

杨树春夏季树干液流与耗水变化规律

李少宁¹, 陈波², 鲁绍伟¹, 潘青华¹, 张玉平¹, 王华¹

(1. 北京市农林科学院 林业果树研究所, 北京 100093; 2. 河北农业大学 林学院, 河北 保定 071000)

摘要:以北京市大兴区榆垓镇大兴林场沙地杨树人工林 107 欧美杨(*Populus × euramericanacv.* “74/76”)为研究对象,采用热扩散式探针(TDP)结合 HOBO 自动气象站,于 2011 年 3—7 月对杨树树干液流及林地环境因子进行连续观测。结果表明:杨树春夏季边材液流的日变化均呈单峰曲线,夏季液流每天启动的时间早于春季 3 h 左右,达到峰值的时间晚于春季 1 h 左右,迅速下降的时间晚于春季 2 h 左右,峰值和日平均液流速率小于春季;3—7 月的月平均液流通量介于 5.31~51.31 cm³/h;平均液流通量夏季(47.92 cm³/h) > 春季(35.72 cm³/h);日耗水量随胸径的增大而增加,与树干胸径和边材面积的相关性达极显著水平($p < 0.01$),相关系数分别为 0.956 和 0.984。杨树边材液流速率和液流通量的季节变化说明杨树夏季蒸腾量大,是水管理的关键时期。

关键词:杨树人工林;热扩散法;树干液流;耗水

中图分类号:S715.4

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2013)03-0167-05

Variation of Stem Sap Flow and Water Consumption of *Populus* in Spring and Summer

LI Shao-ning¹, CHEN Bo², LU Shao-wei¹, PAN Qing-hua¹, ZHANG Yu-ping¹, WANG Hua¹

(1. Forestry and Pomology Institute, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100093, China; 2. College of Forestry, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000, China)

Abstract: The environmental factors and stem sap flow dynamics of planted poplar (*Populus × euramericanacv.* “74/76”) were investigated through March to July 2011 with thermal dissipation probe (TDP) and the data from automatic weather station (HOBO). Results showed that the daily changes of sap flow exhibited single peak pattern both in spring and summer. Daily sap flow started 3 h earlier in summer than in spring, reached peak 1 h later in summer than in spring, and rapid decrease was 2 h later in summer than that in spring. Both maximum and average values of sap flow velocity were lower in summer than that in spring. Monthly sap flow velocity varied between 5.31 cm³/h and 51.31 cm³/h from March to July. The average sap flow (47.92 cm³/h) was higher in summer than that in spring (35.72 cm³/h). Daily water consumption significantly correlated with trunk diameter at breast height and sapwood area with the correlation coefficients of 0.956 and 0.984, respectively. Seasonal sap flow variation of poplar indicated that summer was the key period for water management due to high transpiration.

Key words: planted poplar; thermal dissipation probe; stem sap flow; water consumption

树木在发挥巨大生态效益的同时,维持自身生长发育需要消耗大量水分^[1],而水资源缺乏已经成为当今全球的突出问题,因此,树木的水分传输规律特别是整株树木的耗水量受到国内外树木水分生理学家、生态学家、林学家和园林学家的共同关注^[2-3]。树木整株耗水性的研究,影响造林树种的选择与林分结构

配置^[4]。目前关于树木耗水的测定方法很多,利用热量平衡原理设计的热扩散探针(Thermal Dissipation sap flow velocity Probe, TDP),可在自然条件下活体测定树木的液流量,能够准确反映出树木日及其季节尺度上的变化,具有操作简单、测量精度高的优点^[5-7],且可以做到对植物的无损伤测定。许多研究

者发现液流的速率和蒸腾的速率有很好的相关性^[8]。对林木整树耗水、估算和树干液流速率的研究已经很多,曹云等^[9]对南方红壤区杜仲(*Eucommia ulmoides*)树干液流动态的研究,赵奎等^[10]对盐池毛乌素沙地白榆树干液流进行了研究;但以往的研究将树干液流与蒸腾耗水单独进行研究的还很少见,也不够深入。因此,本文结合同步监测的环境因子,根据城市森林特殊的环境特点,以城市植被建设中常见的绿化树种杨树为研究对象,揭示杨树树干液流传输的变化规律,旨在了解和掌握杨树的日耗水和季节耗水规律,以期为华北地区杨树的水分利用、结构配置和合理灌溉提供理论依据。

1 试验地概况

研究地位于北京市大兴区榆垓镇大兴林场,北纬39°31'50",东经116°15'07",海拔30 m左右。属暖温带半湿润季风气候,春季干旱多风、夏季炎热多雨、秋季天高气爽、冬季寒冷干燥。年均温11.5℃,一年中最热月是7月,平均气温26℃,最高气温曾达40.6℃,最冷月是1月,平均气温-5.1℃,最低气温可达-27.4℃。≥10℃的积温4 143℃,年均无霜期204 d。年均降水量568.9 mm,且分布极不均匀,7—9月降水占全年降水的60%~70%。光照时间较长,全年光照时间达2 769.3 h,光照率达63%,全年太阳辐射量561 kJ/cm²。该区的风向以北风、西北风为主,冬、春两季风多、风速大。土壤为沙土。人工林内树种主要是107欧美杨(*Populus × euramericana* cv. "74/76"),其中,75%于2002年种植,其余为1998年、2001年和2003年种植,株行距为2 m×4 m。混交树种有杨树(*Robinia pseudoacacia*)。林分均匀整齐,林下为当年生草本植物,主要有紫苜蓿(*Medicago sativa*),黄香草木樨(*Melilotus officinalis*),猪毛菜(*Salsola collina*),尖头叶藜(*Chenopodium acuminatum*),灰菜(*Chenopodium album*),蒺藜(*Tribulus terrestris*),附地菜(*Trigonotis peduncularis*)等。

2 材料与方法

2.1 液流密度的测定

2.1.1 试验材料的选择 在样地每木检尺的基础上,选择试验地8棵标准样树(生长健康,环境一致,胸径差别不大),8棵样树平均胸径为19.54 cm,平均树高为15.36 m,平均边材面积为145.08 cm²。于2011年1月至2011年12月,应用热扩散式液流测

定系统进行连续测定。本研究从试验地内的8棵标准样树中选择4株不同大小的杨树样株作为研究对象,选取2011年3月1日—7月31日共5个月的数据进行分析。样木1为林分平均木,样木2~4用于径阶试验。

2.1.2 测定原理 树干边材液流速率用热扩散式边材液流探针TDP(Thermal Dissipation Probe)测定。该设备是Grenier开发出的一种探针式探测器,刺入茎内的木质芯材并接通恒定的电流以测定芯材的温差。TDP探头包括两个探针,将两个探针插入树干,上方探针持续加热,下方探针为环境探针,通过测量这两个固定距离的探针的温度之差,用Grani-er^[11]经验公式计算树干液流速率:

$$J_s = 0.0119 \times \left(\frac{dT_m - dT}{dT} \right)^{1.231}$$

式中: J_s ——液流速率(cm/s); dT_m ——分析日一天24 h内上下探针的最大温差值(℃); dT ——某时刻瞬时温差值(℃),即当时测定的温差值。

2.1.3 仪器安装 ① 选定样木并编号纪录;② 在东、西两个方位胸高处(1.3 m)先刮去粗树皮,用钻孔模板贴在去皮部位,用钻头钻孔,直至TDP探针可以方便插入为止;③ 将TDP 30探针小心插入孔中(含有红色导线的探针在上,两线探针在下),探针外围裹一圈胶泥;④ 将探针用泡沫块夹住,用胶带固定,之后在外面包裹绝缘防辐射材料,最后用胶带密封,以防止雨水进入;⑤ 将TDP馈线与数据采集器(ES-TDP-RR1016)连接,接通电源(12 V直流),组成完整的液流测定系统,设定并输入仪器工作参数(如树号、日期、时间等),数据采集间隔为10 min。

2.2 环境因子测定

实验林内设有美国HOBO自动气象站,用于实时监测空气温度、湿度(S-THB-M002, Ta/℃; RH/%),风速和风向[S-WCA-M003, w/(m/s)],光合有效辐射[S-LIA-M003, Rs/(μmol/m²/s)]、总辐射[S-LIB-M003, Rs/(W/m²)]、不同深度土壤温度(S-TMB-M006, T/℃)和土壤含水量(S-SMA-M005, SWC/%)、降雨量(S-RGB-M002, P/mm)等气象要素参数,所有传感器均与数据采集器相连。设定数据采集间隔为20 min。

2.3 样树边材面积确定

对8棵试验树进行测定,为避免对研究对象的伤害,选取样地中与研究对象大小最接近的杨树(胸径差别在0.5 cm以内),以生长锥取木芯,直尺测定边材厚度,同时测定其胸径和边材面积,分析二者关系(图1),将得到的边材面积作为测定样树的边材面

积。结果发现,胸径和边材面积之间存在着高度相关关系,可以用三次曲线较好地表示,其决定系数达到显著水平。

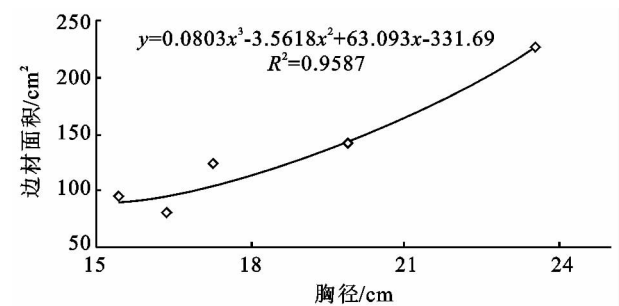


图1 胸径与边材面积的关系

2.4 液流通量计算

$$F_s=J_s\times A_s\times 3600$$

式中: F_s ——液流通量(cm^3/h); J_s ——液流密度[$\text{g}/(\text{cm}^2\cdot\text{s})$]; A_s ——边材面积(cm^2)。

2.5 整树耗水量计算

采用 TDP 30 传感器可以得到杨树边材厚度内的平均液流密度,故其整树耗水量的计算公式:

$$E_t=J_s\times A_s\times 3600\times 24/1000$$

式中: E_t ——整树耗水量(kg/d); J_s ——液流密度[$\text{g}/(\text{cm}^2\cdot\text{s})$]; A_s ——边材面积(cm^2)。

2.6 数据处理

采用 Excel 2003 和 SPSS 16.0 软件对杨树液流速率、液流通量日变化及季节变化,不同胸径液流速率变化及整树耗水变化进行绘图分析,对杨树单株日耗水量与胸径和边材面积进行相关性分析。

3 结果与分析

3.1 杨树液流速率日变化及季节变化

在 3—7 月,杨树各日液流速率的日变化图形非常密集,很难直观地对其日变化及季节变化动态进行具体分析与比较,所以从春季(5 月)和夏季(7 月)中分别选择 3 个连续晴天,用所选各日样木 1 的树干液流速率测定结果绘制图 2。从图 2 中可以看到,杨树液流速率的日变化为典型的单峰曲线,每日从 3:00—6:50 启动,10:00 左右达到峰值,液流达到峰值后仍

有较小幅度的波动,形成多个小峰组成的高峰。

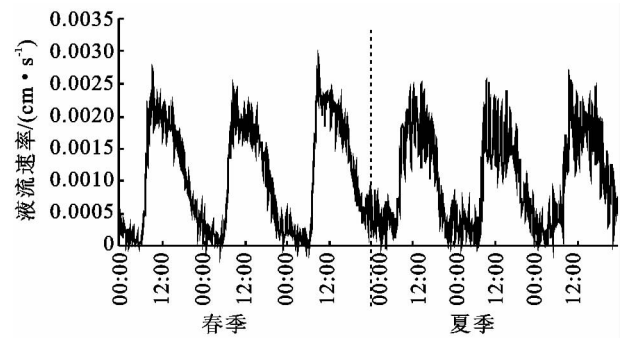


图2 杨树树干液流速率的日变化及季节变化

表 1 列出了所选各日能够表达曲线特征的指标,从树干液流启动时间来看,7 月启动较早,为 3:00,5 月启动较晚,为 6:40,即夏季(7 月)液流启动的时间要早于春季(5 月)3 h。液流启动的这种变化规律与太阳辐射开始增强的规律相吻合。

所选观测日太阳辐射开始增强的时间分别是:5 月 14 日 5:20、5 月 15 日 5:00、5 月 16 日 5:40、7 月 12 日 5:00、7 月 13 日 4:40、7 月 14 日 5:00。显然,7 月(夏季)太阳辐射开始增强的时间早于 5 月(春季),与液流启动变化规律一致。从达到峰值的时间来看,5 月较早,9:00 左右出现,7 月较晚,10:00 左右出现,即春季(5 月)早于夏季(7 月)1 h 左右,与液流启动变化规律不一致;从峰值和日平均液流速率来看,7 月较小,连续 3 个观测日的平均峰值为 0.002 54 cm/s ,日平均液流速率为 0.001 01 cm/s ;5 月较大,平均峰值为 0.002 68 cm/s ,日平均液流速率为 0.001 14 cm/s 。显然,夏季(7 月)的峰值和日平均液流速率均小于春季(5 月),分别为春季的 42.39%和 39.78%;从液流开始迅速下降的时间来看,7 月较晚,为 20:20 左右;5 月较早,为 18:10 左右,总趋势是夏季(7 月)晚于春季(5 月)2 h 左右。

综上所述,夏季的液流启动时间早于春季,达到峰值的时间和迅速下降的时间又晚于春季。显然,夏季液流高峰维持的时间长于春季,即夏季液流速率的曲线峰形明显宽于春季,但夏季的峰值和日平均液流速率却小于春季。

表1 杨树液流速率季节变化

季节	观测日期 (月-日)	液流启动 时间	液流峰值 时刻	峰值/ ($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$)	日均液流速率/ ($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$)	液流下降 时刻
春季	05-14	05:50	09:40	0.00270	0.00107	19:00
	05-15	05:20	09:00	0.00245	0.00100	18:10
	05-16	06:40	09:40	0.00290	0.00133	18:10
夏季	07-12	03:50	15:00	0.00250	0.00100	19:50
	07-13	03:00	09:50	0.00254	0.00094	20:20
	07-14	03:10	10:00	0.00256	0.00109	19:10

3.2 杨树液流通量月变化和季节变化

杨树的平均液流通量 5 月最大,为 $51.31\text{ cm}^3/\text{h}$,3 月最小,为 $5.31\text{ cm}^3/\text{h}$ 。2011 年 3—7 月平均液流通量排序为 5 月($51.31\text{ cm}^3/\text{h}$)>6 月($49.83\text{ cm}^3/\text{h}$)>7 月($46.01\text{ cm}^3/\text{h}$)>4 月($20.13\text{ cm}^3/\text{h}$)>3 月($5.31\text{ cm}^3/\text{h}$),5 月平均液流通量分别是 6 月的 1.03 倍、7 月的 1.14 倍、4 月的 2.55 倍、3 月的 9.67 倍。按季节比较,4 月、5 月为春季,6 月、7 月为夏季,则杨树春、夏季的平均液流通量分别为 $35.72, 47.92\text{ cm}^3/\text{h}$,夏季平均液流通量是春季的 1.34 倍,春季是夏季的 74.54%,春季<夏季。

3.3 杨树不同胸径树干液流变化

图 3 显示,在 2011 年 6 月 16 日—18 日,不同胸径杨树树干液流速率均呈单峰型,胸径最小为 16.87 cm 的杨树,其液流速率比其他胸径的杨树峰型窄,但液流速率值较大。

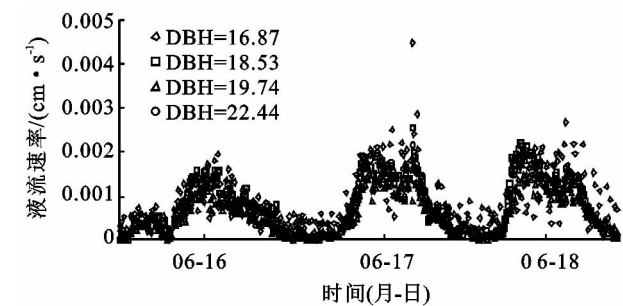


图 3 杨树不同胸径树干液流速率日变化

不同胸径杨树的边材液流速率在日周期内的启动时间基本一致,6 月 16 日均在 6:50 左右,6 月 17 日在 3:30 左右,6 月 18 日在 4:30 左右。但达到峰值的时间、峰值的大小、日平均液流速率和迅速下降的时间差异很大。胸径 16.87 cm 的杨树单株达到峰值时间明显晚于胸径 18.53,19.74,22.44 cm 的单株 0.5~5 h;胸径处于中间的 18.53 cm 单株达到峰值时间又明显早于 19.74,22.44 cm 单株 0.7~3 h;在 6 月 17 日这天不同胸径杨树液流速率达到峰值时间基本一致,均在 19:00 左右,晚于 6 月 16 日和 18 日这两天的峰值时间。胸径 16.87 cm 的单株,峰值和日平均液流速率明显大于其余 3 株被测单株;胸径 18.53,19.74,22.44 cm 单株的峰值和日平均液流速率基本相同,差异不显著。胸径 18.53 cm 和胸径 22.44 cm 单株液流迅速下降时间显著晚于其余两株被测单株 1.5~2.5 h,胸径 16.87 cm 和胸径 19.74 cm 的单株,液流迅速下降的时间也不一致,6 月 16 日均在 18:10,6 月 17 日胸径 16.87 cm 的单株在 19:20、胸径 19.74 cm 的单株在 19:30,6 月 18 日胸径 16.87 cm 的单株在 19:50、胸径 19.74 cm 的单株

在 20:10。可见,杨树边材液流速率的变化与胸径关系较大,胸径大的杨树其液流速率下降时间也较晚。

3.4 杨树不同胸径整树耗水变化

从图 4 可以看出,杨树单株的日耗水量随胸径的增大而增加。胸径 22.44 cm 的杨树单株日耗水量最大,日平均耗水量为 13.35 kg;胸径 19.74 cm 和胸径 18.53 cm 的单株日耗水量居中,分别为 8.85 kg 和 8.03 kg,后两者分别为前者的 66.29%和 60.15%;胸径 16.87 cm 的单株耗水量最小,日平均耗水量仅为 7.34 kg;胸径 22.44 cm 的单株耗水量是胸径 16.87 cm 的 1.68 倍。日平均耗水量排序为胸径 22.44 cm(13.35 kg)>胸径 19.74 cm(8.85 kg)>胸径 18.53 cm(8.03 kg)>胸径 16.87 cm(7.34 kg),日均耗水量的排序和胸径大小完全一致,即胸径越大,单株耗水量也越大,反之亦然。

用 SPSS 16.0 软件对杨树单株耗水量和不同胸径及边材面积进行相关因子分析,结果表明,杨树单株日耗水量与树干胸径和边材面积的相关性达到极显著水平($\text{Sig}=0.05$),相关系数分别为 0.956 和 0.984。

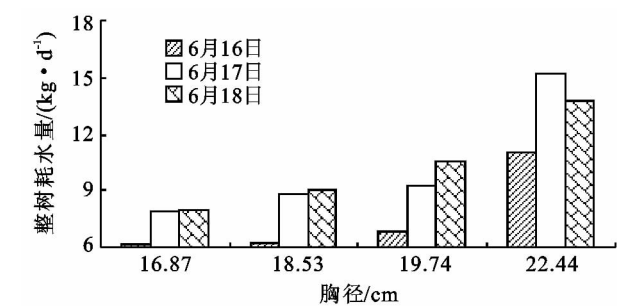


图 4 杨树日耗水量随胸径变化

4 讨论

4.1 杨树液流速率日季变化

杨树树干液流在达到高峰值后仍有较小波动,这与孙鹏森^[12]对刺槐树干液流的研究结果一致。19:30左右开始迅速下降,直至此日液流启动之前降至低谷,没有明显的液流停滞界限,夜间仍有较高的液流存在,介于 $0.0001\sim0.0009\text{ cm/s}$,这主要是由根压引起的。根压使水分以主动吸收的方式进入树体内,补充白天蒸腾失去的大量水分,以保持树木体内水分平衡。

清晨,随着太阳辐射的逐渐增强,空气温度逐渐升高,诱导杨树叶片气孔张开,光合与蒸腾逐渐增强,产生的蒸腾拉力带动液流启动^[13],夏季太阳较春季出来早,所以液流启动早。

4.2 杨树液流通量月季变化

夏季液流通量大于春季,这与樊敏等^[14]的研究

结果不一致。其原因一是因为夏季是杨树抽梢、展叶的季节,是生长的旺季,对水分的需求很大;二是与研究区地形、环境因子有关系,春季干旱多风,雨天比夏季少,多为多云天气,太阳辐射也较弱,光照不强,蒸腾弱;而夏季有效光合辐射强,多晴天,而晴天的蒸腾耗水速率又显著大于阴雨天,所以夏季的液流通量较大。

4.3 杨树不同胸径树干液流变化

不同胸径杨树树干液流速率均呈单峰型,值得注意的是,胸径 16.87 cm 杨树的边材液流速率曲线峰形较窄,其余 3 株胸径较大的杨树边材液流速率曲线峰形较宽,这是由于树体水容在树冠蒸腾过程中的调节作用造成的。胸径较小的杨树,树体水容小,可供蒸腾的水少,故峰形较窄;反之,胸径较大的杨树,树体水容大,可供蒸腾的水多,故峰形较宽。

4.4 杨树不同胸径耗水变化

杨树单株日耗水量随胸径的增大而增加,与树干胸径和边材面积的相关性达极显著水平,相关系数分别为 0.956 和 0.984,这与王华田^[15]对侧柏(*Platycladus orientalis*)的研究结果和王瑞辉等^[16]对元宝枫(*Acer truncatum*)的研究结果相同。这为实现杨树从单株到群体的尺度扩展提供了条件。在研究林木群体耗水量时,只要找出群体内单株耗水量与边材面积随胸径的分布规律,就可以估算群体的现实耗水量,从而实现单株到群体的尺度扩展。

5 结论

杨树春夏季边材液流的日变化呈宽峰形曲线,夏季液流每天启动的时间早于春季 3 h 左右,达到峰值的时间晚于春季 1 h 左右,峰值和日平均液流速率小于春季,迅速下降的时间晚于春季 2 h 左右。3—7 月平均液流通量,按月比较,5 月最大,为 51.31 cm³/h,3 月最小,为 5.31 cm³/h;按季节比较,春季的平均液流通量为 35.72 cm³/h,小于夏季的 47.92 cm³/h。

杨树不同胸径边材液流速率的变化与胸径关系较大,胸径小的边材液流速率曲线峰形较窄,胸径大的边材液流速率曲线峰形较宽;日周期单木耗水量随树干胸径的增大而增加,与树干胸径和边材面积相关显著。杨树边材液流速率和液流通量的季节变化说明杨树夏季蒸腾量大,是水管理的关键时期。

了解和掌握了杨树的日耗水规律和季节耗水规律,就可以结合同步监测的环境因子构建液流通量与环境因子的关系模型,进而根据北京市气候和土壤水分状况的季节和年周期变化规律,预测和计算杨树单

株日、月和季节蒸腾耗水量和需水量,提出精准的灌溉方案,制定合理的灌溉制度。

参考文献:

- [1] 杨芝歌,史宇,余新晓,等.北京山区典型树种树干液流特征及其对环境因子的响应研究[J].水土保持研究,2012,19(2):194-199.
- [2] 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.
- [3] Tatarinov F A, Kucera J, Cienciala E. The analysis of physical background of tree sap flow measurement based on thermal methods[J]. Measurement Science and Technology,2005,16(5):1157-1169.
- [4] Wullschlegel S D, Meinzer F C, Vertessy R A. A review of whole plant water use studies in tree[J]. Tree Physiology,1998,18(8/9):499-512.
- [5] Lambs L, Muller E. Sap flow and water transfer in the Garonne River riparian woodland, France; first results on poplar and willow[J]. Annual of Forest Science,2002,59(3):301-315.
- [6] Grime V L, Morison J I L, Simmonds L P. Including the heat storage term in sap flow measurements with the stem heat balance method[J]. Agriculture and Forest Meteorology,1995,74(1/2):1-25.
- [7] Granier A. Evaluation of transpiration in a Douglas fir stands by means of sap flow measurements[J]. Tree Physiology,1987,3(4):309-320.
- [8] Kramer P J, Boyer J S. Water Relations of Plants and Soils[M]. London: Academic Press Inc, 1995.
- [9] 曹云,黄志刚,欧阳志云,等.南方红壤区杜仲(*Eucommia ulmoides*)树干液流动态[J].生态学报,2006,26(9):2887-2895.
- [10] 赵奎,丁国栋,原鹏飞,等.盐池毛乌素沙地白榆树干液流研究[J].水土保持研究,2008,15(6):85-88.
- [11] Granier A, Hue R, Barigah T. Transpiration of natural rain forest and its dependence on climatic factors[J]. Agricultural and Forest Meteorology,1996,78(1/2):19-29.
- [12] 孙鹏森.京北水源保护林树种不同尺度耗水特性及林分配置的研究[D].北京:北京林业大学,2001.
- [13] 武维华.植物生理学[M].北京:科学出版社,2003.
- [14] 樊敏,马履一,王瑞辉.刺槐春夏季树干液流变化规律[J].林业科学,2008,44(1):41-45.
- [15] 王华田.北京市水源保护林区主要树种耗水性研究[D].北京:北京林业大学,2002.
- [16] 王瑞辉,马履一,奚如春.元宝枫生长旺季树干液流动态及影响因素[J].生态学杂志,2006,25(3):231-237.