

三种基于热技术的树干液流传感器系统

田晓楠^{1*}, 李新², 刘洋¹, 赵小宁¹, 席本野^{1**}

(1. 北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室 干旱半干旱地区森林培育和生态系统研究国家林业和草原局重点实验室, 北京 100083; 2. 北京时域通科技有限公司, 北京 100193;)

摘要: 准确估测林木蒸腾是了解林木水分利用特征、实现精准水分管理的重要手段。基于木质部导热性的液流测量是估算林木蒸腾的有效方法。为了提高精准水分管理技术在白杨等大径材林培育中的可推广性和社会可接受度, 通过自主研发三种主流树干液流传感器包括热扩散液流探针、热比率液流探针和热场变形液流探针, 极大节约经济成本, 有利于开展大范围、多物种研究, 实现植物水分实时监测, 提高森林的集约经营水平。

关键词: 树干液流; 热扩散法; 热场变形法; 热比率法

中图分类号: S715.2

文献标识码:

1 传感器设计背景和应用价值

1.1 设计背景

液流是植物体内由于叶片的蒸腾作用引起的植物体失水, 从而引起水分通过木质部运输到叶片的过程^[1-2], 它决定了整个树冠的蒸腾量, 能够准确反映植物的蒸腾耗水状况及其对环境的响应^[3]。其中, 植物蒸腾中的90%以上来自茎干液流^[4-5]。因此, 茎干液流可以作为评估树木耗水特性以及研究树木水分传输机理的一项重要指标。

基于热力学方法的液流测量技术能够准确估算林木耗水量、了解干旱胁迫与植物生理响应, 被广泛用于林业、农业、水文学和生态生理学研究^[6]。主流液流测定仪器从热扩散、热场变形、热脉冲等角度来设计, 通过监测传感器周围能量变化进而反映树木液流速率。目前主流传感器均由国外科技公司率先研发应用, 国内公司多为代理商, 自主研发产品少, 国产化水平低。

1.2 应用价值

自主研发的国产化树干液流测定系统, 与国外同类产品相比, 性能相当, 但成本降低50%-60%。可实现云服务器平台的数据共享, 为研究者远程实时掌握林木的水分亏缺状态、预测液流变化趋势, 从而科学管理林木以及节水灌溉提供方法。

2 传感器研制与应用

2.1 传感器研发思路及试验设计

为了精准且连续的对林分蒸腾进行监测，对热扩散液流探针(Thermal Dissipation Probes, TDP)、热场变形液流探针(Heat Field Deformation, HFD)、热比率液流探针(Heat Ratio Method, HRM)共3项监测设备进行研发(表1)。设备研发主要经历四个阶段，分别为技术原理研究、材料与技术参数研究、产品对比测试、产品应用推广。

表1 三种基于热技术的树干液流测定系统

树干液流测定系统	测定指标	关键技术	优点
热扩散液流探针	液流	热电偶	使用方便、计算简单、适用性广
热场变形液流探针	双向液流	多位点热电偶	高时间分辨率的不同深度多位点测量，可精准测定高、低、零液流以及逆向液流
热比率液流探针	双向液流	多位点热电偶	低能耗、易于维修以及精准测定中低液流与逆向液流

设备研发完成后，对3项产品进行对比测试与田间监测应用。试验地位于山东省高唐县国有旧城林场(116°5'25"E, 36°48'47"N)，海拔30 m。属暖温带半干旱季风区域大陆性气候，年均降水量544.7 mm，降水主要集中在7-8月。试验地于2015年春季采用毛白杨无性系B301 植苗造林。

针对热扩散液流探针，选择6株毛白杨，样树胸径11~15 cm，测试时间为2020年5月27日-6月6日。在正北方向高1.1和1.3 m处分别安装国外同类探针(TDP-30, Dynamax, USA)和本项目研发STDP30探针，两组探针上下间距20 cm。为避免安装位置不同对测定结果的影响，于6月3日对两种类型探针的测定位置进行调换。

针对热场变形液流探针，选择3株毛白杨，位于胸径处左右安装2位点自研热场变形液流探针(测定位点深度分别为15和30 mm)，并在其下方30 cm处安装单测量位点的热扩散液流探针(TDP-30, Dynamax, USA)作为对比。

针对热比率液流探针，测试时间为2023年3~4月，选择1株胸径为14 cm的七叶树为对象，对自研双位点HRM液流探针进行测试，监测其茎干以及根系液流。2023年4月末，在以上试验基础上，在位于茎干处的自研HRM液流探针上方25 cm处安装国外同类探针(SFM1, ICT International PTY, Armidale, Australia)进行对比。