

西南喀斯特地区四种植物水分生理的初步研究

莫凌¹, 黄玉清^{1*}, 覃家科¹, 王晓英¹, 陆树华¹, 袁维圆^{1,2}

(1. 广西壮族自治区广西植物研究所, 广西桂林 541006; 2. 广西师范大学生命科学学院, 广西桂林 541004)

摘要: 通过对喀斯特地区的4种植物红背山麻杆、圆叶乌桕、青檀和水冬瓜的水分特征进行测定和比较, 结果表明: 植物的组织含水量、临界饱和和亏缺和需水程度均存在显著差异, 其抗旱能力以青檀最强; 水分利用效率饱和点以落叶灌木红背山麻杆最高, 在 $600 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右, 光辐射与气孔导度呈对数关系; 而三个落叶乔木树种的 WUE 的光饱和点均在 $400 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右, 光辐射与蒸腾速率、气孔导度均呈线性极显著相关关系; 观测结果没有显示蒸腾饱和现象。

关键词: 相对含水量; 水分饱和和亏缺; 蒸腾速率; 水分利用效率; 气孔导度; 西南喀斯特地区

中图分类号: Q945.79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2008)03-0402-05

A preliminary study on the water physiology of four plant species in karst area of Southwest China

MO Ling¹, HUANG Yu-Qing^{1*}, QIN Jia-Ke¹,
WANG Xiao-Ying¹, LU Shu-Hua¹, YUAN Wei-Yuan^{1,2}

(1. Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuang Autonomous Region and the Chinese Academy of Sciences, Guilin 541006, China; 2. College of Life Sciences, Guangxi Normal University, Guilin 541004, China)

Abstract: The water characteristics of *Alchornea trewioides*, *Sapium rotundi folium*, *Pteroceltis tatarinowii* and *Sinoadina racemosa* were measured and compared in the paper. The results showed that the tissue water content, critical saturation deficit and the water requirement degree were significantly different among the examined four plant species. The drought-resistance of *Pteroceltis tatarinowii*, a deciduous shrub, was the strongest among them, *Alchornea trewioides* had the highest WUE saturation point of $600 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, the PAR was logarithmly correlated with stomata conductance; the LSP of water use efficiency of the three deciduous trees species was all at $400 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. The PAR was significantly correlated with transpiration and the stomata conductance, and no transpiration saturation phenomenon in the four plant species was observed.

Key words: relative water content; water saturation deficit; transpiration rate; water use efficiency; stomatal conductance; karst area of Southwest China

植物生长发育受许多环境因素的影响, 水分不仅是植物代谢活动的原料, 而且是植物生存的重要环境条件和生长的限制因子。水分不足既影响造林成活率和保存率, 限制林木的生长, 又对植物的分布起一定的限制作用(涂璟等, 2003)。目前, 干旱发生

的频度日益增加, 越来越多的植物因水分不足而生长受到严重威胁(曹兵等, 2003)。在岩溶区, 水分更是限制植物生长的关键因子(李先琨等, 2003)。广西喀斯特总面积 9.7 万 km^2 , 占全区面积的 41% (袁道先, 1997; 李先琨等, 2005), 占南方喀斯特面积的

收稿日期: 2007-08-24 修回日期: 2007-12-26

基金项目: 中科院西部之光人才培养项目(2005); 广西自然科学基金(0575009, 0640137)[Personnel Training Plan of West Light Foundation, CAS (2005); Provincial Natural Science Foundation of Guangxi(0575009, 0640137)]

作者简介: 莫凌(1974-), 女, 广西来宾人, 助理研究员, 研究重点为植物生理生态学。

* 通讯作者(Author for correspondence, E-mail: HYQCOCO@gxib.cn)

17%。岩溶区遍布广西壮族自治区 4 个地市和 33 个县,其中桂林喀斯特山区由于长期得到有效保护,虽有干旱发生,但其生态环境相对稳定,且水热变化几乎与季节同步,山上植物与其立地环境形成了相对稳定的适应分布关系(黄雅丹等,2003),高温干旱的环境条件与广大岩溶区环境相似,因此,了解该地植物的水分特征对岩溶石漠化治理及生态恢复建设有重要意义。本文通过对桂林喀斯特地区常见的 4 个落叶树种的水分特征进行初步研究,探讨其对喀斯特地区的生态适应性,以期对相似环境区域的植被恢复和生态重建植物种类的选择提供理论依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 试验地概况

试验地位于桂林市雁山区雁山公园的方竹山山顶,为典型喀斯特山地,地理位置 $110^{\circ}18' E, 25^{\circ}04' N$,海拔 184 m。该区属中亚热带湿润季风气候,炎热多雨,年均日照总时数 1 553 h,平均气温 $18.8^{\circ}C$,全年无霜期 309 d;极端最低温 $-5^{\circ}C$,极端最高温 $39.4^{\circ}C$ 。全年以偏北风为主,风力较大,年均降雨量 1 900 mm 左右。2005 年 7 月气候与历年同期相比,气温偏高,雨量偏少,日照偏多。月内最高气温在 $35.0^{\circ}C$ 以上有 11 d,日均气温在 $30.0^{\circ}C$ 以上有 7 d。月雨量 132.7 mm,比历年同期雨量偏少 41.7 mm,偏少 2 成多;比去年同期雨量偏少 424.3 mm,偏少近 8 成。该山山体上部岩石裸露度 $>80\%$,光照条件充足,岩石缝隙低凹处生长着稀疏的大翼凤仙等草本植物。山顶有青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)、青檀(*Pteroceltis tatarinowii*)、圆叶乌桕(*Sapium rotundi folium*)及水冬瓜(*Sinoadina racemosa*)等乔木生长,多数乔木的根系均深扎入石缝中。灌木有九龙藤(*Bauhinia championii*)、粗糠柴(*Mallotus philippensis* var. *philippensis*)、雀梅藤(*Sageretia thea*)、红背山麻杆(*Alchornea trewioides*)等,藤本植物多攀爬于裸岩上。山顶以下植被保存良好,覆盖度超过 60%,种类大多与山顶相似。本试验以该区域分布的喀斯特常见典型植物青檀、圆叶乌桕、水冬瓜和红背山麻杆为研究对象。

1.2 研究方法

1.2.1 水分参数的测定 在高温干旱的 7 月,选择生长状况良好的植株,采集生长正常叶片,带回实验室,测定叶片组织含水量、相对含水量与水分饱和亏,试验重复 3 次,叶片组织含水量采用烘干称重

法、相对含水量及水分饱和亏采用水分饱和法。其中相对含水量 = (组织鲜重 - 组织干重) / (饱和鲜重 - 组织干重) * 100%;水分饱和亏又分为自然饱和亏和临界饱和亏,自然饱和亏 = 1 - 相对含水量、临界饱和亏 = (饱和鲜重 - 临界含水重量) / (饱和鲜重 - 干重) * 100%、需水程度 = 自然饱和亏 / 临界饱和亏 * 100%。

1.2.2 水分生理指标的测定 在 7~8 月,选择晴朗天气,采用 Li-6400 便携式光合测定仪 02B 红蓝光源测量不同光照强度下植物的蒸腾速率,气孔导度、光合速率由仪器同步测出,设置光辐射梯度:1 500、1 200、900、600、400、100、50、30、15、5 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。水分利用效率(WUE)为瞬时净光合速率(Pn)与蒸腾速率(Tr)的比值。每个树种选取自然生长条件下、生长状况良好的植株,取树冠外围的功能叶 3~4 片进行测量。利用 Excel 软件及 SPSS 软件对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 植物叶片水分状况的比较

植物组织含水量表示植物在自然状态下组织中的水分含量,是一个重要的生理指标,在一定程度上反映植物对干旱环境的适应能力。从表 1 可知,组织含水量的多少因树种的不同而不同。所测 4 种植物的组织含水量存在显著差异,其中以青檀最高,中间依次为圆叶乌桕、红背山麻杆,水冬瓜最低。

相对含水量(RWC)和水分饱和亏(WSD)是反映植物组织水分状况的一个重要指标(何海燕等,2003)。水分饱和亏是植物组织的饱和含水量与实际含水量的差值,以相对于饱和含水量的百分数表示,它的值愈大说明水分亏缺愈严重,抗旱力越弱。从表 1 中可以看到 4 个树种中以水冬瓜相对含水量较低,水分自然饱和亏最大,说明这个树种存在一定程度的水分亏缺,而其余 3 个树种相对含水量均大于 90%,水分亏缺均小于 10%,但红背山麻杆与其余两个树种仍存在显著差异。

临界饱和亏指饱和含水量与临界含水量的差值占饱和含水量的百分比,能反映植物的抗旱能力,其值越大,抗脱水能力越强。需水程度则指植物自然饱和亏占临界饱和亏的百分比,反映植物组织维持正常生命活动所缺少的水分程度。据测定结果,4 种植物中红背山麻杆缺水最为严重,需水程度最大,圆

叶乌柏排第二,再其次为水冬瓜,青檀最小(表1)。而临界饱和亏则以青檀最高,其余依次为水冬瓜,红背山麻杆及圆叶乌柏。若以水分饱和和亏缺作为评价树木抗旱能力的依据,在山顶的环境下,乔木树种比灌木树种耐旱性能要高,而乔木树种中又以青檀抗脱水能力较强,抗旱力最高,其次为水冬瓜和圆叶乌柏。

表1 4种植物的水分参数比较

Table 1 Comparison of moisture parameters among four plant species

水分参数 Water parameter	红背山 麻杆	圆叶 乌柏	青檀	水冬瓜
组织含水量 Tissue water content	0.56c	0.60b	0.66a	0.53d
相对含水量 Relative water content	0.91b	0.93a	0.94a	0.88c
自然饱和亏 Natural saturation deficit	0.09b	0.07c	0.06c	0.12a
临界饱和亏 Critical saturation deficit	0.33c	0.29d	0.74a	0.70b
需水程度 Water require degree	0.28a	0.24b	0.09d	0.17c

注:各行中不同字母表示在5%水平上差异显著。Note: Different letter within the row stands for significant difference ($P < 0.05$).

2.2 植物水分利用效率与光辐射

WUE是衡量植物水分消耗与物质生产间关系的重要综合指标,通过测定WUE,能阐明树木的气体交换特性和抗旱性机理,有助于低耗水、生产效率高、抗性强的树种的筛选(黄玉清等,2006)。4种植物的WUE在起始阶段都随光辐射的增加而逐渐增大,当达一定光强后,WUE达最大值,之后随光辐射的继续增强而逐渐下降。从图1看出,以落叶灌木红背山麻杆的WUE最高,最大值 $8.933 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$,三个乔木树种均较低,依次为青檀、圆叶乌柏、水冬瓜,最大值分别为 4.646 、 4.463 和 $3.922 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ 。灌木树种和三个乔木树种达WUE最大值时的光强不一样,在 $600 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,WUE增至 $8.833 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$,光强从 $600 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 增至 $900 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,只增加了 $0.1 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$,可认为灌木树种的WUE的光饱和点在 $600 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右,而三个乔木树种的WUE的光饱和点均在 $400 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右。这与黄玉清等(2006)对岩溶地区植物的研究相吻合。当光辐射超过其饱和点后,WUE随之缓慢下降,这与WUE由净光合速率与蒸腾速率决定有关。在光辐射增加的初期阶段,植物叶片净光合速率增幅大于蒸腾速率增幅,WUE值就随之增大,当光辐射到达该植物水分饱和点后,净光合速率增幅比蒸腾速率增幅要小,因而WUE值就会下降。

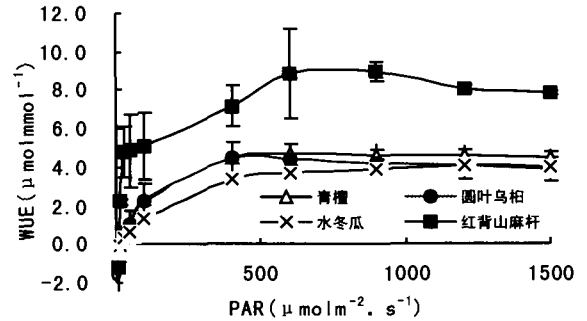


图1 4种植物水分利用效率对光辐射的响应
Fig. 1 Responses of water use efficiency to photosynthetically active radiation for four plant species

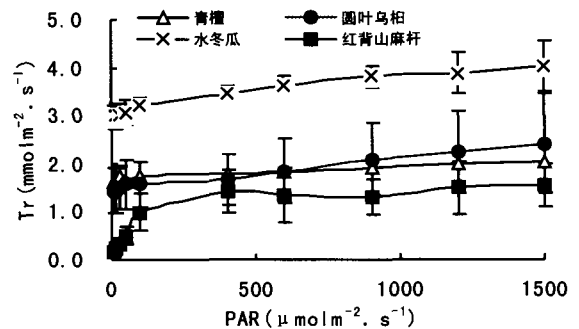


图2 4种植物蒸腾速率对光辐射的响应
Fig. 2 Responses of transpiration rate of four plant species to photosynthetically active radiation

2.3 植物叶片蒸腾速率随光有效辐射变化情况

蒸腾速率是反映植物耗水量的重要指标,也可反映植物抗旱性。所以说光照是影响蒸腾速率的主要的外界条件,光合有效辐射和蒸腾速率存在着较为密切的关系。4种植物的蒸腾速率随光有效辐射的变化规律如图2所示。

4种植物蒸腾速率均随光辐射的增强而逐渐增大,两者的相关性达到极显著水平(表2)。在同一光辐射条件下,以乔木树种水冬瓜的蒸腾速率最高,而以灌木树种红背山麻杆的最低。在本实验中这4种植物蒸腾速率随光辐射的增强,一直处于上升状态,在所给光辐射的条件下没有出现蒸腾饱和现象。

2.4 植物叶片气孔导度与光辐射及蒸腾速率的关系

光对蒸腾的影响首先是引起气孔开放,其次是提高大气和植物体的温度,增加叶内外蒸汽压差而加速蒸腾(苏培玺等,2003)。所以研究气孔导度与光辐射的关系非常重要。图3表明,4种植物气孔导度总体随光辐射的增强而增大。三个乔木树种的气孔导度

都大于灌木树种,与光辐射呈线性关系。红背山麻杆在光辐射 $<100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,气孔导度随光辐射的增加而急剧增大,从 $0.009 \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 上升至

表 2 4 种植物蒸腾速率与光辐射的相关系数

Table 2 Coefficients of correlation between photosynthetically active radiation and transpiration rate of four plant species

种类 Species	线性关系 Linear relation	相关系数(R) Correlation coefficient	重要值 Sig.
红背山麻杆	$\text{Tr}=0.525+0.001\text{Par}$	0.747	0.000
水冬瓜	$\text{Tr}=3.226+0.001\text{Par}$	0.719	0.000
圆叶乌桕	$\text{Tr}=1.725+0.001\text{Par}$	0.973	0.000
青檀	$\text{Tr}=1.659+0.0003\text{Par}$	0.895	0.000

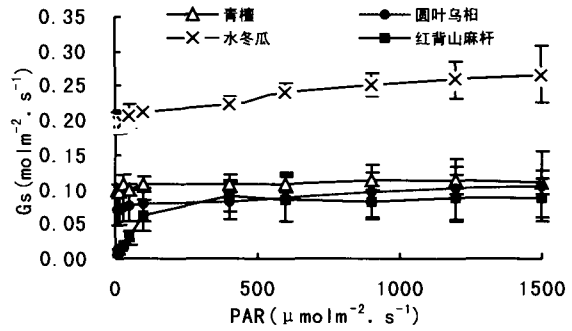


图 3 4 种植物气孔导度对光辐射的响应
Fig. 3 Responses of stomatal conductance of four plant species to photosynthetically active radiation

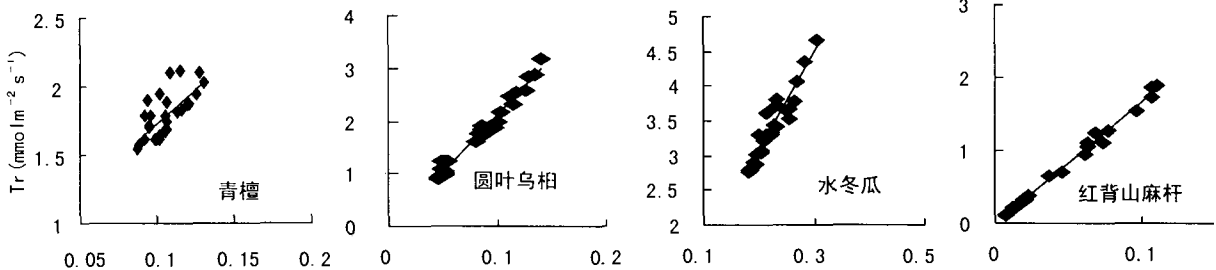


图 4 植物气孔导度与蒸腾速率的关系
Fig. 4 Relation between stomatal conductance and transpiration of the four plant species

$0.062 \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,之后变化缓慢,呈对数关系,其方程 $y=0.09\text{Ln}(x)-0.0333, R^2=0.9198$ 。水冬瓜的气孔导度平均值最高($0.236 \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$),其次是青檀($0.107 \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)和圆叶乌桕($0.077 \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$),红背山麻杆最低($0.056 \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)。乔木树种随光辐射上升的增幅均较小,通过调节气孔的开张程度来维持正常的生理活动,这与苏培玺等(2003)的研究荒漠植物相似,是植物对不良环境的适应结果。

气孔控制着二氧化碳由大气进入叶肉组织以及水分扩散到周围的空气中,是一个对内部和外部因子敏感性极高、具有调节作用的阀口。气孔开放有利于叶片光合作用的碳固定,并由于蒸腾的降温作用使叶片在高温的情况下避免热损伤;其关闭则减少水分的消耗,降低由于过分失水而导致植物出现极度水分亏缺的危险(赵平等,2000)。因此,气孔导度是控制叶片光合成和蒸腾水分丢失动态平衡的主要因素(杨盛昌等,2001),而水分通过气孔蒸腾是植物蒸腾作用的最主要形式(潘瑞炽,2004),两者关系紧密。气孔导度大则其蒸腾速率也相应较大,也即

水分从气孔蒸腾越多。测定的 4 种植物,其蒸腾速率与气孔导度均呈线性相关,蒸腾速率随着气孔导度的增大而直线增大(图 4)。

4 种植物气孔导度与蒸腾速率均是极显著相关,其线性方程及相关系数如下:青檀: $Y=9.803X+0.749$,相关系数为 0.716;圆叶乌桕: $Y=21.232X-0.016$,相关系数为 0.986;水冬瓜: $Y=14.029X+0.2494$,相关系数为 0.944;红背山麻杆: $Y=16.430X-0.002$,相关系数为 0.996。

3 讨论

植物枝叶组织体内所含水分的多少是长期适应环境的结果,干旱胁迫下能维持较高的组织含水量是植物抗旱性的一个重要特性(何玉惠等,2005)。相对含水量(RWC)高的植物对干旱的适应能力强,水分饱和和亏缺(WSD)较高而 RWC 较低的树种抗旱弱(张木清等,2005)。李绍家等(1997)研究认为植物体的临界饱和和亏越大,需水程度就越小,抗脱水能力越强,因而抗旱较强。本试验中,4 种植物组织含

水量之间差异显著,青檀的组织含水量最高,WSD最低,临界饱和亏缺最大,蒸腾较弱,虽WUE不高,但却分布在岩石裸露面大的地段,表现出较强的抗旱性,这可能与青檀具有穿透力、扩散性强的根系有关,其根/冠比值为2.4~3.1,庞大的根系快速吸收利用地下深层水分,保证树体水分平衡(傅松玲等,1999);水冬瓜的组织含水量最低,WSD最高,而其临界饱和亏缺较大,蒸腾速率及气孔导度最高,在相同的条件下,其耗水性大、吸水性最强,WUE最低,通过高蒸腾促进根系吸收水分,降低叶片表面温度来忍受干旱,具有耐旱植物的特点(杜景周,2006);圆叶乌桕的各项测定指标均居于中间,其适应性可能与形态结构有很大关联,作为山顶矮林区系组成的乔木种类之一,其完全能够较好的适应山顶的恶劣生境条件(欧祖兰等,2004);灌木树种红背山麻杆需水程度最大,但却是低蒸腾、高水分利用效率树种,通过减少蒸腾实现控制水分散失的目的,在水分利用方面具有较大的优势。即是说,即便是抗旱性较强的树种,也并非在每一生理指标上都表现出优势,它们有各自的抗旱机理(涂璟等,2003)。

总的来说,这4种植物都具有适应石山环境的发达根系,在石缝中穿透力很强,还可以通过落叶的生态习性减少水分蒸发以适应旱季,严岳鸿等(2002)也认为,落叶树种对干旱有很强的适应性,而且其年凋落量较大,有助于土壤肥力的提高。在长期的生存竞争中,4种植物均形成了各自的适应喀斯特地区特有生态环境的能力。据此,可以考虑采用这些落叶树种与其它常绿树种互相搭配种植,应用到生态恢复重建的实践中。

参考文献:

- 杜景周. 2006. 荒漠植物的水分生理特征与耐旱特性[J]. 甘肃科技, 22(1):169-170
- 张木清,陈如凯,等. 2005. 作物抗旱分子生理与遗传改良[M]. 北京:科学出版社
- 黄子琛. 1991. 荒漠植物的生态生理研究[A]. 中国科学院兰州沙漠研究所沙坡头沙漠科学研究所,腾格里沙漠沙坡头地区流沙治理研究(二)[C]. 银川:宁夏人民出版社:210-244
- 潘瑞炽. 2004. 植物生理学[M]. 北京:高等教育出版社
- Caob B(曹兵),Su RH(苏润海),Wang B(王标),et al. 2003. Study on the changes of several physiological indexes of *Ailanthus altissima* seedling under water stress(水分胁迫下臭椿幼苗几个生理指标的变化)[J]. *Fore Sci Tech* (林业科技), 28(3):1-3
- Fu SL(傅松玲),Zheng XL(郑兴林). 1999. A study on physiological characters of species of Ulmacea on limestone mountains in the Eastern of Anhui Province(皖东石灰岩山地榆科树种的生理特性)[J]. *J Nanjing Fore Univ*(南京林业大学学报), 23(3):75-78
- He HY(何海燕),Xu GH(许国辉),Ma GQ(马国强),et al. 2003. Studies on water physiology of main afforestation tree in east Qinghai(青海东部主要造林树种的水分生理研究)[J]. *J Northwest Fore Univ*(西北林学院学报), 18(2):9-12
- He YH(何玉惠),Jiang ZR(蒋志荣),Wang JH(王继和). 2005. Study on drought resistance of two species of *Ceratoides*(两种驼绒藜属植物的抗旱生理研究)[J]. *J Gansu Agric Univ*(甘肃农业大学学报), 40(2):212-215
- Huang YD(黄雅丹),Xie Q(谢强). 2003. A preliminary study on the ecological distribution of Bryoflora karst stone hill in Guilin(桂林喀斯特石山苔藓植物生态分布初探)[J]. *Carsol Sin*(中国岩溶), 22(4):299-305
- Huang YQ(黄玉清),Wang XY(王晓英),Lu SH(陆树华),et al. 2006. Studies of photosynthesis, transpiration and water use efficiency of some dominant species in rocky desert area, Guangxi, China(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]. *Guihaia*(广西植物), 26(2):171-177
- Li SJ(李绍家),Hou KW(侯开卫),Liu FS(刘凤书),et al. 1997. Natural distribution, drought-resistant nature and moisture physiology of fine host trees for Lac insects(几种紫胶虫优良寄主树的自然分布概况及耐旱性与水分生理)[J]. *Fore Res*(林业科学研究), 10(5):519-524
- Li XK(李先琨),He CX(何成新),Jiang ZC(蒋忠诚). 2003. Method and principles of ecological rehabilitation and reconstruction in fragile karst ecosystem(岩溶脆弱生态区生态恢复、重建的原理与方法)[J]. *Carsol Sin*(中国岩溶), 22(1):12-17
- Ou ZL(欧祖兰),Su ZM(苏宗明),Li XK(李先琨). 2004. Flora of karst vegetation in Guangxi(广西岩溶植被植物区系)[J]. *Guihaia*(广西植物), 24(4):302-310
- Su PX(苏培玺),Zao AIF(赵爱芬),Zhang LX(张立新),et al. 2003. Characteristic in photosynthesis, transpiration and water use efficiency of *Haloxylon ammodendron* and *Calligonum mongolicum* of desert specie(荒漠植物梭梭和沙拐枣光合作用、蒸腾作用及水分利用效率特征)[J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*(西北植物学报), 23(1):11-17
- Tu J(涂璟),Wang KQ(王克勤). 2003. A review on the progress of physiological and ecological study of afforestation trees in arid are(干旱地区造林树种的水分生理生态的研究进展)[J]. *J Northwest Fore Univ*(西北林学院学报), 18(3):26-30
- Yan YH(严岳鸿),Chen HF(陈红锋),Xing FW(邢福武),et al. 2002. Flora and vegetation in limestone area in Shimantai Nature Reserve, Guangdong(广东石门台自然保护区石灰岩地区植物区系和植被)[J]. *J Trop Subtrop Bot*(热带亚热带植物学报), 10(4):348-355
- Yang SC(杨盛昌),Lin P(林鹏),Nakasuga Tsuneo(中须贺常雄). 2001. Effect of 5 °C night temperature on photosynthetic rate and transpiration rate of mangrove seedlings (5 °C 夜间低温对红树幼苗光合速率和蒸腾速率的影响)[J]. *Bull Bot Res*(植物研究), 21(4):587-591
- Zhao P(赵平),Zeng XP(曾小平),Peng SL(彭少麟),et al. 2000. Daily variation of gas exchange, stomatal conductance and water use efficiency in summer leaves of *Ormosia pinnata*(海南红豆夏季叶片气体交换、气孔导度和水分利用效率的日变化)[J]. *J Trop Subtrop Bot*(热带亚热带植物学报), 8(1):35-42