

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第12期 Vol.31 No.12 **2011**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 12 期

2011 年 6 月 (半月刊)

目 次

基于植被遥感的西南喀斯特退耕还林工程效果评价——以贵州省毕节地区为例	李 昊, 蔡运龙, 陈睿山, 等 (3255)
扩散对破碎化景观上宿主-寄生种群动态的影响	苏 敏 (3265)
湿地功能评价的尺度效应——以盐城滨海湿地为例	欧维新, 叶丽芳, 孙小祥, 等 (3270)
模拟氮沉降对杉木幼苗养分平衡的影响	樊后保, 廖迎春, 刘文飞, 等 (3277)
中国东部森林样带典型森林水源涵养功能	贺淑霞, 李叙勇, 莫 菲, 等 (3285)
山西太岳山油松群落对采伐干扰的生态响应	郭东罡, 上官铁梁, 白中科, 等 (3296)
长期施用有机无机肥对潮土微生物群落的影响	张焕军, 郁红艳, 丁维新 (3308)
云南元江干热河谷五种优势植物的内生真菌多样性	何彩梅, 魏大巧, 李海燕, 等 (3315)
塔里木河中游洪水漫溢区荒漠河岸林实生苗更新	赵振勇, 张 科, 卢 磊, 等 (3322)
基于 8hm 样地的天山云杉林蒸腾耗水从单株到林分的转换	张毓涛, 梁凤超, 常顺利, 等 (3330)
古尔班通古特沙漠土壤酶活性和微生物量氮对模拟氮沉降的响应	周晓兵, 张元明, 陶 冶, 等 (3340)
Pb 污染对马蔺生长、体内重金属元素积累以及叶绿体超微结构的影响	原海燕, 郭 智, 黄苏珍 (3350)
春、秋季节树干温度和液流速度对东北 3 树种树干表面 CO ₂ 释放通量的影响	王秀伟, 毛子军, 孙 涛, 等 (3358)
云南南部和中部地区公路旁紫茎泽兰土壤种子库分布格局	唐樱殷, 沈有信 (3368)
利用半球图像法提取植被冠层结构特征参数	彭焕华, 赵传燕, 冯兆东, 等 (3376)
黑河上游蝗虫与植被关系的 CCA 分析	赵成章, 周 伟, 王科明, 等 (3384)
额尔古纳河流域秋季浮游植物群落结构特征	庞 科, 姚锦仙, 王 昊, 等 (3391)
九龙江河口浮游植物的时空变动及主要影响因素	王 雨, 林 茂, 陈兴群, 等 (3399)
东苕溪中下游河岸类型对鱼类多样性的影响	黄亮亮, 李建华, 邹丽敏, 等 (3415)
基于 RS/GIS 公路路域水土流失动态变化的研究——以榆靖高速公路为例	陈爱侠, 李 敏, 苏智先, 等 (3424)
流域景观结构的城市化影响与生态风险评价	胡和兵, 刘红玉, 郝敬锋, 等 (3432)
基于景观格局的锦州湾沿海经济开发区生态风险分析	高 宾, 李小玉, 李志刚, 等 (3441)
若尔盖高原土地利用变化对生态系统服务价值的影响	李晋昌, 王文丽, 胡光印, 等 (3451)
施用鸡粪对土壤与小白菜中 Cu 和 Zn 累积的影响	张 妍, 罗 维, 崔晓勇, 等 (3460)
基于 GIS 的宁夏灌区农田污染源结构特征解析	曹艳春, 冯永忠, 杨引禄, 等 (3468)
底墒和种植方式对夏大豆光合特性及产量的影响	刘 岩, 周勋波, 陈雨海, 等 (3478)
不同施肥模式调控沿湖农田无机氮流失的原位研究——以南四湖过水区粮田为例	谭德水, 江丽华, 张 骞, 等 (3488)
丛枝菌根真菌对低温下黄瓜幼苗光合生理和抗氧化酶活性的影响	刘爱荣, 陈双臣, 刘燕英, 等 (3497)
外源半胱氨酸对铜胁迫下小麦幼苗生长、铜积累量及抗氧化系统的影响	彭向永, 宋 敏 (3504)
专论与综述	
水平扫描技术及其在生态学中的应用前景	胡自民, 李晶晶, 李 伟, 等 (3512)
研究简报	
昆仑山北坡 4 种优势灌木的气体交换特征	朱军涛, 李向义, 张希明, 等 (3522)
不同比例尺 DEM 数据对森林生态类型划分精度的影响	唐立娜, 黄聚聪, 代力民 (3531)
苏南丘陵区毛竹林冠截留降雨分布格局	贾永正, 胡海波, 张家洋 (3537)
外来种湿地松凋落物对土壤微生物群落结构和功能的影响	陈法霖, 郑 华, 阳柏苏, 等 (3543)
深圳地铁碳排放量	谢鸿宇, 王习祥, 杨木壮, 等 (3551)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-06



封面图说: 自然奇观红海滩·辽宁省盘锦市——在辽河入海口生长着大片的潮间带植物碱蓬草, 举目望去, 如霞似火, 蔚为壮观, 人们习惯地称之为红海滩。粗壮的根系加快着海滩土壤的脱盐过程, 掉下的茎叶腐质后肥化了土壤, 它是大海的生态屏障。

彩图提供: 段文科先生 中国鸟网 <http://www.birdnet.cn> E-mail: dwk9911@126.com

基于 8hm^2 样地的天山云杉林蒸腾耗水 从单株到林分的转换

张毓涛^{1,*}, 梁凤超², 常顺利², 师庆东², 李翔¹, 芦建江¹

(1. 新疆林业科学院森林生态研究所, 新疆乌鲁木齐 830000;

2. 新疆大学资源与环境科学学院绿洲生态教育部重点实验室, 新疆乌鲁木齐 830046)

摘要: 为了准确地估算天山北坡中部天山云杉森林的林分蒸腾耗水量, 设置了 8hm^2 固定样地, 在每木调查的基础上, 通过对 7 株标准木连续晴天液流的观测, 得到胸径与液流速率和胸径与边材面积的拟合方程, 最终计算得到了林分的蒸腾耗水量, 确定了估算该森林群落蒸腾耗水的最小取样面积, 并且讨论了最小取样面积随样地位置的变化。结果表明: ①在自然生长系, 天山云杉林分最大蒸腾耗水量、平均蒸腾耗水量同种植密度呈 Extrem 函数分布; 当种植密度达到 $1200\text{株}/\text{hm}^2$ 时, 林分最大蒸腾耗水量达到最大, 为 $77.27\text{t}/\text{hm}^2\text{d}$; ②对林分蒸腾耗水量的测算存在明显的最小取样面积, 最小取样面积随取样点的不同而略有差异, 取样起始点在本 8hm^2 固定样地的上线和下线处时最小取样面积为 4hm^2 , 取样起始点在本 8hm^2 固定样地的中部时最小取样面积为 2.56hm^2 , 这对于更加精确地估算天山北坡天山云杉森林的蒸腾耗水量提供了理论依据。

关键词: 树干液流; 林分蒸腾耗水量; 尺度转换; 天山云杉 (*Pinaceae schrenkiana*); 固定样地

Scaling up for transpiration of *Pinaceae schrenkiana* stands based on 8hm^2 permanent plots in Tianshan Mountains

ZHANG Yutao^{1,*}, LIANG Fengchao², CHANG Shunli², SHI Qingdong², LI Xiang¹, LU Jianjiang¹

¹ Institute of Forest Ecology, Xinjiang Academy of Forestry, Urumqi 830000, China

² Key Laboratory of Oasis Ecology, College of Resource and Environment Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, China

Abstract: The sap flow velocity (SFV) of 7 individual *Pinaceae schrenkiana* trees in a fixed plot at the middle region of the northern slope of Tianshan Mountains were measured in July. Two nonlinearly regression models (quadratic one and power one) were established to disclose the relationship between diameter at breast height (DBH) and SFV and that between DBH and sap wood area. According to the two models, we calculated the transpiration of *Pinaceae Schrenkiana* stands. It is found that biggest transpiration and mean transpiration of *Pinaceae Schrenkiana* stand are closely related to planting density, which can be fit well in Extrem function. According to the function, we find that the maximal transpiration hit $77.27\text{t}/\text{hm}^2\text{d}$ when planting density increases to $1200/\text{hm}^2$. In addition, the transpiration of *Pinaceae Schrenkiana* is positively related to plot size, with transpiration change slowly when plot size is beyond a threshold value. This finding can be used in transpiration study in middle region of the northern slope of Tianshan Mountains. The threshold value of plot size is location dependent as it is 4hm^2 in the highest or lowest altitude of researching region, and 2.56hm^2 in the middle altitude.

Key Words: sap flow; transpiration; scaling up; *Pinaceae schrenkiana*; permanent plot

对林木蒸腾耗水量进行可靠地估算是森林生态水文学关注的焦点^[1], 它对研究森林蒸散耗水在森林水

基金项目: 新疆维吾尔自治区林业科技专项资金项目; 国家林业局公益性行业科研专项(200804022c, 200804006/rhh-06); 天山生态站开放基金联合资助

收稿日期: 2010-05-15; 修订日期: 2010-11-24

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zyt218@163.com

分循环中的地位、作用以及与之相关的造林、森林水分平衡等问题都至关重要。从单株树干液流向林分蒸腾耗水的尺度转换是要估算林分蒸腾耗水行之有效的方法^[2-4]。这种尺度转换方法主要取决于植物群落特征^[5-6]。通常情况下,林分蒸腾耗水量可以通过液流与胸径^[7],树干基面积^[8],边材面积^[9-11],边材密度^[12],叶面积指数^[5, 13-14]等植被调查指标作为量来求得。相比之下,胸径的取得比较容易、准确,应用较广。为了使植被调查指标能反映群落特征,通常情况下要做多个样方。样方的设置情况基本上决定了林分蒸腾耗水的准确性。在山地自然植被下,林木的空间分布较为复杂,必须在对地形有详细的了解的基础上设置大量小样方。此种方法不能很好地解决样方林分蒸腾耗水的代表性。为此,需要寻求一种能反映当地真实林分蒸腾耗水的调查方法。

物种数量与取样面积存在一定关系^[15-18],当样方面积超过最小统计面积时,植物物种数量不再发生变化^[19];因此,在群落调查时,往往需要首先确定最小样方面积。同样,在计算群落蒸腾耗水量时,是否也应该存在同样的最小取样面积呢?如果存在,则最小取样面积内的蒸腾耗水才能反映了该群落蒸腾耗水在观测上的可靠取样值。

为了验证这种假设,本研究在天山北坡的天山云杉森林中建立了 8hm²的固定样地,通过每木检尺和对不同径级天山云杉标准木树干液流的观测,计算了天山云杉林的蒸腾耗水;通过分析林分蒸腾耗水对取样尺度的响应,判定天山云杉林蒸腾耗水量是否存在最小样地面积,为其他后续工作提供依据。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况与标准木选择

研究区位于天山北坡中部的乌鲁木齐市水西沟镇羊圈沟天山森林生态系统定位站,地理位置为 E87°27'28.5"—28°47.7'N43°24'48.3"—26°17.9",海拔 1908—2710m。研究区年平均气温 2.0℃,历年平均极端高温是 30.5℃,最低气温是-30.2℃,>0℃的无霜期 89.3d,≥10℃积温 1170.5℃,平均年降水量 572.7mm,年日照时数大于 1300h,最大积雪深度 65cm。

研究区的土壤类型为山地灰褐色森林土,森林为天山云杉单优群落,林下的草本层平均盖度小于 3%;虽然林间空地的草本盖度平均超过 50%,但是其平均高度小于 15cm。因此,本文测得的林木蒸腾耗水可近似等同于该森林的林分耗水。

2009 年 6、7 月,本研究团队在研究区设置了 8hm²的固定样地。该样地为 200m(南北向上坡)×400m(东西向等高),海拔介于 1958—2188m 之间。由于考虑地形因素,若以东西向为零度,则样地向西北顺时针偏角 149°。选定样地坐标原点,使用全站仪,按 20m×20m 的森林调查标准样方逐步划定该 8hm²样地,共计 200 个 20m×20m 的样方。按 20m×20m 的样方编号顺序,逐步对样地内胸径(1.3m 处)大于 1cm 的木本植物进行每木检尺。在对每木检尺数据进行统计分析的基础上,按株数随径级分布的情况,选择胸径 10cm 的标准木 3 株、胸径 20cm 的标准木 2 株、胸径 40cm 的标准木 2 株,进行树干液流的观测。7 株标准木及其所在样方的郁闭度情况见表 1。

表 1 天山云杉样木信息表

Table 1 The information of sampling trees of Pinaceae. Schrenkiana

样木标号 Number	胸径 Diameter/cm	树高 Height/m	坡度 Slope/(°)	所在样方的郁闭度 Crown density
1	8.68	2.1	30	0.4
2	9.43	2.76	30	0.6
3	11.29	3.2	30	0.4
4	22.24	18	30	0.6
5	23.78	18.5	30	0.6
6	41.94	23.5	30	0.4
7	45.05	19.5	15	0.6

1.2 树干液流的观测方法

本研究自 2009 年 6 月 1 日开始观测,至 9 月 20 日观测结束。应用美国 Dynamax 公司生产的插针式茎流计 Probe12 和热扩散液流探针 TDP (Thermal Dissipation Sap Velocity Probe) 对云杉的树干液流进行了观测。在树干胸径处(距地面 1.3m 高度)南、北两侧各安装 1 个 TDP30cm 或 TDP80cm 探针。

1.3 数据分析方法

现在,众多学者普遍采用径阶的方法估测林分蒸腾耗水量^[20]。白云岗等^[9]将胡杨林木按胸径划分,选择 2 株标准木代表整个径阶;孙龙等^[10]将林木的生长状况划分为优势木、中等木和被压木 3 个径级。王华田等^[11]将林木划分为 5 个径级,利用标准木的生长函数对林分蒸腾耗水进行了计算。基于径级的计算方法的成立要满足一个假设:在相同的立地条件下,树木不同径阶的木质部之间液流量没有较大的差异性^[4, 9];组内树木的分布是均匀的。

在自然生长系,这种假设是很少出现的,从本文对天山云杉液流的观测可以发现,不同胸径的液流量同胸径差异性较大(图 1),这同夏桂敏等^[21]对花棒的研究结果一致;再者,样地内天山云杉的分布也不是均匀的(图 4)。所以,基于径级的计算方法对自然生长系下的林木蒸腾耗水的计算并不合适。为此,本中对基于径级的方法做以下改进:对标准木液流速率同胸径和边材面积同胸径进行曲线拟合,找到液流速率、边材面积随胸径的变化关系,进而求出任意胸径的液流量和边材面积,最终计算林分蒸腾耗水量。改进后的计算方法充分考虑到了树木间的个体差异性,能够较好地计算自然生长系下的林木蒸腾耗水。

通过建立胸径与日平均液流速率和胸径与边材面积拟合方程来计算液流量。对标准木一日内的液流量取平均得到日平均液流量,并同胸径进行曲线拟合。胸径与日平均液流量的拟合方程 Q_s 为:

$$Q_s = a_1 c^2 + a_2 c + a_3 \quad (1)$$

式中, Q_s 为平均液流量 ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$), c 为标准木胸径 (cm), a_1, a_2, a_3 为拟合方程的参数。

对样地内的天山云杉按 2cm 一个径级,每个径级选择 2—3 株作为标准木,利用生长锥取木心,测量木心直径(1.3m)、树皮厚度(1.3m)和胸径(1.3m),计算边材面积。对边材面积和胸径曲线拟合,发现在 4—45cm 的胸径范围内符合幂函数分布。胸径与边材面积的拟合方程 S_c 为:

$$S_c = b_0 c^{b_1} \quad (2)$$

式中, S_c 为边材面积 (cm^2), b_0, b_1 为胸径边材面积的参数, c 为标准木胸径 (cm)。

在对样地天山云杉每木检尺的基础上,单木的蒸腾耗水量为单木的边材面积与液流速率的乘积,对样地内每株天山云杉的单木液流进行加和,然后同样地的面积相除得到林分蒸腾耗水量:

$$E_s = \sum_{i=1}^n \frac{S_{ci} Q_{si}}{S} \quad (3)$$

式中, E_s 为林分的日蒸腾耗水量 ($\text{t} / \text{hm}^2 \cdot \text{d}$), n 为样地内总植株数, S_{ci} 为第 i 株天山云杉的边材面积 (cm^2); Q_{si} 为第 i 株天山云杉的液流量 ($\text{g} / \text{cm}^2 \cdot \text{h}$), S 为样地的总面积 (hm^2)。

2 结果与分析

2.1 单株水平上不同胸径树干液流的差异

本文将标准木南北侧探针所测液流数据求平均,作为该株标准木的树干液流值。选取连续晴天中的 7 月 14 日(8.68、9.43、11.29、22.24、23.78cm),7 月 5 日(41.94cm),7 月 19 日(45.05cm)的液流量数据做图(图 1)。表明,自然生长系下的天山云杉不同胸径液流量差异很大,同一径阶内的液流量也有差别。

对标准木液流量取平均,同胸径进行一次、二次、幂函数、指数函数、对数函数拟合,通过了 0.01 水平上的著性检验, R^2 分别为 0.916、0.949、0.846、0.845、0.813。可见,二次函数的解释程度最高,拟合效果最好(图 2)。天山云杉植株个体间随胸径的不同液流差异显著,胸径在 8cm 至 45cm 时液流量同胸径呈二次函数关系。同理对边材面积同胸径进行曲线拟合。结果表明,天山云杉的边材面积同胸径呈幂函数关系(图 3)。本文对天山云杉边材面积调查和标准木的选择胸径均分别在 8cm 至 45cm,所以所得的结论对其他径级

不一定适合。

2.2 单木液流向大型样地蒸腾耗水的上推

利用公式 2 计算样地的每株天山云杉的边材面积,以胸径 2cm 为一个径级,统计每一径级内的株数和边材面积的累积值(图 4)。表明,从 4cm 开始,随胸径的增大,天山云杉株数逐渐降低,表明天山中部这片林地还处于生长发展阶段。边材面积呈单峰值变化,在 22—24cm 处达到峰值。

利用公式 1 计算样地内每株天山云杉的液流量,以胸径 2cm 为一个径级,统计每一径级内的液流累积值和总液流的累积值(图 5)。表明,径阶从 32cm 到 38cm 蒸腾耗水量最大,另外在 38cm 和 40cm 处液流达到峰值。大样地内蒸腾耗水量随径级累积,呈‘S’型,具有较好的生态学特性。大样地内单日晴天蒸腾耗水量为 30.61t/hm²。

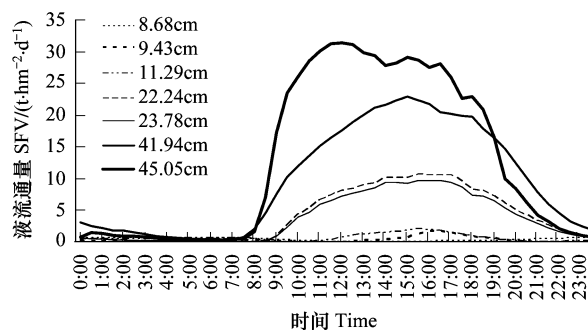


图 1 标准木液流通量的日变化图

Fig. 1 The picture of daily changing of SFV sampling trees of *Pinaceae. Schrenkiana*

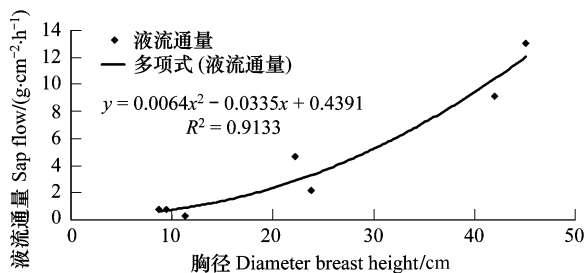


图 2 胸径与液流速率关系

Fig. 2 The relations between DBH and sap velocity

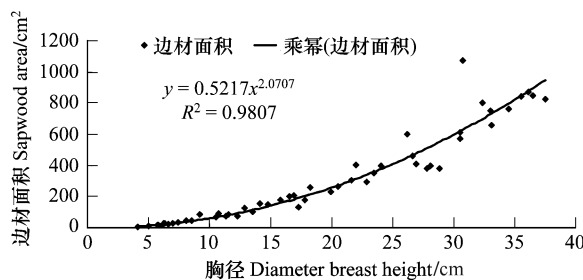


图 3 胸径与边材面积关系

Fig. 3 The relations between DBH and sapwood area

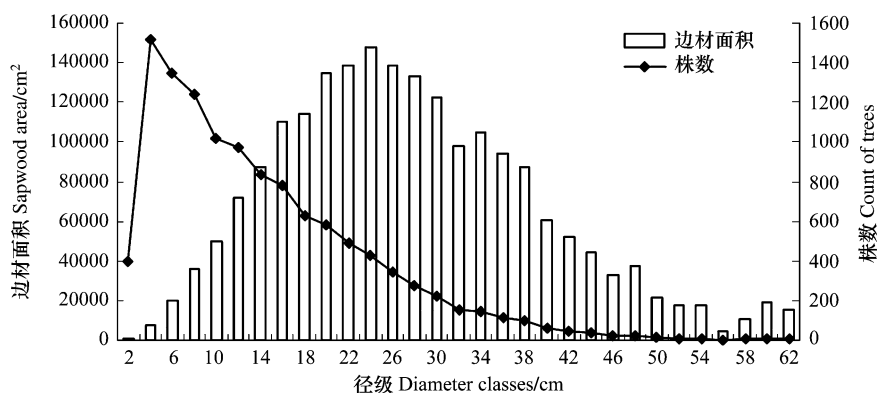


图 4 不同径阶株数和边材面积分布图

Fig. 4 The distribution number of trees and sapwood area in different diameter classes

由于天山云杉边材面积调查和标准木的选择胸径均分别在 8cm 至 45cm,对于胸径大于 45cm 的天山云杉边材面积占大样地总面积的 8.70%,株数占 0.85%。所以这部分液流的估算值对总体蒸腾耗水量估算的影响较小。

2.3 大型样地林分蒸腾耗水同植株密度的关系

利用公式 3 和公式 2 分别计算大型样地内的每个 20m×20m 的小样方的林分蒸腾耗水量和边材面积,并

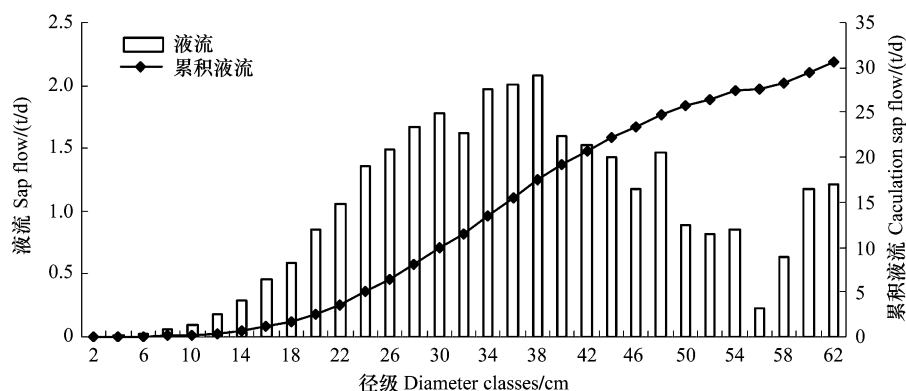


图5 不同径级液流累积同林分蒸腾耗水累积

Fig. 5 The cumulate transpiration in different diameter classes and transpiration of forest

同每个样方的密度做散点图(图6)。将密度按 200 株/hm²为一个组距,统计每一组中的林分蒸腾耗水量和边材面积的最大值和平均值,为了消除个别较大的值对统计的影响,取一组中数据的前3个最大值求平均,不足3个值的,对现有值取求平均(图6)。

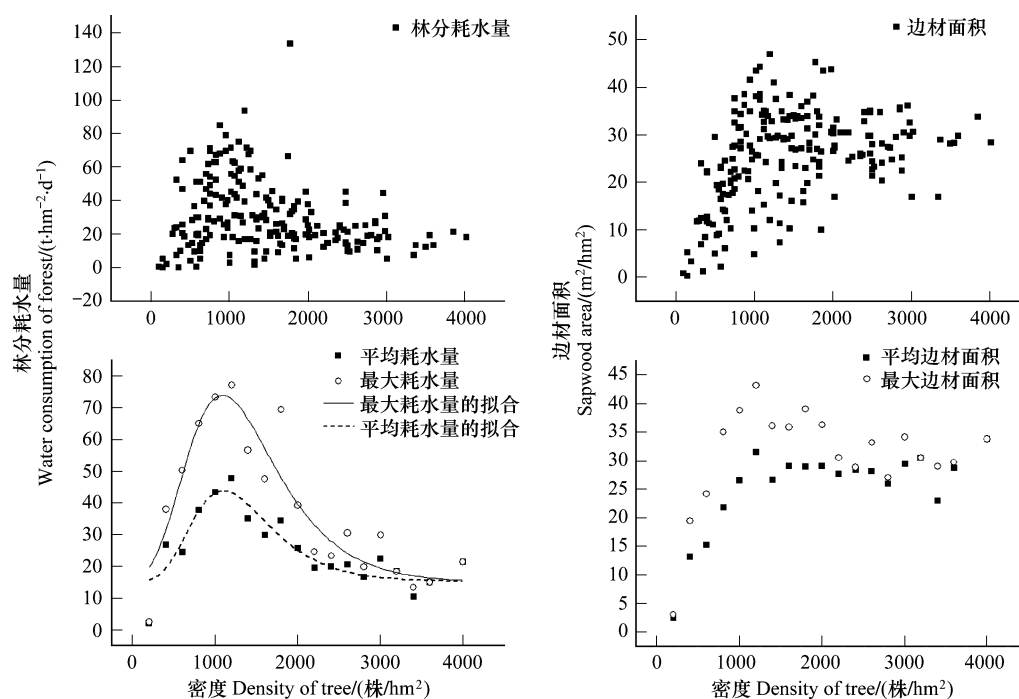


图6 天山云杉密度同蒸腾耗水量和边材面积的关系

Fig. 6 The relation between density and transpiration, sapwood area

图6表明,不同种植密度下林分的蒸腾耗水量不同,同一种种植密度下林分的蒸腾耗水量差异也很大;随着密度的增大,最大边材面积和最大日蒸腾耗水量随着密度的增大,先增大后减小。当密度达到 1200 株/hm²时,边材面积和日蒸腾耗水量的均值和最大值均达到最大,日蒸腾耗水量分别为 47.88 t/hm²d,最大值为 77.27 t/hm²d;边材面积分别为 31.44, 43.17 m²。当密度超过 1200 株/hm²时,云杉林的累积边材面积开始下降,天山云杉林的“自疏”现象开始表现出来。

最大蒸腾耗水量反映了自然条件下的实际最大耗水能力,对认识和管理天然天山云杉林具有指导意义。这种最大耗水能力随着密度的增加而发生变化,本文利用 Extreme 函数对其进行了拟合(图6)。拟合公式

如下:

$$Y_{\max} = 14.83 + 59.02 \times \exp\left(-\exp\left(\frac{x-1086.26}{544.691}\right) - \frac{x-1086.26}{544.691} + 1\right) \quad R^2 = 0.83 \quad (4)$$

同理对平均蒸腾耗水量同胸径的拟合公式为:

$$Y_{\text{ave}} = 15.16 + 28.80 \times \exp\left(-\exp\left(\frac{x-1097.7}{473.031}\right) - \frac{x-1097.7}{473.031} + 1\right) \quad R^2 = 0.76 \quad (5)$$

式中, $Y_{\max}$ 为最大蒸腾耗水量, Y_{ave} 为平均蒸腾耗水量, x 为植株密度。在自然状态下, 林分的蒸腾耗水量只分布在最大耗水量的拟合方程(式 4) 同 x 轴所围成的区域(图 6)。

2.4 林分蒸腾耗水的对取样面积的响应

从大样地的原点为起点, 沿 x 轴正方向(沿山坡水平)和 y 轴正方向(沿山坡向上)上依次扩大, 以 20m 为取样尺度, 分别统计样方内天山云杉的密度、累积边材面积、累计胸径、林分蒸腾耗水量(图 7)。表明: 天山云杉的密度、林分蒸腾耗水量、累积胸径和累积边材面积对取样面积具有依赖性, 并且随着取样面积扩大, 对尺度变化的反应的灵敏度逐渐降低, 同叶万辉等^[15]对 α 多样性的研究相似。如果取样面积增大后, 林分蒸腾耗水量的变化量小于 10%, 就认为林分的蒸腾耗水量不随样地尺度的增大而变化, 即达到了最小取样面积(对种植密度、累积胸径和累积边材面积的操作与此同)。天山云杉的种植密度、林分蒸腾耗水量、累积胸径和累积边材面积最小取样面积依次为 1.44、4、1、1.96 hm²。

边材面积和胸径作为蒸腾耗水由单株向林分上推的纯量, 直接影响了林分蒸腾耗水的变化, 是林分蒸腾耗水出现最小样地面积的主要原因。林分蒸腾耗水的最小取样面积总是大于累积胸径和累积边材面积的最小取样面积。然而, 林分蒸腾耗水量最小取样面积约为累积胸径和累积边材面积的 2 倍。这也说明除了边材面积, 其他因子(如坡度、坡向)对林分的蒸腾耗水也有重要的影响。总之, 只要将调查取样面积扩大到最小取样面积就能够对林木蒸腾耗水有比较真实的估计。

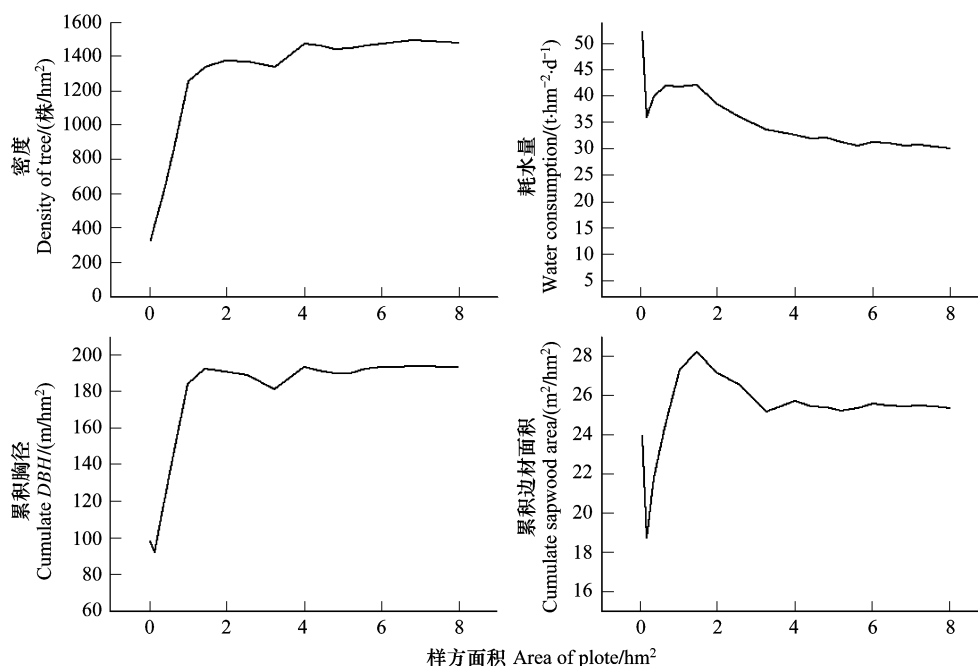


图 7 林分蒸腾耗水量、密度、累积胸径和累积边材面积同样方面积的关系

Fig. 7 The relations between transpiration, density, cumulate diameter, cumulate sapwood area and plot area

在样地原点分别沿 x 轴、 y 轴、 x 轴和 y 轴上依次做 20m×200m、20m×100m 的样带和矩形样方, 统计平均蒸腾耗水量, 见图 8。表明, 样带和样方都存在反映林分蒸腾耗水量的最小取样面积。只是样带只能代表某个方向上的林分蒸腾耗水情况, 并不能反映区域整体的蒸腾耗水情况, 即, 20m 宽度的样带不能代表 8hm² 样

方的耗水情况。沿 x 轴方向上,当尺度扩大到 0.32hm^2 ,平均蒸腾耗水量稳定在 $53\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 。沿 y 轴方向上平均蒸腾耗水量减小,在 0.4hm^2 仍没有稳定,蒸腾耗水量已经降至 $22.74\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 。水平方向上能够达到稳定而垂直方向上不能稳定,表明了天山云杉在垂直方向上变异性较大。即,林分的蒸腾耗水量对水平方向上具有较好的代表性,能够沿水平方向上进行扩展,而垂直方向则不能扩展。所以本文固定样地的平均蒸腾耗水量仅代表固定样地所在海拔范围内的林分蒸腾耗水量。

沿二维方向上的尺度扩展对反映自然生长系下林分蒸腾耗水量效果较好,当取样面积扩大到 4hm^2 时,平均蒸腾耗水量开始稳定在 $30.5\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$,已经接近 8hm^2 样地的林分蒸腾耗水量 $30.6\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 。在大型固定样方所在的海拔范围内,一定水平区域内(大于 8hm^2)的天山云杉林分蒸腾耗水量就是 $30.5\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 。

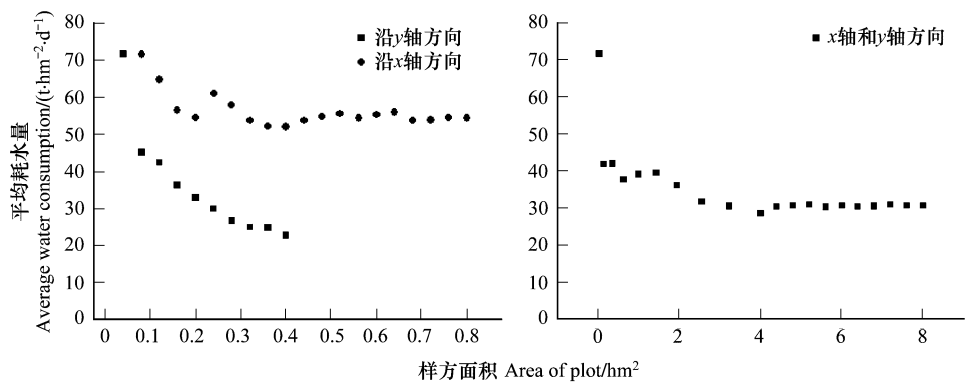


图8 大样地中沿着水平、垂直、水平和垂直方向上平均蒸腾耗水量分布图
Fig.8 The distributing of average transpiration in horizontal, vertical, horizontal and vertical

本文为了验证不同空间取样方式在不同地点上是否也存在上述结论。二维方向上的空间取样按取样地点的不同可分为3种取样方式,即:沿 x 轴单方向和 y 轴单方向、沿 x 轴双方向和 y 轴单方向、沿 x 轴双方向和 y 轴双方向。对不同地点平均蒸腾耗水量进行统计,统计结果见(图9)。其中调查方式和开始稳定时的最小取样面积见表2。

表2 调查方式及最小取样面积信息表

Table 2 The information about the way of statistics for plot and the minimum sampling area			
统计方式 Way of statistic	样方统计方向 Direction of statistic	统计尺度 Scale of statistic	最小取样面积/ hm^2 Minimum sampling area
方式1	x 轴正方向, y 轴正方向	x 轴方向 20m, y 轴方向 20m	2.56
方式2	x 轴负方向, y 轴正方向	x 轴方向 20m, y 轴方向 20m	3.24
方式3	x 轴负方向, y 轴负方向	x 轴方向 20m, y 轴方向 20m	3.24
方式4	x 轴正方向, y 轴负方向	x 轴方向 20m, y 轴方向 20m	4.00
方式5	x 轴正、负方向, y 轴方向	x 轴方向 20m, y 轴方向 20m	6.48
方式6	x 轴正、负方向, y 轴方向	x 轴方向 20m, y 轴方向 20m	6.48
方式7	x 轴正、负方向, y 轴正、负方向	x 轴方向 20m, y 轴方向 20m	2.56
方式8	x 轴正、负方向, y 轴正、负方向	x 轴方向 40m, y 轴方向 20m	1.28

随着取样面积的扩大,不同统计方式在不同地点上均存在最小取样面积。当取样面积逼近到最小取样面积前,不同取样点林分蒸腾耗水量对取样尺度的反应比较灵敏;当尺度增大到最小取样面积后,林分蒸腾耗水同取样面积几乎没有关系。沿 x 轴和 y 轴方向逐步扩大取样面积时,林分蒸腾耗水量逐渐向 8hm^2 样地的平均蒸腾耗水量逼近(图9)。不同地点上的最小取样面积差异较大;但在同一地点不同的面积扩展方式下,林分蒸腾耗水量的最小取样面积相同(图9)。本文选取相同面积扩展方式下最小取样面积的最大值作为最可靠的最小取样面积。沿 x 轴单方向和 y 轴单方向上的最小取样面积为 4hm^2 ,沿 x 轴双方向和 y 轴单方向上的

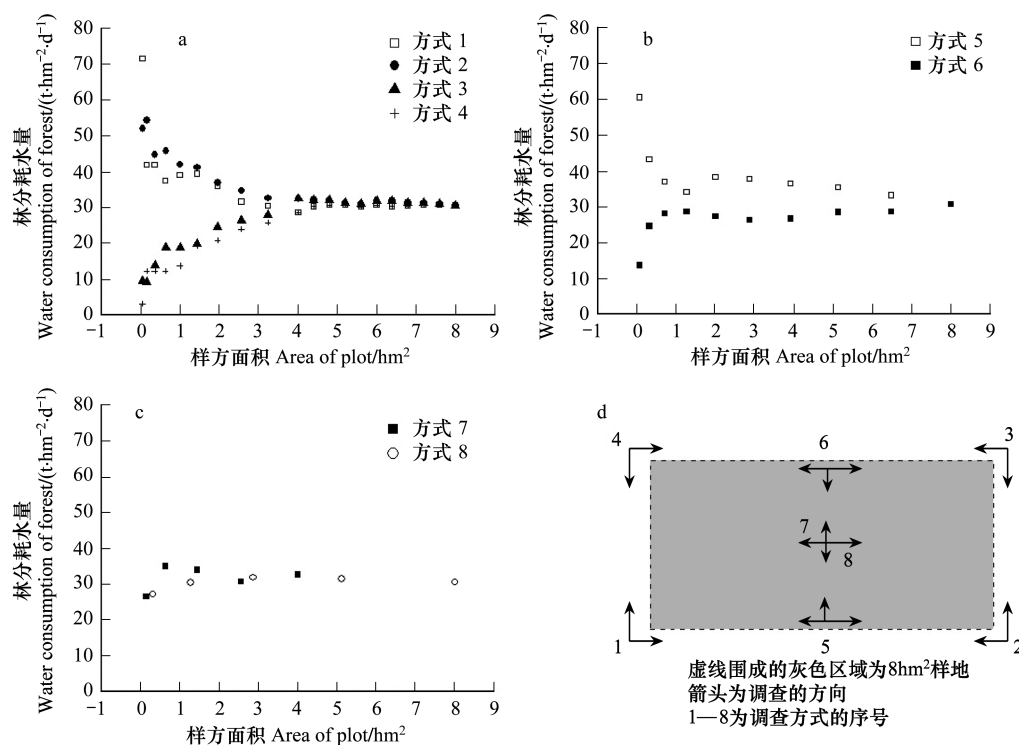


图 9 统计方式对最小取样面积的响应

Fig. 9 The relation between the minimum sampling area and the way of statistic

最小取样面积为 6.48hm^2 , 沿 x 轴双方向和 y 轴双方向的最小取样面积为 2.56hm^2 。

3 结论与讨论

3.1 结论

(1) 阴坡天山云杉胸径小于 45cm 时, 液流通量同胸径呈二次函数关系; 边材面积先增大后减小, 在径级为 $28\text{—}30 \text{cm}$ 和 $34\text{—}38 \text{cm}$ 达到最大值;

(2) 天山云杉林密度同林分最大蒸腾耗水量、平均蒸腾耗水量呈 Extrem 函数分布; 随着天山云杉密度的增大, 林分蒸腾耗水量、边材面积先增大后减小; 密度为 $1200 \text{株}/\text{hm}^2$ 时, 达到最大值, 平均蒸腾耗水量 $47.88 \text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, 最大值为 $77.27 \text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$;

(3) 林分的蒸腾耗水量存在尺度效应; 随着尺度的增大, 对尺度的响应的灵敏性降低; 林分的蒸腾耗水量存在最小取样面积。最小取样面积随取样点的不同而略有差异, 以样地海拔上线和下线处为起始点时最小取样面积为 4hm^2 , 以样地中部为起始点时最小取样面积为 2.56hm^2 。

3.2 讨论

由以上分析可知, 在计算天山天山云杉林蒸腾耗水量时, 应该也存在最小取样面积, 最小取样面积内的蒸腾耗水才能反映该群落蒸腾耗水在观测上的可靠取样值。

生态学的格局和过程在不同尺度上会表现出不同的特征。正是这种变异性增加了跨尺度预测的难度^[22]。当取样面积(幅度)发生变化时, 控制这些格局和过程的约束条件、边界条件或驱动因子可能也随之发生变化^[23]。

单株树木的树干液流变化是由叶片气孔水汽压差所决定的, 环境因子起到了重要的影响作用; 而林分水平上的蒸腾耗水量很大程度上取决于群落结构的异质性。影响森林群落空间异质性的因素很多, 如: 林木的分布特征(如密度、胸径总截面积/样方面积、边材总截面积/样方面积)、地形特征(如坡向、坡度)和区域小环境条件(如土壤湿度)等, 其结果导致森林群落的蒸腾耗水量难以测算准确^[24]。本文从天山北坡天山云杉森林的群落分布特征角度去研究该问题, 研究结果仅能反映当地林分的最小取样面积, 而不能完全表征林

分蒸腾耗水量测算时关于尺度推绎的全部问题。对尺度上推的研究,地形特征和区域小环境因子是不可忽略的,如何综合分析它们对林分蒸腾耗水量的影响有待深入研究。

References:

- [1] Yue G Y, Zhang T H, Liu X P, Yi X Y. Development and application of thermal methods in measuring stem sap flow. *Scientia Silvae Sinicae*, 2006, 42(8): 102-108.
- [2] Teskey R O, Sheriff D W. Water use by *Pinus radiata* trees in a plantation. *Tree Physiology*, 1996, 16(1/2): 273-279.
- [3] Granier A, Huc R, Barigah S T. Transpiration of natural rain forest and its dependence on climatic factors. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1996, 78(1/2): 19-29.
- [4] Si J H, Feng Q, Zhang X Y, Chang Z Q, Xi H Y. Heat Pulse Technique applied to measure stem sap flow: principle and research advance. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2007, 29(3): 475-481.
- [5] Yue G Y, Zhao H L, Zhang T H, Zhao X Y, Zhao W, Niu L, Liu X P. Estimation of transpiration in communities dominated by shrub caragana microphylla. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2009, 33(3): 508-515.
- [6] Smith D M, Allen S J. Measurement of sap flow in plant stems. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1996, 117: 351-356.
- [7] Fisher R A, Williams M, Da Costa A, Malhi Y, Da Costa R F, Almeida S, Meir R. The response of an Eastern Amazonian rain forest to drought stress: results and modelling analyses from a throughfall exclusion experiment. *Global Change Biology*, 2007, 13(11): 2361-2378.
- [8] Saugier B, Granier A, Pontailier J Y, Dufrêne E, Baldocchi D D. Transpiration of a boreal pine forest measured by branch bag, sap flow and micrometeorological methods. *Tree Physiology*, 1997, 17(8/9): 511-519.
- [9] Bai Y G, Zhang J H, Wang X Y, Li B, Pan H B. Studies on scale convention of individual *Populus euphratica* and forest water consumption in Tarim Basin. *China Water Resources*, 2008, (5): 24-25.
- [10] Sun L, Wang C K, Yang G T, Zhang Q Z, Zhou X F. Sapflow flux of *pinus koraiensis* plantation measured by thermal dissipation probes. *Scientia Silvae Sinicae*, 2007, 43(11): 8-14.
- [11] Wang H T, Xing L F, Ma L Y, Sun P S. Study on scaling-up method for stand water consumption of *Quercus variabilis* water conservation forest. *Scientia Silvae Sinicae*, 2004, 40(6): 170-175.
- [12] Barbour M M, Hunt J E, Walcroft A S, Rogers G N D, McSeveny T M, Whitehead D. Components of ecosystem evaporation in a temperate coniferous rainforest, with canopy transpiration scaled using sapwood density. *New Phytologist*, 2005, 165(2): 549-558.
- [13] Granier A, Loustau D, Bréda N. A generic model of forest canopy conductance dependent on climate, soil water availability and leaf area index. *Annals of Forest Science*, 2000, 57: 755-765.
- [14] Chabot R, Bouarfa S, Zimmer D, Chaumont C, Moreau S. Evaluation of the sap flow determined with a heat balance method to measure the transpiration of a sugarcane canopy. *Agricultural Water Management*, 2005, 75(1): 10-24.
- [15] Ye W H, Ma K P, Ma K M, Sang W L, Gao X M. Studies on plant community diversity in Donglingshan Mountain, Beijing, China IX. The influence of scale on α diversity. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, 18(1): 10-14.
- [16] Dai L M, Wang Q C, Deng H B, Chen G, Wang Q L. Minimum sampling area and species richness of riparian community in Erdaobaihe forested watershed. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(6): 641-645.
- [17] Tang L, Hao W F, Sun H G, Liang Z S. Fitting and assessment of species-area curves of four native pasture communities on Loess Plateau. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2005, 23(4): 83-88.
- [18] Song Y Y, Liu C Q, Zhao Z Y. Quantity dynamics of *haloxylon ammodendron* population in different habitats in Shihezi Region. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2008, 28(10): 2118-2124.
- [19] Harte J, Smith A B, Storch D. Biodiversity scales from plots to biomes with a universal species-area curve. *Ecology Letters*, 2009, 12(8): 789-797.
- [20] Zhang L, Sun P S, Liu S R. A review on water use responses of tree forest stand to environmental changes by using sapflow techniques. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(10): 5600-5610.
- [21] Xia G M, Kang S Z, Du T S, Yang X Y, Zhang J. Transpiration of *Hedysarum scoparium* in arid desert region of Shiyang River basin, Gansu Province. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(6): 1194-1202.
- [22] Lü Y h, Fu B J. Ecological scale and scaling. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(12): 2096-2105.
- [23] Zhang N. Scale issues in ecology: concepts of scale and scale analysis. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(7): 2340-2355.
- [24] Chabot R, Bouarfa S, Zimmer D, Chaumont C, Moreau S. Evaluation of the sap flow determined with a heat balance method to measure the transpiration of a sugarcane canopy. *Agricultural Water Management*, 2005, 75(1): 10-24.

参考文献:

- [1] 岳广阳, 张铜会, 刘新平, 移小勇. 热技术方法测算树木茎流的发展及应用. 林业科学, 2006, 42(8): 102-108.
- [4] 司建华, 冯起, 张小由, 常宗强, 席海洋. 热脉冲技术测定树干液流研究进展. 冰川冻土, 2007, 29(3): 475-481.
- [5] 岳广阳, 赵哈林, 张铜会, 赵学勇, 赵玮, 牛丽, 刘新平. 小叶锦鸡儿灌丛群落蒸腾耗水量估算方法. 植物生态学报, 2009, 33(3): 508-515.
- [9] 白云岗, 张江辉, 王新友, 李冰, 潘洪彬. 塔里木盆地胡杨单木与林分耗水量的尺度转换研究. 中国水利, 2008, (5): 24-25.
- [10] 孙龙, 王传宽, 杨国亭, 张全智, 周晓峰. 应用热扩散技术对红松人工林树干液流通量的研究. 林业科学, 2007, 43(11): 8-14.
- [11] 王华田, 邢黎峰, 马履一, 孙鹏森. 栓皮栎水源林林木耗水尺度扩展方法研究. 林业科学, 2004, 40(6): 170-175.
- [15] 叶万辉, 马克平, 马克明, 桑卫国, 高贤明. 北京东灵山地区植物群落多样性研究 IX. 尺度变化对 α 多样性的影响. 生态学报, 1998, 18(1): 10-14.
- [16] 代力民, 王青春, 邓红兵, 陈高, 王庆礼. 二道白河河岸带植物群落最小面积与物种丰富度. 应用生态学报, 2002, 13(6): 641-645.
- [17] 唐龙, 郝文芳, 孙洪罡, 梁宗锁. 黄土高原四种乡土牧草群落种——面积曲线拟合及最小面积的确定. 干旱地区农业研究, 2005, 23(4): 83-88.
- [18] 宋于洋, 刘长青, 赵自玉. 石河子地区不同生境梭梭种群数量动态分析. 西北植物学报, 2008, 28(10): 2118-2124.
- [20] 张雷, 孙鹏森, 刘世荣. 树干液流对环境变化响应研究进展. 生态学报, 2009, 29(10): 5600-5610.
- [21] 夏桂敏, 康绍忠, 杜太生, 杨秀英, 张霁. 甘肃石羊河流域干旱荒漠区花棒蒸腾耗水量. 应用生态学报, 2007, 18(6): 1194-1202.
- [22] 吕一河, 傅伯杰. 生态学中的尺度及尺度转移方法. 生态学报, 2001, 21(12): 2096-2105.
- [23] 张娜. 生态学中的尺度问题: 内涵与分析方法. 生态学报, 2006, 26(7): 2340-2355.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 12 June, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Effect assessment of the project of grain for green in the karst region in Southwestern China: a case study of Bijie Prefecture	LI Hao, CAI Yunlong, CHEN Ruishan, et al (3255)
The effect of dispersal on the population dynamics of a host-parasite system in fragmented landscape	SU Min (3265)
The effect of spatial scales on wetland functions evaluation: a case study for coastal wetlands in Yancheng, Jiangsu Province	OU Weixin, YE Lifang, SUN Xiaoxiang, et al (3270)
Effects of simulated nitrogen deposition on nutrient balance of Chinese fir (<i>Cunninghamia lanceolata</i>) seedlings	FAN Houbao, LIAO Yingchun, LIU Wenfei, et al (3277)
The water conservation study of typical forest ecosystems in the forest transect of eastern China	HE Shuxia, LI Xuyong, MO Fei, et al (3285)
The ecological responses of <i>Pinus tabulaeformis</i> forests in Taiyue Mountains of Shanxi to artificial Harvesting	GUO Donggang, SHANGGUAN Tielang, BAI Zhongke, et al (3296)
The influence of the long-term application of organic manure and mineral fertilizer on microbial community in calcareous fluvo-aquic soil	ZHANG Huanjun, YU Hongyan, DING Weixin (3308)
Endophytic fungal diversity of five dominant plant species in the dry-hot valley of Yuanjiang, Yunnan Province, China	HE Caimei, WEI Daqiao, LI Haiyan, et al (3315)
Seedling recruitment in desert riparian forest following river flooding in the middle reaches of the Tarim River	ZHAO Zhenyong, ZHANG Ke, LU Lei, et al (3322)
Scaling up for transpiration of <i>Pinaceae schrenkiana</i> stands based on 8hm permanent plots in Tianshan Mountains	ZHANG Yutao, LIANG Fengchao, CHANG Shunli, et al (3330)
Responses of soil enzyme activities and microbial biomass N to simulated N deposition in Gurbantunggut Desert	ZHOU Xiaobing, ZHANG Yuanming, TAO Ye, et al (3340)
Effects of Pb on growth, heavy metals accumulation and chloroplast ultrastructure of <i>Iris lactea</i> var. <i>Chinensis</i>	YUAN Haiyan, GUO Zhi, HUANG Suzhen (3350)
Effects of temperature and sap flow velocity on CO ₂ efflux from stems of three tree species in spring and autumn in Northeast China	WANG Xiuwei, MAO Zijun, SUN Tao, et al (3358)
The soil seed bank of <i>Eupatorium adenophorum</i> along roadsides in the south and middle area of Yunnan, China	TANG Yingyin, SHEN Youxin (3368)
Extracting the canopy structure parameters using hemispherical photography method	PENG Huanhua, ZHAO Chuanyan, FENG Zhaodong, et al (3376)
The CCA analysis between grasshopper and plant community in upper reaches of Heihe River	ZHAO Chengzhang, ZHOU Wei, WANG Keming, et al (3384)
Community structure characteristics of phytoplankton in argun River Drainage Area in autumn	PANG Ke, YAO Jinxian, WANG Hao, et al (3391)
Spatial and temporal variation of phytoplankton and impacting factors in Jiulongjiang Estuary of Xiamen, China	WANG Yu, LIN Mao, CHEN Xingqun, et al (3399)
Effect of bank type on fish biodiversity in the middle-lower reaches of East Tiaoqi River, China	HUANG Liangliang, LI Jianhua, ZOU Limin, et al (3415)
Study on dynamic changes of soil and water loss along highway based on RS/GIS: an example of Yujing expressway	CHEN Aixia, LI Min, SU Zhixian, et al (3424)
The urbanization effects on watershed landscape structure and their ecological risk assessment	HU Hebing, LIU Hongyu, HAO Jingfeng, et al (3432)
Assessment of ecological risk of coastal economic developing zone in Jinzhou Bay based on landscape pattern	GAO Bin, LI Xiaoyu, LI Zhigang, et al (3441)
Impacts of land use and cover changes on ecosystem service value in Zoige Plateau	LI Jinchang, WANG Wenli, HU Guangyin, et al (3451)
Effect of chicken manure application on Cu and Zn accumulation in soil and <i>Brassica sinensis</i> L.	ZHANG Yan, LUO Wei, CUI Xiaoyong, et al (3460)
GIS analysis of structural characteristics of pollution sources in irrigable farmland in Ningxia China	CAO Yanchun, FENG Yongzhong, YANG Yinlu, et al (3468)
Effects of pre-sowing soil moisture and planting patterns on photosynthetic characteristics and yield of summer soybean	LIU Yan, ZHOU Xunbo, CHEN Yuhai, et al (3478)
<i>In situ</i> study on influences of different fertilization patterns on inorganic nitrogen losses through leaching and runoff: a case of field in Nansi Lake Basin	TAN Deshui, JIANG Lihua, ZHANG Qian, et al (3488)
Effects of AM fungi on leaf photosynthetic physiological parameters and antioxidant enzyme activities under low temperature	LIU Airong, CHEN Shuangchen, LIU Yanying, et al (3497)
Effects of exogenous cysteine on growth, copper accumulation and antioxidative systems in wheat seedlings under Cu stress	PENG Xiangyong, SONG Min (3504)
Review and Monograph	
The horizon scanning technology and its application prospect in Ecology	HU Zimin, LI Jingjing, LI Wei, et al (3512)
Scientific Note	
The gas exchange characteristics of four shrubs on the northern slope of Kunlun Mountain	ZHU Juntao, LI Xiangyi, ZHANG Ximing, et al (3522)
Effect of DEM data at different scales on the accuracy of forest Ecological Classification system	TANG Lina, HUANG Jucong, DAI Limin (3531)
Canopy interception of rainfall by Bamboo plantations growing in the Hill Areas of Southern Jiangsu Province	JIA Yongzheng, HU Haibo, ZHANG Jiayang (3537)
Effects of exotic species slash pine (<i>Pinus elliottii</i>) litter on the structure and function of the soil microbial community	CHEN Falin, ZHENG Hua, YANG Bosu, et al (3543)
The carbon emission analysis of Shenzhen Metro	XIE Hongyu, WANG Xixiang, YANG Muzhuang, et al (3551)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 12 期 (2011 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 12 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元