

地涌金莲及红苞地涌金莲对光和 CO₂ 的响应

周翠丽, 李正红*, 马宏, 万友名, 刘秀贤, 侯健华

(中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 云南 昆明 650224)

摘要: 比较分析了地涌金莲原种及红苞地涌金莲变种的光响应和 CO₂ 响应特征以及叶绿素含量等指标。结果表明: (1) 在 $P_n- PAR$ 中, 地涌金莲原种的最大光饱和净光合速率、光补偿点和暗呼吸速率分别较红苞变种高 20.42%、34.88%、31.95%, 而光饱和点却较红苞变种低 4.95%; P_n-C_i 响应的各参数中, 原种的光呼吸速率、CO₂ 饱和最大净光合速率以及羧化效率分别高于红苞变种 2.73%、14.79%、21.35%, 说明地涌金莲的光合能力要强于红苞地涌金莲; (2) 地涌金莲具有典型的 C₃ 植物特征; (3) 地涌金莲为阳性耐荫植物; (4) 地涌金莲的叶绿素 a、b 以及 a/b 的含量分别高于红苞地涌金莲 22.60%、32.46%、25.06%。

关键词: 地涌金莲; 红苞地涌金莲; 光响应; CO₂ 响应; 叶绿素

中图分类号: S718.43

文献标识码: A

The Photosynthetic Response of *Musella lasiocarpa* and *M. lasiocarpa* var. *rubribracteata* to Light Intensity and CO₂ Concentration

ZHOU Cui-li, LI Zheng-hong, MA Hong, WAN You-ming, LIU Xiu-xian, HOU Jian-hua

(Research Institute of Resources Insects, Chinese Academy of Forestry, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract: The photosynthetic responses of *Musella lasiocarpa* and *M. lasiocarpa* var. *rubribracteata* to light intensity and CO₂ concentration were measured with Licor-6400. The results showed that the maximum light-saturated net photosynthetic rate (P_{max}), light compensation point (LCP) and dark respiratory rate (R_d) of the protospecies were higher than those of the variety by 20.42%, 34.88%, and 31.95%. But the light saturation point (LSP) was lower in the protospecies than that of the variety. The P_n-C_i curves revealed that the protospecies had higher photorespiratory rate (R_p), carboxylation efficiency (CE), and maximum CO₂ concentration-saturated net photosynthetic rate (A_{max}) than those of the variety by 2.73%, 14.79%, and 21.35%. This indicated that the photosynthetic capacity of the protospecies was stronger than that of the variety. The results also showed that *M. lasiocarpa* was a heliophile C₃ type plant, and a shade-tolerant plant as well. The chlorophyll a, b and a/b content of the protospecies were also higher than those of the variety by 22.60%, 32.46%, and 25.06%.

Key words: *Musella lasiocarpa*; *Musella lasiocarpa* var. *rubribracteata*; response curves; chlorophyll

地涌金莲 (*Musella lasiocarpa* (Fr.) C. Y. Wu ex H. W. Li) 为芭蕉科 (Musaceae A. L. Jussieu) 地涌金莲属 (*Musella* (Fr.) C. Y. Wu ex H. W. Li) 多年生大型丛生草本植物, 是主要分布于云南省的中

国特有单种属植物^[1]。有学者认为, 地涌金莲野生种群已不存在, 而仅以栽培或逸生状态保存下来^[2]。中国林业科学研究院资源昆虫研究所李正红^[3] 研究小组于近几年先后发现 9 个野生种群, 并发现了苞

收稿日期: 2012-11-15

基金项目: 林业公益性行业科研专项 (200904053)

作者简介: 周翠丽 (1986—), 女, 山东菏泽人, 硕士研究生, 主要从事植物生理学方面的研究。

* 通讯作者。

片橙红色至红色、叶柄及中脉红色至紫红色的新变种红苞地涌金莲 (*M. lasiocarpa* var. *rubribracteata* Zhen-hong Li & H. Ma) ,这对地涌金莲新品种的培育及开发利用具有极为重要的意义。

对野生原种及红苞变种在自然状况下的克隆繁殖能力调查表明,达到成年时每基株子株数红苞变种平均为2.0,最大值为7.0,而原种平均为12.0,最大值达24.0,差异极显著。此结果说明红苞变种植株克隆繁殖能力远远低于原种,因此种植者更喜欢克隆繁殖能力强的原种,经过长期的人工选择,栽培种群中只保留了原种类型,而红苞类型被人为淘汰。同时,红苞变种植株极低的克隆繁殖能力导致其数量在野生种群中越来越少,因此只在野生种群中发现少量这类植株。导致地涌金莲原种与红苞变种克隆繁殖能力差异有多方面的原因,有研究报道克隆繁殖能力与光合作用能力有关^[4-5],地涌金莲是否存在这种相关性?然而,之前对地涌金莲的研究主要集中于其在系统进化中的位置、遗传多样性、组织培养、繁殖生物学及化学成分等方面^[6-10],对原种及红苞变种光合作用的研究鲜有报道。本文通过测定种植于相同环境条件下的地涌金莲及红苞地涌金莲的光响应、CO₂ 响应以及叶绿素含量等指标,分析二者光合能力的差异,为揭示二者克隆繁殖能力的差异提供生理学依据,从而为二者的栽培技术、杂交育种等后续研究与利用提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 试验地及试验材料

试验在云南省禄丰县中国林科院资源昆虫研究所滇中高原试验站的大田中进行。试验地地理位置为102°12'21" E 25°13'26" N,海拔1 826 m,年平均气温16.2℃,年平均降水量930.5 mm,年相对湿度74%,≥10℃的活动积温为5 214.0℃,年日照时数2 198 h,属中亚热带气候类型^[11]。

试验材料:2009年6月定植地涌金莲及红苞地涌金莲3月龄实生苗,随机区组排列,单行区,每行10株,株行距为1.5 m×1.5 m,3个重复。

1.2 试验方法

选择大小一致、长势良好的地涌金莲及红苞地涌金莲各5株;选定由顶端向下数第2片充分展开的完整叶片,在叶子的中部选点测量,先用SPAD-502测定叶绿素相对含量值,选择叶绿素相对含量值在±5以内的点作为下一步测量点,5株测量结果

取平均值。

净光合速率-光合有效辐射强度(*Pn-PAR*) 响应曲线的测量:为避免环境因子的变化对响应曲线产生干扰,于2012年9月份,选择光照强度、温度、湿度均相对稳定的阴天进行光合响应的测定^[12]。采用美国Li-cor公司生产的Licor-6400型便携式光合作用测定系统,由Li6400-02BLED红蓝光源自动控制光强, Li-6400温度控制器控制叶面温度(25.0±0.5)℃,相对湿度约为70%,在自然CO₂浓度条件下(约380 μmol·mol⁻¹)进行*Pn-PAR*的测定,设置15个PAR(2 000、1 600、1 400、1 200、1 000、800、600、400、300、200、150、100、50、20、0 μmol·m⁻²·s⁻¹)测定地涌金莲叶片的*Pn*。

设定PAR为1 000 μmol·m⁻²·s⁻¹作为测定光强,采用Li6400-01 CO₂注入系统和液化CO₂钢瓶提供不同体积分数的CO₂,分别在CO₂浓度为400、300、200、150、100、50、20、400、400、600、800、1 000、1 200、1 400、1 600 μmol·mol⁻¹的条件下测定叶片*Pn*。

测定*Pn*前使用1 000 μmol·m⁻²·s⁻¹冷光源诱导30 min,在每个光照强度或CO₂浓度下平衡60~200 s后记录数据。

叶绿素含量测定:用丙酮乙醇混合液浸提法提取叶绿素^[13],每个品种选择5株长势一致的植株,在从顶端向下数第2片叶子上用直径为1.0 cm的打孔器沿叶脉两侧各取5个小圆叶片,擦干表面水分,称取鲜质量后剪成1 mm宽的小细丝,放入10 mL的丙酮乙醇混合液(1:1 v:v)中暗处浸提,直至叶片变为白色。将浸提液转移到25 mL容量瓶中,用相同的混合液定容。用分光光度计在663、645 nm处测其吸光度A₆₆₃、A₆₄₅。用Arnon^[14]公式计算叶绿素a、b含量及a/b值^[15]。计算提取液中叶绿素浓度,换算为每克鲜叶叶绿素含量(mg·g⁻¹鲜质量)或单位面积叶绿素含量(mg·m⁻²)。

叶绿素a浓度(mg·L⁻¹):

$$Ca = 12.7A_{663} - 2.69A_{645}$$

叶绿素b浓度(mg·L⁻¹):

$$Cb = 22.9A_{645} - 4.68A_{663}$$

叶绿素总浓度(mg·L⁻¹):

$$C_{a+b} = Ca + Cb$$

2 数据统计与分析

用Microsoft Excel 2003软件、SPSS数理统计软

件对试验数据进行相关分析、回归分析、方差分析并整理作图。

$P_n- PAR$ 光响应曲线按照段爱国等^[12]提出的分段函数来进行拟合 其表达式为:

$$\begin{cases} P_n = \alpha d PAR + Rd \\ PAR \leq 200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} P_n = a PAR^2 + b PAR + c \\ PAR > 200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \end{cases} \quad (2)$$

式中: 参数 αd 为植物表观光合量子效率, Rd 为暗呼吸速率, 由 (1) 式可知光补偿点 (LCP) 为 $-Rd / \alpha d$, 由 (2) 式可得光饱和和最大净光合速率 P_{max} 和光饱和点 (LSP)。地涌金莲及红苞地涌金莲的 $P_n- PAR$ 光响应曲线拟合方程的决定系数 R^2 分别为 0.968 和 0.963, 说明拟合效果较好, 可反应所测数据真实情况。

P_n-C_i 胞间 CO_2 浓度响应曲线用叶子飘等^[16]的新模型拟合 其表达式为:

$$C = \alpha \frac{1 - b C_i}{1 + c C_i} C_i - R_p \quad (3)$$

式中: C_i 为胞间 CO_2 浓度, R_p 为植物的光呼吸速率, α 是 CO_2 响应曲线的初始斜率(即在点 $C_i = 0$ 时的初始羧化效率), b 为修正系数, 系数 c 为植物叶片 CO_2 响应曲线的初始斜率与植物光合能力之比, 即 $c = a/A_{max}$ (A_{max} 是植物的光合能力)。令 (3) 式 $P_n = 0$, 可求出 CO_2 补偿点 CCP ; 对 (3) 式求导, 且令其一阶导数等于 0, 则植物的饱和 CO_2 浓度为:

$$C_{isat} = \frac{\sqrt{\frac{b+c}{b}} - 1}{c} \quad (4)$$

与植物饱和 CO_2 浓度对应的光合能力用 A_{max} 表示, 即 CO_2 饱和点下的最大净光合速率, 根据 (4) 和 (3) 可求出 A_{max} 。将 C_i 在 $0 \sim 200 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 范围内的测定值进行直线回归, 斜率即为羧化效率 (CE)^[17]。地涌金莲及变种的 P_n-C_i 响应曲线拟合方程的决定系数 R^2 分别为 0.998 和 1, 拟合效果达到极显著水平, 说明叶子飘等^[18]的新模型可以百分之百模拟所测数据的真实情况。

3 结果与分析

3.1 地涌金莲及红苞地涌金莲光合作用的光响应曲线

由图 1 可知: 地涌金莲与红苞地涌金莲 $P_n- PAR$ 响应曲线相似, 均在弱光下 ($P_n \leq 200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 快速上升, 随后增长速度减慢, 最终趋于平缓, 于 $1600 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右达到峰值, 随后开始缓慢下降; 地涌金莲与红苞地涌金莲在 $0 \sim 400 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ PAR 范围内 P_n 值没有差异, PAR 大于 $400 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 后, 地涌金莲的 P_n 开始明显大于红苞地涌金莲。

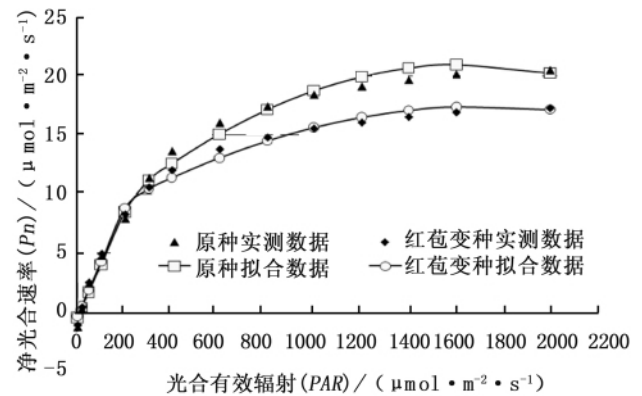


图 1 地涌金莲与红苞地涌金莲叶片 $P_n- PAR$ 响应曲线

由表 1 和图 1 可知: 两品种的表现量子效率 (AQY) 基本无差异, 地涌金莲为 $0.045 CO_2 \cdot \text{photon}^{-1}$, 红苞地涌金莲为 $0.046 CO_2 \cdot \text{photon}^{-1}$; 地涌金莲与红苞地涌金莲的 LCP 都比较低, 分别为 12.022 和 $8.913 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; 而 LSP 都较高, 分别为 1634.877 和 $1715.756 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; 地涌金莲的 LCP 比红苞地涌金莲高 34.88% , 而 LSP 低 4.95% ; 但是地涌金莲的 P_{max} 为 $20.957 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 比红苞地涌金莲的 $17.404 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 高了 20.42% ; 也是地涌金莲 Rd 比红苞地涌金莲高 31.95% , 但数值都比较小, 分别为 -0.541 和 $-0.410 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

表 1 地涌金莲及红苞地涌金莲拟合出来的 $P_n- PAR$ 光强响应参数

品种	暗呼吸速率(Rd) ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	表观量子效率(AQY) ($CO_2 \cdot \text{photon}^{-1}$)	光补偿点(LCP) ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	光饱和点(LSP) ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	光饱和和最大净光合速率(P_{max}) ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	拟合方程的 确定系数(R^2)
地涌金莲	-0.541	0.045	12.022	1634.877	20.957	0.968
红苞地涌金莲	-0.410	0.046	8.913	1715.756	17.404	0.963

3.2 地涌金莲及红苞地涌金莲光合作用的 CO₂ 响应曲线

由图 2 可看出: 随着 CO₂ 浓度的升高 地涌金莲与红苞地涌金莲的 P_n 变化趋势基本一致, CO₂ 浓度在 0 ~ 300 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 时 P_n 基本呈直线性快速增长, 其后增长速度变缓, 于 800 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 左右达到最高值, 之后缓慢下降, 呈现抑制现象; 整个过程中地涌金莲的 P_n 都大于红苞地涌金莲。

由表 2 可知: 地涌金莲和红苞地涌金莲的 R_p 和 C_{isat} 相差不大, 并且地涌金莲的 C_{isat} 稍高于红苞地涌金莲, 地涌金莲 R_p 比红苞地涌金莲高 2.73%, 地涌金莲 C_{isat} 比红苞地涌金莲高 3.25%; 而 A_{max} , 地涌金莲比红苞地涌金莲高 14.79%; 地涌金莲与红苞地涌金莲的 CE 分别为 0.097 2 和 0.080 1

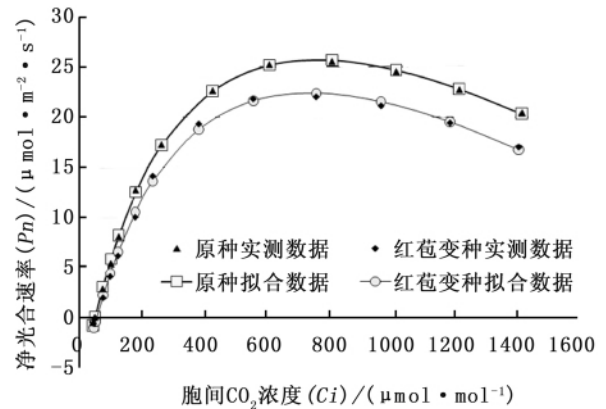


图 2 地涌金莲及红苞地涌金莲叶片 P_n - C_i 响应曲线

($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 均小于 1, 地涌金莲较红苞地涌金莲高 21.35%; 所得出的指标中仅 CCP 是地涌金莲的低于红苞地涌金莲, 低了 11.27%。

表 2 地涌金莲及红苞地涌金莲拟合的 P_n - C_i 响应参数

品种	光呼吸速率(R_p)	RuBP 羧化效率(CE)	CO ₂ 补偿点(CCP)	CO ₂ 饱和点(C_{isat})	CO ₂ 饱和最大净光合速率(A_{max})	拟合方程的 确定系数 R^2
	($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)	($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)	($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	
地涌金莲	-7.162	0.097 2	48.609	758.949	25.645	1.000
红苞地涌金莲	-6.972	0.080 1	54.088	735.091	22.340	0.998

3.3 地涌金莲及红苞地涌金莲叶绿素含量

由表 3 可知: 地涌金莲的叶绿素 a、b 及总量值均高于红苞地涌金莲, 地涌金莲叶绿素 a 单位叶片鲜质量 (g) 的含量为 1.975 mg, 换算成单位面积 (m^2) 的量即为 596.260 mg, 而红苞地涌金莲的叶绿素 a 含量仅为 1.611 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 鲜质量, 地涌金莲高于

红苞地涌金莲 22.60%; 地涌金莲叶绿素 a/b 为 2.784, 而红苞地涌金莲叶绿素 a/b 为 3.003, 地涌金莲的叶绿素 b 含量及叶绿素 a/b 分别比红苞地涌金莲的高了 32.46% 和 7.87%; 地涌金莲的叶绿素总含量达到 2.685 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 鲜质量, 高于红苞地涌金莲 (2.147 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 鲜质量) 25.06%。

表 3 地涌金莲及红苞地涌金莲的叶绿素含量及 SPAD 值

品种	叶绿素 a 含量		叶绿素 b 含量		叶绿素 a/b	叶绿素总含量		叶绿素 SPAD 值
	$\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$	$\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}$	$\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$	$\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}$		$\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$	$\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}$	
地涌金莲	1.975	596.260	0.710	214.172	2.784	2.685	810.432	36.12
红苞地涌金莲	1.611	486.193	0.536	161.899	3.003	2.147	648.093	31.24

注: SPAD 表示叶绿素相对含量值。

4 讨论

4.1 地涌金莲与红苞地涌金莲光合特性与克隆繁殖能力的关系

克隆植物是指能够通过芽、分蘖或枝条等繁殖体进行无性繁殖的植物, 这种通过营养生长产生新个体的过程为克隆生长^[18-19]。野生状态下红苞地涌金莲植株克隆繁殖能力远远低于地涌金莲, 成年每基株子株数红苞地涌金莲平均为 2.0 株, 而地涌金莲平均为 12.0 株, 差异极显著。

前人研究表明, 高光合的克隆植物促进克隆生长, 如蒋高明和董鸣^[4]在对沿中国东北样带 (NECT) 分布的若干克隆植物与非克隆植物 P_n 与水分利用效率 (WUE) 的比较中指出, 在相同的生长环境中, 克隆植物比非克隆植物表现出较高的 P_n 以及其他生理指标。克隆植物的 P_n 、蒸腾速率 (Tr)、气孔导度 (Sc)、 WUE 分别比非克隆植物高出 22%、15%、23% 和 14%。这种现象表明克隆植物在 CO₂、光能和水分资源利用能力上优于非克隆植物。张明如^[5]对火炬树雌雄母株克隆生长差异的比较中指

出,具有较强分株能力的火炬树雄性母株的光能、水分和 CO_2 利用效率和 P_n 均高于雌性母株,而且雌性母株较雄性母株易出现光抑制现象。

LCP 、 LSP 、 R_d 、 CE 和 P_{\max} 是判别植物光合能力大小的重要指标。 LCP 、 LSP 、 R_d 越低, CE 和 P_{\max} 越高,表明光合能力越强^[20-23]。本研究结果表明:地涌金莲在光合能力上远大于红苞地涌金莲,如在相同的光强或 CO_2 浓度下,地涌金莲的 P_n 均高于红苞地涌金莲,在饱和光强或者饱和 CO_2 浓度下地涌金莲所具有的光合潜力也远大于红苞地涌金莲,地涌金莲对 CO_2 浓度的适应幅度也高于红苞地涌金莲,这就为地涌金莲更强的克隆生长奠定了较为充足的营养基础,再通过不断的人为和自然选择不断实现种群扩繁,并得到广泛栽培利用;而红苞地涌金莲却由于利用自然环境能力相对较弱及其他原因使得在克隆繁殖上的投资较少,通过人为和自然选择,慢慢减少,在自然界中仅少量分布。

4.2 地涌金莲和红苞地涌金莲的 C_3 植物特征

CCP 、 R_p 、 CE 是判别 C_3 、 C_4 植物的重要依据。 C_4 植物 CCP 和 C_{isat} 都比较低 ($CCP < 10 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$, C_{isat} 约为 $400 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$), 而 C_3 植物的 CCP 和 C_{isat} 都比较高 (CCP 约为 $50 \sim 150 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$, C_{isat} 是 C_3 的 C_{isat} 的几倍)^[24]; C_4 植物 R_p 很弱,仅为总光合的 $1\% \sim 7\%$, 而 C_3 植物为总光合的 $25\% \sim 35\%$ ^[25]; 常见的 C_3 植物的 CE 为 $0.06 \sim 0.12 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 如小麦、甘薯等; 典型的 C_4 植物 CE 较高,如狼尾草为 $0.2349 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、地毯草为 $0.2539 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ^[26]。地涌金莲和红苞地涌金莲的 CCP 分别为 48.609 、 $54.088 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$, C_{isat} 分别为 758.949 、 $735.091 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$, R_p 占总光合值的 27.93% 和 31.21% , CE 分别为 0.0972 、 $0.0801 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。这些指标均表明地涌金莲和红苞地涌金莲均具有明显 C_3 植物特征。

4.3 地涌金莲和红苞地涌金莲的耐荫性

地涌金莲和红苞地涌金莲野生种群均分布于光照充足的悬崖生境,但人工栽培的地涌金莲则在较荫的环境下仍能正常开花结实,说明其具有一定耐荫性。光合作用的测定结果可为耐荫性的判定提供理论依据。

LSP 和 LCP 可反映植物对光照条件的要求,一般认为 LCP 和 LSP 均较低的植物是典型的耐荫植物,而低 LCP 、高 LSP 的植物对环境适应性很强^[26]。

根据前人资料^[27],阳性草本植物 LCP 为 $18 \sim 36 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, LSP 为 $900 \sim 1440 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; 阴性草本植物 LCP 为 $3.6 \sim 9.0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, LSP 为 $90 \sim 180 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。地涌金莲和红苞地涌金莲的 LCP 为 $8 \sim 12 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 接近阴性草本植物, LSP 为 $1634.877 \sim 1715.756 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 又高于阳性植物,说明地涌金莲和红苞地涌金莲是较耐荫的阳性植物,对光的适应幅度较宽,对光的利用能力较强。另外,阳性草本植物净光合作用的平均最大值为 $12.626 \sim 31.566 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 阴性草本植物净光合作用的平均最大值为 $2.525 \sim 12.626 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 而地涌金莲和红苞地涌金莲的 A_{\max} $17 \sim 25 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 在阳性植物范围内,这些数据均表明地涌金莲和红苞地涌金莲为较耐荫的阳性植物。

许大全^[22]的研究表明,阳生植物叶绿素含量 a/b 比值约为 3, 而阴生植物稍低。地涌金莲的叶绿素 a/b 比值为 2.784, 红苞地涌金莲 a/b 比值为 3.003, 说明地涌金莲和红苞地涌金莲均为阳性植物,而地涌金莲耐荫性稍强于红苞地涌金莲。

参考文献:

- [1] 李锡文. 云南芭蕉科植物 [J]. 植物分类学报, 1978, 16(3): 54-64
- [2] Long C L, Li H, OuYang Z Q, et al. Strategies for agrobiodiversity conservation and promotion: a case from Yunnan, China [J]. Biodiversity and Conservation, 2003, 12(6): 1145-1156
- [3] Hong M, Qingjie P, Lan W, et al. *Musella lasiocarpa* var. *rubribracteata* (Musaceae), a new variety from Sichuan, China [J]. Novon: A Journal for Botanical Nomenclature, 2011, 21(3): 349-353
- [4] 蒋高明, 董鸣. 沿中国东北样带 (NECT) 分布的若干克隆植物与非克隆植物光合速率与水分利用效率的比较 [J]. 植物学报, 2000, 42(8): 855-863
- [5] 张明如, 温国胜, 张瑾, 等. 火炬树雌雄母株克隆生长差异及其光合荧光日变化 [J]. 生态学报, 2012, 32(2): 528-537
- [6] Simmonds N W. Classification of the bananas [J]. Kew Bulletin, 1953, 8(4): 571-572
- [7] Valmayor R V, Danh L D. Clasificación y caracterización de *Musella splendida* sp. nov [J]. INFOMUSA, 2002, 11(2): 24-27
- [8] Cheesman E E. Classification of the bananas [J]. Kew Bulletin, 1948, 3(1): 17-28
- [9] 潘庆杰, 李正红, 王雁, 等. 地涌金莲野生与栽培种群遗传多样性 RAPD 分析 [J]. 林业科学研究, 2007, 20(5): 668-672
- [10] 田杰, 李正红, 王雁, 等. 不同苞片色地涌金莲杂交亲和性研究 [J]. 林业科学研究, 2008, 21(3): 320-324
- [11] 云南省气象局. 云南省农业气候资料集 [M]. 昆明: 云南人民

- 出版社, 1984
- [12] 段爱国, 张建国. 光合作用光响应曲线模型选择及低光强属性界定 [J]. 林业科学研究, 2009, 22(6): 765 - 771
- [13] 洪法水, 魏正贵, 赵贵文. 菠菜叶绿素的浸提和协同萃取反应 [J]. 应用化学, 2001, 18(7): 532 - 535
- [14] Arnon D I. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris* [J]. *Plant physiology*, 1949, 24(1): 1
- [15] 杨敏文. 快速测定植物叶片叶绿素含量方法的探讨 [J]. 光谱实验室, 2002, 19(4): 478 - 481
- [16] 叶子飘, 于强. 光合作用对胞间和大气 CO₂ 响应曲线的比较 [J]. 生态学杂志, 2009, 28(11): 2233 - 2238
- [17] 庄猛, 姜卫兵, 花国平, 等. 金边黄杨与大叶黄杨光合特性的比较 [J]. 植物生理学通讯, 2006, 42(1): 39 - 42
- [18] Kroon H, Groenendaal J. The ecology and evolution of clonal plants [M]. Michigan: Backhuys Publishers, 1997
- [19] Mogie M, Hutchings M J. Phylogeny, ontogeny and clonal growth in vascular plants [J]. *Clonal growth in plants: regulation and function*, 1990, 3: 22
- [20] 杨兴洪, 邹琦, 赵世杰. 遮荫和全光下生长的棉花光合作用和叶绿素荧光特征 [J]. 植物生态学报, 2005, 29(1): 8 - 15
- [21] 张振文, 张保玉, 童海峰, 等. 葡萄开花期光合作用光补偿点和光饱和点的研究 [J]. 西北林学院学报, 2010, 25(1): 24 - 29
- [22] 许大全. 叶绿素含量的测定及其应用中的几个问题 [J]. 植物生理学通讯, 2009(9): 896 - 898
- [23] Jiang G. A review on the response of plant's dark respiration to the elevated CO₂ concentration [J]. *Journal of Plant Resources and Environment*, 1997, 6(3): 54
- [24] RC Pan. *Plant Physiology 4rdedn* [M]. Beijing: China Higher Education Press, 2001
- [25] 李朝霞, 赵世杰, 孟庆伟. 光呼吸途径及其功能 [J]. 植物学通报, 2003, 20(2): 190 - 197
- [26] 巨关升, 武菊英, 赵军锋, 等. 观赏狼尾草光合特性的研究 [J]. 核农学报, 2005, 19(6): 451 - 455
- [27] Larcher W, 翟志席. 植物生态生理学 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 1997