

毛乌素沙地沙木蓼茎干液流规律研究

郭跃¹, 匡栋¹, 吴斌¹, 张宇清¹, 韦立伟¹, 梁文俊¹, 王志波², 毛振华²

(1. 北京林业大学 水土保持学院 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083;

2. 内蒙古农业大学 生态环境学院, 内蒙古 呼和浩特 010019)

摘要: 植物的茎干液流量表征其蒸腾耗水量, 能够准确反映单株植物的蒸腾作用和水分利用状况。利用 Dynamax 茎流测量系统和自动气象站对毛乌素沙地人工灌木树种沙木蓼的茎干液流变化及其周围的环境因子进行观测。研究表明, (1) 沙木蓼茎干液流日变化呈多峰线型, 昼夜变化明显, 夜间仍有低值液流; 晴天液流速率较大, 变化幅度也大; 阴雨天液流速率变化幅度较小但波动剧烈。(2) 整个生长季沙木蓼总液流量为 428.83 L, 5—10 月沙木蓼日平均液流量为 2.639 5 L/d。(3) 沙木蓼液流速率变化趋势与环境因子变化趋势基本吻合。相关分析表明, 影响沙木蓼茎干液流变化的主要环境因子为太阳总辐射、空气温度、空气相对湿度和风速。

关键词: 毛乌素沙地; 沙木蓼; 茎流; 气象因子

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)05-0022-05

中图分类号: Q948.1

Stem Sap Flow Dynamics of *Atraphaxis Bracteata* in Mu Us Sandy Area

GUO Yue¹, DING Guodong¹, WU Bin¹, ZHANG YU-qing¹, WEI Li-wei¹,

LIANG Wen-jun¹, WANG Zhi-bo², MAO Zhen-hua²

(1. College of Soil and Water Conservation, and Key Laboratory of Soil and Water Conservation and

Desertification Combating of the Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. College of Ecology and Environment, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot, Inner Mongolia 010019, China)

Abstract: Stem sap flow of a plant can indicate water consumption by transpiration and accurately reflect the transpiration of plants and water utilization. In this study, Dynamax sap flow measuring system and automatic weather station system were used to simultaneously measure and monitor sap flow velocity and related environmental factors of the artificial shrub *Atraphaxis bracteata* in the Mu Us sandy area. Results showed that (1) the diurnal variation of stem sap flow of *Atraphaxis bracteata* presented a multi-peaked curve. At night, there was still stable flow of low value. The magnitude of sap flow changed considerably between sunny and rainy days. (2) Throughout the growing season, the total sap flow is 428.83 L, with the average daily sap flow of 2.639 5 L/d. (3) The flow rate of *Atraphaxis bracteata* was positively correlated with some ambient environmental factors. Correlation analysis showed that by the coefficients from correlation analysis, the order of factors was solar radiation > air temperature > air relative humidity > wind speed.

Keywords: Mu Us sandy are; *Atraphaxis bracteata*; sap flow; weather factor

水分是植物生长发育必不可少的因子, 更是我国干旱半干旱地区的主要环境限制因子^[1]。分析和研究干旱荒漠地区主要造林树种的耗水与需水特征, 对于阐述植物耗水规律, 揭示植物对干旱区水分环境的适应过程和机制具有重要意义。有关植物蒸腾耗水量的测定方法和手段国内外学者进行了大量研究和实践^[2-6]。

主要研究方法有染料法、放射性同位素法、磁流体动力学法、蒸渗仪法、整树容器法、快速称重法以及热脉冲、热平衡、热扩散等技术, 其中热脉冲和热扩散技术可以对树干液流连续自动监测, 时间分辨率高, 对植物的正常生理活动影响小, 野外操作方便^[7], 近年在研究林木耗水方面得以广泛应用。金红喜等^[8]曾利用热平衡式茎流探头对一些荒漠植物的树干液

收稿日期: 2010-03-19

修回日期: 2010-04-07

资助项目: 国家十一五科技支撑专题“沙区人居环境保障与工程防沙技术研究”(2006BAD26B03)

作者简介: 郭跃(1986—), 女(汉族), 内蒙古自治区鄂尔多斯市人, 硕士, 主要研究方向为水土保持与荒漠化防治。E-mail: gy861020@sohu.com。

通信作者: 丁国栋(1963—), 男(汉族), 内蒙古自治区赤峰市人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为水土保持荒漠化防治。E-mail: dch1999@263.net。

流进行过研究;岳广阳等^[9]对科尔沁沙地黄柳和小叶锦鸡儿茎流及蒸腾特征进行了研究;徐先英等^[10]利用热平衡包裹式树干液流仪对干旱荒漠区3种固沙灌木的液流特征进行过研究。

沙木蓼(*Atraphaxis bracteata* A. Los.)是蓼科灌木,喜沙埋,沙埋后能长出许多不定根;根系发达,吸水力强,相互交错,形成稠密的根系网,使其在流动沙地上能稳定生长,有很好的固沙作用;整个生长季节生长旺盛,给沙漠地区带来勃勃生机。沙木蓼适宜于低位浅山地区生长,耐旱,较速生,适宜营造水土保持林,是沙漠地区优良的固沙植物。目前国内对沙木蓼的蒸腾耗水研究很少。本文以宁夏盐池毛乌素沙地人工灌木种沙木蓼为研究对象,采用Dynamax茎流测量系统直接测定其灌丛分枝的茎干液流速率,并根据同步获取环境因子的实测值对其茎流特性和影响因子关系进行了分析。研究结果对沙区植被建设及植物对沙地水分合理利用有重要的指导意义。

1 研究区概况

研究区位于宁夏回族自治区东部的盐池县,处于毛乌素沙地南缘,37°48'N,107°23'E,海拔1354m,是典型的中温带大陆性季风气候,降水主要集中在夏

秋两季,7—9这3个月合计占全年总降水量的62%;光能丰富,热量较适中,年太阳辐射值为 1.4×10^5 J/cm²,≥10℃积温2944.9℃;年平均气温7℃,年降水量287mm,年平均风速2.6m/s,年平均相对湿度51%;无霜期为128d,绝对无霜期为100d。土壤为风砂土,pH值8.5~8.8。

2 研究方法

2.1 实验布置

仪器选用澳大利亚Dynamax有限责任公司生产的热平衡(SHB)包裹式茎流计。

按照实验设计选择符合茎流探头直径要求且生长良好的沙木蓼单枝作为实验对象,要求茎干通直圆满,立地条件基本一致。将选定被测株的仪器安装区粗皮打磨掉,露出内层活树皮,用游标卡尺分别精确测量安装区的直径,然后在打磨好的安装区涂抹上G4油脂。选择、安装包裹式探头,将探头小心地安装在被测区,包裹好绝缘、防辐射材料,最后用胶带密封,防止雨水进入。

安装好以后将馈线与数采器(DT50)连接,接通电源,对数采器设置工作参数,设置数据采集间隔期10min。根据数据采器内存大小,定期下载观测数据。本实验所涉及的基本参数见表1。

表1 SGB探头规格和工作参数及被测样株基本特征

探头型号	工作电压/V	功率/W	电阻/Ω	样株特征		
				样株种类	胸径/cm	茎干面积/cm ²
SGB-25	4.5	0.5	39.7	沙木蓼25	2.57	5.19
SGB-16	4.5	0.2	94.2	沙木蓼16	1.63	2.09
SGB-9	4.0	0.1	108.8	沙木蓼9	1.01	0.80

2.2 环境因子的观测

在2009年植物生长的5—10月连续观测茎干液流,并同步测定周围的环境因子。太阳辐射、空气温度、空气相对湿度、和风速等气象因子采用Vantage Pro 2自动气象站测定。

2.3 数据处理

用测量系统自带软件处理5—10月份连续的茎干液流数据,并从中选取一些典型数据用作分析作图,其他数据利用SPSS软件和Excel软件处理并作图。从5月19日—10月27日,选择晴天、阴天和雨天数据以及整个生长季液流数据进行计算分析。

3 结果分析

3.1 沙木蓼茎干液流速率连日变化

沙木蓼茎干液流连日变化规律大致相同,白天液

流速率大,晚上液流速率较小,具有明显的昼夜节律性,其日变化曲线呈多峰格型(图1)。以8月13日为例来说明沙木蓼液流日变化,液流启动时间大致为7:00—7:30,液流启动后速率快速上升,在9:00左右达到第一个峰值338.0g/h,但9:00—11:00有短暂的液流急骤减少现象,这一结果与张小由^[11]在干旱沙区对胡杨的研究结果相似,这说明植物为了适应严酷的沙漠环境,保持体内水分而出现特有的“午休”现象。蒸腾速率的“午休”主要是由于干旱区植物为了保存体内水分,短暂关闭或减少叶片气孔开张度,降低植物体内水分蒸腾所致^[12]。11:30左右达到第2个峰值289.1g/h,随后相继出现多个峰值。16:00—19:00一直保持较高值(187.7~200g/h),19:00以后液流开始迅速下降,到20:00时基本下降至极低值;夜间仍维持相对稳定的液流。这是因为在毛乌素沙

地干旱的气候条件下,白天灌丛蒸腾作用强烈,造成植物体内水分供需平衡失调^[13],植物体处于缺水状态,于是夜间蒸腾停止后,根系由于根压的作用可以继续保持吸水能力,以协调植物的需水平衡^[14]。

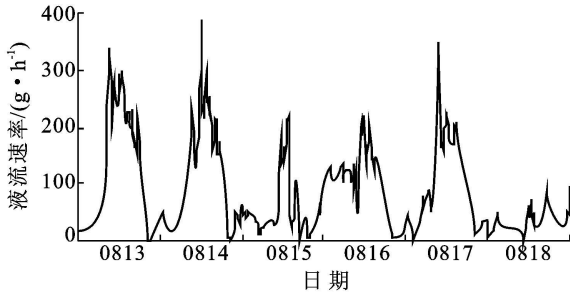


图 1 沙木蓼液流速率连日变化(8月13—18日)

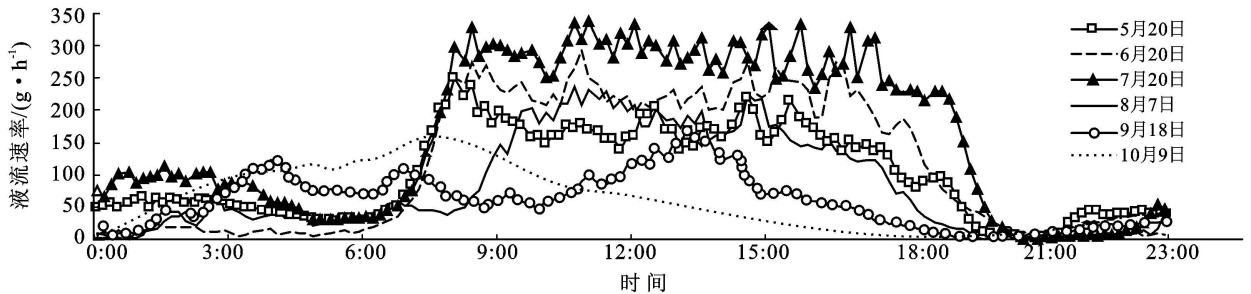


图 2 晴天液流速率变化

3.2.2 阴雨天液流速率变化 由图 3 可见,在沙木蓼生长的月份,除 6 月 19 日外,其它几个月雨天茎干液流在一天内的各个时间段差异不大,表现为比较平缓的变化。6 月 19 日可能是由于当天雨量较小,温度较高,且正值植物生长最旺盛的时期,因此液流速率较大。其它月份液流速率小,且出现与晴天不一样的变化:相对于白天的液流速率,在夜间 20:00 液流速率降低,但 22:00 之后仍保持了较高值,这可能是由于降雨,太阳辐射低,气温也较低,相对湿度保持较高值,白天液流速率较晴天的小,加之降雨使土壤湿度急增,导致树体与土壤之间存在比平时更大的水势梯度^[15],迫使根系从土壤中吸收水分,以补充树体水分的不足。树干液流变化产生的峰值可能与天气状况有关,短时间的辐射变强,风速增大都能引起树干液流速率的变化^[16]。总体来说,由于阴雨天太阳辐射较弱,空气湿度较大造成了树干液流速率较晴天低。

3.3 沙木蓼茎干液流累积量

依据 2009 年 5—10 月的连续液流监测数据分析表明,茎干面积 5.19 cm^2 的沙木蓼在整个生长季节里,整体波动幅度较小,但生长季不同阶段有些偏差。

3.2 不同天气下沙木蓼茎干液流速率变化

3.2.1 晴天液流速率变化 在沙木蓼整个的生长季节中,选取几种典型的天气进行液流速率比较(见图 2—3)。从图 2 可以看出,在沙木蓼生长的月份,树干液流速率均表现了明显的昼夜变化规律,即表现为明显的多峰曲线。沙木蓼在夜间的树干液流速率差异不大,但是白天时却差异较大。在晴天里,液流速率较大,变化幅度也大,变幅在 350 g/h 以上;在 5—8 这 4 个月份树干液流启动较早,上升迅速且达到最大值后保持较大液流速率的时间较长,基本保持在 5 h 左右。而在 9,10 两个月份,因为研究区气温较低树干液流启动较晚,液流变化幅度小于其它几个月,一天中达到的最大值也较生长盛期的最大值小,维持一天中较高流速的时间也较短。

5—10 月沙木蓼日平均液流量分别为 2.16, 3.4, 2.82, 2.27, 2.26, 2.39 L/d, 总液流量为 428.83 L, 各月液流量占总液流量百分比分别为 8.05%, 23.82%, 20.36%, 16.43%, 16.32% 及 15.02%, 其中 5 月份 16 d, 10 月份 27 d。日液流量最小值 0.7923 L/d , 最大值 4.4359 L/d , 分别出现在 8 月 18 日和 7 月 2 日, 平均值 2.6395 L/d 。

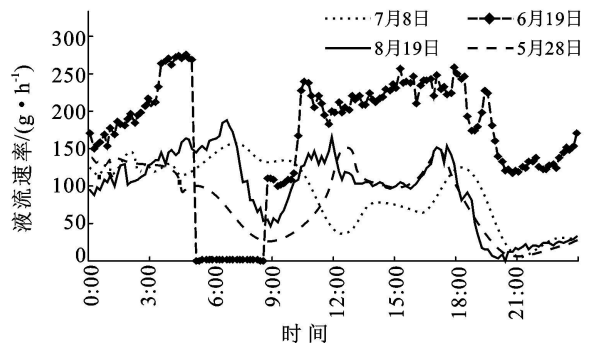


图 3 雨天液流速率变化

3.4 沙木蓼茎干液流与环境因子的关系

植物液流除受植物自身特性影响以外,还受气象因子的影响。根据与茎流同步检测的太阳辐射强度、

灌丛周围空气温湿度、风速、土壤含水量等因子日变化的测定结果比较发现, 沙木蓼茎干液流速率日变化曲线与各日环境因子波动趋势基本吻合(图4), 这说明沙木蓼的液流速率受环境因子影响明显。

太阳辐射强度既能诱导气孔启闭, 又决定空气温度、相对湿度和叶片温度的变化, 是影响沙木蓼液流变化的最主要因子。白天随着太阳辐射的增加, 空气温度逐渐升高而空气相对湿度下降, 叶片内外蒸汽压差增大, 植物冠层水分蒸发增强, 茎干液流速率相应加快; 夜间太阳辐射强度下降至 0, 温度也降至较低值, 空气的相对湿度较大, 叶片气孔关闭, 几乎无蒸发, 液流保持极低值。说明太阳辐射与液流速率呈正相关, 空气温度与沙木蓼液流速率呈正相关, 空气湿度则与沙木蓼液流速率呈负相关。这与张友炎等^[17]研究的沙地樟子松茎流特征的结论一致。

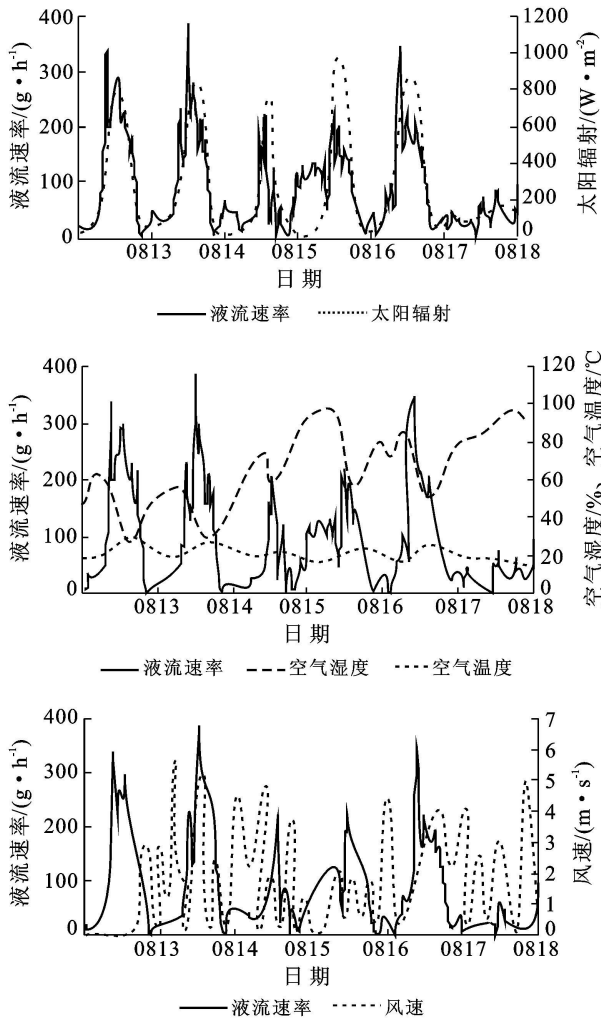


图4 液流速率与太阳辐射、温度、空气湿度、风速的变化(8月13日—8月18日)

风是影响灌丛叶片蒸腾的直接因素, 其作用机理比较复杂^[9]。微风可以将气孔外围相对湿度较高的空

气吹走, 使蒸气扩散层变薄或消失, 外部阻力减小, 从而促进蒸腾; 而风的强度太大则可能会引起气孔关闭, 使蒸腾速率变慢^[19], 由此又引起液流速率的相应变化。

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, 相关研究表明, 植物液流变化影响因子主要有以下几个: 太阳辐射强度、相对湿度、大气温度、风速、土壤水分等^[18-23]。对沙木蓼茎干液流与上述所有环境因子进行相关分析, 结果见表2。表2显示, 沙木蓼茎干液流速率与各环境因子的相关性由高到低依次为: 太阳辐射 > 空气温度 > 相对湿度 > 风速, 其相关系数分别为: 0.850, 0.680, -0.679, 0.354, 并且均达到显著水平。同时太阳辐射与空气温度、空气温度与湿度的相关性也较强。进一步分析液流变化与各环境因子变化的相关关系, 考虑到各环境因子间存在一定相关关系, 采用逐步剔除法进行多元回归分析。选择上述环境因子作为自变量, 以沙木蓼茎干液流速率为因变量, 以 0.05 和 0.1 可靠性作为变量入选和剔除临界值, 经过逐步回归, 发现只有太阳辐射和空气湿度进入模型, 得到液流速率与环境因子的多元回归方程:

$$Y = 123.711 + 0.249X_1 - 1.243X_2$$

式中: Y ——液流速率(g/h); X_1 ——太阳辐射(W/m^2); X_2 ——空气相对湿度($\%$)。

对回归系数进行检验, 得显著性概率均为 0.000, $R^2 = 0.756$, 可见回归方程能较好地揭示液流变化与各环境因子变化的相关规律。

4 结论

(1) 沙木蓼茎干液流日变化呈多峰线型, 受环境因子影响有明显波动, 在夜间仍能维持较高的液流速率; 茎干液流在 7:00 左右启动, 峰值出现在 9:00—10:00 期间, 10:00—12:00 出现短暂的“午休”现象, 11:00—19:00 一直保持较高值, 20:00 液流速率基本降到极低值。不同天气的茎干液流差异明显: 晴天液流速率较大, 变化幅度也大; 阴雨天液流变化幅度小但波动剧烈。

(2) 沙木蓼茎干液流具有一定的季节变化规律, 液流量整体波动幅度较小, 整个生长季沙木蓼总液流量为 428.83 L, 日平均液流量 2.639 5 L/d。

(3) 影响沙木蓼茎干液流变化的主要环境因子为太阳总辐射、空气温度、空气相对湿度和风速, 其相关系数分别为 0.850, 0.680, -0.679, 0.354, 其中太阳总辐射、空气温度、风速与液流速率呈正相关, 相对湿度与液流速率呈负相关。液流速率与环境因子的多元线性回归方程为: $Y = 123.711 + 0.249X_1 - 1.243X_2$ 。

表 2 液流速率与各环境因子相关系数($n=144$)

项目	液流速率	太阳辐射	风速	温度	空气湿度	
相关系数	液流速率	1.000	0.850**	0.354**	0.680**	-0.679**
	太阳辐射	0.850**	1.000	0.390**	0.645**	-0.630**
	风速	0.354**	0.390**	1.000	0.217**	-0.293**
	温度	0.680**	0.645**	0.217**	1.000	-0.957**
	空气湿度	-0.679**	-0.630**	-0.293**	-0.957**	1.000
显著性概率	液流速率	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	太阳辐射	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	风速	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	温度	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	空气湿度	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

注: ** 表示相关性在 0.01 的水平显著(双尾)。

[参 考 文 献]

- [1] 陈永金, 陈亚宁, 薛燕. 干旱区植物耗水量的研究与进展[J]. 干旱区资源与环境, 2004, 18(6): 152-158.
- [2] 郑怀舟, 朱锦懋, 魏霞, 等. 5 种热动力学方法在树干液流研究中的应用评述[J]. 福建师范大学学报: 自然科学版, 2007, 23(4): 119-123.
- [3] 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[J]. 生态学报, 1999, 19(6): 793-797.
- [4] 周择福, 张光灿, 刘霞, 等. 树干茎流研究方法及其述评[J]. 水土保持学报, 2004, 18(3): 137-140, 145.
- [5] 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[J]. 林业科学, 1997, 33(2): 119-125.
- [6] 马长明, 管伟, 叶兵, 等. 利用热扩散式边材液流探针(TDP)对山杨树干液流的研究[J]. 河北农业大学学报, 2005, 28(1): 39-43.
- [7] 孙慧珍, 周晓峰, 赵惠勋. 白桦树干液流的动态研究[J]. 生态学报, 2002, 22(9): 1387-1391.
- [8] 金红喜, 徐先英, 唐进年, 等. 花棒液流变化规律及其对环境因子的响应[J]. 西北植物学报, 2006, 26(2): 354-361.
- [9] 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[J]. 生态学报, 2008, 26(10): 3206-3213.
- [10] 徐先英, 孙保平, 丁国栋, 等. 干旱荒漠区典型固沙灌木液流动态变化及其对环境因子的响应[J]. 生态学报, 2008, 28(3): 895-905.
- [11] 张小由, 龚家栋, 周茂先, 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): 585-590.
- [12] 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[J]. 林业科学, 2002, 38(5): 31-37.
- [13] 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[J]. 干旱区研究, 2006, 23(2): 295-301.
- [14] 张小由, 康尔泗, 张智慧, 等. 黑河下游天然胡杨树树干液流特征的试验研究[J]. 冰川冻土, 2005, 27(5): 742-746.
- [15] 于红博, 杨劼, 臧春鑫, 等. 皇甫川流域中国沙棘树干液流日变化及其相关因子[J]. 生态学杂志, 2008, 27(7): 1071-1076.
- [16] 李焕波, 张林森, 李丙智, 等. 应用热脉冲方法对红富士苹果树干茎流速率的研究[J]. 西北农业学报, 2008, 17(5): 244-247, 305.
- [17] 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[J]. 水土保持研究, 2006, 13(4): 78-80.
- [18] 刘德良. 油松树干边材液流空间变化规律[J]. 东北林业大学学报, 2008, 36(5): 15-18.
- [19] 夏桂敏, 康绍忠, 李玉成, 等. 甘肃石羊河流域干旱荒漠区柠条树干液流的日季变化[J]. 生态学报, 2006, 26(4): 1186-1193.
- [20] 许浩, 张希明, 阎海龙, 等. 塔克拉玛干沙漠腹地多枝柽柳茎干液流及耗水量[J]. 应用生态学报, 2007, 18(4): 735-741.
- [21] 赵丽娟, 蒋文伟, 杨淑贞, 等. 天目山柳杉的茎干液流特征[J]. 浙江林学院学报, 2009, 26(2): 169-175.
- [22] 路兴慧, 潘存德. 罗布麻茎直径和茎流变化日过程及其与环境因子的关系分析[J]. 新疆农业科学, 2009, 46(1): 8-12.