

桂林岩溶试验场不同地貌部位黄荆蒸腾作用的比较研究

李为, 吴耿, 余龙江*, 刘彦, 夏坤, 栗茂腾

(华中科技大学生命科学与技术学院, 武汉 430074)

摘要: 对桂林岩溶试验场5月份不同地貌部位(洼地、坡地和垭口)黄荆的蒸腾作用特征进行了比较研究。结果表明,黄荆的蒸腾速率日变化因不同地貌部位而有所不同。垭口表现为单峰型,在中午12:30时左右出现峰值,没有出现明显的午休现象。洼地和坡地虽然都表现为双峰型,但坡地确实有午休现象,而洼地则与光照强度瞬间减弱有关。以日平均蒸腾速率进行比较,3个地貌部位从大到小的顺序为垭口>洼地>坡地。3个地貌部位黄荆蒸腾速率的差异与不同地貌部位的水热条件、土层厚度及接受光照的时间不同有关。对黄荆蒸腾速率与其影响因子的关系进行了逐步回归和最优子集回归分析,结果表明,影响黄荆蒸腾速率的主导因子是气孔导度、大气相对湿度和叶面温度,其中气孔导度的影响最大,且影响程度随地貌部位而有所不同。

关键词: 黄荆; 蒸腾速率; 影响因子; 不同地貌部位

中图分类号: Q945.11

文献标识码: A

文章编号: 1000-470X(2007)03-0316-04

Comparative Studies on Transpiration Characteristics of *Vitex negundo* at Different Geomorphological Positions at Guilin Karst Experimental Site

LI Wei, WU Geng, YU Long-Jiang*, LIU Yan, XIA Kun, LI Mao-Teng

(College of Life Science and Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Transpiration characteristics of *Vitex negundo* at different geomorphological positions (depression, slope, saddle) at Guilin Karst Experimental Site were studied. The results showed that there were differences in daily variation of transpiration rate of *V. negundo* growing in different geomorphological positions. The transpiration rate at saddle displayed one-peak pattern, which reached peak value at about 12:30, and did not appear obvious noon depression phenomena. Although the transpiration rates at depression and slope displayed two-peak pattern, it was truly attributed to noon depression phenomena at slope, while at depression, it was related to the instantaneous decreasing of light intensity. The average daily transpiration rates were in sequence as saddle > depression > slope. The differences in transpiration rate of *V. negundo* among different geomorphological positions related to the differences in hydrothermal conditions, the thickness of soil layer, and the time length of accepting sunlight. Stepwise regression analysis and best subsets regression analysis between transpiration rate of *V. negundo* and its influence factors were made, and the results indicated that the dominant factors to affect transpiration rate of *V. negundo* were stomatal conductance, air relative humidity and leaf temperature. The influence of stomatal conductance was the greatest, and the influencing extent varied with the geomorphological positions.

Key words: *Vitex negundo*; Transpiration rate; Influencing factors; Different geomorphological positions

西南岩溶地区虽然降水丰富,但是由于特殊的地质条件,水分容易漏失,且土层较薄,植被对水分的涵养能力较弱,水土流失较为严重,使得生态环境逐渐恶化。要恢复生态,首要问题是保持水土,而保持水土的首要问题是进行植被恢复,这就需要掌握生态恢复中先锋植物或优势植物的水分生态特征。有关植物蒸腾作用特征的研究已有不少报

道^[1-4],但对于岩溶地区优势植物蒸腾作用的研究则很少^[5],尤其是关于不同地貌部位优势植物蒸腾作用特征的比较研究则尚未见报道。本研究比较了桂林岩溶试验场的优势植物黄荆在不同地貌部位的蒸腾作用特征,并分析了影响黄荆蒸腾作用的主要因子,为掌握岩溶生态环境下典型植物的水分生态特征及对环境的适应性、合理选择石山绿化树种提

收稿日期:2006-11-17,修回日期:2006-12-08。

基金项目:国家自然科学基金青年基金资助项目(40302034)。

作者简介:李为(1969-),女,博士,副教授,主要从事资源生物技术和地质生态学研究(E-mail: huliwei_009@163.com)。

* 通讯作者(E-mail: yulongjiang@hust.edu.cn)。

供一定的理论依据。

1 研究区概况

桂林岩溶试验场位于桂林东南 8 km 处的丫吉村附近,处于典型的峰丛洼地与峰林平原交界地带,最高海拔为 650 m,而附近峰林平原的海拔高度为 150 m。桂林为亚热带季风区,平均气温为 18.8℃,平均降雨量为 1915 mm,其中 70.32% 的降雨量分配在 4~8 月。构成试验场的岩溶地层为上泥盆统融县组(D₃r),主要岩石成分为浅灰色致密质纯中厚层泥亮晶颗粒石灰岩。土壤属棕色石灰土,按土壤系统分类为钙质湿润淋溶土^[6]。

场区的植被主要以灌木为主,黄荆(*Vitex negundo*)是优势灌木之一,亦是场区生态恢复的先锋植物之一,在场区的不同地貌部位(洼地、坡地和垭口)都有较为集中的分布,便于研究不同地貌部位对植物蒸腾作用的影响,故选取黄荆作为研究对象。

2 研究方法

2005 年 5 月,选择晴朗天气,在试验场的洼地、坡地和垭口 3 个不同地貌部位,在远离溪水和山路口处,分别选取集中生长、大小相当、长势较好、周围植物影响小的 3 株黄荆作为标准株。在标准株的树冠中部向阳处各选取 2 片功能叶片作为标准叶片,每片叶重复测定 3 次。从 8:00 时至 18:00 时采用 CID 公司的稳态气孔计(CB-1301)测定叶片的蒸腾速率(T_r , mmol·m⁻²·s⁻¹)、气孔导度(R_g , mmol·m⁻²·s⁻¹)、大气温度(R_t , ℃)、大气相对湿度(R_h , %)和叶面温度(L_t , ℃),同时用照度计测定光照强度(P , lx)。每隔 1.5 h 测定一次(最后 2 次间隔 1 h)。整个实验重复 2~3 次,数据为 2~3 d 测定的平均值。

3 结果与讨论

3.1 不同地貌部位黄荆蒸腾速率日变化的比较

不同地貌部位黄荆的蒸腾速率日进程曲线变化有相似之处(图 1),即在早晨 8:00 时左右和傍晚 17:30 时左右蒸腾速率都处于较低水平,且 17:30 时的蒸腾速率明显低于 8:00 时。早晨 8:00 时之后,随着光照强度、大气温度和大气相对湿度的变化,黄荆的蒸腾速率发生变化,变化情况因不同地貌部位而有所不同。垭口的黄荆蒸腾速率变化曲线表现为单峰型,在中午 12:30 时左右出现峰值,没有出现明显的午休现象。洼地和坡地的黄荆蒸腾速率

日进程曲线虽然都表现为双峰型,但洼地黄荆于 9:30 时出现第一个小峰值后产生的回落现象是由于 11:00 时和 12:30 时的光照强度瞬间减弱导致的;而坡地黄荆则确实出现了明显的午休现象,于中午 12:30 时左右达到一天中的最高值,并在 14:00 时左右回落形成谷值,但于 15:30 时达到次高值,不过与前一峰值相比仍呈下降趋势,且下降趋势一直延续到傍晚。午休现象的出现说明坡地黄荆对环境变化较为敏感。以日平均蒸腾速率进行比较,3 个地貌部位从大到小的顺序为垭口>洼地>坡地。

3 个地貌部位因立地生长条件不同,造成同种植物蒸腾速率的差异。李红丽等^[7]亦报道,同种沙地植物在不同样地的蒸腾速率也有所差异。下面具体分析造成 3 个地貌部位黄荆蒸腾速率差异的主要原因:① 3 个地貌部位的水热条件不同。垭口的水热条件最好,土壤含水量达 26.8%,因而黄荆的蒸腾速率最大。洼地由于溪水汇集于此,土壤含水量(25.6%)相对较高,有利于黄荆的蒸腾作用,而坡地持水能力较差,土壤含水量(24.8%)较低,影响了黄荆的蒸腾作用,这些是导致洼地和垭口的黄荆蒸腾速率高于坡地的原因之一。② 3 个地貌部位的土层厚度不同^[8]。洼地土层最厚,约有 1~2 m;垭口次之,约有 1 m;坡地土层最薄,约在 30~150 cm。土层的厚度影响了黄荆的生长,导致了黄荆日平均蒸腾速率的不同。土层较厚的垭口黄荆生长状况优于土层较薄的坡地,故垭口黄荆的蒸腾作用强于坡地。③ 3 个地貌部位接受光照的时间不同,光照强度亦不相同,导致叶面温度的差异。垭口接受光照时间最长,在此地貌部位生长的黄荆由于较长时间接受光照,对高光照有一定的耐性。坡地由于被毗邻的山峰所挡接受光照时间较洼地短,日平均光照强度较洼地弱,导致洼地黄荆的日平均蒸腾速率较坡地大。总之,3 个地貌部位黄荆蒸腾速率的差异是由上述三方面因素综合影响的结果。

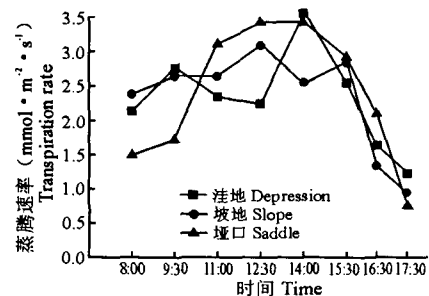


图 1 岩溶试验场不同地貌部位黄荆蒸腾速率的日变化
Fig. 1 Daily variation of transpiration rate of *V. negundo* at different geomorphological positions

3.2 影响蒸腾速率的主导因子

图 2 显示了岩溶试验场黄荆蒸腾速率(T_r)与大气温度(R_t)、大气相对湿度(R_h)、气孔导度(R_c)、光照强度(P)和叶面温度(L_t)等影响因子的关系。为了探讨试验场黄荆的蒸腾速率和诸多影响因子的关系,将其蒸腾速率与上述影响因子进行多元线性回归分析,得到黄荆蒸腾速率的回归方程为:

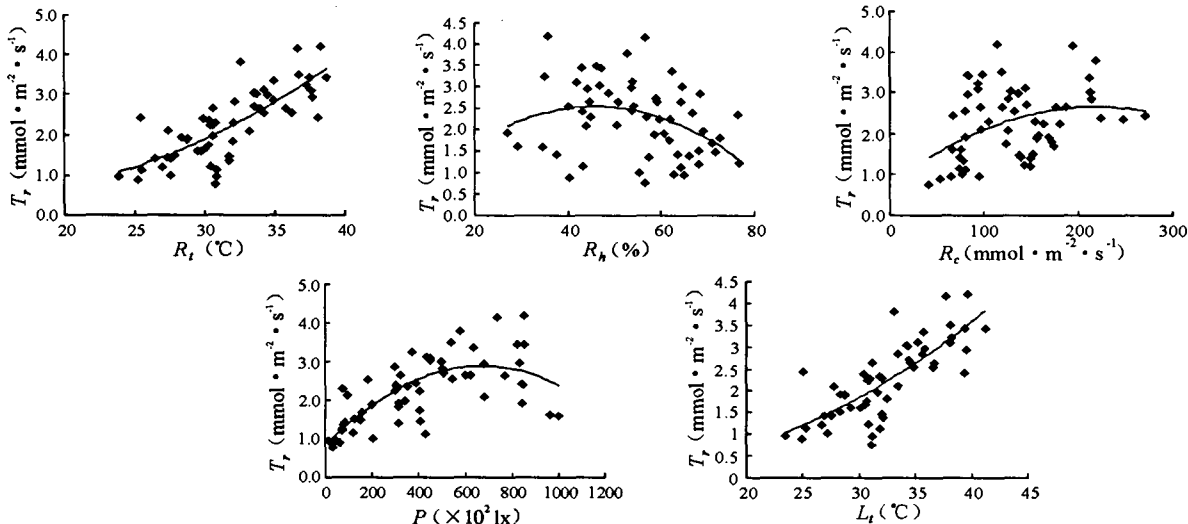


图 2 黄荆蒸腾速率(T_r)与大气温度(R_t)、大气相对湿度(R_h)、气孔导度(R_c)、光照强度(P)和叶面温度(L_t)的关系
Fig. 2 The correlation between transpiration rate of *V. negundo* and air temperature, air relative humidity, stomatal conductance, light intensity and leaf temperature

表 1 黄荆蒸腾速率与影响因子回归方程方差分析
Table 1 Anova of regression equation between transpiration rate of *V. negundo* and influencing factors

来源 Source	自由度 Degree of freedom	平方和 Sum of squares	均方差 Mean square deviation	F 值 F value	p 值 p value
回归误差 Regression error	5	38.6746	7.7349	139.65	0.000
剩余误差 Residual error	51	2.8248	0.0554		
总计 Sum	56	41.4994			

根据逐步回归分析结果(表 2),说明影响黄荆蒸腾速率的主要因子是气孔导度、大气相对湿度、叶面温度等。根据最优子级分析结果(表 3),如果取气孔导度、大气相对湿度、叶面温度这 3 个变量,其复相关系数的平方可达到 0.929,而选取 4 个或全部 5 个变量,其复相关系数的平方也仅提高到 0.930 或 0.932,可见,影响黄荆蒸腾速率的主要因子是气孔导度、大气相对湿度和叶面温度。逐步回归分析结果和最优子级分析结果相同。

分别对洼地、坡地和垭口 3 个不同地貌部位黄荆的蒸腾速率与影响因子进行多元线性回归分析,

$$T_r = 0.0118 R_c + 0.285 L_t - 0.157 R_t - 0.0398 R_h - 0.000002 P - 1.28$$

经显著性检验(表 1),回归方程达到极显著水平。回归系数显著性 t 检验值为: $R_c(14.01) > R_h(8.21) > L_t(2.67) > R_t(1.32) > P(0.99)$,可见,气孔导度、大气相对湿度、叶面温度对岩溶试验场黄荆的蒸腾速率影响显著,是主导影响因子。

得到回归方程分别为:

$$T_{r,洼地} = 0.00989 R_c + 0.587 L_t - 0.332 R_t - 0.0423 R_h - 0.000008 P - 4.98$$
$$T_{r,坡地} = 0.0112 R_c + 0.616 L_t - 0.509 R_t - 0.0445 R_h - 0.000004 P - 0.426$$
$$T_{r,垭口} = 0.0135 R_c + 0.215 L_t - 0.015 R_t - 0.0091 R_h - 0.000001 P - 5.47$$

表 2 黄荆蒸腾速率影响因子逐步回归分析结果
Table 2 Stepwise regression analysis of influencing factors of transpiration rate of *V. negundo*

项目 Item	步骤 Step		
	1	2	3
Constant	-2.859	-3.933	-1.937
L_t	0.1579	0.1637	0.1427
t value	9.28	12.58	18.65
p value	0.000	0.000	0.000
R_c		0.00672	0.01145
t value		6.36	15.36
p value		0.000	0.000
R_h			-0.0356
t value			-10.69
p value			0.000
Standard deviation	0.542	0.414	0.235
R square	0.610	0.777	0.929
Adjusted R square	0.603	0.769	0.925

表3 黄荆蒸腾速率影响因子的最优子级回归分析结果
Table 3 Best subsets regression analysis of transpiration rate of *V. negundo*

变量 Variable	R-sq	Adj R-sq	C-p	S	R_t	R_h	R_c	P	L_t
1	0.610	0.603	239.1	0.542					X
1	0.601	0.594	245.8	0.549	X				
2	0.781	0.773	113.0	0.410	X		X		
2	0.777	0.769	116.0	0.414			X		X
3	0.929	0.925	3.9	0.235		X	X		X
3	0.922	0.918	9.4	0.247	X	X	X		
4	0.931	0.925	5.0	0.235	X	X	X		X
4	0.930	0.924	5.8	0.237		X	X	X	X
5	0.932	0.925	6.0	0.235	X	X	X	X	X

Notes: R-sq: R Square; Adj R-sq: Adjusted R Square; C-p: Process capability index; S: Standard deviation. X represents significant influence.

方差分析结果显示,3个地貌部位黄荆的蒸腾速率回归方程都达到极显著水平,根据回归系数显著性检验,洼地黄荆蒸腾速率影响因子的排列顺序为: $R_c(7.33) > R_h(2.7) > L_t(2.53) > R_t(1.62) > P(1.15)$;坡地黄荆蒸腾速率影响因子的排列顺序为: $R_c(10.34) > R_h(5.15) > L_t(2.52) > R_t(1.95) > P(1.87)$;垭口黄荆蒸腾速率影响因子的排列顺序为: $R_c(7.63) > L_t(1.19) > R_h(0.38) > P(0.17) > R_t(0.07)$ 。

对3个地貌部位黄荆蒸腾速率与影响因子的逐步回归分析和最优子级分析结果亦显示,影响黄荆蒸腾速率的主要因子是气孔导度、大气相对湿度和叶面温度,其中气孔导度对蒸腾速率的影响最大,3个地貌部位黄荆蒸腾速率与气孔导度的偏相关系数分别为0.925(洼地)、0.957(坡地)和0.952(垭口)。这是因为气孔是植物与大气进行水汽和二氧化碳交换的通道,气孔导度是植物叶片气孔开闭情况的度量^[9],而气孔的开闭程度会明显影响植物叶片的蒸腾速率。大气相对湿度可以影响植物叶片内外蒸汽压差,蒸汽压差越大,蒸腾速率越大;而叶面温度升高,可以加大叶内外的蒸汽压差,加快叶内的水分汽化速度,从而加快蒸腾作用。鲍玉海等^[10]在研究山东省石灰岩山区主要灌木树种黄荆、绣线菊(*Spiraea trilobata*)、黄栌(*Cotinus coggygia* Scop.)和连翘(*Forsythia suspense* (Thunb.) Vahl.)的蒸腾速率特征时亦发现,气孔导度对这4种灌木蒸腾速率的影响最大,空气相对湿度和空气温度对绣线菊和黄荆的蒸腾速率影响较大。黄玉清等^[5]在研究广西平果县岩溶生态示范区先锋树种任豆(*Zenia insignis*)、金银花(*Lonicera maackii*)和狗骨木(*Cornus wilsoniana*)的光合蒸腾特性时发现,任豆树的蒸

腾作用受气孔导度的影响较大。因此,在研究岩溶区植物蒸腾作用时,气孔导度是不容忽视的重要影响因素之一。

4 结论

(1) 桂林岩溶试验场5月不同地貌部位黄荆的蒸腾速率日变化情况因不同地貌部位而有所不同。垭口表现为单峰型,没有明显的午休现象;洼地和坡地虽然都表现为双峰型,但坡地确实有午休现象,而洼地则与光照强度瞬间减弱有关。以黄荆的日平均蒸腾速率进行比较,3个地貌部位从大到小的顺序为垭口>洼地>坡地。3个地貌部位黄荆蒸腾速率的差异与不同地貌部位的水热条件、土层厚度及接受光照的时间不同有关。黄荆在3个地貌部位均有一定的适应性,但更适合于生长在空气流通、光照充足的垭口部位。

(2) 黄荆蒸腾速率的主要影响因子是气孔导度、大气相对湿度和叶面温度,其中气孔导度对蒸腾速率的影响最大。不过,由于地貌部位的差异,影响程度有所不同。

致谢:申泰铭参加野外实验工作,特致谢意。

参考文献:

- [1] Giambelluca T W, Ziegler A D, Nullet M A, Truong D M, Tran L T. Transpiration in a small tropical forest patch[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2003, 117: 1-22.
- [2] Novák V, Vidovic J T. Transpiration and nutrient uptake dynamics in maize (*Zea mays* L.) [J]. *Ecological Modelling*, 2003, 166: 99-107.
- [3] 王进鑫,黄宝龙,王明春,王迪海. 侧柏幼树不同生长阶段对水分的敏感性与蒸腾效率[J]. *生态学报*, 2005, 25(4): 711-718.
- [4] 张鲁,龚建周,全川,杨劫,苗百岭. 准格尔丘陵区暖温带草原主要优势植物蒸腾特征比较分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2004, 18(6): 146-151.
- [5] 黄玉清,王晓英,陆树华,汪青,赵平. 岩溶石漠化治理优良先锋植物种类光合蒸腾及水分利用效率的初步研究[J]. *广西植物*, 2006, 26(2): 171-177.
- [6] 龚子同等. 中国土壤系统分类:理论·方法·实践[M]. 北京:科学出版社,1999. 537-607.
- [7] 李红丽,董智,丁国栋,张国盛,王林和,郝云龙. 浑善达克沙地植物蒸腾特征的研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2003, 17(5): 135-140.
- [8] 潘根兴,曹建华,何师意,滕永忠,徐胜友. 岩溶土壤系统对空气CO₂的吸收及其对陆地系统碳汇的意义:以桂林Y吉村岩溶试验场的野外观测和模拟实验为例[J]. *地学前缘*, 2000, 7(4): 580-587.
- [9] 关义新,戴俊英,林艳. 水分胁迫下植物叶片光合的气孔和非气孔限制[J]. *植物生理学通讯*, 1995, 31(4): 293-297.
- [10] 鲍玉海,杨吉华,李红云,郑兆亮,宗萍萍. 不同灌木树种蒸腾速率时空变异特征及其影响因子的研究[J]. *水土保持学报*, 2005, 19(3): 184-187.