

稳态气孔计法和整株称重法测定蒸腾速率的比较研究

张卫强¹, 贺康宁², 邓军涛³, 周毅¹, 钟锡均¹, 李召青¹
(1. 广东省林业科学研究院, 广州 510520; 2. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083;
3. 水利部 珠江水利委员会, 广州 510520)

摘 要:在黄土半干旱区, 2004 年生长季典型天气, 采用盆栽试验, 人为控制土壤水分, 利用稳定气孔计法 (Li-1600) 与整株称重法 (BP-3400 精密天平), 对侧柏、油松、刺槐和沙棘叶片蒸腾速率进行了测定。结果表明, 随着土壤含水量的升高, 叶片蒸腾速率上升; 稳定气孔计测值恒大于整株称重的测值, 两种方法测值的比值随土壤含水量的增加而升高, 当土壤含水量达到田间持水量时, 两种方法测定值的比值反而减小。7 月, 气孔计测值与整株称重测值之比, 刺槐平均为 2.50, 沙棘为 2.57; 8 月, 侧柏为 2.48, 油松为 2.28; 10 月, 侧柏为 1.19, 油松为 1.86, 刺槐为 1.53, 沙棘为 1.97, 本研究可作为黄土半干旱区利用稳定气孔计研究林木蒸腾耗水的参考。
关键词: 稳定气孔计法; 整株称重法; 蒸腾速率; 黄土半干旱区
中图分类号: S718.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-3409(2007) 06-0192-03

Comparison on the Transpiration Values Measured with Portable Steady Porometer Method and Whole-tree Weighing Method

ZHANG Wei-qiang¹, HE Kang-ning², DENG Jun-tao³,
ZHOU Yi¹, ZHONG Xi-jun¹, LI Zhao-qing¹
(1. Forest Research Institute of Guangdong Province, Guangzhou 510520, China; 2. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 3. Pearl River Water Resource Commission, Guangzhou 510520, China)

Abstract: Transpiration rate of *Platycladus orientalis*, *Pinus tabulaeformis*, *Robinia pseudoacacia* and *Hippophae rhamnoides* were measured by portable steady porometer (Li-1600) and whole-tree weighing method (BP-3400) in growing season of 2004, artificially controlling water amount in pot experiment, in semi-arid region of the Loess Plateaus. It indicated that transpiration rate of leaves rose when soil water content increased; measured value of portable steady porometer were always higher than measured value of whole-tree weighing, the ratios of measured value of two methods rose with increasing soil water content, but reduced when soil water content reached field moisture capacity; the ratios of measured value of portable steady porometer and whole-tree weighing of *Robinia pseudoacacia* and *Hippophae rhamnoides* was 2.50 and 2.57 respectively in July, the ratios of measured value of portable steady porometer and whole-tree weighing of *Platycladus orientalis* and *Pinus tabulaeformis* was 2.48 and 2.28 respectively in August, the ratios of measured value of portable steady porometer and whole-tree weighing method of *Platycladus orientalis*, *Pinus tabulaeformis*, *Robinia pseudoacacia* and *Hippophae rhamnoides* was 1.19, 1.86, 1.53 and 1.97 respectively in October. The conclusion would be regarded as the reference of forest tree transpiration in semi-arid region of Loess Plateau.

Key words: portable steady porometer method; whole-tree weighing method; transpiration rate; semi-arid region of Loess Plateau

林木蒸腾耗水量是植树造林设计与环境水分研究的重要水分参数, 国内外由于这个问题考虑不周而导致的环境恶化事例已屡见不鲜, 因此, 准确测算树木蒸腾耗水量就成为环境水分定量研究的急需技术^[1]。国内许多科研单位利用美国 LiCor 公司的稳态气孔计, 用于树木蒸腾耗水量的测定, 这种仪器的测值与实际值的差异并未引起人们的重视, 致使有些结果无法解释, 这说明对稳态气孔计测值有研究的必要^[2-3]。巨关升等采用快速称重法、热脉冲法和整树容器法与气孔计法进行了比较, 表明气孔计测值恒大于其它 3 种

方法测定值, 气孔计测值恒大于实际蒸腾值^[4]。所以, 应用稳定气孔计对林木蒸腾量测定时, 需要对稳定气孔计进行校准, 可使蒸腾耗水估计值接近实际值。
在盆栽试验测定中, 利用整株称重测定叶片蒸腾速率要比真正离体快速称重的测定值更为准确^[5]。本文选择了稳定气孔计和整株称重两种方法, 利用盆栽试验, 人为控制土壤水分条件, 对侧柏、油松、刺槐和沙棘叶片蒸腾速率进行了测定, 分析了两种方法测定值的差异, 为黄土半干旱区利用稳定气孔计研究林木蒸腾耗水提供参考, 可以比较准确地反

*收稿日期: 2006-12-22
基金项目: 国家自然科学基金项目(30371172); 教育部科学技术研究重大项目(10407); 广东省林业局科技专项
作者简介: 张卫强, 博士, 主要从事生态环境工程。
通信作者: 贺康宁, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事林业生态工程建设抗旱造林技术研究。

映林木的蒸腾耗水量。

1 试验区概况

试验地位于山西省方山县峪口镇的北京林业大学径流林业试验场(北纬 37°36′58″, 东经 110°02′55″), 属黄河中游黄土丘陵沟壑区, 平均海拔 1 200 m。该地区属于暖温带大陆性季风气候, 年平均气温为 7.3℃, 年平均 ≥10℃ 的活动积温为 2 223.5℃, 干燥度 1.3, 年平均降水量 416 mm, 6– 9 月的降水占全年的 70% 以上, 年内分布不均, 年水面蒸发量为 1 857.7 mm, 最大蒸发出现在 4– 6 月, 表现出典型的北方严重春旱的特征。土壤为中壤质黄绵土, 质地均匀, 平均土壤容重 1.20 g/cm³。

2 材料与方法

通过盆栽试验, 人为控制土壤水分, 利用 L±1600 稳态气孔计和 BP-3400 精密天平(精度 0.1g, 最大称重 34 kg) 等仪器对侧柏、油松、刺槐和沙棘(表 1) 蒸腾耗水速率进行研究, 并利用整株称重法, 对 L±1600 稳态气孔计蒸腾速率测定值进行比较分析。

表 1 2004 年黄土半干旱区主要造林苗木状况			
苗木名称	树龄/a	苗高/cm	地径/cm
侧柏	3	94.3	1.4
油松	4	73.1	1.3
刺槐	3	108.3	1.2
沙棘	3	91.8	1.1

盆栽苗木土壤水分测定采用 TDR 土壤水分测定仪和自制的微型土钻(直径 0.8 cm, 长 35 cm) 取土烘干法测定, 设计 4 种土壤水分梯度:(7±1)%, (10±1)%, (14±1)%, (20±1)% (重量含水量), 每个梯度设置 2 盆重复, 用保鲜膜覆盖抑制土壤蒸发, 放置 24~ 36 h 后, 当土壤水分渗透稳定后进行观测。土壤含水量在苗木生理指标观测时进行测定。2004 年 7– 10 月, 典型晴天, 利用 L±1600 稳定气孔计, 测定时环境相对湿度设定叶室内的平衡湿度, 选树冠中层正常生长的叶片夹入叶室, 分别测定上、下 2 个表面的蒸腾速率, 两者之和即为叶的蒸腾速率, 每株苗木的中部向阳面选取 4 片健康叶片作为实验材料, 每个叶片每次连续采取 6 个稳定的数据, 观测结果在现地存储于数据 Data-log 中, 每 30 min 测定 1 次, 取叶片蒸腾速率的平均值; 利用 BP-3400 精密天平, 定时定位称重, 每 60 min 称重 1 次, 计算该时段内苗木耗水量, 试验结束后将测定苗木叶子全部收获, 通过 L±3000 叶面积仪进行叶面积总量的测定, 最后计算叶片的耗水速率。

3 结果与分析

从表 2 可以看出, 稳定气孔计法和整株称重法测定叶片蒸腾速率随着土壤含水量的增加而升高, 不同土壤水分条件下, 稳定气孔计测定值恒大于整株称重测定值, 主要由于稳定气孔计测定叶片蒸腾速率时由于干燥空气的导入, 对气孔产生瞬间刺激, 同时仪器叶室内的界面层阻力较小, 使叶室内部处于微风之中, 迅速提高了局部叶面的蒸腾速率, 所以采用稳定气孔计测定叶片蒸腾具有增效作用, 这种作用对不同蒸腾状况的叶片, 可能产生不同程度的效果, 而利用整株称重测定叶片蒸腾耗水速率得到的蒸腾速率是整株叶片的平均值, 可以比较真实地反映整株叶片蒸腾的真实情况。

表 2 2004 年稳定气孔计与整株称重
蒸腾测值的比较 g/(m⁻² · s⁻¹)

土壤含水量 / %	侧柏					
	8 月			10 月		
	气孔计法 (A)	称重法 (B)	A/ B	气孔计法 (A)	称重法 (B)	A/ B
7±1	0.01208*	0.00566*	2.13	0.01031	0.00892	1.16
10±1	0.02429	0.00982	2.47	0.01129	0.00964	1.17
14±1	0.03262	0.01199	2.72	0.01342	0.01076	1.25
20±1	0.03502	0.01344	2.61	0.01510	0.01281	1.18
土壤含水量 / %	油松					
	8 月			10 月		
	气孔计法 (A)	称重法 (B)	A/ B	气孔计法 (A)	称重法 (B)	A/ B
7±1	0.01899*	0.01455*	1.31	0.01434	0.00860	1.67
10±1	0.02384	0.01110	2.15	0.02175	0.01136	1.92
14±1	0.04994	0.01607	3.11	0.02518	0.01188	2.12
20±1	0.06331	0.02483	2.55	0.02702	0.01575	1.72
土壤含水量 / %	刺槐					
	8 月			10 月		
	气孔计法 (A)	称重法 (B)	A/ B	气孔计法 (A)	称重法 (B)	A/ B
7±1	0.03557*	0.01558*	2.28	0.02645	0.02096	1.26
10±1	0.08820	0.03809	2.32	0.03881	0.02480	1.56
14±1	0.11271	0.04002	2.82	0.04326	0.02586	1.67
20±1	0.11967	0.04629	2.59	0.04604	0.02835	1.62
土壤含水量 / %	沙棘					
	8 月			10 月		
	气孔计法 (A)	称重法 (B)	A/ B	气孔计法 (A)	称重法 (B)	A/ B
7±1	0.06531*	0.03282*	1.99	0.03220	0.01641	1.96
10±1	0.20559	0.07546	2.72	0.06874	0.03370	2.04
14±1	0.22341	0.07969	2.80	0.09350	0.04377	2.14
20±1	0.22339	0.08058	2.77	0.08317	0.04783	1.74

注: * 为 1 d 的蒸腾速率平均值。

两种方法测值的比值随土壤水分的增加而升高, 当土壤含水量达到田间持水量时, 两种方法测值的比值反而减小, 7 月和 8 月两种方法测定值的比值大于 10 月, 这主要由于 7、8 月林木生长旺盛, 大气蒸发潜力强, 有充足的土壤水分供应会使叶片蒸腾潜力增强, 利用稳定气孔计测定值只能反映健康叶片蒸腾速率瞬时值, 并不能代表全部叶片蒸腾速率平均值, 所以, 蒸腾处于高值的叶片, 增效很显著, 可使叶片蒸腾速率值提高 2~ 3 倍; 而对于大气蒸发潜力弱的 10 月来说, 采用稳定气孔计测定叶片蒸腾速率增效作用减小, 稳定气孔计测值为整株称重测值的 1~ 2 倍。所以, 在生长旺期 7、8 月, 利用稳定气孔计和整株称重对林木蒸腾速率测定比较分析, 这对于提高稳定气孔计测定精度, 更好的测算林木及其林分的耗水量有着重要的意义。

7 月, 气孔计测定值与整株称重测值之比, 刺槐在 2.28~ 2.82, 平均为 2.50, 沙棘为 1.99~ 2.80, 平均为 2.57; 8 月, 侧柏在 2.13~ 2.72, 平均为 2.48, 油松为 1.31~ 3.11, 平均为 2.28; 10 月, 侧柏在 1.16~ 1.25, 平均为 1.19, 油松为 1.67~ 2.12, 平均为 1.86, 刺槐为 1.26~ 1.67, 平均为 1.53, 沙棘为 1.96~ 2.14, 平均为 1.97。从表 3 可以看出, 稳定气孔计与整株称重法蒸腾测定值呈线性相关, 两者存在极显著的相关关系, 相关系数均达到 0.8 以上。

表 3 气孔计与整株称重法测定叶片蒸腾速率回归关系

月份	侧柏			
	土壤水分/ %	回归方程	r^2	F 值
8	7±1	$Y=0.2484x+0.0026$	0.8903	64.909
	10±1	$Y=0.2922x+0.002$	0.9599	191.477
	14±1	$Y=0.3165x+0.003$	0.9408	127.114
	20±1	$Y=0.5792x-0.0068$	0.8873	62.996
10	7±1	$Y=1.2629x-0.0041$	0.9066	77.627
	10±1	$Y=1.2488x-0.0057$	0.8395	41.835
	14±1	$Y=1.4038x-0.0069$	0.9662	228.794
	20±1	$Y=0.8257x-0.0014$	0.9165	87.871
月份	油松			
	土壤水分/ %	回归方程	r^2	F 值
8	7±1	$Y=0.8218x-0.0011$	0.8737	55.331
	10±1	$Y=0.3718x+0.0022$	0.9225	92.280
	14±1	$Y=0.2038x+0.0059$	0.8818	59.697
	20±1	$Y=0.3549x+0.0023$	0.9631	208.773
10	7±1	$Y=0.6065x-0.0021$	0.9137	84.725
	10±1	$Y=0.6084x+0.0019$	0.9202	92.229
	14±1	$Y=0.4446x+0.0035$	0.9726	284.497
	20±1	$Y=0.8473x-0.0051$	0.8965	69.332
月份	刺槐			
	土壤水分/ %	回归方程	r^2	F 值
7	7±1	$Y=0.3038x+0.0028$	0.9544	167.322
	10±1	$Y=0.5723x+0.019$	0.8503	45.425
	14±1	$Y=0.1766x+0.0059$	0.9091	80.054
	20±1	$Y=0.2526x+0.0031$	0.9385	122.006
10	7±1	$Y=0.6398x+0.0016$	0.9103	84.725
	10±1	$Y=0.8435x-0.0039$	0.8811	59.269
	14±1	$Y=1.0092x-0.0048$	0.9194	91.307
	20±1	$Y=0.705x-0.004$	0.9271	101.677
月份	沙棘			
	土壤水分/ %	回归方程	r^2	F 值
7	7±1	$Y=0.3038x+0.0028$	0.9544	167.322
	10±1	$Y=0.441x-0.0102$	0.8730	92.902
	14±1	$Y=0.4382x-0.0171$	0.9206	92.860
	20±1	$Y=0.3974x-0.0093$	0.9627	206.396
10	7±1	$Y=0.4777x+0.0009$	0.8673	52.296
	10±1	$Y=0.3141x+0.0149$	0.9060	77.107
	20±1	$Y=0.3328x+0.0199$	0.9470	143.007

注: Y ——称重法测定值; x ——稳定气孔计测定值; r ——相关系数。

4 结论与讨论

在黄土半干旱区, 降水、气温、光照强度、空气相对湿度等气候因子和植物生长季节性变化, 会引起林地土壤水分发生相应变化。利用稳定气孔计测定大田条件下林木叶片蒸腾速率时, 由于受到林地土壤水分动态变化的影响, 在一定程度上限制了稳定气孔计在田间测定值的校准。野外林地土壤水分是无法人为控制的, 但在盆栽过程中人为调控环境因子如土壤水分调控, 是野外条件下做不到的。所以, 利用盆栽试验, 人为调控土壤水分, 进行稳态气孔计法与整株称重法蒸腾测值的比较分析, 对于林地不同土壤水分条件下稳定气孔计测定值的校准有一定的应用价值。

稳定气孔计蒸腾速率测定值恒高于整株称重法测定值, 呈线性相关, 存在极显著的相关关系, 相关系数均达到 0.8 以上。鉴于气孔计小巧轻便, 易于观测, 可以用气孔计测定树木蒸腾之后, 再用校正系数进行校正, 使蒸腾耗水值接近实际。7 月, 气孔计测定值与整株称重测值之比, 刺槐平均为 2.50, 沙棘为 2.57; 8 月, 侧柏为 2.48, 油松为 2.28; 10 月, 侧柏为 1.19, 油松为 1.86, 刺槐为 1.53, 沙棘为 1.97。

参考文献:

[1] 刘奉觉, 郑世锴, 巨关升. 树木蒸腾耗水测算技术的比较研究[J]. 林业科学, 1997, 33(2): 117- 126.

[2] 杨文斌, 蒋士梅. 半干旱地区四种针叶林蒸腾作用的研究[J]. 生态学杂志, 1991, 10(3): 18- 21.

[3] 刘奉觉. 用快速称重法测定杨树蒸腾速率的技术研究[J]. 林业科学研究, 1990, 3(2): 162- 165.

[4] 巨关升, 刘奉觉, 郑世锴, 等. 稳态气孔计与其它 3 种方法蒸腾测值的比较研究[J]. 林业科学研究, 2000, 13(4): 360- 365.

[5] 孙鹏森, 马履一. 水源保护林树种耗水特性研究与应用[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 68- 75.

(上接第 169 页)

(4) 在灌溉过程中, 尽可能的将灌溉水变为毛管水, 使其能被作物利用。即将灌水量尽量控制在: 灌水量 $\leq (W_M - W_0)$, (W_M 为土壤最大蓄水量, W_0 为土壤初始蓄水量)。

参考文献:

[1] 沈彦俊, 于沪宁. 土壤水分调控对冬小麦产量和水分利用效率的影响[J]. 地理科学进展, 1998, 17(增刊): 85- 89.

[2] 高明, 王子芳, 魏朝富, 等. 重庆水资源的农业利用及节水农业的发展对策[J]. 西南农业大学学报(自然科学

版), 2004, 26(6): 727- 730.

[3] 王政友, 陈建峰. 利用零通量面方法计算土壤水均衡要素的探讨[J]. 地下水, 2002(9): 141- 1.

[4] 雷志栋, 杨诗秀, 谢森传. 土壤水动力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1988.

[5] 周金龙, 董新光, 艾克日木·阿不都拉. 天山北坡平原区零通量面形成发育规律研究[J]. 新疆农业大学学报, 2003, 26(1): 62- 65.