

文章编号:1001-4810(2010)03-0293-08

广西弄拉峰丛洼地灌丛岩生优势种光合生理生态特征日变化研究^①

庞冬辉¹, 沈利娜², 蒋志诚^{2,3}, 覃星铭², 梁铭忠^{2,4}, 吴孔运⁵, 邓艳², 尹辉²

(1. 广西山区综合技术开发中心, 广西南宁 530023; 2. 中国地质科学院岩溶地质研究所, 广西桂林 541004; 3. 广西师范学院, 资源与环境科学学院, 广西南宁 530023; 4. 钦州学院, 政治与经济系, 广西钦州 5350003; 5. 陕西核工业地质局, 陕西西安 710024)

摘要:运用 LI-6400 测定弄拉峰丛洼地灌丛岩生优势种金银花、黄荆、红背山麻杆、裸花紫珠的光合生理生态特性, 并比较它们的净光合作用速率、光合有效辐射等生理、生态指标日变化。结果表明, 峰丛洼地灌丛群落生态环境因子日变化复杂, 不同灌丛群落对小气候调控有差异。黄荆和红背山麻杆调控大气 CO₂ 浓度的能力最强。黄荆的平均净光合作用速率和平均蒸腾速率最大, 红背山麻杆的水分利用效率和表现量子效率最高。金银花和裸花紫珠有明显的“午休”现象。生理因子受外界生态因子的制约, 生态因子和蒸腾作用、气孔等生理因子共同作用影响光合生理作用, 不同岩生优势种影响因子有差异。以逐步回归方式建立净光合作用速率和影响因子之间的回归方程模型, 所有方程均有显著性意义和良好的预测性。

关键词:峰丛洼地; 灌丛岩生优势种; 净光合作用速率; 生理因子; 生态环境因子

中图分类号: Q945.11 **文献标识码:** A

0 引言

峰丛洼地是西南岩溶石山区主要的地貌形态, 峰丛洼地区内碳酸盐岩成片分布^[1], 是受石漠化威胁最严重的一类岩溶地貌^[2,3]。岩溶植被的恢复与重建是峰丛洼地生态恢复和石漠化防治的核心内容之一, 过去从群落演替^[4,5]、适应性机制^[6]、恢复生态学^[7]等方面进行了研究, 对植物生理生态方面的研究主要集中在对岩溶区经济价值较高或适宜恢复树种如金银花、苦丁茶、枇杷、青冈栎、任豆、菜豆树等的光合生理生态进行了测试^[8-11], 对石山植物红背山麻杆、九龙藤、青檀和圆叶乌柏生长盛期的光响应进行了分析^[12], 但专门针对灌丛岩生优势种光合生理生态的

研究较少, 忽视了岩溶环境中生态因子日变化对物种光合生理的影响以及植物对岩溶生态因子的响应和调控, 对岩生物种生理指标、岩溶环境生态因子间的复杂关系也鲜有研究。灌丛群落是岩溶植被群落的重要组成部分, 平均覆盖率达 14.81%, 而非岩溶区的灌丛群落覆盖率为 1.92%, 因此灌丛群落对岩溶峰丛洼地的生态恢复至关重要。本研究以峰丛洼地灌丛最常见的金银花、黄荆、红背山麻杆、裸花紫珠 4 种岩生优势种为对象, 通过光合生理生态日变化特征, 探讨其生理生态因子对光合作用的影响, 研究它们的光合生理响应及其群落对生态因子的调控, 为指导岩溶植被自然演替和人工诱导恢复提供生理生态基础数据。

① 基金项目: 国家“十五”科技攻关课题(2006BAC01A10)、国家科技支撑计划(2008BAD98B07)、岩溶峰丛山地生态重建技术研究(桂科转 0719005-2-3)、广西岩溶石山区生态环境恢复重建技术开发与应用(桂科攻 0816003-2)、广西岩溶峰丛山区生态农业技术与示范(桂科攻 010124005)、区域环境保护与可持续发展研究与示范(桂科攻 0816003-1-1-1)、国家自然科学基金(40872214)、广西自然科学基金(桂科基 0638006-6、0639067)、2009 年度教育厅面上项目(200911MS142)、国家重点基础研究发展计划项目(2006CB403207)

第一作者简介: 庞冬辉(1959-), 男, 副研究员, 岩溶生态研究。E-mail: july935@126.com。

收稿日期: 2010-04-02

1 研究区域概况

弄拉位于广西马山县东南部(108°19'E, 23°39'N),为典型的南亚热带峰丛洼地,多年平均气温19.84℃,多年平均降雨量1700mm,4—10月降雨量占年降雨量的82%,年均相对湿度85%,地层为泥盆系东岗岭组中段(D₂d²),岩性较复杂,以含泥硅质的白云岩为主,局部有纯灰岩或纯白云岩出露,西北部山坡有部分白云岩夹钙质页岩。弄拉现存的植被主要为人为破坏后自然和人工诱导恢复的次生演替群落,即裸地—草丛—一次生灌草丛—暖性藤刺灌丛—热性竹林—石灰岩常绿阔叶混交林—常绿阔叶林的演替系列,不同地貌部位群落演替有差异,其顶级群落为青冈—化香群落,是典型的气候—地形—土壤演替顶极。灌丛分布面积较大,主要是黄荆(*Vitex negundo*)、红背山麻杆(*Alchornea trewioides*)、裸花紫珠(*Callicarpa nudiflora*)、金银花(*Lonicera japonica*)等为优势种的灌丛群落^[13],也是中国南亚热带岩溶区主要的灌丛群落。

2 研究方法

2.1 光合生理生态指标的测定

2007年7月在弄拉典型灌丛群落,选择金银花、黄荆、红背山麻杆、裸花紫珠4种岩生灌丛优势种的健康植株,用美国产Li-6400便携式光合测定系统,采用普通叶室(2×3),从8:00—18:00时,每隔2小时测定一次,测试每株相同叶位3片叶片(成熟、长势健康)的净光合速率(P_n)、气温(T_a)、叶温(T_l)、胞间CO₂浓度(C_i)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(E)、相对湿度(RH)、大气CO₂浓度(C_a)、光合有效辐射(PAR)等,仪器校正正好进入工作状态,手动记录每叶片连续3个稳定的数据。

2.2 数据处理

使用Excel2003计算9片叶27个数据的平均值,作为每个岩生灌丛优势种的生理生态指标,并求标准差。使用Origin7.0作图,水分利用效率WUE和表观量子效率AQE分别由公式(1)和(2)算出^[14]:

$$WUE = P_n/E \quad (1)$$

$$AQE = P_n/PAR \quad (2)$$

为定量描述不同生理生态因子对各优势种净光合作用速率的影响,使用统计分析软件SPSS13.0分析不同灌丛优势种净光合作用速率与其余8个主要生态生理因子的相关性,并运用Stepwise的回归方式建立岩生灌丛优势种净光合作用速率与各因子的线

性回归方程模型。

3 结果与分析

3.1 灌丛生态环境因子日变化

环境和内部生理活动共同影响植物的光合作用,生态环境因子中光照、CO₂浓度、温度、水分等对植物的光合生理影响最显著。由图1可知,黄荆和红背山麻杆的C_a表现出先降后升的日变化趋势,但整体来看,变幅不大。在黄荆和红背山麻杆的C_a日变化中,14:00时含量最低,与P_n日变化呈反向关系,其原因主要是植物光合作用在不断消耗大气中的CO₂。金银花和裸花紫珠的C_a在12:00—14:00时上升,以后下降,但16:00—18:00时出现剧烈下降,可能是仪器测试出现的偏差。红背山麻杆RH日变化趋势为先升后降,RH小于30%,这可能与该群落位于向阳山坡,处于最干热的环境有关。黄荆和裸花紫珠的RH是先下降后上升再下降,金银花一直缓慢下降,三者相对湿度在40%~70%之间,这主要是由于该三群落都处在山脚洼地和阴坡,环境相对湿润。山体不同地貌部位的灌丛群落的PAR数值和变化趋势存在差异,金银花和裸花紫珠在10:00和14:00时都出现峰值,黄荆和红背山麻杆仅在14:00时出现最高值。岩溶区岩石强烈吸收太阳辐射,并以热长波辐射缓慢释放出来,所以空气温度总的趋势是早上相对较凉,但上升很快,午后14:00时出现最高值,并缓慢降低,30多度的高温一直持续到18:00时。除金银花外,其它灌丛群落的T_a与PAR显著正相关。金银花的气温在16:00时才达到最高值,这可能与金银花为藤状灌木,攀岩生长有关。T_a与RH显著负相关,金银花、裸花紫珠群落T_a总体比黄荆、红背山麻杆群落高。光合有效辐射、气温、大气CO₂浓度和相对湿度都表现出一定变幅,且随不同的灌丛群落环境发生一定变化,反映了不同群落对生态因子的一定调控作用。

3.2 灌丛岩生优势种光合生理作用日变化

3.2.1 净光合作用速率日变化

由图2可知,测试的4种灌丛岩生优势种的P_n与PAR变化有联系,在PAR最大的14:00时,黄荆、红背山麻杆和裸花紫珠都出现了最大的P_n。裸花紫珠和金银花P_n出现双峰,与两者的PAR日变化曲线一致,12:00时光合速率下降,此时出现“午休”现象。灌丛岩生优势种的平均P_n,从大到小依次是黄荆(10.30)>红背山麻杆(8.42)>裸花紫珠(7.96)>金银花(6.34),单位为μmol/(m²·s)。

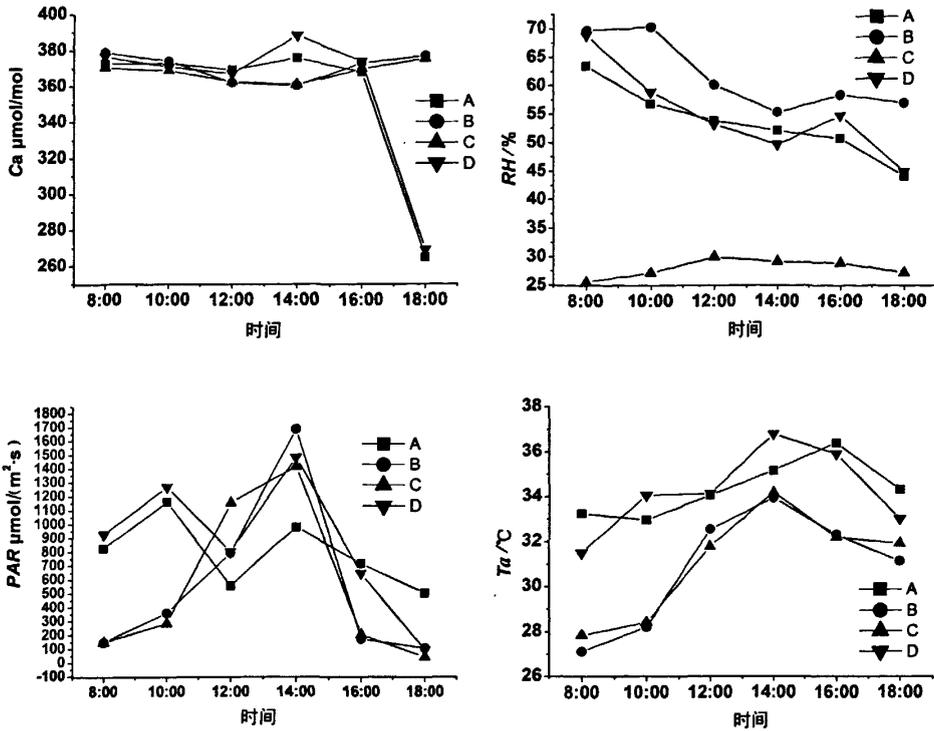


图1 岩生优势种生态环境因子日变化

Ca 大气CO₂浓度, RH 相对湿度, PAR 光合有效辐射, Ta 气温; A. 金银花; B. 黄荆; C. 红背山麻杆; D. 裸花紫珠 (下同)

Fig. 1 Daily variations in eco-environmental factors of the lithophytic shrub dominant species

notes: Ca; CO₂ density; RH; relative humidity; PAR; photosynthetic effective radiation; Ta; air temperature;

A: *Lonicera japonica*; B: *Vitex negundo*; C: *Alchornea trewioides*; D: *Callicarpa nudiflora* (The same below)

3.2.2 蒸腾作用速率的日变化

蒸腾作用是植物对水分的吸收和运输的主要动力,有利于植物吸收矿物质,可减低叶片温度,是体内水分平衡的主要环节。植物通过调节蒸腾作用使光合作用最大化,减少水分散失并避免干旱引起的木质部栓塞等^[15]。从图2可知,黄荆和红背山麻杆E曲线都是单峰型,先增大后减小,随气温升高而升高。峰丛洼地岩石裸露率高,地面强烈吸收光能而释放以长波为主的热能,导致中午及午后温度极高,加速了植被水分的蒸腾散发速率。由于黄荆和红背山麻杆没有“午休”现象,气孔保持开放,到14:00时E达到最大,之后又随气温下降减小。金银花和裸花紫珠在中午高温时,水分和CO₂供应不足,出现“午休”现象,部分气孔闭合,降低了蒸腾作用速率,12:00—14:00时E降低。

对比不同灌丛岩生优势种,平均E的大小顺序为:黄荆(3.43)>裸花紫珠(3.33)>金银花(3.15)>红背山麻杆(2.92),单位为mmol/(m²·s)。黄荆通过较强的蒸腾作用,能迅速调节叶温和水分运输,并提高光合作用速率,使之适应岩溶区高温环境^[16]。

3.2.3 恢复树种水分利用效率的日变化

植物的水分利用效率(WUE)是反映植物有效利用水资源的重要指标^[17],是指植物蒸腾消耗单位重量的水分所同化的CO₂的量,常用净光合速率与蒸腾作用速率的比值表示^[18]。由于WUE同时受到光合作用速率变化和蒸腾作用速率变化的制约,影响净光合作用速率和蒸腾作用速率的因素也不同程度的影响着水分利用效率,通常将其作为评价植物生长适宜程度的综合指标^[19]。从图3可见,金银花和裸花紫珠的WUE日变化曲线从8:00至16:00时呈“M”型,16:00至18:00时升高,在14:00时出现最高。黄荆和红背山麻杆的WUE日变化曲线是先上升后下降再上升,最高值都出现在10:00时,16:00时出现最低值。对比不同灌丛岩生优势种的平均WUE,其大小顺序为:红背山麻杆(3.63)>黄荆(2.99)>裸花紫珠(2.43)>金银花(2.06)。可见,岩溶区灌丛红背山麻杆和黄荆都具有较高的水分利用效率,全年生长良好,即使干旱对其生长影响也有限,在峰丛洼地阳坡多分布有此类灌丛群落。

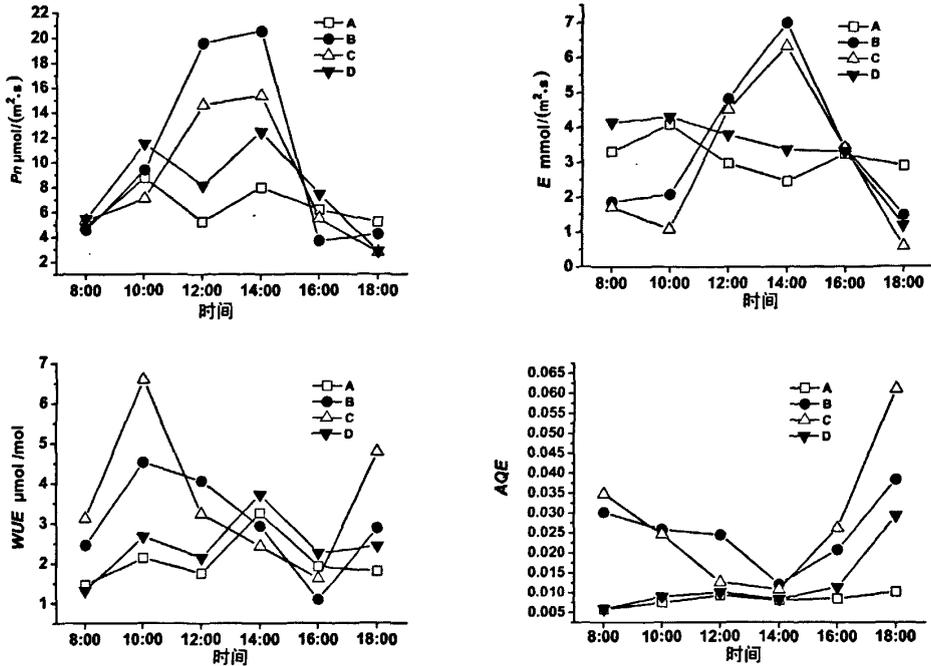


图2 灌丛岩生优势种 P_n 、 E 、 WUE 和 AQE 日变化

Fig. 2 Daily variations in P_n 、 E 、 WUE 、 AQE of the lithophytic shrub dominant species

3.2.4 恢复树种表现量子效率的日变化

表观量子效率 AQE 是代表植物潜在光合能力的重要参数,主要反映了低光照下植株利用太阳有效辐射的能力,是反映光化学变化效率的一个参数^[20],本文使用净光合速率 P_n 与相应光合有效辐射 PAR 的比值来表示。不同物种的内在生理机制对光能利用率的影响差异较大,当外界环境条件改变时光合速率改变也不同。影响光能利用率时空变异的影响因子包括植物内在因素(如叶形、羧化酶含量等)和外在环境因素,如光强、温度、大气 CO_2 浓度。从图3可知,金银花和裸花紫珠都呈现先缓慢上升后缓慢下降再明显上升的日变化趋势,16:00—18:00时明显上升。红背山麻杆和黄荆则呈现近似“V”字型变化特征,在14:00时出现最低值。金银花、黄荆、红背山麻杆和裸花紫珠都同时在18:00时出现最大值。对比不同恢复树种的平均 AQE ,其大小依次为:红背山麻杆(0.028)>黄荆(0.025)>裸花紫珠(0.012)>金银花(0.008)。红背山麻杆和黄荆的潜在光合能力相对较强,在低光照度下仍然有较高的光合作用能力,即使在洼地等光照较少的地方也能较好生长。

3.3 岩生灌丛优势种生理生态因子相关分析

P_n 受到多种因素影响,由表1可知,金银花 P_n 与 E 、 PAR 为极显著的正相关,与 V_{pdl} (叶温下蒸气

压亏缺)、 Ca 为显著正相关,与 C_i 为显著负相关;黄荆 P_n 与 G_s 、 E 、 T_a 、 PAR 为极显著正相关,与 C_i 、 Ca 和 RH 为极显著负相关,与 V_{pdl} 为显著正相关。红背山麻杆 P_n 与 G_s 、 E 和 PAR 为极显著正相关,与 V_{pdl} 和 Ca 为极显著负相关,与 RH 和 T_a 为显著正相关。裸花紫珠 P_n 与 E 、 T_a 、 V_{pdl} 、 Ca 、 PAR 为极显著正相关,与 C_i 为极显著负相关。总体来看, PAR 对各灌丛岩生优势种 P_n 的影响最明显,其次是 Ca 。

由图3可见, P_n 日变化与 E 、 PAR 、 G_s 日变化密切相关。黄荆和红背山麻杆的 P_n 与 E 的日变化曲线比较相似,而金银花和裸花紫珠的 P_n 与 E 的日变化曲线一致性不明显,其正相关系数较小(见表1)。 P_n 与 PAR 日变化趋势一致。 PAR 对光合特征参数的变化影响最大^[25],对 P_n 起决定性作用。黄荆和红背山麻杆的 P_n 与 G_s 的日变化曲线相似,但金银花和裸花紫珠的 P_n 与 G_s 的日变化曲线则有差别。 C_i 随 G_s 的降低而减少, G_s 在一定程度上控制 C_i 。金银花、红背山麻杆和裸花紫珠的 C_i 与 G_s 变化趋势一致。不同物种的 C_i 与 E 的日变化趋势差异明显,金银花、红背山麻杆和裸花紫珠的 E 与 C_i 的日变化曲线趋势一致,但黄荆的 E 与 C_i 的日变化曲线却呈现比较明显的相反趋势。8个生理生态因子共同调控灌丛岩生优势种的光合生理过程,不同物种的 P_n 受各生理生态因子

表1 灌丛优势种生理生态因子相关系数

Tab 1 Eco-physiologic factors correlation matrix of the lithophytic shrub dominant species

岩生种	参数	<i>P_n</i>	<i>G_s</i>	<i>C_i</i>	<i>E</i>	<i>V_{pdl}</i>	<i>T_a</i>	<i>C_a</i>	<i>RH</i>
金银花	<i>G_s</i>	0.049							
	<i>C_i</i>	-0.236*	0.706**						
	<i>E</i>	0.304**	0.815**	0.472**					
	<i>V_{pdl}</i>	0.164*	-0.743**	-0.740**	-0.306**				
	<i>T_a</i>	-0.033	-0.515**	-0.350**	-0.275**	0.613**			
	<i>C_a</i>	0.234*	0.278**	0.650**	0.127	-0.386**	-0.036		
	<i>RH</i>	0	0.591**	0.769**	0.187**	-0.819**	-0.531**	0.717**	
	<i>PAR</i>	0.430**	0.146**	0.039	0.294**	0.145*	-0.165*	0.276**	0.236*
	黄荆	<i>G_s</i>	0.799**						
<i>C_i</i>		-0.732**	-0.254**						
<i>E</i>		0.829**	0.879**	-0.435**					
<i>V_{pdl}</i>		0.226*	-0.038	-0.480**	0.414**				
<i>T_a</i>		0.569**	0.409**	-0.531**	0.757**	0.856**			
<i>C_a</i>		-0.833**	-0.761**	0.586**	-0.860**	-0.387**	-0.715**		
<i>RH</i>		-0.317**	-0.136*	0.453**	-0.548**	-0.956**	-0.913**	0.505**	
<i>PAR</i>		0.869**	0.775**	-0.583**	0.897**	0.363**	0.621**	-0.776**	-0.403**
红背山麻杆		<i>G_s</i>	0.693**						
	<i>C_i</i>	0.057	0.588**						
	<i>E</i>	0.720**	0.962**	0.499**					
	<i>V_{pdl}</i>	-0.231**	-0.405**	-0.587**	-0.206**				
	<i>T_a</i>	0.148*	0.223**	-0.149*	0.431**	0.759**			
	<i>C_a</i>	-0.953**	-0.722**	-0.091	-0.790**	0.170*	-0.265**		
	<i>RH</i>	0.179*	0.055	0.237**	-0.119	-0.864**	-0.914**	-0.105	
	<i>PAR</i>	0.886**	0.713**	0.071	0.769**	-0.098	0.280**	-0.917**	0.049
	裸花紫珠	<i>G_s</i>	-0.003						
<i>C_i</i>		-0.269**	0.597**						
<i>E</i>		0.544**	0.680**	0.536**					
<i>V_{pdl}</i>		0.245**	-0.807**	-0.746**	-0.432**				
<i>T_a</i>		0.500**	-0.489**	-0.424**	0.041	0.780**			
<i>C_a</i>		0.613**	0.372**	0.247**	0.664**	-0.138*	0.38**		
<i>RH</i>		0.04	0.789**	0.664**	0.569**	-0.843**	-0.495**	0.545**	
<i>PAR</i>		0.632**	0.225**	-0.032	0.583**	0.118	0.317**	0.665**	0.293**

注:*G_s*气孔导度,*E*蒸腾速率,*C_i*细胞间隙CO₂浓度,*T_a*气温,*C_a*大气CO₂浓度,*RH*相对湿度,*PAR*光合有效辐射,*V_{pdl}*叶温下蒸汽压亏缺,下同,**为极显著,*为显著。

影响程度不同,灌丛岩生优势种 *P_n* 的变化主要受生态因子中的 *PAR*、*C_a* 的制约,同时生态因子也影响生理因子中 *G_s*、*E*。

3.4 净光合作用速率与生理生态因子的回归方程模型

不同生理生态因子对各灌丛岩生优势种 *P_n* 影响有差异,在 SPSS13.0 中使用逐步回归 Stepwise 的方式,在 *F* 显著水平值 ≤ 0.05 进入方程的条件下,分别建立 4 个灌丛岩生优势种净光合速率的回归方程模型,来定量描述各生理生态因子对不同物种 *P_n* 的影响程度。经 *t* 检验,在 *P* 值小于 0.01 水平时建立的 4 个

方程均有显著性意义,相关系数都大于 0.900(表 2)。从回归方程模型可知,金银花和裸花紫珠 *P_n* 的主要外界影响因子都是 *C_i*,黄荆、红背山麻杆 *P_n* 的主要外界影响因子分别是 *PAR*、*C_a*。CO₂ 作为光合作用原料,其浓度制约着灌丛岩生优势种的光合速率,*PAR* 反映光合作用能量大小,也影响着 *P_n*。红背山麻杆群落位于阳坡,*T_a* 和 *RH* 也影响其 *P_n*。植物的光合作用受生理生态因子共同影响,不同生理生态因子对不同灌丛岩生优势种影响有差异,这与物种遗传特性和群落生态环境有关。

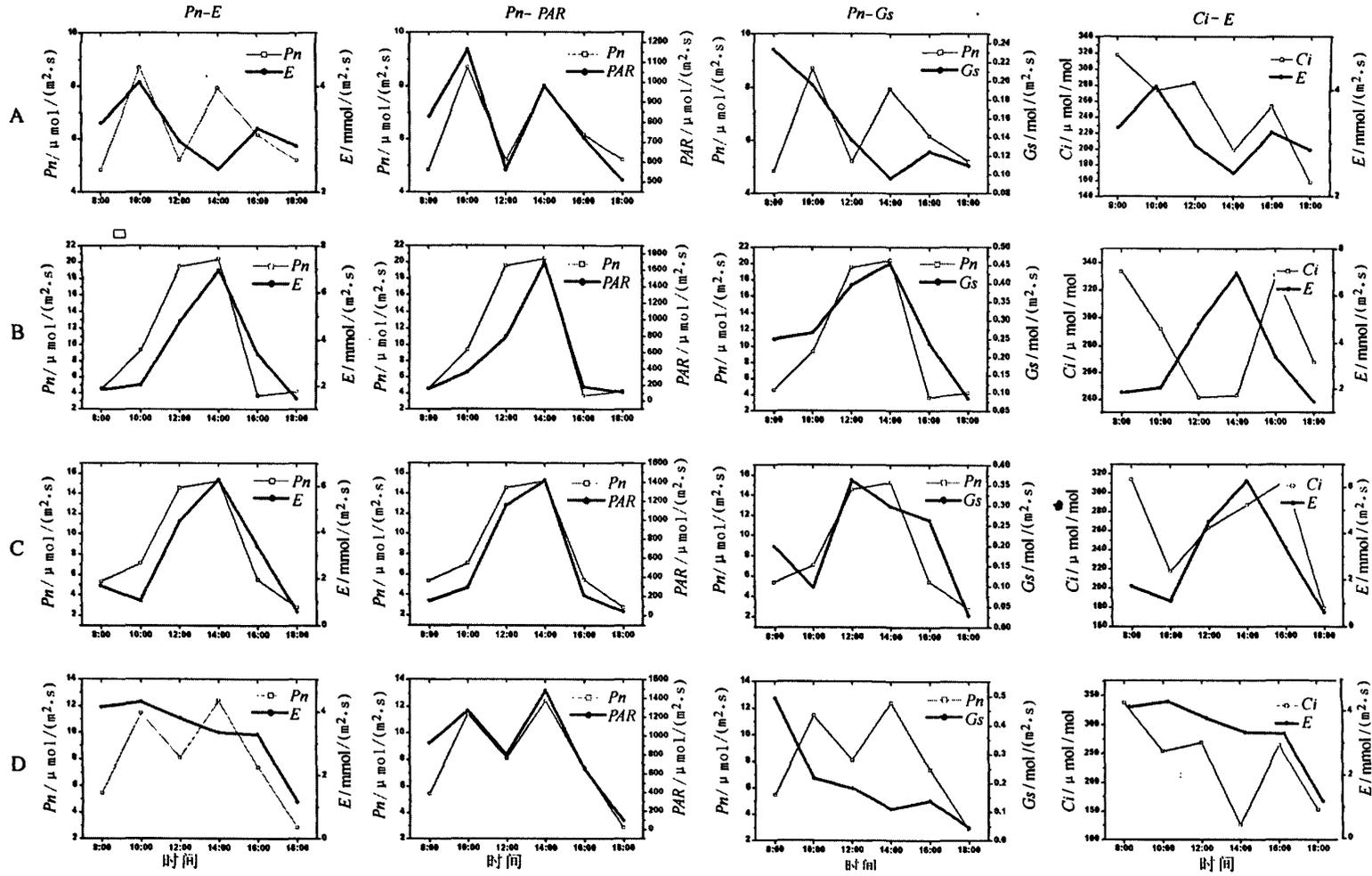


图3 P_n 对 E , PAR , G_s 的响应, E 对 C_i 的响应
 Fig. 3 Responses of P_n to PAR and G_s , responses of E to C_i

图3 P_n 对 E , PAR , G_s 的响应, E 对 C_i 的响应
 Fig. 3 Responses of P_n to PAR and G_s , responses of E to C_i

表2 灌丛岩生优势种净光合作用速率与生理生态因子的回归方程模型

Tab. 2 Regression equation model of net photosynthetic rate and eco-physiologic factors for lithophytic shrub dominant species

恢复树种	相关系数R	方差F值	残差均方差σ ²	回归方程模型经	t 检验的P值sig
金银花	0.900	107.923	1.051	$P_n = 12.942 - 0.052C_i + 0.057C_a + 2.864E - 0.378T_a - 2.730V_{pdl} - 24.720G_s$	$C_i: 0.000; C_a: 0.000; E: 0.000; T_a: 0.000; V_{pdl}: 0.000; G_s: 0.000$
黄荆	0.972	663.786	3.009	$P_n = 27.332 + 0.002PAR - 0.086C_i + 28.473G_s - 1.489V_{pdl}$	$PAR: 0.000; C_i: 0.000; G_s: 0.000; V_{pdl}: 0.002$
红背山麻杆	0.97	677.112	1.159	$P_n = 307.808 - 0.542C_a - 2.071T_a - 0.687RH$	$C_a: 0.000; T_a: 0.000; RH: 0.000$
裸花紫珠	0.932	260.451	2.918	$P_n = -6.243 + 3.899E - 0.038C_i - 18.035G_s + 0.247RH$	$E: 0.000; C_i: 0.000; G_s: 0.000; RH: 0.000$

4 讨论与结论

岩溶峰丛洼地特殊的小地形导致不同的光、热、水、气等存在质和量的差异,不同灌丛群落对生态因子有不同程度的调控作用。

不同灌丛群落 PAR、Ta、Ca 和 RH 生态因子日变化显著,对灌丛植物的光合生理有直接影响。金银花、黄荆、红背山麻杆、裸花紫珠 4 个灌丛岩生优势种的 E 与 PAR 显著正相关,黄荆平均 E 最高。在回归方程模型中,裸花紫珠 E 与 Pn 关系密切,两者都受到外界生态因子的影响。在所述的 4 种灌丛中,黄荆平均 Pn 最大,裸花紫珠和金银花有明显的“午休”现象,避免了强光和高地面辐射下过强的蒸腾作用造成的水分亏缺。灌丛岩生优势种蒸腾作用不仅受岩溶环境中生态因子的影响,而且还受自身生理阈值和年生长节律的制约^[21,22]。红背山麻杆平均 WUE 和平均 AQE 高,能较好地耐受干旱和高温胁迫的环境,在干旱缺水的阳坡也能正常生长。黄荆的 Gs 与 Pn 有显著正相关关系。不同灌丛岩生优势种在不同生理指标上表现出各自的优势,以不同方式响应岩溶环境中生态因子的变化。

过去的研究没有重视气温对岩溶区植物光合生理的影响,本研究发现 Ta 与 RH 成极显著负相关,除攀援灌木金银花外,其余直立灌丛岩生优势种的 Ta 与 PAR 为极显著正相关,并且 Ta 与 Pn 为正相关,温度是影响直立灌丛岩生优势种 Pn 的重要生态因子之一。高温胁迫造成岩溶环境中植物同化 CO₂ 的减少,能否耐受高温和干旱胁迫,是适应岩溶环境和成为峰丛洼地优势种的必备条件。

相关和回归分析表明,Ca、PAR 是影响金银花、黄荆、红背山麻杆、裸花紫珠光合作用的主要生态因

子,E 和 Gs 也受生态因子制约,生理因子和生态因子相互作用,共同影响灌丛岩生优势种的光合生理机能。特殊岩溶环境的水、光、热等生态因子,限制了岩溶植被的自然恢复。本文仅针对峰丛洼地最主要的灌丛群落优势种进行了观测,其它的岩生灌丛物种的光合生理日变化特征仍然需要进一步研究。峰丛洼地中生态因子的日变化特征具有一定的代表性,特殊岩溶环境下生态因子对灌丛岩生物种光合生理日变化影响重大。因此,对峰丛洼地灌丛的人工诱导恢复,不仅要重视灌丛优势种内部生理机制,还要结合外部生态因子的变化,因地制宜选取适宜物种和种植方式。

参考文献

- [1] 曹建华, 袁道先. 受地质条件制约的中国西南岩溶生态系统. [M]北京:地质出版社,2002:10-20.
- [2] 李先琨, 何成新, 蒋忠诚. 岩溶脆弱生态区生态恢复、重建的原理与方法[J]. 中国岩溶, 2006, 22(1):12-17.
- [3] 李先琨, 何成新. 西部开发与热带亚热带岩溶脆弱生态系统恢复重建[J]. 农业系统科学与综合研究, 2002, 18(1):13-16.
- [4] 沈利娜. 峰丛洼地生态系统恢复演替过程中植物群落研究——以广西马山弄拉峰丛洼地为例[D] 桂林:广西师范大学,2008.
- [5] 沈利娜, 蒋忠诚, 吴孔运, 等. 峰丛洼地恢复演替系列优势种光合生理生态特征日变化研究——以广西马山弄拉峰丛洼地为例[J]. 广西植物, 2010, 30(1):75-81.
- [6] 李涛, 余龙江. 西南岩溶环境中典型植物适应机制的初步研究[J]. 地学前缘, 2006, 13(3):180-184.
- [7] 庞冬辉, 李先琨, 何成新, 等. 桂西峰丛岩溶区的环境特点及农业生态系统优化设计[J]. 广西植物, 2003, 23(5):408-413.
- [8] 邓新辉, 蒋忠诚, 沈利娜, 等. 岩溶峰丛山区几种经济植物的生理特性比较分析[J]. 农业现代化研究, 2007, 28(6):763-766.
- [9] 何成新, 黄玉清, 李先琨, 等. 岩溶石漠化地区几种生态恢复植物的生理生态学特征[J]. 广西植物, 2007, 27(1):53-61.
- [10] 黄玉清, 王晓英, 陆树华, 等. 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.

- [11] 张中峰, 黄玉清, 莫凌, 桂林岩溶区青冈栎光合速率与环境因子关系初步研究[J]. 广西植物, 2008, 28(4): 478-48.
- [12] 张中峰, 黄玉清, 莫凌等. 岩溶区4种石山植物光合作用的响应[J]. 西北林学院学报, 2009, 24(1): 44-48.
- [13] 沈利娜, 邓新辉, 蒋忠诚. 不同植被演替阶段的岩溶土壤微生物特征——以广西马山弄拉峰丛洼地为例[J]. 中国岩溶, 2007, 26(4): 310-314.
- [14] 丁圣彦, 卢训令. 不同干扰背景下栲树(*Castanopsis fargesii*)幼苗幼树的生理生态特性比较——以浙江天童常绿阔叶林为例[J]. 生态学报, 2007, 27(9): 3892-3900.
- [15] 张正斌, 山仑. 作物水分利用效率和蒸腾估算模型的研究进展[J]. 干旱地区研究, 1997, 15(1): 73-78.
- [16] 赵平, 曾小平, 彭少麟. 植被恢复树种在不同实验光环境下叶片气体交换的生态适应特点[J]. 生态学杂志, 2003, 22(3): 1-8.
- [17] 山仑. 植物水分利用效率与半干旱地区农业节水[J]. 植物生理学通讯, 1994, 30(1): 61-66.
- [18] 张小全, 徐德应, 赵茂盛. 增长对杉木中龄林针叶光合生理生态的影响[J]. 生态学报, 2000, 20(3): 390-396.
- [19] 山仑, 徐荫. 节水农业及其生理基础[J]. 应用生态学报, 1991, 2(1): 70-76.
- [20] 宋庆安, 童方平, 易霭琴. 臭椿光合生理生态特性日变化研究[J]. 林业科学, 2007, 123: 148-153.
- [21] 罗青红, 李志军. 树木水分生理生态特性及抗旱性研究进展[J]. 塔里木大学学报, 2005, 17(2): 29-33.
- [22] 沈利娜, 蒋忠诚, 覃星铭, 等. 峰丛洼地恢复树种光合生理生态特征日变化研究——以广西马山弄拉峰丛洼地为例[J]. 广西师范大学学报(自然科学版), 2010, 28(1): 47-53.

Daily variation of photosynthetic ecophysiological characteristics of lithophytic shrub dominant species in peak cluster depressions of Nongla, Guangxi

PANG Dong-hui¹, SHEN Li-na², JIANG Zhong-cheng^{2,3}, QIN Xing-ming²,
LIANG Ming-zhong^{2,4}, WU Kong-yun⁵, DENG Yan², YIN Hui²

(1. Guangxi mountain area polytechnic exploitation center, Nanning, Guangxi 530023, China;

2. Institute of Karst Geology, Chinese Academy of Geology Sciences, Guilin, Guangxi 541004, China;

3. Guangxi Teachers Education University, Resources and Environment Science College, Nanning, Guangxi 530023, China;

4. Politics and Economics department of Qinzhou University, Qinzhou, Guangxi 535000, China;

5. Shanxi Nuclear Industry Geology Board, Xi'an, Shanxi 710024, China)

Abstract: Physiologic characters of *Lonicera japonica*, *Vitex negundo*, *Alchornea trewioides* and *Callicarpa nudiflora* and some other lithophytic shrub dominant species in NongLa peak cluster depression are measured by LI-6400 and their daily variations of physiologic and ecologic index, such as net photosynthetic rate (P_n) and photosynthetic active radiation, are compared with each other. It indicates that the daily variations of environment factors for lithophytic shrub community in peak cluster depressions are quite complicated, and that different shrub communities have different regulate and control effect to microclimate. The *Vitex negundo* and *Alchornea trewioides* communities can better adjust CO_2 density in the air. The *Vitex negundo* community is of the highest average P_n level and average transpiration rate level, but the *Alchornea trewioides* community is of the highest average water use efficiency level and average apparent quantum efficiency level. The *Lonicera japonica* and *Callicarpa nudiflora* communities show obvious "midday depression" in photosynthesis. Plant physiological factors are restricted by environment factors. Environmental factors and plant physiological factors influence photosynthesis together but different factors influence differently in these lithophytic shrub dominant species. At the same time, stepwise regression method is used to establish linear regression equations for net photosynthetic rate and various factors. All of the linear regression equations are statistically significant and predict well.

Key words: peak cluster depression; lithophytic shrub dominant species; net photosynthetic rate; physiologic factors; eco-environmental factors