

浑善达克沙地榆树干液流动态研究

王晶苑¹, 蒋高明², 刘美珍²

1. 中国科学院地理科学与资源研究所生态系统网络观测与模拟重点实验室千烟洲生态试验站, 北京 100101
2. 中国科学院植物研究所植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093

摘要 应用 Granier 热扩散技术对内蒙古浑善达克沙地榆 (*Ulmus pumila* var. *sabulosa*) 疏林林分进行树干液流通量研究。选择该区占林分 80% 以上林木的 3 种胸径级 (小径级, 15—25cm; 中等径级, 25—35cm; 大径级, >35cm) 榆树, 使用 Granier 探针进行每隔 15min 的树干液流测定, 同步测定各林分环境因子。林分中不同胸径级榆树树干液流通量特征表现为: 树干液流密度峰值大径级树>中等径级树>小径级树, 且差异明显; 大径级树由于林龄较大, 液流密度曲线变化平缓, 没有明显的峰值, 呈弧形曲线; 液流密度随季节推移在生长季中液流密度均值逐渐减小, 在生长季末期 (10 月) 基本处于微弱波动状态。液流通量最大月平均值一般出现在 6—8 月, 不同径级树月液流通量变化差异较大。对样木的日液流通量比较发现, 胸径对液流有显著影响。对不同胸径树木各种影响较大的环境因子为饱和水汽压差 (VPD), 光合有效辐射 (PAR), 气温 (Ta); 在不同生长季节, 对不同胸径类型树木起主要作用的环境因子也不尽相同, 但是 PAR 和 VPD 是其中起主要作用的两个因子。

关键词 树干液流通量; 边材; 环境因子; 热扩散技术

中图分类号 Q14

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.25.008

Sap Flow Dynamics of *Ulmus pumila* var. *sabulosa* in Hunshandake Sandland

WANG Jingyuan¹, JIANG Gaoming², LIU Meizhen²

1. Qianyanzhou Station, Key Laboratory of Ecosystem Network Observation and Modeling, Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China
2. State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China

Abstract Sap flux density of *Ulmus pumila* var. *sabulosa* in typical elms sparse forest in Hunshandake Sandland of Inner Mongolia was studied by using Granier technology. Nine dominant trees with different Diameters at Breast Height (DBH) which belong to three classes of DBH, that is, 15—25cm (small DBH), 25—35cm (medium DBH) and >35cm (large DBH), respectively in natural forest were selected and measured in terms of sap flux density. At the same time, various environmental factors including air temperature, relative humidity, photosynthetically active radiation, and wind speed were monitored in the whole growing season. The sap flow characteristics of forest stand are: sap flow density peak value of large DBH is larger than that of medium DBH tree and then small DBH tree. Sap flow density of large DBH trees change gently because age of stand. Average monthly sap flow density is less with the shift of growing season; the sap flow density enters into the state of weakly fluctuation in the end of growing season (October). The maximum value of average monthly sap flow density for varied tree species appears from June to August, the differences among dominant, medium and small trees are large. The main influence environmental factors are VPD, PAR, Ta. At different months, the dominant environmental factors have changed, but the two main factors are PAR and VPD.

Keywords sap flow density; sap wood; environmental factors; thermal dissipation probe

收稿日期: 2011-07-15; 修回日期: 2011-08-17

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40501009)

作者简介: 王晶苑, 助理研究员, 研究方向为生态系统生态学, 电子邮箱: wangjy@igsnr.ac.cn



0 引言

水分是制约干旱半干旱地区植物分布和生长发育的主要因子^[1-2],它参与并影响生态系统的能量流动和物质循环^[3]。天然植被是干旱半干旱区水土流失和土地荒漠化的主要调控者^[4],在长期干旱胁迫的过程中它们普遍形成了一些特殊的水分利用机制以响应土壤水分的变化,如干旱胁迫时植物能降低蒸腾速率^[5]、提高渗透势^[6]、改变水力结构^[7-8]、扩展根系^[9]、落叶^[10]等,而这些生理反应与从土壤到植物地上部之间的水分传输紧密相关^[11]。对于木本植物这种水分传输被称为“木质部茎流(xylem sap flow)”,尤其是高大木本植物的木质部茎流不仅直接反映植物的水分状况,同时也是土壤水分动态的体现^[12]。

以森林生态系统为主体的植被在 SPAC (土壤—植被—大气)连续体中处于核心位置^[13],而森林生态系统在维持全球水循环和水平衡中起着十分关键的作用^[14]。森林覆盖区域面积大,对区域能量和水分通量有着重要贡献^[15]。森林蒸腾作为森林水分循环的主要输出分量,直接受到气候的影响。同时,植被水分利用导致的蒸腾变化和植被组成导致的蒸发变化也改变着区域和全球尺度的气候和水分循环^[16]。虽然过去十几年大量关于各种林分条件(年龄、物种、位置和气候等)下定量化森林蒸发散及其时空变异的研究一直有所报道^[17-18],但是对森林这样一个复杂的生态系统进行森林蒸腾量的估算是很难的,森林蒸腾作为森林蒸发散的主要组成部分,决定着森林蒸发散的量及主要过程。

浑善达克沙地是中国的四大沙地(科尔沁沙地、呼伦贝尔沙地、毛乌素沙地和浑善达克沙地)之一,是北京、天津等地区生态安全屏障^[19],属于半干旱区。作为乔木植物,榆树(*Ulmus pumila* var. *sabulosa*)广泛分布于中国的四大沙地,其中以浑善达克沙地分布数量最多、面积最广,因此榆树成为浑善达克沙地疏林景观的主要构建者和生态系统的维护者^[20-21]。目前对天然榆树疏林在维持沙地生态系统的稳定性和水分格局方面的研究尚不足,而在整个区域内约有 30% 的 30—70 年林龄的天然榆树被砍伐用于建设围栏^[22],已造成该区的沙丘活化和流动沙丘面积增加。在该地区大面积的榆树疏林中,榆树从直径只有 2mm 的 1 年生幼苗到胸径为 140cm 的多年生大树均有存在,平均每公顷约有 100 棵榆树,生长在固定沙丘上的大部分榆树的根系主要分布在 1m 左右^[23],这远没有达到地下水水位,而这里的年平均降雨量也只有 350mm 左右^[24],从理论上说是不足以维持大量乔木生长,但已有的研究表明不同径级榆树单叶水平的蒸腾速率存在显著差异^[6],这可能确保了榆树在降雨量较低的地方也能存活。

树木的胸径对液流的影响程度到底有多大,以及哪些环境因子对树干液流起主要影响,直接影响了对森林生态系统蒸腾作用的评价结果。因此对林木树干液流的测定结果在准确定位森林生态系统于区域水文循环中的作用,区别不同胸径树种的蒸腾耗水差异及其季节动态,以及从生理生态学角度解释不同树种、不同季节和不同环境条件下的蒸腾耗水机

理问题等方面至关重要。该测定结果也将进一步推进节水林业的发展,为更加科学合理地制定森林经营方案和选择造林节水树种提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样地介绍

试验地位于浑善达克地区沙地南缘的榆树疏林区,坡度 10°—15°,平均海拔高度 1350m。该地区内土壤类型主要是栗钙土、风沙土、草甸土,成土母质多以风积、冲积沙为主。试验区域内植物群落结构比较简单,只分布有榆树一种乔木。除此外只有少量灌木和一些草本植物,如:锦鸡儿(*Caragana microphylla*)、羊草(*Leymus chinensis*)、狗尾草(*Setaria spp.*)、苔草(*Carex spp.*)、灰绿藜(*Chenopodium glaucum*)、委陵菜(*Potentilla spp.*)、蒿属(*Artemisia spp.*)、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)、克氏针茅(*Stipa krylovii*)和无芒雀麦(*Brumus inermis*)等,沙丘上主要是沙米(*Agriophyllum pungens*)、猪毛菜(*Salsola spp.*)和虫实(*Corispermum spp.*)。

1.2 研究对象

测定的主要林分为榆树天然疏林。通过对 35hm² 面积的林地进行林分调查,得出榆树胸径范围为 15—25cm 共计 360 棵,25—35cm 共计 240 株,35—45cm 共计 104 棵,>45cm 共计 22 棵,因此确定大径级树为胸径大于 35cm 的树,中等径级树为胸径在 25—35cm 之间的树,小径级树为胸径在 15—25cm 的树。

在样地内选择 9 株不同胸径的具有代表性的榆树作为样木,测定树干液流,样木的基本性状指标见表 1。

表 1 被测样木基本信息
Table 1 Basic information of the *Ulmus* trees samples measured

样木号	直径/cm	高度/m	边材 厚度/cm	边材 面积/cm ²	树冠 面积/m ²
1	21.34	14	1.43	89.72	12.56
2	17.21	7.8	1.51	74.44	9.60
3	24.25	8.5	1.65	117.09	12.2
4	29.94	15	2.2	191.60	28.26
5	30.25	9.8	2.3	201.86	35.50
6	26.42	10.5	2.0	153.36	14.0
7	57.32	17	2.84	486.22	50.24
8	45.13	13.5	2.65	353.48	44.0
9	39.93	12.3	2.40	282.83	43.2

1.3 实验设计

按榆树树干径级分类,选择大(>35cm)、中(25—35cm)、小(15—25cm)径级的榆树各 3 棵,将按照 Granier 原理设计的 TDP(热扩散探针)安装在榆树树干的距地面 1.3m 处。边材面积是计算液流及蒸腾的关键参数,也是估算林分冠层液流

通量的首要参数。在实际操作中,无法在不砍伐树木的情况下直接测定边材面积,因此只能通过测定边材厚度来求算边材面积。而测定边材厚度需在树干上用生长锥钻较大的洞,为避免对样树造成伤害,在林分样地内另外随机选取 12 棵生长状况良好的样木进行钻样,同时边材的有效深度是靠木材的半透明性在视觉上确定的。为了计算整个林分水平的边材总面积,用生长锥测定其胸高处边材厚度,量取其胸径,同时测定树皮厚度,然后由边材厚度求算边材面积^[2]。

1.4 数据处理方法

由于热扩散探针持续加热,每分钟采集一次数据,利用 Dynamax 公司提供的 Excel 宏软件对原始温差数据(dT)进行处理分析,将每分钟的值相加作为这一小时的数据。选择样木时大、中、小 3 种胸径级树各选择了 3 株,所以在计算时将各胸径级 3 株样木的数据进行平均处理,得出大径级树、中等径级树和小径级树每小时的数据。在分析季节动态时,将每小时的数据进行累加,得到每日的液流通量 (Sap Flow Density, SFD) 数据。处理数据公式如下:

$$K=(dT_M-dT)/dT \quad (1)$$

$$V=0.0119K^{1.231} \quad (2)$$

$$F_s=3600A_sV \quad (3)$$

其中, dT 为 TDP 探针的温度差 ($^{\circ}\text{C}$), dT_M 为液流为 0 时的温度差 ($^{\circ}\text{C}$), V 为液流密度 (cm/s), F_s 为液流量 (cm^3/h), A_s 为边材面积 (cm^2)。

2 结果与分析

2.1 榆树树干液流密度日动态

以 2006 年 8 月 5—7 日连续 3 个晴天的榆树大、中、小径级树干液流密度数据为代表,描述榆树树干液流密度日动态变化。其间最高气温 28.1°C ,最低气温 12.3°C ,平均相对湿度为 75.43%,饱和水汽压差 VPD 为 0.07—0.15kPa。样木木质部平均面积分别为 374.18,182.27 和 93.75cm^2 。从图 1 可见,榆树树干液流密度变化呈明显的单峰曲线,具有明显的昼夜节律性。其原因可能是由于白天气温较高,树木蒸腾量较大,大量的水分通过根部被吸入植物体内,通过叶片进行蒸腾;夜间温度降低,蒸腾拉力减小,树木蒸腾量减小,水分通过根压以主动形式进入植物体,补充白天蒸腾的水分损耗。所以,夜晚液流密度极小甚至达到 0,而每天约从清晨 7:00 开始加快流动,12:00—14:00 达到峰值。连续 3d 榆树大、中、小径级树的液流密度最大值分别为 0.018,0.011 和 0.004cm/s 。从图 1 还可以看出,不同径级的榆树树干液流密度变化趋势较为一致,但数值差异比较显著。

2.2 榆树树干液流的季节动态

分析日液流通量季节变化发现,榆树大、中、小径级树有十分相似的液流密度变化规律。进一步分析榆树树干液流的季节动态,如图 2 所示,可得如下结论:6 月下旬至 7 月中旬 (172—202d),日液流通量相对较低,数值相对平稳,大、小径

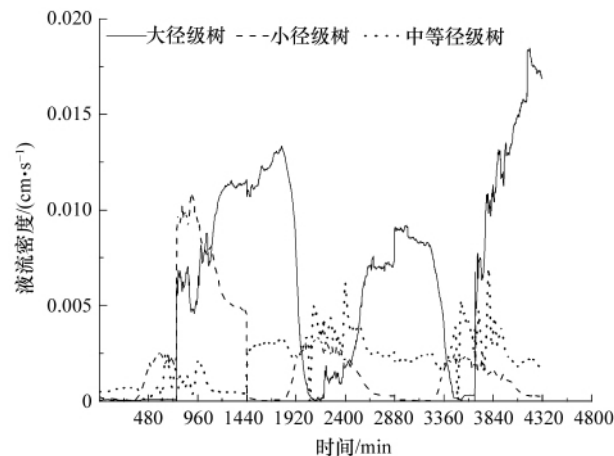


图 1 样本榆树 8 月 5—7 日的液流密度

Fig. 1 Sap flow density of *Ulmus* in Aug. 5—7

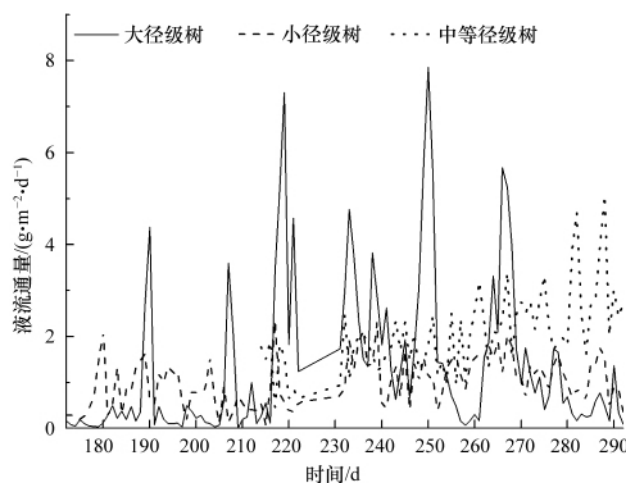


图 2 榆树日液流通量季节变化 (6—10 月)

Fig. 2 Seasonal pattern of diurnal sap flow flux of *Ulmus*

级树日液流通量最大值分别为 $0.66, 2.08\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$; 最小值分别为 $0.04, 0.19\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$; 平均值分别为 $0.23, 0.83\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 。7 月下旬至 8 月底 (213—244d), 日液流通量明显增加, 大、中、小径级树日液流通量最大值分别为 $7.31, 2.34, 2.48\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$; 最小值分别为 $0.11, 0.06, 0.46\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$; 平均值分别为 $2.41, 1.06, 1.52\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 。这主要由于该时期降雨比较频繁, 土壤水分充足, 同时太阳辐射较强, 蒸腾拉力和时间充足, 导致液流通量增大。9 月份 (245—273d) 基本和 8 月维持同一水平, 大、中、小径级树日液流通量最大值分别为 $7.85, 2.03, 3.39\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$; 最小值分别为 $0.08, 0.40, 0.96\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$; 平均值分别为 $2.16, 1.30, 2.03\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 。10 月份 (277—292d) 属于生长季末期, 液流通量明显减小, 大、中、小径级树日液流通量最大值分别为 $1.72, 1.76, 5.06\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$; 最小值分别为 $0.10, 0.35, 1.63\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$; 平均值分别为 $0.61, 1.05, 2.80\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 。总体上看, 大径级树树干液流通量和中等径级树差异并不大, 但都明显大于小径级树, 这可能与落叶速度有关, 因为在生长季节后期, 大径级树的落叶进程比小径级数更慢,



从而保证树干液流通量的稳定。

2.3 榆树树干液流与环境因子的关系

2.3.1 榆树生长季节前期(172—212d)

2.3.1.1 相关分析

利用所测定的液流数据,分别对榆树大、中、小径级树树干液流变化与主要环境因子进行相关分析。从表 2 相关分析

结果来看,3 种径级树木均与降雨量呈反向相关,中等径级树和小径级树对光合有效辐射 (Photosynthetically Active Radiation, PAR) 和水汽压差 (Vapour Pressure Deficit, VPD)、平均风速的相关关系一致,而且对 PAR 和 VPD 的相关系数较高。PAR 和 VPD 是影响榆树树干液流通量的主要因子,其中最明显的是小径级树,相关系数最高。

表 2 生长前期液流量与主要环境因子之间的 Pearson 相关系数 ($P<0.01$)

Table 2 Pearson correlation coefficient between early growth phase SFD and main environmental factors ($P<0.01$)

榆树	平均温度	最高温度	最低温度	平均湿度	降雨量	平均风速	VPD	VPD _{max}	VPD _{min}	PAR
大径级树	0.34	0.35	0.03	-0.18	-0.07	0.4	0.23	0.27	0.18	0.22
中等径级树	-0.06	0.43	-0.48	-0.67	-0.21	0.37	0.68	0.67	0.32	0.44
小径级树	-0.32	-0.09	-0.3	-0.32	-0.03	0.32	0.22	0.25	0.41	0.43

2.3.1.2 回归分析

环境因子对照关系: X_1 ,平均温度; X_2 ,最高温度; X_3 ,最低温度; X_4 ,平均湿度; X_5 ,降雨量; X_6 ,大气压; X_7 ,平均风速; X_8 ,VPD; X_9 ,VPD_{max}; X_{10} ,VPD_{min}; X_{11} ,PAR。采用逐步回归分析,剔除影响较小的因子,可得出树木液流通量的最优方程为

大径级树: $Y=-0.62+1.25X_7$

中等径级树: $Y=-0.05+1.49X_8$

小径级树: $Y=2.74-0.10X_2+3.54X_{10}$

可以得出结论,在生长季节前期,大径级树的最大影响因子是平均风速,中等径级树的最大影响因子是 VPD,小径

级树的最大影响因子是 VPD_{min} 和最高温度。

2.3.2 榆树生长季节中后期(213—273d)

2.3.2.1 相关分析

利用所测定的液流数据,分别对榆树大、中、小径级树树干液流变化与主要环境因子进行相关分析。从表 3 相关分析结果来看,3 种径级树木均与降雨量呈正向相关,中等径级树与小径级树对 PAR 和 VPD、平均风速、温度、降雨量的相关关系一致,而且对最高温度和 VPD 的相关系数较高。最高温度和 VPD 是影响榆树树干液流通量的主要因子,其中最明显的是中等径级树,相关系数最高。

表 3 生长中后期液流量与主要环境因子之间的 Pearson 相关系数 ($P<0.01$)

Table 3 Pearson correlation coefficient between intermediate to final growth phase SFD and main environmental factors ($P<0.01$)

榆树	平均温度	最高温度	最低温度	平均湿度	降雨量	平均风速	VPD	VPD _{max}	VPD _{min}	PAR
大径级树	-0.22	-0.17	0.03	-0.18	0.69	0.34	-0.08	-0.06	-0.11	-0.25
中等径级树	0.49	0.55	0.19	0.32	0.02	-0.32	0.55	0.63	-0.07	0.20
小径级树	0.08	0.208	-0.20	-0.20	0.11	-0.25	0.24	0.29	-0.13	0.04

2.3.2.2 回归分析

采用逐步回归分析,剔除影响较小的因子,可以得出树木液流通量的最优方程:

大径级树: $Y=-1.75+0.52X_5+0.61X_7+0.84X_9$

中等径级树: $Y=0.93+0.55X_9-0.00093X_{11}$

小径级树: $Y=2.21-0.09X_5+0.65X_9-0.002X_{11}$

可以得出结论,在生长季节中后期,对大径级树树干液流量影响最大的环境因子是 VPD_{max}、平均风速、降雨量;中等径级树树干液流通量的影响因子最大的是 VPD_{max};小径级树树干液流通量的影响因子最大的是 VPD_{max}。

作用,虽然在整个生长季节起影响的环境因子有差异,但其中的关键因子为 VPD、PAR 与气温,同时胸径大小对榆树生长期内树干液流通量的影响也十分显著。

参考文献 (References)

[1] Etherington J R. Environment and plant ecology[M]. London: John Wiley and Sons, 1975.
[2] Vogiatzakis I N, Griffiths G H, Mannion A M. Environmental factors and vegetation composition, Lefka Ori Massif, Crete, S. Aegean [J]. *Global Ecology and Biogeography*, 2003, 12(2): 131-146.
[3] 魏天兴, 朱金兆, 张学培. 晋西南黄土区刺槐油松林地耗水规律的研究[J]. 北京林业大学学报, 1998, 20(4): 36-40.
Wei Tianxing, Zhu Jinzhao, Zhang Xuepei. *Journal of Beijing Forestry University*, 1998, 20(4): 36-40.
[4] Glenn E P, Nagler P L. Comparative ecophysiology of Tamarix

3 结论

通过本研究发现,环境因子对榆树树干液流起重要影响

- ramosissima and native trees in western US riparian zones[J]. *Journal of Arid Environments*, 2005, 61(3): 419-446.
- [5] Addington R N, Mitchell R J, Oren R, *et al.* Stomatal sensitivity to vapor pressure deficit and its relationship to hydraulic conductance in *Pinus palustris*[J]. *Tree Physiology*, 2004, 24(5): 561-569.
- [6] Liu M Z, Jiang G M, Li Y G, *et al.* Leaf osmotic potentials of 104 plant species in relationship to habitats and plant functional types (PFTs) in Hunshandak Sandland, Inner Mongolia, China[J]. *Trees*, 2003, 17 (6): 554-560.
- [7] Comstock J P. Variation in hydraulic architecture and gas-exchange in two desert sub-shrubs, *Hymenoclea salsola*(T.&G.) and *Ambrosia dumosa* (Payson)[J]. *Oecologia*, 2000, 125(1): 1-10.
- [8] 李吉跃, 翟洪波. 木本植物水力结构与抗旱性[J]. 应用生态学报, 2000, 11(2): 301-305.
Li Jiye, Zhai Hongbo. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(2): 301-305.
- [9] Batanouny K H. Water economy of desert plants[M]//Halasi-Kun G J ed. *Pollution and Water Resources*. Pergamon, Oxford: Columbia University Seminar Series, 1980: 167-177.
- [10] Pallardy S G. *Physiology of woody plants* [M]. 3rd ed. New York: Academic Press, 2007.
- [11] Cienciala E, Lindroth A. Gas-exchange and sap flow measurements of *Salix viminalis* trees in short-rotation forest. I. Transpiration and sap flow[J]. *Trees*, 1995, 9(5): 289-294.
- [12] 谢东锋, 马履一, 王华田. 树木边材液流传输研究述评[J]. 江西农业大学学报, 2004, 26(1): 149-153.
Xie Dongfeng, Ma Luyi, Wang Huatian. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2004, 26(1): 149-153.
- [13] Arnell N W. Climate change and global water resources[J]. *Global Environmental Change -Human and Policy Dimensions*, 1999, 9 (S5): S31-S49.
- [14] IPCC. Climate change: The science basis [M]//Impact, Adaptation and Vulnerability. United Kingdom and New York NY USA: Cambridge University Press, 2007.
- [15] Lankreijer H J M. The water balance of forests under elevated atmospheric CO₂[D]. Groningen: State University of Groningen, 1998: 137-138.
- [16] Granier A, Biron P, Lemoine D. Water balance, transpiration and canopy conductance in two beech stands [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2000, 100(4): 291-308.
- [17] Granier A, Loustau D, Breda N. A generic model of forest canopy conductance dependent on climate, soil water availability and leaf area index[J]. *Annals of Forest Science*, 2000, 57(8): 755-765.
- [18] Petzold R, Schwärzel K, Karl-Heinz F. Transpiration of a hybrid poplar plantation in Saxony (Germany) in response to climate and soil conditions[J]. *European Journal of Forest Research*, 2010, 130(5): 695-706.
- [19] Wang T, Zhu Z D. Progress in desertification research in China[M]//Integrated Land Management in Dry Areas. Tokyo, Japan: The United University, 2001.
- [20] 刘建, 朱选伟, 于飞海, 等. 浑善达克沙地榆树疏林生态系统的空间异质性[J]. 环境科学, 2003, 24(4): 29-34.
Liu Jian, Zhu Xuanwei, Yu Feihai, *et al.* *Environment Science*, 2003, 24(4): 29-34.
- [21] 王玉魁, 杨文斌, 卢琦, 等. 半干旱典型草原区白榆防护林的密度与生物量试验[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(11): 144-150.
Wang Yukui, Yang Weibin, Lu Qi, *et al.* *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2010, 24(11): 144-150.
- [22] 李永庚, 蒋高明, 高雷明, 等. 人为干扰对浑善达克沙地榆树疏林的影响[J]. 植物生态学报, 2003, 27(6): 829-834.
Li Yonggeng, Jiang Gaoming, Gao Leiming, *et al.* *Chinese Journal of Ecology*, 2003, 27(6): 829-834.
- [23] 李红丽, 董智, 王林和, 等. 浑善达克沙地榆树根系分布特征及生物量研究[J]. 干旱区资源与环境, 2002, 16(4): 99-105.
Li Hongli, Dong Zhi, Wang Linghe, *et al.* *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2002, 16(4): 99-105.
- [24] 朱震达, 吴正, 刘恕. 中国沙漠概论[M]. 北京: 科学出版社, 1980.
Zhu Zhenda, Wu Zheng, Liu Shu. Overview of desert in China[M]. Beijing: Science Press, 1980.

(责任编辑 马骁骁)

·学术动态·

“中国公路养护技术大会”征文



中国公路学会主办的“中国公路养护技术大会”将于 2011 年 12 月 1 日在北京召开。

征文范围: 公路路面及路基养护技术; 公路预防性养护技术; 冬季除雪保通新技术; 公路养护体制及运行机制改革探索。

论文截止日期: 2011 年 11 月 10 日。

电话: 010-64956336。

电子信箱: e_gaohong@126.com。

会议网站: <http://www.chts.cn/info.php?articleid=861>。