutrient availabilities in *Picea abies* and *Pinus taeda*. *Tree Physiology*, 2001, 21: 841–850.
- [15] Chang X X, Zhao W Z, Zhang Z H. Water consumption characteristic of *Haloxylon ammodendron* for sand binding in desert area. *Acta Ecologica Sinica*, 2007(27)5: 1826–1837.
- [16] Zhao C J, Kang M Y, Xu G C, *et al.* Comparison among Transpirations of *Haloxylon ammodendron* communities with different ages without irrigation in the Gurbantonggut Desert. *Arid Zone Research*, 2006, 23(2): 295–301.
- [17] Song Y X, Zhou M X, Zhang X Y. Relationship of Water Potential for Some Dominant Plant Species in Ejin Oasis to Environmental Factors. *Journal of Desert Research*, 2005, 25(4): 496–499.
- [18] Pelaez D V, Boo R M. Plant Water Potential for Shrubs in Argentina. *Journal of Range Management*, 1987, 40(1): 6–9.
- [19] Xiong W, Wang Y H, Xu D Y. Regulations of water use for transpiration of *Larix Principi-rupprechtii* and its response on environments factors in south Ningxia hilly area. *Scientia Silvae Sinica*, 2003, 39(2): 1–7.
- [20] Yue G Y, Zhang T H, Zhao H L, *et al.* Characteristics of sap flow and transpiration of *Salix gordejewii* and *Caragana microphylla* in Horqin Sandy Land, northeast China. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(10): 3205–3213.
- [21] Zhang Y Y, Zhou Z F, Dang H Z. A study on the sap flow of *Pinus Sylvestris* var. *mongolica* with thermal dissipation probe. *Research of Soil and Water Conservation*, 2006, 13(4): 78–80.
- [22] Cao Y, Huang Z G, Ouyang Z Y, *et al.* Dynamics of stem sap flow velocity of *Eucommia ulmoides* in red soil region Southern China. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(9): 2887–2895.
- [23] Zhang G H, Chen B F, Nie J Z, *et al.* *Castanopsis jianfengensis* sap flow and its relationships with environmental factors in tropical montane rainforest. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 4(18): 742–748.
- [24] Zhang X Y, Kang E S, Zhang Z H, *et al.* Research on Dynamics of Stem Sap Flow of *Elaeagnus angustifolia*. *Journal of Desert Research*, 2006, 26(1): 146–151.
- [25] Wullschlegel S D, Hanson P J, Todd D E. Transpiration from a multi-species deciduous forest as estimated by xylem sap flow techniques. *Forest Ecology and Management*, 2001, 143: 205–213.
- [26] Wullschlegel S D, Meinzer F C, Vertessy R A. Review of whole-plant water use studies in trees. *Tree Physiology*, 1998, 18(8/9): 499–512.

参考文献:

- [1] 徐炳成, 山仑, 李凤民. 半干旱黄土丘陵区五种植物的生理生态特征比较. *应用生态学报*, 2007, 18(5): 990–996.
- [4] 严昌荣, Alec Downey, 韩兴国, 等. 北京山区落叶阔叶林中核桃楸在生长中期的树干液流研究. *生态学报*, 1999, 19(6): 793–797.
- [9] 李海涛, 向乐, 夏军. 应用热扩散技术对亚热带红壤区湿地松人工林树干边材液流的研究. *林业科学*, 2006(42)10: 31–38.
- [10] 王华田, 马履一, 孙鹏森. 油松、侧柏深秋边材木质部液流变化规律的研究. *林业科学*, 2002(5)38: 31–33.
- [15] 常学向, 赵文智, 张智慧. 荒漠区固沙植物梭梭(*Haloxylon ammodendron*)耗水特征. *生态学报*, 2007(27)5: 1826–1837.
- [16] 赵从举, 康慕谊, 徐广才, 等. 非灌溉条件下不同年龄梭梭蒸腾耗水比较. *干旱区研究*, 2006, 23(2): 295–301.
- [17] 宋耀选, 周茂先, 张小由, 等. 额济纳绿洲主要植物的水势与环境因子的关系. *中国沙漠*, 2005, 25(4): 496–499.
- [19] 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. *林业科学*, 2003. 39(2): 1–7.
- [20] 岳广阳, 张铜会, 赵哈林, 等. 科尔沁沙地黄柳和小叶锦鸡儿茎流及蒸腾特征. *生态学报*, 2006, 26(10): 3205–3213.
- [21] 张友焱, 周泽福, 党宏忠, 等. 利用 TDP 茎流计研究沙地樟子松的树干液流. *水土保持研究*, 2006, 13(4): 78–80.
- [22] 曹云, 黄志刚, 欧阳志云. 南方红壤区杜仲(*Eucommia ulmoides*)树干液流动态. *生态学报*, 2006, 26(9): 2887–2895.
- [23] 张刚华, 陈步峰, 聂洁珠, 等. 热带山地雨林尖峰栲边材液流及其与环境因子的关系. *应用生态学报*, 2007, 4(18): 742–748.
- [24] 张小由, 康尔泗, 张智慧, 等. 沙枣树干液流的动态研究. *中国沙漠*, 2006, 26(1): 146–151.