

几种银莲花光合特性的初步分析

梁雪妮¹, 刘飞虎^{2*}

(1. 云南大学成人教育学院, 云南昆明 650091; 2. 云南大学生命科学学院, 云南昆明 650091)

摘要: 采用 LI-6400 便携式光合仪分析昆明室外栽培的几种野生银莲花光合作用特性。净光合速率(Pn)和蒸腾速率(Tr)日变化均呈单峰曲线, 前者的峰值出现在 10~11 点, 后者的峰值出现在 13 点前后。在光强 0~2 000 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 条件下, Pn 呈 S 曲线, 光合补偿点为 60~80 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 饱和点为 800 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右, 但光强继续增加到 1 800 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, Pn 仍有少许提高; Tr 随 PAR 的增加而缓慢地增加。在环境 CO_2 浓度为 0~350 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 条件下, Pn 直线上升, 草玉梅、秋牡丹和野棉花的光合 CO_2 补偿点均为 50 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 左右; Tr 在环境 CO_2 浓度 25~350 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 范围内几乎呈水平线。野生银莲花的 Pn 和 Tr 表现较明显的种间差异。

关键词: 银莲花; 光补偿点; 光饱和点; CO_2 补偿点; 光合日变化

中图分类号: Q945.11 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2005)04-0380-06

Preliminary study on the photosynthetic characteristics of some *Anemone* species

LIANG Xue-ni¹, LIU Fei-hu²

(1. Adult Education College, Yunnan University, Kunming 650091, China; 2. Faculty of Life Sciences, Yunnan University, Kunming 650091, China)

Abstract: The photosynthesis of several field-grown *Anemone* species was investigated by using LI-6400 portable photosynthesis system in Kunming, Yunnan Province, China. The diurnal pattern of net photosynthetic rate(Pn) and transpiration rate(Tr) appeared as single peak curves. The peak values appeared at 10:00~11:00 and about 13:00 for Pn and Tr, respectively. The change pattern of Pn looked like an S curve under 0~2 000 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ of photosynthesis active radiation(PAR). The light compensation point and light saturation point of photosynthesis were at PAR 60~80 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ and at about PAR 800 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. But Pn still increased slightly with the increase of PAR from 800 to 1 800 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Tr only slightly increased as PAR increasing from 0~2 000 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Under 0~350 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ of CO_2 concentration, Pn increased linearly, showing a CO_2 compensation point at 50 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ for *A. rivularis*, *A. hupehensis* var. *japonica* and *A. vitifolia*. Tr change was a horizontal line under 25~350 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ of CO_2 concentration. The tested *Anemone* species showed difference between their Pn and Tr.

Key words: *Anemone*; light compensation point; light saturation point; CO_2 compensation point; diurnal change of photosynthesis

银莲花是近年流行的新型切花或盆花, 国外已培育了不少商品品种(原雅玲等, 1997)。国内只见到野生银莲花的分类学、细胞学和花粉形态学研究

报道(方明渊等, 1994; 杨亲二, 2002), 而国外还在银莲花育种和栽培方面有较多研究(Hoot, 1994; Jacob, 1997; Lindell, 1998)。云南省有银莲花属植物

收稿日期: 2004-03-01 修订日期: 2004-10-20

基金项目: 云南省科技攻关项目“几种主要外销高档花卉的新品种选育及栽培示范”(编号: 2001NG13)的部分内容。

作者简介: 梁雪妮(1958-), 女, 湖南涟源县人, 副教授, 主要从事植物遗传育种和种质资源研究, E-mail: pgbreeda@public.km.yn.cn. * 男, 博士, 教授, 博士生导师。

25 种、4 亚种、9 变种, 其中不少观赏价值高、分布范围广泛的种类可以开发利用(中国科学院昆明植物所, 2000)。野生花卉的开发利用越来越受到重视, 而野生花卉的生理生态特性是引种驯化、人工栽培的基础。本试验从昆明周边地区引种 5 种野生银莲花, 在昆明成功栽培, 采用 LI-6400 便携式光合仪测定给定光照、CO₂ 浓度条件下的光合作用及相关生理生态因子, 旨在了解它们的光合生理生态特性, 为此类野生花卉引种、栽培提供一定的理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试材料为 2001 年从云南寻甸县引种的打破碗花花 (*Anemone hupehensis* Lemoine var. *hupehensis* f. *hupehensis*, 海拔 2 150 m 的向阳山坡), 从昆明市近郊引种的水棉花 (*A. hupehensis* Lemoine f. *alba* W. T. Wang, 海拔 2 250 m 的林边)、草玉梅 (*A. rivularis* Buch.-Ham. Ex DC., 海拔 2 230 m 的疏林草坡)、秋牡丹 (*A. hupehensis* Lemoine var. *japonica* (Thunb.) Bowles et Stearn, 海拔 2 180 m 的石灰石砌坡) 和野棉花 (*A. vitifolia* Buch.-Ham. Ex DC., 海拔 2 200 m 的山地石坡), 在云南大学植物种植基地(昆明, 海拔 1 950 m) 室外栽培, 生长、开花正常。

1.2 光合作用测定

于 2003 年 7 月下旬用美国 LI-6400 型便携式光合作用系统野生银莲花(此时草玉梅处在终花期、其余 4 种为孕蕾期) 功能叶片(4~6 株/种, 每株 1 叶) 净光合速率(被测叶面积 6 cm², 气体流速 400 μmol·s⁻¹), 同时纪录有关生理生态因子(每片叶纪录 20 个读数)。(1) 于 7 月 23 日测定 5 个种的净光合速率日变化, 晴天偶见有云, 所有生理生态因子均由仪器纪录, 测定时段为 7:00~19:00, 每隔 1 h 测定 1 次。(2) 于 7 月 24 日(9:00~11:10) 测定 3 个种(草玉梅、秋牡丹和野棉花) 的光合—光强响应, 晴天少云天气, 环境温度 23~30 °C, 相对湿度 35%~50%, CO₂ 浓度为环境值(373~387 μmol·mol⁻¹); 仪器自带 6400-02B 人工光源, 光合有效辐射(PAR) 分别设定为 0, 20, 40, 60, 80, 200, 400, 600, 800, 1 000, 1 200, 1 400, 1 600, 1 800 和 2 000 (μmol·m⁻²·s⁻¹)。 (3) 于 7 月 26 日(9:00~11:00) 测定 3 个种(同测定 2) 的光合—CO₂ 浓度响应,

多云天气, 环境气温 23~28 °C, 相对湿度 40%~60%, 设定 PAR 为 1 200 μmol·m⁻²·s⁻¹, CO₂ 浓度(μmol·mol⁻¹) 分别设定为 0, 25, 50, 100, 150, 200, 250, 300 和 350。(4) 利用光合日变化资料比较 5 个种的净光合速率和蒸腾速率差异。所有统计分析和绘图均采用 Statistica 5.0 软件完成, 图中变异棒为 mean±SE。

2 结果与分析

2.1 银莲花光合作用的日变化

几种银莲花叶片净光合速率(P_n) 的日变化曲线整体一致, 都呈现单峰上行抛物线(图 1A), 峰值前呈直线上升, 峰值后呈弧线下降; 除野棉花的 P_n 最高点出现在 10 点前后外, 其余 4 种都出现在 11 点前后, 可能与此段时间的温度(27~29 °C) 和光合有效辐射(1 300~1 800 μmol·m⁻²·s⁻¹) 以及空气相对湿度(35%~45%)、空气 CO₂ 浓度(390~397 μmol·mol⁻¹)、叶室水体积分数(27~28 mmol·mol⁻¹) 等几项环境参数处于较佳状态和/或较佳组合有关(图 2C, D)。蒸腾速率(Tr) 为单峰抛物线型日变化, 以 11~15 点期间的数值较大, 峰值出现在 13 点(图 1B)。气孔限制值((空气 CO₂ 浓度—胞间 CO₂ 浓度)/空气 CO₂ 浓度) 的日变化类似 Tr, 但不出现明显的峰值, 而在 10~17 点时段始终保持较高的数值(图 1D)。水分利用效率(WUE, = P_n/Tr), 其日变化表现为 9 点前直线上升, 9 点达到峰值, 9~11 点迅速降低, 从 11~18 点几乎保持平稳, 18 点后再次迅速降低。WUE 的最高点出现在 P_n 的峰值之前, P_n 峰值之后由于 Tr 的迅速升高, 使得 WUE 降低(图 1C)。气孔导度的日变化也是单峰曲线, 5 种银莲花的整体趋势相似(图 2A), 但野棉花和打破碗花花的峰值出现在 10 点, 而其余 3 种的峰值在 11 点; 峰值前的上升较快, 峰值后的降低速度较慢, 但峰值前后的升、降基本都是直线型的。胞间 CO₂ 浓度(C_i) 的日变化(图 2B) 与 P_n 相反, 呈现一个下行抛物线, 10 点以前快速下降, 17 点以后迅速上升, 10~17 点基本保持平稳(280 μmol·mol⁻¹ 左右), 唯草玉梅在 13~15 点的 C_i 值更低。

2.2 银莲花光合作用—光照响应

从图 3A 可以看出, 3 种银莲花叶片的净光合速率(P_n) 对光合有效辐射(PAR) 的响应呈 S 型曲线。被测银莲花的光补偿点较高(同报春花比较; 刘飞

虎, 2004), 野棉花、秋牡丹和草玉梅分别为 60、70、80 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; 在光补偿点前, 随着 PAR 的增加, P_n 增加较慢。在 PAR 80~800 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

范围内, P_n 几乎直线上升。3 种银莲花的光饱和点不甚明显, 在 PAR 800~2 000 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 范围, P_n 保持一个相当高的水平, P_n 的最高点出现在

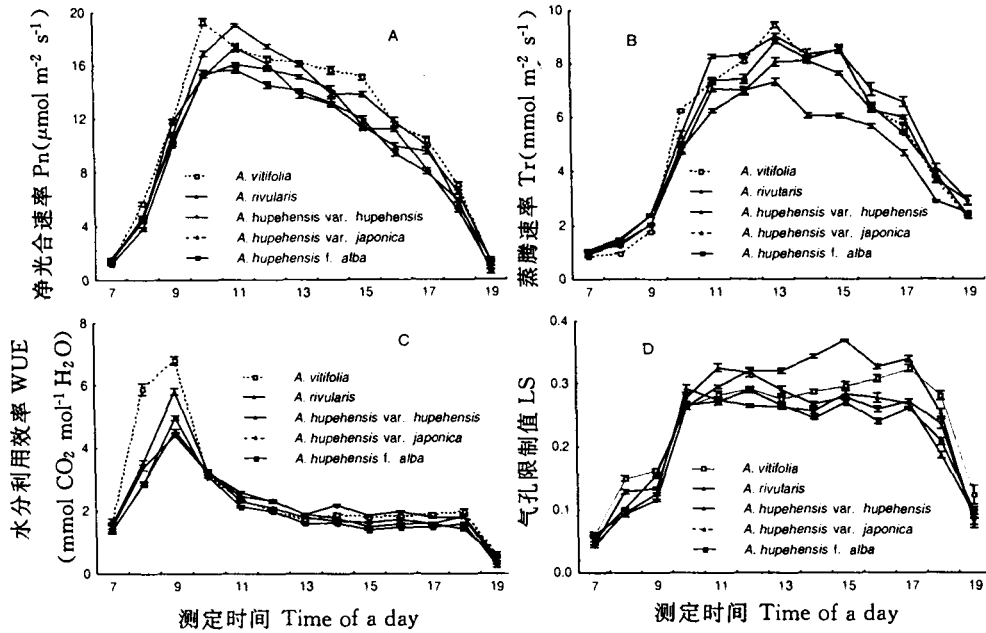


图 1 银莲花净光合速率(A)、蒸腾速率(B)、水分利用效率(C)和气孔限制值(D)的日变化
Fig. 1 Diurnal changes of net photosynthetic rate(P_n), transpiration rate(Tr), water use efficiency(WUE) and stomatal limit(L_s) in the tested *Anemone* species

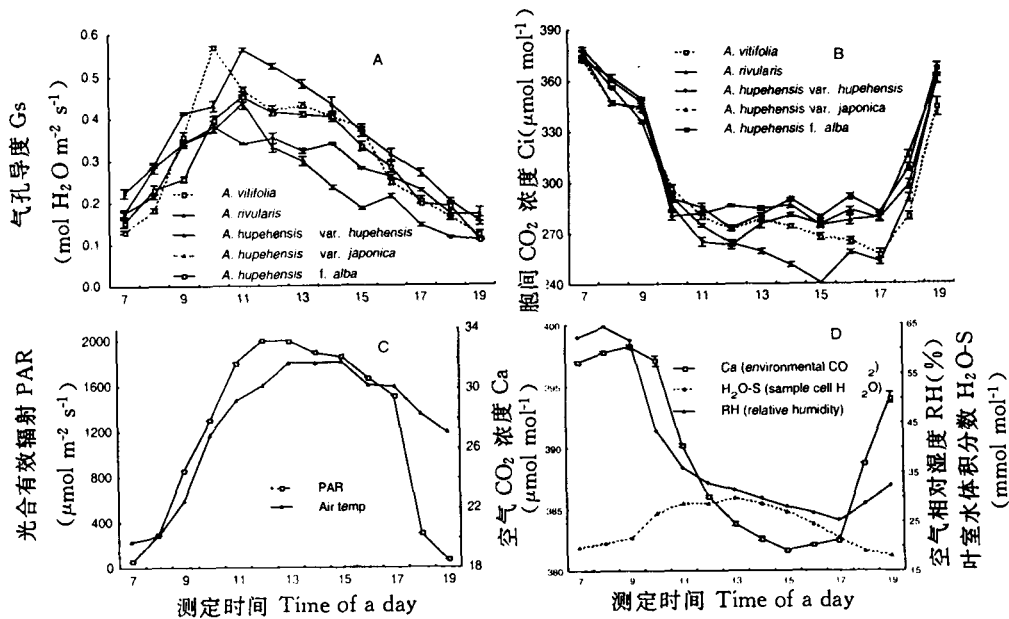


图 2 银莲花气孔导度(A)、胞间 CO_2 浓度(B)及几个重要环境因子(C,D)的日变化
Fig. 2 Diurnal changes of stomatal conductance(G_s), intercellular CO_2 concentration(C_i) in the tested *Anemone* species and some essential environmental parameters

PAR $1\ 800\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 但当 PAR 达到 $800\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时, Pn 已经达到峰值的 90% 以上。如果以 S 曲线的转折点作为光饱和点, 则供试的 3 种银莲花光饱和点应该在 PAR $600\sim 800\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 处。在 PAR 为 0 时净光合速率为 $-2\sim -2.5\ \mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 可以看作 3 种银莲花在测试条件下的呼吸速率。胞间 CO_2 浓度(Ci)的变化曲

线基本与 Pn 相反(图 3D), 在光线很弱(PAR $< 60\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)时, Ci 值可以达到 $380\sim 410\ \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。蒸腾速率(Tr)对 PAR 的变化反应较为平稳, 在 PAR $0\sim 800\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 范围内, 3 种银莲花的 Tr 增加缓慢, 在 PAR $> 1\ 000\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 以后, Tr 才较明显升高, 但并无跃变型增加; 草玉梅的 Tr 值明显高于其他 2 种(图 3B)。3 个种的气

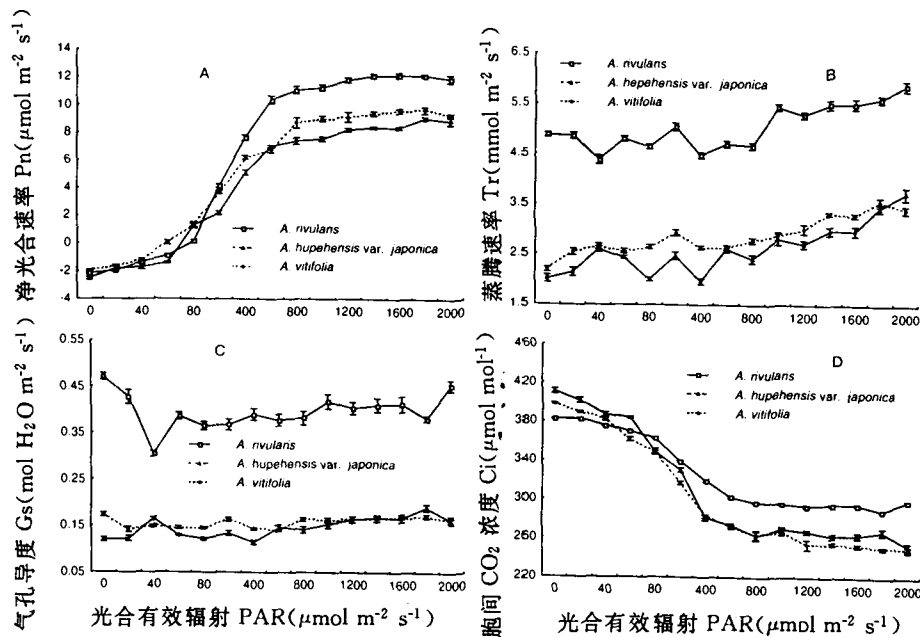


图 3 银莲花净光合速率(A)、蒸腾速率(B)、气孔导度(C)和胞间 CO_2 浓度(D)的光强响应
Fig. 3 Responses of net photosynthetic rate(Pn), transpiration rate(Tr), stomatal conductance (Gs) and intercellular CO_2 concentration(Ci) in the tested *Anemone* species

孔导度(Gs)变化的光强响应, 在 PAR $0\sim 1\ 800\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 范围内几乎是一条水平线, 只在 PAR $2000\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时草玉梅的 Gs 升高; 同样是草玉梅的 Gs 值明显高于其他 2 种(图 3C), 这与蒸腾速率正好相互印证。

2.3 银莲花光合作用— CO_2 响应曲线

由于缺乏人工 CO_2 源, 本试验只测定了 3 种银莲花在 CO_2 浓度(Ca) $0\sim 350\ \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 范围内的净光合速率(Pn)变化曲线(图 4A), 为了较精确寻找 CO_2 补偿点, 在 $0\sim 50\ \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 之间设置了 $25\ \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 测试点)。3 种银莲花的 Pn 对 Ca 变化的反应几乎完全一致, 即随着 Ca 的增加 Pn 直线上, 唯秋牡丹在 Ca $100\sim 350\ \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 条件下的 Pn 略低。3 种银莲花的光合 CO_2 补偿点几乎相同, 为 $50\ \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 左右。在 Ca 为零时, Pn 约为 -2

$\sim -3\ \mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 可以看作是此时的呼吸速率, 并与 PAR 为 0 时的 Pn 相似(图 3A)。蒸腾速率(Tr)在 Ca 为零时较高, 而在 Ca $25\sim 350\ \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 条件下则几乎呈水平线, 且比 Ca 为零时的 Tr 降低 50% 以上, 说明野外生长的银莲花的蒸腾速率与空气 CO_2 浓度无关; 3 种银莲花的 Tr 依次为草玉梅 $>$ 野棉花 $>$ 秋牡丹(图 4B)。气孔导度的 Ca 响应曲线与 Tr 类似, 但从 Ca 为 $0\sim 25\ \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 降低的幅度更大(图 4C)。胞间 CO_2 浓度(Ci)的变化曲线与 Pn 类似, 但不出现负值(图 4D), 可能是此时呼吸所产生的 CO_2 扩散到胞间所致。

2.4 银莲花净光合速率和蒸腾速率的种间差异

利用光合日变化资料比较银莲花种间的净光合速率(Pn)和蒸腾速率(Tr), 结果表明: Pn 种间差异, 草玉梅与野棉花、秋牡丹, 野棉花与打破碗花花、水棉花, 打破碗花花与秋牡丹, 秋牡丹与水棉花之间

的差异显著。Tr 种间差异,草玉梅与其他 4 种之间、野棉花与秋牡丹、打破碗花花与秋牡丹、秋牡丹

与水棉花之间的差异显著(表 1)。不同种的 Pn 以野棉花和秋牡丹较高,而草玉梅和水棉花较低,与这

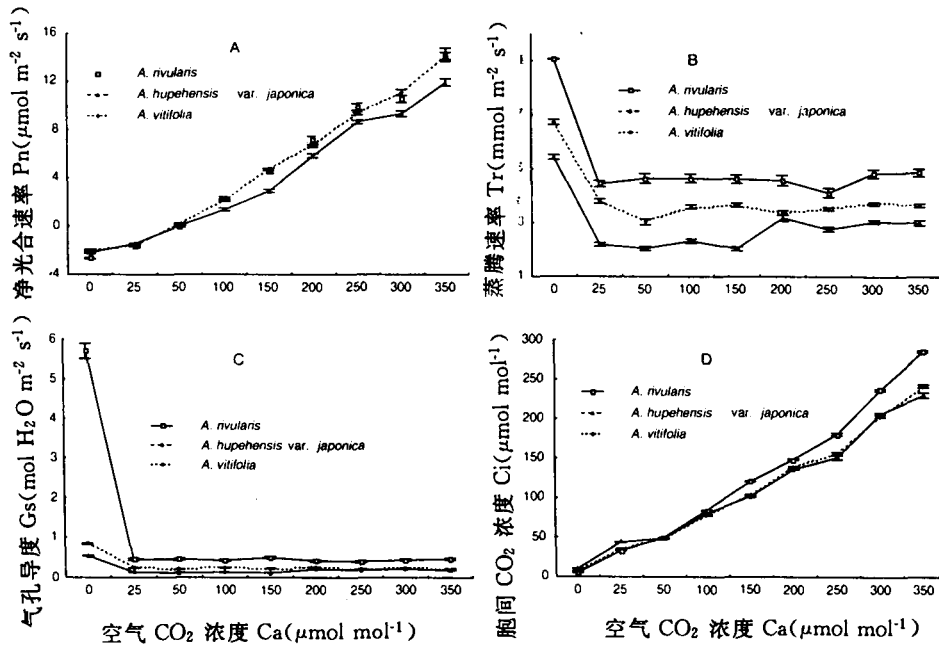


图 4 银莲花净光合速率(A)、蒸腾速率(B)、气孔导度(C)和胞间 CO₂ 浓度(D)对空气 CO₂ 浓度的响应
Fig. 4 Responses of net photosynthetic rate(Pn), transpiration rate(Tr), stomatal conductance(Gs) and intercellular CO₂ concentration(Ci) to environmental CO₂ (Ca) in the tested *Anemone* species

表 1 几种银莲花净光合速率(Pn)及蒸腾速率(Tr)的差异比较(原始数据来自于光合日变化测定)
Table 1 Species difference of the tested *Anemone* plants in photosynthetic rate(Pn) and transpiration rate(Tr) (based on the data of Pn diurnal change)

种名 Species	净光合速率 Pn(μmol · m ⁻² · s ⁻¹) 或 蒸腾速率 Tr(mmol · m ⁻² · s ⁻¹)				
	草玉梅 <i>A. rivularis</i>	野棉花 <i>A. vitifolia</i>	打破碗花花 <i>A. hupehensis</i> var. <i>hupehensis</i>	秋牡丹 <i>A. hupehensis</i> var. <i>japonica</i>	水棉花 <i>A. hupehensis</i> f. <i>alba</i>
	9.90	11.58	10.24	11.10	9.78
草玉梅 <i>A. rivularis</i>		0.000 *	0.290	0.000 *	0.692
野棉花 <i>A. vitifolia</i>	0.000 *		0.000 *	0.127	0.000 *
打破碗花花 <i>A. hupehensis</i> var. <i>hupehensis</i>	0.000 *	0.102		0.007 *	0.148
秋牡丹 <i>A. hupehensis</i> var. <i>japonica</i>	0.000 *	0.046 *	0.000 *		0.000 *
水棉花 <i>A. hupehensis</i> f. <i>alba</i>	0.000 *	0.732	0.207	0.021 *	
	4.51	5.47	5.22	5.78	5.42

表中数字为 p 值; * 表示种间差异显著; 对角线以下为蒸腾速率比较。Digits in the table are p-values; * means significant difference between species. Tr difference between species are showed under the diagonal.

几个种在试验基地的实际生长状况相符。

3 讨论

甘薯(张木清等,1998)、大豆(满为群等,2002)、小麦(郭天财等,2002)、牛心朴子(魏玉清等,2002)、扁桃和桃(潘晓云等,2002)等的净光合速率日变化

为双峰曲线,但玉米(Tadashi 等,1999)、甘蔗(张木清等,1998)则为单峰曲线,说明玉米等 C₄ 植物具有能耐受中午前后的强光和高温等不利生态条件的光合机制。苏文华等(2001)在高海拔地区(昆明)测定短葶飞蓬不同生育期晴天净光合速率日变化均为双峰曲线,出现“午睡”现象,认为气孔限制和空气湿度低是主要内外原因。张树源等(1999)测定小麦品种

高原 338 的光合日变化,在低海拔地区(上海)为双峰曲线,在高海拔地区(西宁)为单峰曲线,是由于两地的生态条件(海拔、气压、空气中 CO_2 和 O_2 、气温、相对湿度和光照)不同,导致了两地同一植物光合作用光抑制的较大差别。本试验中,几种银莲花的光合日变化曲线均呈单峰型,净光合速率从 11 点开始持续降低,推测主要是气温升高($>30^\circ\text{C}$)、空气湿度降低($<35\%$)、气孔限制值较高、气孔导度下降,以及强光的综合结果(图 1A, D; 图 2A, C, D)。12 点以后气孔导度明显降低,间接反映气孔阻力增大;尤其是胞间 CO_2 浓度(C_i)的变化是判断气孔限制的重要依据(许大全,1997),而 C_i 从上午到中午降低明显,至 17 点始终保持低水平,因此中午一下午净光合速率的降低主要是气孔阻力较大所致。在 11~15 点期间,虽然气孔导度降低较快,但蒸腾速率却保持较高水平,说明蒸腾作用对气孔导度变化的响应较慢。此外,根据“光合作用的非气孔限制的可靠判据是 C_i 增加”原理(许大全,1997),17 点以后净光合速率的直线降低则主要是非气孔限制(羧化阻力)增加所致,因为此时 C_i 迅速上升。

植物光合—光强响应曲线有两种类型。I 型,净光合速率随光强增加而达到最高点之后,若继续增加光强,净光合速率反而降低,如结球莴苣(李萍萍等,2001)和烟草(江力等,2000)等。II 型,净光合速率随光强增加而达到最高点之后,光强继续增加,净光合速率不再提高,但在较大光强范围内保持平稳,如苜蓿(郭清泉,1993)、黄瓜(马德华等,1997)和棉花(董合忠等,2000)等。对于 I 型曲线,根据江力等(2000)在烟草上的研究结果,净光合速率降低是强光(如大于 $600 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)使 PS I, PS II 及全电子传递活性和碳酸酐酶活性降低所致。本试验中 3 种野生银莲花的光合—光强响应曲线为 II 型,在土壤水分充足、环境温度 $23\sim 30^\circ\text{C}$ 、相对湿度 $35\%\sim 50\%$ 的条件下, $2\ 000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 以内的强光不会降低供试银莲花的净光合速率,推测这些银莲花的光合作用系统具有较好的光稳定性,但不同种对较强光照下光能的利用能力有差异。此外,本试验结果还提示,在人工驯化栽培条件下,需要提供 $600\sim 800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 的光照,银莲花才能达到足够高的净光合速率,保证正常生长对物质合成的需求,可见银莲花不太适应弱光条件。

衷心感谢云南大学苏文华、张光辉老师对本测试工作所给予的技术支持。

参考文献:

- 中国科学院昆明植物所. 2000. 云南植物志(11卷)[M]. 北京:科学出版社,183—204.
- Dong HJ(董合忠), Li WJ(李维江), Tang W(唐薇). 2000. Photosynthetic characters of field grown cotton leaves(大田棉花叶片光合特性的研究)[J]. *Shandong Agri Sci* (山东农业科学), (6): 7—10.
- Fang MY(方明渊), Yang MY(杨满业). 1994. A study on pollen morphology and evolution of the genus *Anemone* from Sichuan(四川银莲花属(*Anemone*)花粉形态及其演化的研究)[J]. *J Sichuan Univ Natural Sci Edition* (四川大学学报(自然科学版)), 31: 246—258.
- Guo QQ(郭清泉). 1993. Study on the leaf photosynthetic characters of ramie cultivars and their relationship with ramie yield formation. II. The physiological and ecological characters of photosynthesis in ramie leaves(苧麻不同品种叶片光合特征及其与产量形成关系研究. II. 叶片光合生理生态特性)[J]. *J Hunan Agri College* (湖南农学院学报), 19: 550—557.
- Guo TC(郭天财), Wang ZJ(王之杰), Wang YH(王永华). 2002. Study on diurnal changes of flag leaf photosynthetic rate for two spike-type cultivars of wheat(不同穗型小麦品种旗叶光合作用日变化的研究)[J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin* (西北植物学报), 22: 554—560.
- Hoot SB. 1994. Phylogenetic relationships in *Anemone* (Ranunculaceae) based on morphology and chloroplast DNA[J]. *Systematic Botany*, 19: 169—200.
- Jacob Y. 1997. Breeding of *Anemone coronaria* tetraploid hybrids. Proceedings of the seventh international symposium on flower bulbs, Volume II, Herzliya, Israel, 10—16 March 1996[J]. *Acta Hort*, (430): 503—508.
- Jiang L(江力), Cao SQ(曹树青), Dai XB(戴新宾). 2000. Effect of different light intensity on photosynthesis of tobacco(光强对烟草光合作用的影响)[J]. *J Chinese Tobacco* (中国烟草学报), 6(4): 17—20.
- Li PP(李萍萍), Hu YG(胡永光), Zhao YG(赵玉国). 2001. Comprehensive model of on the effect of CO_2 enrichment on lettuce photosynthesis in greenhouse(增施 CO_2 气肥对温室结球莴苣光合作用影响的综合模型研究)[J]. *Transactions of the CSAE* (农业工程学报), 17(3): 75—79.
- Lindell T. 1998. Breeding systems and crossing experiments in *Anemone patens* and in the *Anemone pulsatilla* group (Ranunculaceae)[J]. *Nordic J Bot*, 18: 549—561.
- Liu(刘飞虎), Liang XN(梁雪妮), Liu XL(刘小莉). 2004. Comparison of the photosynthetic characteristics in four wild *Primula* species(4种野生报春花光合特性的比较)[J]. *Acta Hort sin* (园艺学报), 31: 482—486.
- Ma DH(马德华), Pang JA(庞金安), He ZR(霍振荣). 1997. Effects of environment on photosynthetic characteristic of cucumber seedlings(环境因素对黄瓜幼苗光合特性的影响)[J]. *Acta Agri Boreali-Sin* (华北农学报), 12(4): 97—100.
- Man WQ(满为群), Du WG(杜维广), Zhang GR(张桂如). 2002. Photosynthetic diurnal variation of soybean cultivars high photosynthetic efficiency(高光效大豆品种光合作用的日变化)[J]. *Sci Agri Sin* (中国农业科学), 35: 860—862.

(下转第 392 页 Continue on page 392)

- by phosphorylation and transduction and dephosphorylation events[J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, **92**:9 535—9 539.
- Schonknecht G, Bauer CS, Simonis W. 1998. Light-dependent signal transduction and transient changes in cytosolic Ca^{2+} in a unicellular green alga[J]. *J Exp Bot*, **49**:1—11.
- Schultz-Lessdorf B, Hedrich R. 1995. Protons and calcium modulate SV-type channels in the vacuolar-lysosomal compartment-channel interaction with calmodulin inhibitors[J]. *Planta*, **197**:655—671.
- Schumaker KS, Sze H. 1986. Calcium transport into the vacuole of oat roots. Characterization of H^+ / Ca^{2+} exchange activity[J]. *J Biol Chem*, **261**: 12 172—12 178.
- Schumaker KS, Sze H. 1987. Inositol 1,4,5-trisphosphate releases Ca^{2+} from vacuolar membrane vesicles of oat roots [J]. *J Biol Chem*, **262**:3 944—3 946.
- Sheen J. 1996. Ca^{2+} -dependent protein kinases and stress signal transduction in plants[J]. *Science*, **274**:1 900—1 902.
- Staxen L, Montgomery LT, Hetherington AM, et al. 1996. Do oscillations in cytoplasmic free calcium encode the ABA signaling in stomatal guard cells? [J]. *Plant Physiol*, **111**(suppl): 151.
- Subbiah CC, Bush DS, Sachs MM. 1994. Elevation of cytosolic calcium precedes anoxic gene expression in maize suspension cultured cells[J]. *Plant Cell*, **6**:1 747—1 762.
- Takahashi K, Isobe M, Knight MR, et al. 1997. Hypo-osmotic shock induces increases in cytosolic Ca^{2+} in tobacco suspension culture cells[J]. *Plant Physiol*, **113**:587—594.
- Thion L, Mazars C, Thuleau P, et al. 1996. Activation of plasma membrane voltage-dependent calcium-permeable channels by disruption of microtubules in carrot cells [J]. *FEBS Lett*, **340**:45—50.
- Trewavas AJ, Maho R. 1998. Calcium signaling in plant cells: the big network! [J]. *Curr Opin Plant Biol*, **1**:11—21.
- Ward JM, Schroeder JI. 1994. Calcium activated K 1 channels and calcium-induced calcium release by slow vacuolar ion channels in guard cell vacuoles implicated in the control of stomatal closure[J]. *Plant Cell*, **6**:669—683.
- White PJ. 1998. Calcium channels in the plasma membrane of root cells[J]. *Ann Bot*, **81**:173—183.
- White PJ. 1994. Characterization of a voltage-dependent cation channel from the plasma membrane of rye (*Secale cereale* L.) roots in planar lipid bilayers[J]. *Planta*, **193**:186—193.
- Wimmers LE, Ewing NN, Bennett AB. 1992. Higher plant Ca^{2+} -ATPase: Primary structure and regulation of mRNA abundance by salt[J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, **89**:9 205—9 209.
- Woo SK, Dahl SC, Handler JS, et al. 2000. Bidirectional regulation of tonicity-responsive enhancer binding protein in response to changes in tonicity[J]. *Am J Physiol*, **278**:1 006—1 012.
- Wu Y, Kuzma J, Marechal E, et al. 1997. Abscisic acid signaling through cyclic ADP-ribose in plants[J]. *Science*, **278**:2 126—2 130.
- Zhao Y, Kappes B, Franklin RM. 1993. Gene structure and expression of an unusual protein kinase from *Plasmodium falciparum* homologous at its carboxyl terminus with the EF hand calcium-binding proteins[J]. *J Biol Chem*, **268**:4 347—4 354.
- Zielinski RE. 1998. Calmodulin and calmodulin-binding proteins in plants[J]. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*, **49**:697—725.
- Zimmermann S, Nürnberger T, Frachisse JM, et al. 1997. Receptor-mediated activation of a plant Ca^{2+} -permeable channel involved in pathogen defense[J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, **94**:2 751—2 755.

(上接第 385 页 Continue from page 385)

- Pan XY(潘晓云), Cao QD(曹琴东), Wang GX(王根轩). 2002. Comparative study of the photosynthetic characteristics of *Prunus amygdalus* and *P. persica*(扁桃与桃光合作用的比较研究)[J]. *Acta Hort Sin*(园艺学报), **29**:403—407.
- Su WH(苏文华), Zhang GH(张光辉), Wang CY(王崇云). 2001. Preliminary studies on the physiological ecology of photosynthesis of *Erigeron breviscapus*(短葶飞蓬光合生理生态的初步研究)[J]. *J Yunnan Univ*(云南大学学报(自然科学版)), **23**:142—145.
- Tadashi H, Hsiao TC. 1999. Some characteristics of reduced leaf photosynthesis at midday in maize growing in the field [J]. *Field Crops Res*, **62**:53—62.
- Wei YQ(魏玉清), Xu X(许兴), Zheng GQ(郑国琦). 2002. Study on photosynthetic characteristics of main constructive plants *Cynanchum komarovii* in Maowusu sandland(毛乌素沙地牛心朴子叶片的光合特征研究)[J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*(西北植物学报), **22**:1 365—1 371.
- Xu DQ(许大全). 1997. Some problems in stomatal limitation analysis of photosynthesis(光合作用气孔限制分析中的一些问题)[J]. *Plant Physiol Commun*(植物生理学通讯), **33**:241—244.
- Yang QE(杨亲二). 2002. Cytology of ten species in *Anemone*, one in *Anemone* and six in *Clematis*(Trib. Anemoneae, Ranunculaceae) form China(国产毛茛科银莲花族十七种植物的细胞学研究)[J]. *Acta Phytot Sin*(植物分类学报), **40**:396—405.
- Yuan YL(原雅玲), Zhao JL(赵锦丽), Xu WP(徐卫平). 1997. Anemone of morphology characteristic and introduction apply study(银莲花的形态特征及引种应用研究)[J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*(西北植物学报), **17**(5):137—136.
- Zhang MQ(张木清), Lu JL(吕建林), Chen RK(陈如凯). 1998. Diurnal variation of photosynthetic rate in sugarcane and its responses to light and temperature(甘蔗光合速率的日变化及其对光温的响应)[J]. *J Fujian Agri Univ*(福建农业大学学报), **27**:397—401.
- Zhang SY(张树源), Wu Hai(武海), Wu Z(吴妹). 1999. Photo-inhibition of photosynthesis of plants leaves in Qinghai plateau and Shanghai plain locality(青海高原及上海平原地区植物叶片光合作用的光抑制)[J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*(西北植物学报), **19**:56—66.