

# 西双版纳引种的四个诺丽品系光合日变化研究

李法营<sup>1</sup>, 高进波<sup>1</sup>, 蓝增全<sup>1</sup>, 刘昌芬<sup>2</sup>, 李青红<sup>1</sup>

(1. 西南林学院 环境科学与工程系, 云南 昆明 650224; 2. 云南省热带科学作物研究所, 云南 景洪 666100)

**摘要:**应用 Li-Cor6400 便携式光合测定仪对生长在西双版纳的 4 个不同诺丽品系光合作用日变化进行测定。结果表明:‘小黑’和‘美国’品系的  $P_n$  呈单峰,而‘印尼’和‘海南’品系的呈现双峰,有明显的“午休”现象;‘印尼’品系的  $G_s$  日变化趋势与  $P_n$  大致一致,表明  $P_n$  的变化主要受气孔因素作用的结果;‘海南’品系的  $G_s$  日变化趋势与  $P_n$  不太一致;表明  $P_n$  的变化主要受气孔和非气孔因素共同作用的结果;PARi 和 Tr 是对光合特性影响最大的因子。

**关键词:**诺丽;西双版纳;光合日变化

**中图分类号:**S 793 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2010)06-0018-05

诺丽(*Morinda citrifolia*) Linn.)由英文名 Noni 而来,属茜草科(Rubiaceae)常绿多年生阔叶灌木或小乔木<sup>[1]</sup>,亦称为海巴戟、诺尼,是一种起源于南太平洋岛屿的热带常绿多年生阔叶灌木或小乔木。现在中国海南岛、西沙群岛和台湾岛有分布<sup>[2]</sup>,国外主要分布在南太平洋诸岛屿、菲律宾、澳大利亚、柬埔寨<sup>[3]</sup>。该植物通常沿海岸生长于海滩的灌丛中,以及多石的海岸、路旁、溪流旁及湿地,喜高温多雨的气候,适宜在年平均温度 21~27℃、年降雨量 1 500~2 000 mm、相对湿度 70%以上的无霜区栽培<sup>[2,4,5]</sup>。诺丽具有良好的医疗保健和美容效果,在国内外市场上日渐走俏。目前,诺丽的种植栽培、产品研发、有效成分的分析有一些研究报道,但是诺丽光合特性对比研究尚属于空白。试验以引种至西双版纳试验田种植的 4 个诺丽品系为研究对象,测定它们的光合日变化,确定其有无“午休”现象,为制定合理栽培措施以及选育高光合效率新品种提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验地位于云南省景洪市的云南省作物科学研究所的试验基地(21°29'N, 100°27'E)。该地区属北热带和南亚热带湿润季风气候,长夏无冬,干湿季分明,基本无霜。年平均气温 21.7℃,最高气温 41.1℃,最低气

2.7℃,夏热冬暖。年平均降水量在 1 200~1 700 mm,土壤类型为砖红壤。

### 1.2 试验材料

引种栽培的 3 a 生诺丽的 4 个不同品系(‘印尼’、‘美国’、‘小黑’、‘海南阔叶’)。

### 1.3 测定方法

于 2009 年 7 月下旬树木生长旺盛期,在试验地内选取植株大小相近、生长良好且无病虫害的植株共 12 株,也即每个品系 3 株,并在每株树冠上中下部分别选取 3 株朝南向的健康叶子作为测试样本。利用‘美国’Li-cor 6400 便携式光合测定仪在 9:00~19:00 时,每隔 2 h 测定 1 次,测定光合作用的日变化。测定的数据包括:叶片净光合速率( $P_n$ ,  $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )、胞间  $\text{CO}_2$  浓度( $C_i$ ,  $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$ )、气孔导度( $G_s$ ,  $\text{mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )、蒸腾速率( $\text{Tr}$ ,  $\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )、空气相对湿度(RH%)、空气温度( $T_a$ , °C)、光合有效辐射(PARi,  $\mu\text{mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )、空气  $\text{CO}_2$  浓度( $C_a$ ,  $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$ ),测定方法参照许大全<sup>[6]</sup>方法。数据采用 Excel 2003 和 SPSS15.0 进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 光合速率日变化

4 个不同诺丽品系光合日变化速率( $P_n$ )日变化曲线如图 1 所示,‘印尼’和‘海南’呈现双峰,有明显的“午休”现象;‘美国’和‘小黑’呈单峰,没有明显“午休”现象。

对于双峰的 2 个品系‘海南’的光合速率( $12.6 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )要高于‘印尼’的( $9.0 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ),而且 2 个峰值均是‘海南’的高于‘印尼’的。2 个品系自 9:00~11:00 时,随着温度和光照强度的升高,  $P_n$  迅速增加,在 11:00 时达到第 1 次峰值,随后  $P_n$  开始下降,‘海南’品种在 13:00 时出现明显“午休”现象,  $P_n$  为  $10.6 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,随后上升,在 15:00 又达到峰

第一作者简介:李法营(1985),男,山东临沂人,在读硕士,现从事森林生态学研究工作。

通讯作者:蓝增全(1963),男,硕士,教授,现主要从事森林生态学方面研究工作。E-mail: kmlanzengquan@gmail.com。

基金项目:国家林业局“948”资助项目(2007-4-8);西南林学院生态学重点建设学科资助项目。

收稿日期:2009-12-20

值;而‘印尼’种自 11:00 起,  $P_n$  持续下降到 15:00 达到最小值( $6.1 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )又持续上升,在 17:00 达到  $6.6 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ;最后都在 19:00 达到第 2 次谷值,都为  $1.3 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

对于单峰的 2 个品系,‘小黑’的光合速率要高于‘美国’品系,但最大光合速率‘美国’品系( $12.4 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )反而大于‘小黑’的( $11.3 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )。总体趋势为自 9:00  $P_n$ (‘小黑’  $5.6 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,‘美国’  $4.1 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ),随着温度和光照强度的加强,  $P_n$  持续增加,到 15:00 达到峰值,然后持续下降,到 19:00 到达谷值(‘小黑’  $2.2 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,‘美国’  $1.3 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )。4 个不同品系的光合速率表现为:‘海南’>‘小黑’>‘印尼’>‘美国’。

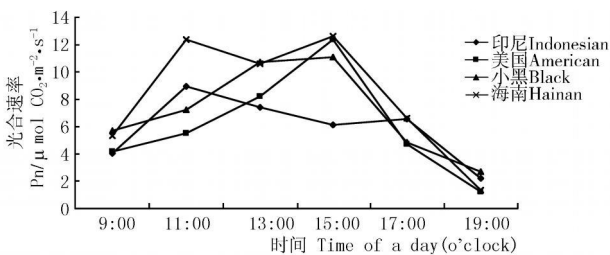


图1 诺丽 4 个不同品系光合速率日变化

Fig.1 Light and the rate of daily change

## 2.2 胞间 $\text{CO}_2$ 浓度日变化

胞间  $\text{CO}_2$  浓度( $C_i$ )是外界  $\text{CO}_2$  气体进入叶肉细胞过程中所受各种驱动力和阻力以及叶片内部光合作用和呼吸作用的最终平衡结果<sup>[7]</sup>。 $C_i$  与大气  $\text{CO}_2$  浓度呈同步变化趋势。4 个不同品系的  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ )浓度日变化呈现出相同的变化趋势,呈“V”字型(见图 2),都是在 9:00 时出现 1 d 中的最大值。‘美国’品系和‘印尼’品系在 11:00~17:00,数据都基本保持平衡,17:00~19:00 呈上升势头。‘小黑’品系自 9:00~15:00 一直处于下降状态,然后逐渐上升,在 19:00 达到另外 1 个最大值。‘海南’品系变化有点多变,自 9:00~11:00 开始下降,然后上升,接着持续下降到 15:00,然后持续上升。总体上  $C_i$  在  $285 \sim 372 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$  之间浮动。

## 2.3 气孔导度日变化

4 个不同品系的气孔导度( $G_s$ )日变化如图 3,其中‘美国’品系的呈现明显的双峰现象,‘小黑’品系呈现不明显的双峰,其它 2 品系为呈单峰。‘美国’的 2 次峰值分别出现于 9:00 时刻和 15:00 时刻,峰值分别为  $0.74 \text{ mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $0.84 \text{ mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。‘小黑’的 2 次峰值分别出现于 9:00 时刻和 13:00 时刻,峰值分别为  $0.56 \text{ mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  和  $0.46 \text{ mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。其它 2 种单峰品系的品系的最大值,‘印尼’品系出现在 11:00 ( $0.69 \text{ mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ),‘海南’品系出现在 13:00

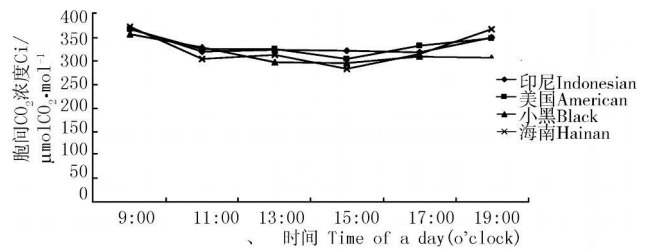


图2 胞间  $\text{CO}_2$  浓度( $C_i$ )日变化

Fig.2 Daily change of  $\text{CO}_2$  concentration

( $0.61 \text{ mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )。四者之间的气孔导度日变化峰值大小规律为:‘美国’>‘印尼’>‘海南’>‘小黑’。

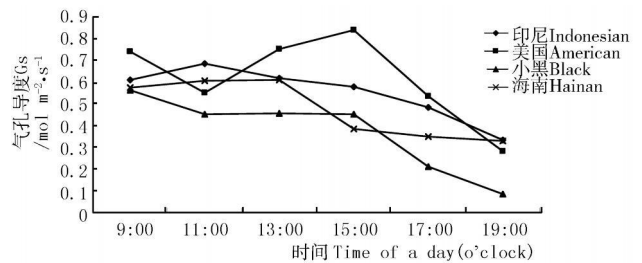


图3 气孔导度日变化

Fig.3 Daily change of porosity conductance

## 2.4 蒸腾速率日变化

4 个不同品系的蒸腾速率( $T_r$ )日变化都呈现单峰(图 4),‘海南’和‘小黑’品系在 13:00 时刻达到最大值(‘海南’  $5.8 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,‘小黑’  $4.4 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ),其他 2 个都在 15:00 时刻达到最大值(‘印尼’  $5.5 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,‘美国’  $6.6 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )。四者之间的关系为:‘美国’>‘海南’>‘印尼’>‘小黑’。

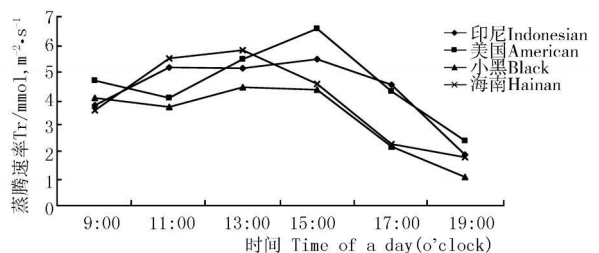


图4 蒸腾速率( $T_r$ )日变化

Fig.4 Daily change of the transpiration rate

## 2.5 空气相对湿度日变化

4 个不同品系生境的空气相对湿度(RH)日变化呈现不明显变化规律(图 5),由于西双版纳雨季的气候变化多端,同时大气湿度受到其他气候因子影响显著,导致这一现象的出现。‘印尼’品系生境的空气相对湿度呈现的是“降—升—降—升”趋势,9:00~13:00 持续下

降,然后小幅上升至 15:00,小幅下降到 17:00,最后急剧上升到 19:00,并达到最大值 80.2%。对于‘美国’,呈现类似于‘印尼’的变化规律 9:00~11:00 时刻持续下降,然后持续上升至 15:00 达最大值 75%,小幅下降到 17:00,最后小幅上升到 19:00。‘小黑’的变化规律和前 2 种正好相反,呈现“升—降—升—降”趋势,9:00~11:00 时刻持续上升达最大值 72%,然后小幅下降至 15:00 时刻达最大值 75%,后小幅上升降到 17:00,最后小幅下降到 19:00。‘海南’的变化规律大概呈“U”字型,自 9:00 起持续下降到 13:00,然后缓慢的上升持续到 19:00 达最大值 76.9%。总体上 RH 在 68%~80% 之间浮动。

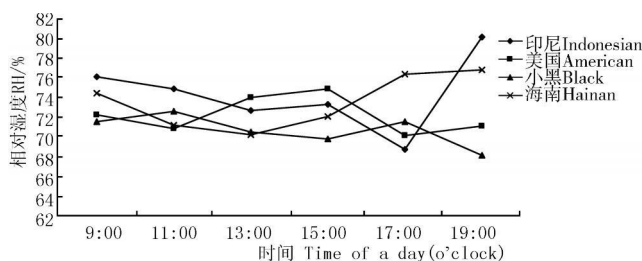


图5 空气相对湿度日变化

Fig.5 Daily change of air relative humidity

## 2.6 空气温度(Ta)日变化

4 个不同品系的生境的空气温度(Ta)日变化变化规律一致,呈倒置“V”字型(图 6),基本都于 13:00 时刻达到最大值,最大值分别为,‘印尼’ 35℃,‘美国’ 34℃,‘小黑’ 33℃和‘海南’ 33℃。总体上 Ta 在 29~35℃之间浮动。

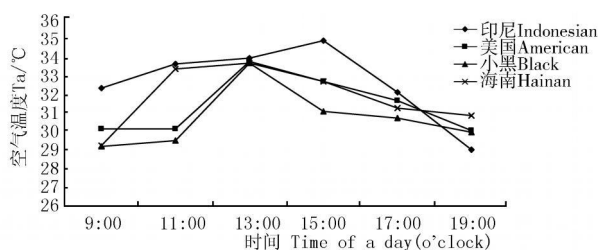


图6 空气温度日变化

Fig.6 Daily changes of temperature

## 2.7 光合有效辐射日变化

4 个不同品系生境的光合有效辐射(PARi)日变化变化规律基本一致,呈倒置“V”字型(图 7),4 个不同品系都在 15:00 达到最大值,‘印尼’为  $392 \mu\text{mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,‘美国’为  $554 \mu\text{mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,‘小黑’为  $445 \mu\text{mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,‘海南’为  $807 \mu\text{mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。按照正常有效辐射而言,就是倒置“V”字型,但由于试验是在西双版纳典型雨季进行,会有云层或者其他环境因子的影响,所以有些数据出现一些波动。总体上 PARi 在  $62 \sim 807 \mu\text{mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  之间浮动,四者之间关系为:‘海南’>‘小黑’>‘印尼’>‘美国’。

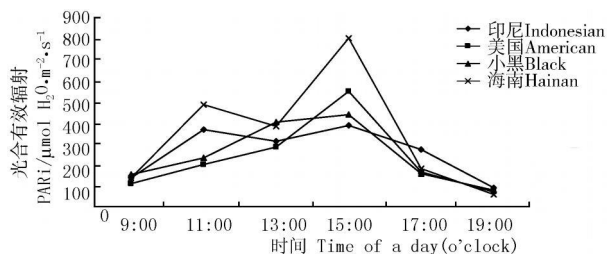
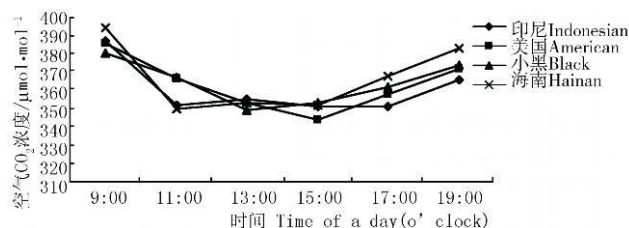


图7 光合有效辐射日变化

Fig.7 Daily change of photosynthetic radiation

## 2.8 空气 CO<sub>2</sub> 浓度日变化

4 个不同品系生境的空气 CO<sub>2</sub> 浓度日变化规律基本一致,呈倒置“U”字型或者说是呈倒单峰型(图 8),4 个品系都是在 9:00 出现最大值。在变化趋势上,‘美国’变化幅度更大,从 9:00 的最大值持续下降到 15:00 达到最小值,然后迅速上升至 19:00 时。其余 3 个品系变化趋势基本一致,都是在 9:00~11:00 时缓慢下降,并在 11:00~17:00 保持基本稳定,然后缓慢上升至 19:00。总体上空气 CO<sub>2</sub> 在  $353 \sim 388 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$  之间浮动。

图8 空气 CO<sub>2</sub> 浓度日变化Fig.8 Daily change of CO<sub>2</sub> concentration

## 2.9 净光合速率与环境因子相关性分析

从表 1 的关系矩阵可知,‘印尼’品系的 Pn 与 Ci、RH、Ca 呈负相关关系,与 Gs、Tr、Ta、PARi 呈正相关关系,外界影响因子对‘印尼’品系光合日变化影响的先后顺序为:PARi>Tr>Gs>Ta。

从表 2 的关系矩阵中可知,‘美国’品系的 Pn 与 Ci、Ca 呈负相关关系,与 Gs、Tr、RH、Ta、PARi 呈正相关关系,外界影响因子对美品系的光合日变化影响的先后顺序为:PARi>Tr>Gs>RH>Ta。

从表 3 的关系矩阵可知,‘小黑’品系的 Pn 与 Ci、Ca 呈负相关关系,与 Gs、Tr、RH、Ta、PARi 呈正相关关系,外界影响因子对‘小黑’品系光合日变化的影响的先后顺序为:PARi>Tr>Ta>Gs>RH。

从表 4 的关系矩阵中可知,‘海南’品系的 Pn 与 Ci、RH、Ca 呈负相关关系,与 Gs、Tr、Ta、PARi 呈正相关关系,外界影响因子对‘海南’品系的光合日变化影响的先后顺序为:PARi>Tr>Ta>Gs。

表 1 ‘印尼’品系光合速率与环境影响因子相关关系矩阵

Table 1 Indonesian strain photosynthetic rate and environment factors correlation matrix

影响因子	Photo	Ci	Gs	TR	RH	Ta	PARi	CO <sub>2</sub> S
净光合速率 Pn	1							
胞间 CO <sub>2</sub> Ci	-0.776	1						
气孔导度 Gs	0.769	-0.25	1					
蒸腾速率 Tr	0.878( *)	-0.692	0.808	1				
大气湿度 Rh	-0.641	0.663	-0.355	-0.72	1			
空气温度 Ta	0.767	-0.533	0.847( *)	0.967( ** )	-0.571	1		
光合有效辐射 PARi	0.881( *)	-0.846( *)	0.661	0.939( ** )	-0.619	0.880( *)	1	
大气 CO <sub>2</sub> Ca	-0.655	0.979( ** )	-0.09	-0.561	0.535	-0.408	-0.771	1

表 2 ‘美国’品系光合速率与环境影响因子相关关系矩阵

Table 2 American strains with environmental factor affecting photosynthesis correlation matrix

	Photo	Ci	Gs	TR	RH	Ta	PARi	CO <sub>2</sub>
净光合速率 Pn	1							
胞间 CO <sub>2</sub> Ci	-0.801	1						
气孔导度 Gs	0.830( *)	-0.362	1					
蒸腾速率 Tr	0.949( ** )	-0.598	0.954( ** )	1				
大气湿度 Rh	0.817( *)	-0.47	0.769	0.812( *)	1			
空气温度 Ta	0.747	-0.655	0.609	0.736	0.699	1		
光合有效辐射 PARi	0.974( ** )	-0.847( *)	0.708	0.871( *)	0.797	0.68	1	
大气 CO <sub>2</sub> Ca	-0.79	0.949( ** )	-0.383	-0.629	-0.523	-0.815( *)	-0.825( *)	1

表 3 ‘小黑’品系光合速率与环境影响因子相关关系矩阵

Table 3 Black lines with the environmental impact factor photosynthesis relation matrix

影响因子	Photo	Ci	Gs	TR	RH	Ta	PARi	CO <sub>2</sub>
净光合速率 Pn	1							
胞间 CO <sub>2</sub> Ci	-0.505	1						
气孔导度 Gs	0.553	0.431	1					
蒸腾速率 Tr	0.788	0.122	0.947( ** )	1				
大气湿度 Rh	0.119	0.54	0.575	0.47	1			
空气温度 Ta	0.696	-0.71	0.073	0.346	-0.2	1		
光合有效辐射 PARi	0.992( ** )	-0.522	0.542	0.777	0.038	0.689	1	
大气 CO <sub>2</sub> Ca	-0.868( *)	0.816( *)	-0.109	-0.419	0.063	-0.863( *)	-0.852( *)	1

表 4 ‘海南’品系光合速率与环境影响因子相关关系矩阵

Table 4 Hainan strains with environmental factor affecting photosynthesis correlation matrix

影响因子	Photo	Ci	Gs	TR	RH	Ta	PARi	CO <sub>2</sub>
净光合速率 Pn	1							
胞间 CO <sub>2</sub> Ci	-0.884( *)	1						
气孔导度 Gs	0.459	-0.038	1					
蒸腾速率 Tr	0.864( *)	-0.582	0.791	1				
大气湿度 Rh	-0.866( *)	0.609	-0.734	-0.994( ** )	1			
空气温度 Ta	0.778	-0.814( *)	0.283	0.733	-0.768	1		
光合有效辐射 PARi	0.890( *)	-0.855( *)	0.131	0.67	-0.711	0.675	1	
大气 CO <sub>2</sub> Ca	-0.868( *)	0.936( ** )	-0.192	-0.699	0.728	-0.963( ** )	-0.79	1

从表 1~4 可知, PARi 和 Tr 是对光合特性影响最大的因子。

3 结论与讨论

对于植物 Pn 的“午休”现象内在原因, 目前有 3 种解释, 一是气孔因素, 二是非气孔因素, 三是气孔和非气孔因素共同的作用<sup>[8-9]</sup>。该试验结果表明, ‘印尼’和‘海南’的 Pn 呈现双峰, 有明显的“午休”现象。‘印尼’的 Gs 日变化趋势与 Pn 的日变化趋势大致一致, 表明 Pn 的变化主要受气孔因素作用的结果; ‘海南’的 Gs 日变化趋

势与 Pn 的日变化趋势不太一致, 表明 Pn 的变化主要受气孔和非气孔因素共同作用的结果。气孔是 CO<sub>2</sub> 和水分进出叶片的重要通道, 其开张程度或气孔阻力的大小对植物水分状况和 CO<sub>2</sub> 同化有着重要的影响, 中午温度较高, 引起叶片暂时水分亏缺, 导致气孔关闭, 胞间 CO<sub>2</sub> 浓度下降, 是光合速率下降的主要原因, 除去环境因子和气孔导度的影响, 非气孔因素也发生作用<sup>[10]</sup>。光合作用中午降低的现象是由多因素同时控制的, 午后强烈的光照和高温使蒸腾作用剧烈, 气孔开度变小, 气孔阻力

变大, 严重时气孔关闭, 导致  $P_n$  受气孔因素而降低, 出现光合“午休”现象。对于光合“午休”现象, 一般认为, 午间的强光引起光合速率下降, 产生光抑制<sup>[1]</sup> 午间  $T_a$  升高,  $Tr$  降低, 叶内外饱和水气压增大, 使  $G_s$  降低或造成叶片局部遭受水分胁迫, 或由于强烈的蒸腾作用, 其携带的脱落酸累积在叶片中, 造成气孔开度变小甚至关闭<sup>[2]</sup>, 因此仅凭 1 种因子难以说明光合作用中午降低的现象。

植物光合作用的日变化是随着气候条件、生长环境及生育期的不同而呈现出多种变化的<sup>[3]</sup>。通过前面的对净光合速率与其他环境因子相互关系分析的表格可以看出, 蒸腾速率与净光合速率呈现一定的相关性, 净光合速率又与气孔导度也成一定的相关性。4 个不同品系净光合速率与外界环境因子间的关系依次为:

‘印尼’的  $P_n$  与  $C_i$ ,  $RH$ ,  $Ca$  呈负相关关系, 与  $G_s$ ,  $Tr$ ,  $T_a$ ,  $PAR_i$  呈正相关关系, 外界影响因子的先后顺序为:  $PAR_i > Tr > G_s > T_a$ 。

‘美国’的  $P_n$  与  $C_i$ ,  $Ca$  呈负相关关系, 与  $G_s$ ,  $Tr$ ,  $RH$ ,  $T_a$ ,  $PAR_i$  呈正相关关系, 外界影响因子的先后顺序为:  $PAR_i > Tr > G_s > RH > T_a$ 。

‘小黑’的  $P_n$  与  $C_i$ ,  $Ca$  呈负相关关系, 与  $G_s$ ,  $Tr$ ,  $RH$ ,  $T_a$ ,  $PAR_i$  呈正相关关系, 外界影响因子的先后顺序为:  $PAR_i > Tr > T_a > G_s > RH$ 。

‘海南’的  $P_n$  与  $C_i$ ,  $RH$ ,  $Ca$  呈负相关关系, 与  $G_s$ ,  $Tr$ ,  $T_a$ ,  $PAR_i$  呈正相关关系, 外界影响因子的先后顺序为:  $PAR_i > Tr > T_a > G_s$ 。

试验是在  $T_a$  为  $29 \sim 35^\circ\text{C}$ , 空气  $\text{CO}_2$  为  $353 \sim 388 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$ ,  $RH$  为  $68\% \sim 80\%$  之间,  $C_i$  为  $285 \sim 372 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$  的情况下进行。该试验结论为, 净光合速率

的关系是‘海南’ $>$ ‘小黑’ $>$ ‘印尼’ $>$ ‘美国’; 气孔导度 ( $G_s$ ) 的关系为‘美国’ $>$ ‘印尼’ $>$ ‘海南’ $>$ ‘小黑’; 蒸腾速率 ( $Tr$ ) 日变化关系为‘美国’ $>$ ‘海南’ $>$ ‘印尼’ $>$ ‘小黑’; 光合有效辐射 ( $PAR_i$ ) 日变化关系为‘海南’ $>$ ‘小黑’ $>$ ‘印尼’ $>$ ‘美国’。由于是在西双版纳雨季典型天气条件下进行的试验, 数据会受到外界环境因子的影响, 此点必须考虑在内, 对于其光合日日变化将会进行进一步的研究。

### 参考文献

- [1] 邢诒旺, 符懋修, 李承武, 等. 海巴戟的种子结构及发芽试验[J]. 海南大学学报(自然科学版), 2007, 25(2): 156.
- [2] 广东省植物研究所. ‘海南’植物志. 第三卷. [M]. 1 版. 北京: 科学出版社, 1974: 330-331.
- [3] 彭勇, 肖伟, 刘勇, 等. 世界药用植物新宠—海巴戟果[J]. 国外医药. 植物学分册, 2007, 22(3): 93-96.
- [4] 何明霞, 杨清. 海巴戟的引种栽培及发展前景[J]. 中国热带农业, 2006(4): 28-29.
- [5] Nelson S. Noni Seed Handling and Seedling Production [J]. Fruits and Nuts, July, 2005, 10: 1-4.
- [6] 许大全. 光合作用效率[M]. 上海: 上海科学出版社, 2002: 9-53, 108-113.
- [7] 何小勇, 练发良, 李因刚, 等. 3 种紫金牛属植物光合响应特性的研究[J]. 浙江林业科技, 2008, 28(1): 14-18.
- [8] 李国泰. 8 种园林树种光合作用特征与水分利用率比较[J]. 林业科学研究, 2002, 15(3): 291.
- [9] 朱万泽, 王金锡, 薛建辉. 引种台湾桫欏的水分生理特性[J]. 武汉植物学研究, 2004, 22(6): 539.
- [10] 许大全. 光合作用“午睡”现象的生态、生理与生化[J]. 植物生理学通讯, 1990(6): 5.
- [11] 许大全, 徐宝基, 沈允钢. C3 植物光合效率的日变化[J]. 植物生理学报, 1990, 16(1): 1.
- [12] Sharkey T D. Transpiration-induced changes in the photosynthetic capacity of leaves [J]. Planta, 1984, 160: 143.

## Photosynthetic Daily Changes Characteristics of Four Different *Morinda citrifolia* Linn. Species in Xishuangbanna

LI Fa-ying<sup>1</sup>, GAO Jin-bo<sup>1</sup>, LAN Zeng-quan<sup>1</sup>, LIU Chang-fen<sup>2</sup>, LI Qing-hong<sup>1</sup>

(1. Department of Environment Technology and Engineering, Southwest Forestry University, Kunming, Yunnan 650224; 2. Yunnan Institute of Tropical Crops, Jinghong, Yunnan 666100)

**Abstract:** By using Li-Cor 6400 portable photosynthesis system, studied the daily changes of photosynthetic characteristics of four varieties of *Morinda citrifolia* introduced and planted in Xishuangbanna, Yunnan Province. In the experiment the following data were collected. The results showed that: the diurnal change of net photosynthetic rate ( $P_n$ ) of Xiaohai and America varieties presented a single-modal, while the India and Hainan ones presented a bimodal pattern that had a midday depression; The daily change trend of  $G_s$  of India variety coincided with the that of  $P_n$ , which indicated that  $P_n$  was mainly effected by stomatal conductance; The Hainan variety did not had the same trend, which also indicated that  $P_n$  was mainly effected by both stomatal conductance and non-stomatal conductance factors; Photosynthetically active radiation ( $PAR$ ) and  $Tr$  had more significant relationship with  $P_n$ , compared with other environment factors.

**Key words:** *Morinda citrifolia*; Xishuangbanna; photosynthetic daily changes characteristics