

不同立地条件罗汉果组培苗的光合特性

王满莲¹, 蒋水元^{1*}, 李 锋¹, 韦 霄¹,
李 虹¹, 覃喜军^{1,2}, 戴 俊^{1,2}

(1. 广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所, 广西 桂林 541006; 2. 广西师范大学, 广西 桂林 541004)

摘 要: 比较了三种不同立地条件罗汉果组培苗的光合光响应特性以及主要环境因子和光合生理参数的日变化, 从光合作用的角度探讨影响罗汉果组培苗生长的关键生态因子。结果显示: 罗汉果组培苗的光饱和点和补偿点均随海拔的增高而增大; 丘陵的最大净光合速率最高, 山地最低。丘陵和山地罗汉果组培苗的净光合速率(P_n)日变化曲线呈“双峰”型, 在 12:30~13:30 时出现轻微的非气孔限制, 平地受云层遮挡, 无第二峰出现; 9:00~15:30 时之间的罗汉果组培苗 P_n 与气孔导度(G_s)正相关, 而 P_n 和 G_s 均与光量子通量密度(PFD)、叶温(TL)和叶片内外水汽压差(VPD)负相关, 并随 TL 和 VPD 的增大下降幅度更大。丘陵环境条件最适合罗汉果组培苗的生长, 中午前后 P_n 的下降与此时的强光、高温和低湿度有关, 是气孔限制和非气孔限制同时作用的结果。

关键词: 罗汉果; 光合日变化; 最大净光合速率; 组培苗

中图分类号: Q945 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2010)04-0507-06

Photosynthetic characteristics of tissue culture plantlet of *Momordica grosvenorii* planted in different habitats

WANG Man-Lian¹, JIANG Shui-Yuan^{1*}, LI Feng¹,
WEI Xiao¹, LI Hong¹, QIN Xi-Jun^{1,2}, DAI Jun^{1,2}

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

Abstract: The experiment was conducted to clarify the key ecological factors affecting the growth of *Siraitia grosvenorii*. Responses of net photosynthetic rate to photon flux densities, diurnal course of main environmental factors and physiological characteristics in *S. grosvenorii* tissue culture plantlet planted in three different habitats, and the relationship between them were analyzed. The results showed that, with the increase of altitude, the light saturation point and light compensation point of *S. grosvenorii* increased, the maximum net photosynthetic rate was the highest at hilly region, and was the lowest at mountainous region. The diurnal variation of net photosynthetic rate (P_n) at hilly region and mountainous region were “twin-peaked” curves, and the decrease of P_n from 12:30 to 13:30 was due to slight non-stomatal restriction, “the second peak” wasn’t observed at flat site for rapidly fluctuating irradiance levels from intermittent cumulus clouds. From 9:00 to 15:30, there was a relatively strong positive relation between P_n and stomatal conductance, a negative rela-

收稿日期: 2008-05-21 修回日期: 2009-03-22

基金项目: 广西自然科学基金(0542040); 广西科技攻关项目(0630002-3F); 桂林市科技攻关项目(20040111-3); 国家科技支撑计划项目(2006BAI06A11-01)[Supported by Natural Science Foundation of Guangxi(0542040); Key Technologies Research and Development Program of Guangxi(0630002-3F); Key Technologies Research and Development Program of Guilin(20040111-3); National Key Technology Research and Development Program(2006BAI06A11-01)]

作者简介: 王满莲(1978-), 女, 湖南邵阳人, 硕士, 研究方向为植物生理生态。

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

relationship between TL , VPD and photon flux densities (PFD), leaf temperature (TL), vapour pressure deficit (VPD) for *S. grosvenorii* tissue culture plantlet, and they declined faster with TL and VPD . Hilly region was the optimum growth environment for *S. grosvenorii* tissue culture plantlet. The rapid reduction in Pn during noontime was related to strong light intensity, high temperature and low relative humidity, and was the result of common effect of stomatal and non-stomatal restriction.

Key words: *Siraitia grosvenorii*; diurnal variation of photosynthesis; maximum net photosynthetic rate; tissue culture plantlet

罗汉果 (*Siraitia grosvenorii*) 为葫芦科罗汉果属多年生宿根茎性的藤本植物, 是我国特有的经济、药用植物, 为广西桂北地区传统特产。传统的罗汉果种植主要采用块根和压蔓等无性繁殖方法, 由于长期采用该方法, 产量与品质下降。罗汉果组培苗以其脱毒、早实、高产等优良特性而被广大种植者争相采用, 然而由于其适生环境与区域尚无科学依据, 导致当前的推广应用存在相当大的盲目性 (白隆华等, 2004)。光合作用是植物生长和结果的基础, 一般认为, 植物叶片光合能力与其生产潜力呈正相关 (Buchanan & zwier, 2000), 受光照强度、温度、空气相对湿度等众多环境因素的影响 (许大全, 2002)。不同立地条件的光热水等环境因子差异很大, 植物的光合生理是生境水热等环境因子与自身协同作用的结果。至今为止, 尚无罗汉果组培苗光合生理生态特性方面的研究报道。本研究根据不同产地自然条件和罗汉果组培苗生长适应性的差异, 划分出平地、丘陵和山地三种主要立地条件, 于开花初期 (花果期有机物积累最多且是在光照最强、气温最高的

夏季)。研究罗汉果组培苗的光响应特性, 主要环境和光合生理参数的日变化及其相互关系。从光合作用的角度揭示影响罗汉果组培苗生长的关键生态因子, 阐明罗汉果组培苗的栽培生态特性, 为罗汉果组培苗的合理布局与种植生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料与设计

试验在罗汉果产地广西桂林临桂县内进行, 三种立地条件信息见表 1, 均采用柏林公司的组培苗, 于 2006 年 5 月 1 日定植, 栽培管理方式相同。用 Li-6400 便携式光合作用系统 (LI-COR, Lincoln, Nebraska, USA) 于 2006 年 7 月 18, 19, 23 日分别测定平地、丘陵和山地罗汉果组培苗 (开花初期晴天) 叶片的光合日进程和光响应曲线。随机选取主蔓或侧蔓顶部刚成熟叶片进行测定, 各立地条件 4 株, 每株一张叶片, 空间取向和角度尽量一致 (例如, 所有叶片都为西向, 基本与地面水平)。

表 1 样地信息
Table 1 Site description

立地条件 Local conditions	平地 Flat site	丘陵 Hilly land	山地 Mountains
位置 Location	109°59.871' E, 25°11.949' N	110°05.790' E, 25°22.192' N	109°55.892' E, 25°19.211' N
海拔 Elevation (m)	168	220	716
土壤质地 Soil texture	中壤土 Loam	中壤土 Loam	中壤土 Loam
土壤 pH 值 Soil pH	5.97	4.59	4.49
坡度 Slope	<5°	≈35°	≈60°
坡向 Aspect	正东坡 East slope	东南坡 South-east slope	正南坡 South slope
7 月平均日最高气温 Average daily maximum air temperature in July (°C)	33.8	33.2	29.7
7 月平均日最低相对湿度 Average daily minimum air humidity in July (%)	60.5	62	64.1

1.2 测定项目

光合作用日进程测定: 自当地时间 7:30~18:30 时进行 (平地为 8:00~18:00 时), 每小时测 1 次, 每片重复记录 4~5 组数据, 结果取平均值。生理指标包括植物的净光合速率 (Pn , $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、蒸腾速率 (Tr , $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、气孔导度 (Gs , $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 与胞间 CO_2 浓度 (Ci , $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$), 水分利用效率 (WUE , $\text{mmol} \cdot \text{mol}^{-1}$) 为 Pn 与 Tr 的比值; 环境参数包括光合有效辐射 (PAR)、叶温 (TL)、和叶片空气间的水汽压亏缺 (VPD) 等。

s^{-1})、蒸腾速率 (Tr , $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、气孔导度 (Gs , $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 与胞间 CO_2 浓度 (Ci , $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$), 水分利用效率 (WUE , $\text{mmol} \cdot \text{mol}^{-1}$) 为 Pn 与 Tr 的比值; 环境参数包括光合有效辐射 (PAR)、叶温 (TL)、和叶片空气间的水汽压亏缺 (VPD) 等。

光响应曲线测定: 根据 P_n 日变化曲线, 确定大概的饱和光强, 将待测叶片置于该光强下诱导 30 min (仪器自带的红蓝光源) 以充分活化光合系统。使用开放气路, 空气流速为 $0.5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$, 叶片温度 $27 \text{ }^\circ\text{C}$, CO_2 浓度 $360 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。设定的光强梯度为 $1500, 1200, 1000, 800, 600, 400, 200, 100, 50, 20, 10, 0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。测定时每一光强下停留 3 min。以光量子通量密度 (PFD) 为横轴、 P_n 为纵轴绘制光合作用光响应曲线 (P_n - PFD 曲线)。依据 Bassman 等 (1991) 的方法拟合 P_n - PFD 的曲线方程: $P_n = P_{\max} (1 - \text{Coe} \cdot \Phi PFD / P_{\max})$ 其中 P_{\max} 为最大净光合速率 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), Φ 为弱光下光化学量子效率 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), Coe 为度量弱光下净光合速率趋于 0 的指标。经适合性检验, 拟合效果良好, 然后用下式计算光补偿点 ($LCP, \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$): $LCP = P_{\max} \ln(\text{Coe}) / \Phi$, 假定 P_n 达到 P_{\max} 的 99% 的 PFD 为光饱和点 ($LSP, \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), 则: $LSP = P_{\max} \ln(100 \text{ Coe}) / \Phi$ 。

用一元方差分析方法 (One-Way ANOVA) 分析三种立地类型罗汉果各参数的差异, 用一元线性回归求 09:30~15:30 时罗汉果组培苗 P_n 、 G_s 与光强、叶温和 VPD 的相关性, 以及 P_n 与 G_s 的相关性, 所用软件为 SPSS11.5 (SPSS Inc., USA)。用 Sigma Plot 9.0 (SPSS Inc., USA) 绘图。

2 结果与分析

2.1 不同立地条件罗汉果组培苗叶片的光响应特性

三种立地类型罗汉果组培苗的光响应曲线如图 1 所示, 三条曲线的 R^2 均为 0.99, 拟合效果很好。在光强低于 $200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, 三种立地类型罗汉果组培苗的 P_n 值差异很小, 均随光强的增大呈线性上升, 超过该光强以后, P_n 上升的幅度逐渐减小, 直至达到最大净光合速率, 即光饱和光合速率 (P_{\max}), 该阶段平地 and 丘陵罗汉果组培苗的 P_n 差异不大, 均高于山地。

2.2 不同立地条件罗汉果组培苗叶片的光响应参数

三种立地条件罗汉果组培苗的 LSP 、 LCP 和 P_{\max} 如表 2 所示, 其中平地 and 丘陵罗汉果组培苗的 P_{\max} 显著高于山地, 山地罗汉果的 LCP 和 LSP 显著高于平地 and 丘陵。高海拔罗汉果组培苗的光合能力降低, 光补偿点和饱和点均增高, 两个低海拔以上参数差异不显著。

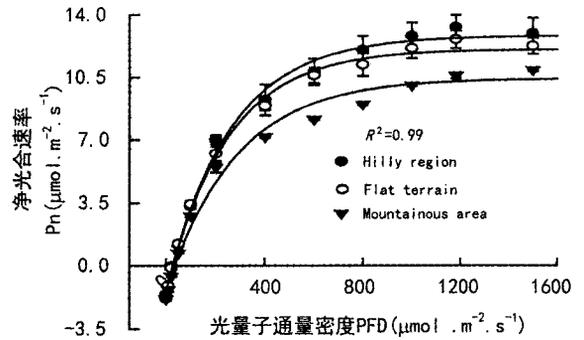


图 1 三种立地条件罗汉果组培苗净光合速率对光强的响应

Fig. 1 Responses of net photosynthetic rate to photon flux densities (PFD) in *Siraitia grosvenorii* planted in three different local conditions

表 2 三种立地条件罗汉果组培苗的光响应参数

Table 2 The photosynthetic parameters derived from P_n - PFD curves of *Siraitia grosvenorii* planted in three different local conditions

立地条件 Local conditions	P_{\max} ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	LCP ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	LSP ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
平地 Flat terrain	$12.1 \pm 0.5a$	$27.9 \pm 1.0b$	$1163 \pm 36b$
丘陵 Hilly region	$12.8 \pm 0.8a$	$26.3 \pm 0.4b$	$1212 \pm 17b$
山地 Mountainous area	$10.6 \pm 0.2b$	$35.5 \pm 1.5a$	$1313 \pm 34a$

注: 数据以平均数 ± 标准误差表示, 同一列上标相同字母为差异不显著 ($P < 0.05$)。

Note: Within each line, values followed by the same letter are not significant difference at $P < 0.05$.

2.3 不同立地条件环境因子日进程

测定时环境因子日变化如图 2。日出后, 丘陵环境光合有效辐射快速上升, 8:30 时达 $1072 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 接近罗汉果组培苗的光饱和点 ($1212 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), 此后由于薄云遮挡, PAR 增加缓慢, 至 11:30 时达 $1369 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 超过了罗汉果组培苗的光饱和点, 并在 12:30~13:30 达最大值 $1884 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (远超过罗汉果组培苗的光饱和点), 以后又逐渐减小; 平地 and 山地测定当日上午偶有云层遮挡, 使得光合有效辐射分别在 11:00 时和 11:30 时~12:30 时突然降低, 下午由于云层和坡向的影响, 中午前后 PAR 相对较弱, 远超过光饱和点的光强照射时间较短 (图 2:A)。三种立地类型罗汉果组培苗叶片温度的变化均与光合有效辐射的变化趋势基本一致, 呈先升后降的趋势, 13:30 时左右到达全天的最高值, 全天温度大部分时间均在 $36 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上, 最高值在 $45 \text{ }^\circ\text{C}$ 左右, 由于连续的强光照

射,丘陵罗汉果叶温的最高值大于平地 and 山地(图 2:B)。罗汉果组培苗 VPD 呈先升后降的趋势,三种立地类型早上最低值均接近 1KPa,均在 13:30 时

左右达最高值,丘陵达 7.1 KPa,平地 and 山地分别达 5.4、5.6 KPa,此后逐渐下降,到 18:30 时左右接近早晨的值(图 2:C)。

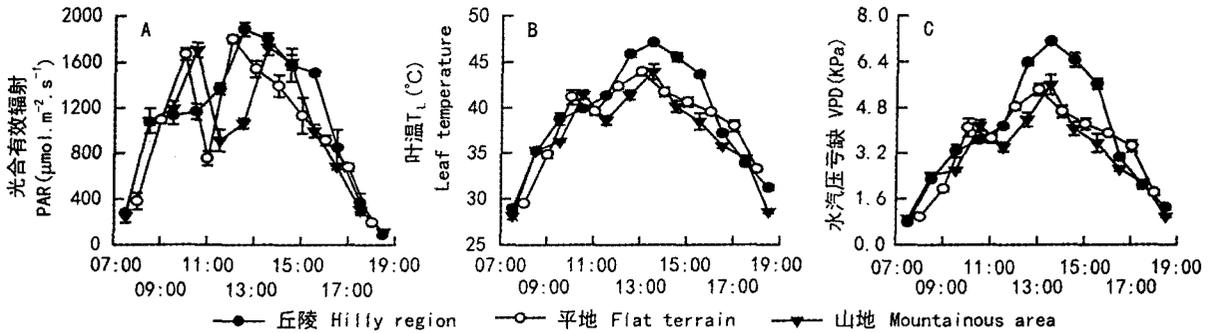


图 2 不同立地类型光合有效辐射、叶温和水汽压亏缺的日变化

Fig. 2 Diurnal course of photosynthetically active radiation(PAR), leaf temperature(TL) and vapour pressure deficit(VPD) for *Siraitia grosvenorii* planted in three different local conditions.

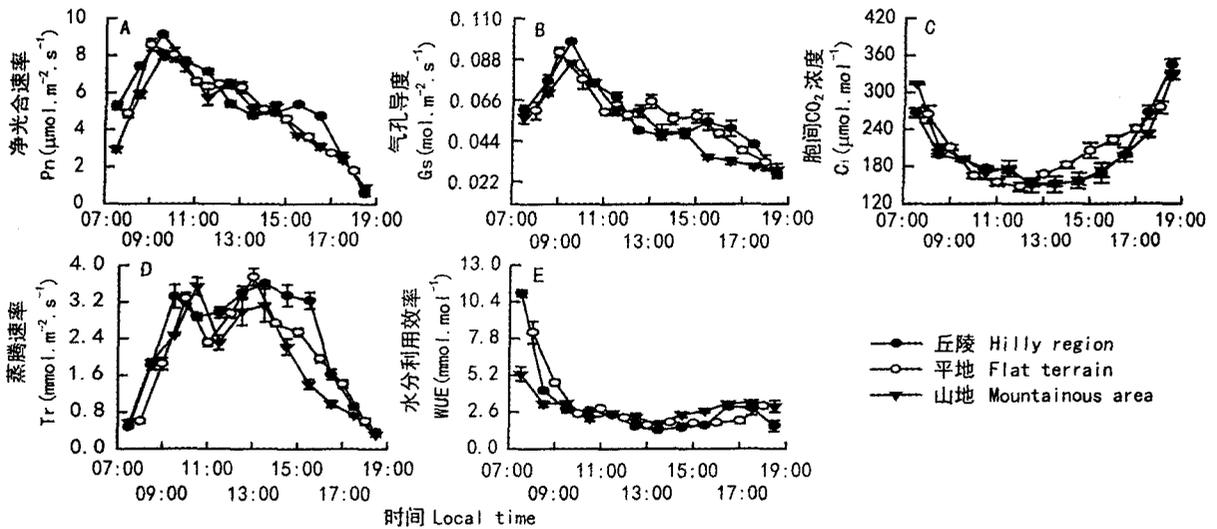


图 3 不同立地类型罗汉果气体交换参数的日变化

Fig. 3 Daily courses of gas exchange variables of *Siraitia grosvenorii* planted in different local conditions

2.4 三种立地条件罗汉果组培苗光合生理参数的日变化

丘陵罗汉果组培苗的 P_n 日变化呈“双峰型”,第一峰值出现在上午 9:30 时左右,第二峰值出现在 15:30 时左右,而谷底出现在 13:30 时左右,出现了明显的光合作用“午休”现象;由于测定当日中午前后有云层的遮挡,光照射的时间较短,平地 P_n 的日变化呈“单峰型”,峰值出现在上午 9:00 时左右;山地 P_n 的日变化总体呈“双峰型”(除 11:30 时由于光强突然降低引起 P_n 下降以外),第一峰值出现在上午 9:30 时左右,第二峰值出现在 14:30 时左右,

而谷底出现在 13:30 时左右,发生了明显的“午休”现象;相对而言,丘陵 P_n 峰值高于平地 and 山地,且大部分时间丘陵的 P_n 最高,平地次之,山地最小(图 3:A)。丘陵罗汉果组培苗的 G_s 与 P_n 的日变化一致,呈“双峰型”;受中午前后光强波动的影响,平地 G_s 在 13:00 时出现一个较低的“第二峰”,而山地却没有“第二峰”的出现(图 3:B)。三种立地类型罗汉果组培苗 C_i 的日变化总体呈先降后升的趋势,但山地 11:30 时较高,可能与此时 P_n 较低有关(图 3:C)。植物叶片蒸腾的强弱既取决于 G_s ,也取决于叶内外的 VPD。平地罗汉果组培苗 T_r 呈“双峰

型”, 9:30~15:30 时较高的 G_s 和 VPD 使 T_r 较高, 平地 and 山地 T_r 主要受 VPD 的影响, 其变化趋势与 VPD 一致(图 3:D)。早晨 7:30 时左右, 光强逐渐上升, 气孔开度也逐渐增大, P_n 呈上升趋势, 但 T_r 很低, 所以此时三种立地类型罗汉果组培苗的

WUE 最高; 随着气温上升, 空气相对湿度下降, 气孔部分关闭, 导致 P_n 下降, 但 T_r 却保持在较高水平, WUE 随之下降, 9:30~15:30 时由于 P_n 呈下降趋势, T_r 维持在较高水平, WUE 较低, 且呈上下波动趋势(图 3:E)。

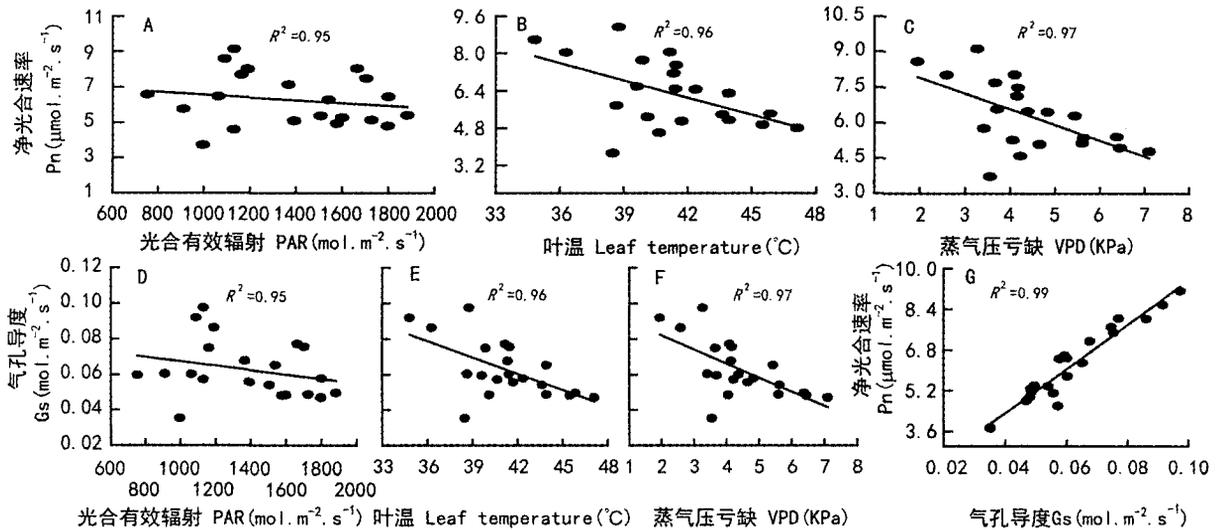


图 4 净光合速率、气孔导度与光合有效辐射、叶温和水汽压亏缺的关系

Fig. 4 Net photosynthetic rate and stomatal conductance against photosynthetically active radiation(PAR), leaf temperature(TL) and vapor pressure deficit(VPD) of *Siraitia grosvenorii*

图中数据为三种立地条件罗汉果 09:30~15:30(平地为 09:00~15:00)的值

All the data(09:30—15:30 at hilly region and mountainous area, 9:00—15:00 at flat terrain) for *Siraitia grosvenorii* in three different local conditions have been pooled

2.5 罗汉果组培苗 P_n 、 G_s 与 PAR 、 TL 和 VPD 的关系

09:30~15:30 时(平地为 09:00~15:00)罗汉果组培苗 P_n 、 G_s 与 PAR 、 TL 和 VPD 的关系, 以及 P_n 与 G_s 的关系如图 4 所示。该时间段三种立地条件的 PAR 大部分时间均大于 $1200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (超过其光饱和点), TL 在 36°C 以上, VPD 超过 3KPa (图 2), 此时罗汉果组培苗的 P_n 与 G_s 正相关, 而 P_n 和 G_s 均与 PAR 、 TL 和 VPD 负相关, 且随 TL 和 VPD 增大的下降幅度大于随 PAR 增大的下降幅度。

3 讨论

立地条件的不同使得植物生长的环境因子特别是水热条件的变化较复杂, 植物的生理生态特性是对环境长期适应的结果(徐炳成等, 2003; Sadler 等, 2000)。本研究表明不同立地条件罗汉果组培苗的光合特性差异显著。其中罗汉果组培苗的 LSP 和

LCP 均随海拔的增高而增大, 丘陵的 P_{max} 最高, 山地最低(表 1)。光合有效辐射随海拔的增高而增大, 高海拔罗汉果组培苗较高的 LSP 是对辐射环境增高的适应。罗汉果主产地均在海拔 $200 \sim 600 \text{m}$ 之间的山区, 植被较好, 以阔叶次生林为主, 属潮湿多雾的山区小气候(张雅昕等, 2004)。本研究中丘陵的地形小气候条件属罗汉果主产地气候, 其 P_{max} 也最高, 平地和高海拔山地环境均对罗汉果组培苗的光合潜能有一定的抑制作用。

三种立地条件罗汉果组培苗 P_n 在上午 9:30 时左右出现峰值后开始下降, 丘陵和山地 15:00 时左右虽然有第二峰值的出现, 但远没有回升到上午的水平, 平地中午左右由于积云遮挡没有出现第二峰(图 3), 表明罗汉果组培苗 P_n 存在明显的光合作用“午休”现象。一般认为, 高温、强光和低湿等环境条件引起的气孔限制和非气孔限制是光合作用“午休”发生的主要因素(张往祥等, 2002)。在测定当日中午前后的数小时里, 环境光合有效辐射强(远

超过罗汉果组培苗的 LSP), 温度高(42 °C左右), 叶片内外蒸汽压亏缺(5.5 KPa左右)(图2), 增加了潜在的蒸发速率, 虽然此时叶片 G_s 降低了, 但 T_r 仍很高, 不利于水分的保持, WUE 也达全天的最低值(图3)。根据 Farquhar & Sharkey(1982) 提出的判据, 只有当 P_n 和 C_i 变化方向相同, 两者都降低, 才可认为光合速率的下降主要由气孔导度引起的; 如 P_n 和 C_i 变化方向相反, 则 P_n 下降应归因于叶肉细胞同化能力的降低。12:30~13:30 丘陵和山地罗汉果 P_n 下降, C_i 略有上升, 可能发生了轻微的非气孔限制; 由于测定当日中午偶有云层, 平地变化趋势不明显, 在此没有分析气孔与非气孔限制。

许多植物的光合作用对空气湿度或更确切地说对 VPD 的变化敏感(许大全, 2002), 9:00~15:30 时三种立地条件的光强、温度和 VPD 均很高, P_n 、 G_s 与光强、叶温和 VPD 的相关性分析显示, 罗汉果组培苗的 P_n 与 G_s 正相关, 而它们均与 PFD 、 TL 和 VPD 负相关, 并随 TL 和 VPD 增大的下降幅度大于随 PAR 增大的下降幅度。表明中午前后罗汉果组培苗 P_n 的下降与强光、高温和低湿引起的气孔部分关闭有关, 与高温和低湿的关系更加密切, 但强光是多种环境条件日变化的基本推动力, 不仅直接造成光抑制, 还可以通过降低空气湿度和提高温度等间接导致“午休”现象的发生(许大全, 2002), 因此强光的作用不容忽视。

随着市场对罗汉果的需求量越来越大, 仅依赖于传统的山地栽培模式生产罗汉果已经远远不能满足市场的需求; 而且山地栽培罗汉果, 由于不能连作, 必须不断开发山地, 对森林毁坏比较严重(梁祖珍等, 2005); 若能由山地栽培扩展到平地栽培, 不仅可大面积扩大罗汉果的种植面积, 提高罗汉果的总产量, 满足市场需要, 对于保护森林也具有重要意义。本研究表明, 桂林地区平地的强光、高温和低湿

是限制罗汉果生长的关键生态因子, 因此可以通过适度遮荫和浇水, 或者采用雾灌措施来降低中午强光和高温, 提高空气湿度, 改善罗汉果组培苗的生长环境, 从而提高产量。

参考文献:

- 许大全. 2002. 光合作用效率[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 163-170
- 梁祖珍, 邓光宙, 赵兵. 2005. 罗汉果平地普通大棚栽培试验初报[J]. 广西园艺, 16:6
- 张雅昕, 白先达, 邹玲, 等. 2004. 罗汉果生长气象条件分析[J]. 广西气象, 25(3):25-27
- Bai LH(白隆华), Pu RL(蒲瑞翎). 2004. The cultivation of tissue-cultured Luohanguo *Siraitia* seedling and its problems(罗汉果组培苗栽培技术特点及存在的问题)[J]. *Chin Academic Med Magazine of Organisms*(中国医学生物技术应用杂志), 1:63-66
- Bassman J, Zwier JC. 1991. Gas exchange characteristics of *Populus trichocarpa*, *Populus deltoids* and *Populus trichocarpa* XP. *deltoids* clone[J]. *Tree Physiol*, 8:145-159
- Buchanan BB, Gruissen W, Jones RL. 2000. Biochemistry and molecular biology of plants[M]. Rockville: American Society of Plant Physiologist; 2-50, 260-310, 568-628
- Farquhar GD, Sharkey TD. 1982. Stomatal conductance and photosynthesis[J]. *Ann Rev Plant Physiol*, 33:317-345
- Sadler EJ, Bauer PJ, Busscher WJ. 2000. Site-specific analysis of a droughted corn crop: I. Growth and grain yield. II. Water use and stress [J]. *Agron J*, 92:395-410
- Xu BC(徐炳成), Shan L(山仑), Huang J(黄瑾). 2003. Comparison diurnal course of photosynthetic characteristics of seabuckthorn at different site conditions in semiarid Loess Hilly-gully Regions(黄土丘陵区不同立地条件下沙棘光合生理日变化特征比较)[J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*(西北植物学报), 23(6):949-95
- Zhang WX(张往祥), Wu JS(吴家胜), Cao FL(曹福亮). 2002. Influence of photosynthetically active radiation on photosynthesis and photochemistry in leaves of *Ginkgo*(光强对银杏光合作用和光化学效率的影响)[J]. *J Nanjing Fore Univ*(南京林业大学学报), 26(6):5-9