

不同光照强度下卡特兰和蝴蝶兰光合作用 和叶绿素荧光参数日变化

吴根良¹, 何 勇², 王永传², 孙 瑶¹, 朱祝军³

(1. 杭州市农业科学研究院 园艺所, 浙江 杭州 310024; 2. 浙江大学 园艺系, 浙江 杭州 310029;
3. 浙江林学院 农业与食品科学学院, 浙江 临安 311300)

摘要: 以卡特兰 *Cattleya × hybrida* 和蝴蝶兰 *Phalaenopsis amabilis* 为材料, 研究了其叶片在不同光照强度下(全光照、36% 光照和 18% 光照)净光合速率和叶绿素荧光参数的日变化。结果表明, 在不同光照强度下, 卡特兰和蝴蝶兰净光合速率变化呈 V 型。从 10:00 开始, 全光照和 36% 光照下卡特兰和蝴蝶兰净光合速率下降为负值, 到 18:00, 全光照处理下净光合速率仍为负值, 36% 光照下恢复为正值。在午间, 18% 光照处理光合速率下降幅度低于 36% 光照及全光照, 恢复速度快于前两者。叶绿素荧光参数日变化表明, 在全光照下, 卡特兰和蝴蝶兰叶片 PS 光化学效率 (F/F_m), PS 非环式电子传递光化学量子产量 (Φ_{PS})、光化学猝灭系数 (q_P) 随光照强度增加而降低, 到 18:00 未能恢复至上午 8:00 的值, 光合器官受到伤害; 在 36% 光照下, F/F_m , Φ_{PS} , q_P 随光强增加而降低, 至下午 18:00 基本恢复至上午 8:00 的值; 18% 光照处理下各值均较为稳定。在 36% 光照及 18% 光照下, PS 电子传递速率随光照强度增加而增加, 全光照处理下则相反。说明卡特兰和蝴蝶兰在 500 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上光照强度时, 受到严重的光抑制, 能忍受 310 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 的光照强度, 在 160 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 光照强度下生长良好。图 6 参 15

关键词: 植物学; 卡特兰; 蝴蝶兰; 光合作用; 叶绿素荧光参数; 光抑制

中图分类号: S682.31; Q945.11 文献标志码: A 文章编号: 1000-5692(2008)06-0733-06

Diurnal changes of photosynthesis and chlorophyll fluorescence in *Cattleya × hybrida* and *Phalaenopsis amabilis* with different light intensities

WU Gen-liang¹, HE Yong², WANG Yong-chuan², SUN Yao¹, ZHU Zhu-jun³

(1. Institute of Horticulture, Hangzhou Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310024, Zhejiang, China; 2. Department of Horticulture, Zhejiang University, Hangzhou 310029, Zhejiang, China; 3. School of Agriculture and Food Science, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: *Cattleya × hybrida* and *Phalaenopsis amabilis* are popular for special flower and long fluorescence. We want to grasp the optimum illumination intensity for their cultivation. Diurnal changes in the rate of net photosynthesis (P_n) and parameters of chlorophyll fluorescence were studied with three light intensities: full light (no shading net, the most high light intensity was 860 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), 36% of full light (with one layer of shading net, 310 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) and 18% of full light (with two layers of shading net, 160 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). The diurnal change were determined from 28th to 30th of September, 2005 with three replications. The diurnal change in P_n for *C. × hybrida* and *P. amabilis* formed a "V" curve. From 10 a.m. onward to 6 p.m., leaves in plants with full light and 36% of full light experienced negative photosynthesis. At 6 p.m., P_n for full light intensity was still below 0, whereas the other two treatments were above 0. With 18% of full light intensity, compared to other two treatments, P_n decreased less at noon and recovered quicker.

收稿日期: 2007-11-18; 修回日期: 2008-07-21

基金项目: 浙江省科学技术重点项目(2006C22067)

作者简介: 吴根良, 高级农艺师, 从事蔬菜花卉栽培技术研究。E-mail: wugen@126.com

With full light intensity, variable fluorescence/maximum fluorescence (F_v/F_m) of dark-adapted material, $\Phi_{\text{photosystem}}$ (Φ_{PS}), and photochemical quenching (q_p) decreased in the leaves with increasing light intensity, and were lower at 6 p.m. than at 8 a.m. Changes for F_v/F_m , Φ_{PS} , and q_p at 36% of full light intensity were nearly the same as full light intensity, but were closer at 6 p.m. and 8 a.m. With 18% of light intensity, chlorophyll fluorescence in *C. × hybrida* and *P. amabilis* was steady for the whole day. For 36% and 18% of full light intensity, the electron transfer rate increased with increasing light intensity, whereas the opposite occurred with full light intensity. Thus, *C. × hybrida* and *P. amabilis* suffered serious photoinhibition with light intensity of $500 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, but could endure with $310 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ light intensity with an optimum light intensity of about $160 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. [Ch, 6 fig. 15 ref.]

Key words: botany; *Cattleya × hybrida*; *Phalaenopsis amabilis*; photosynthesis; parameters of chlorophyll fluorescence; photoinhibition

卡特兰 *Cattleya × hybrida* 和蝴蝶兰 *Phalaenopsis amabilis* 原产于热带亚热带地区，喜高温高湿环境，因花型奇特，花色艳丽，花期长而深受人们的喜爱，近年来种植面积迅速增加。目前对于卡特兰和蝴蝶兰的研究集中于离体快繁技术体系的建立和改良，不同温度对花芽分化与花期调控的影响及生理变化等^[1-6]。近年来的研究表明，光合机构吸收的光能超过植物利用的能量时可能导致光合作用的光抑制，光系统 (PS) 的光化学效率 (F_v/F_m) 降低是光抑制现象的主要特征^[7]。Lin 等^[8]研究了蝴蝶兰不同叶位叶片的光合作用和叶绿素荧光参数变化情况：适当地采用散射光增加老叶所接受的光照强度，有利于增强蝴蝶兰光合作用，加快花芽的形成。但目前对于卡特兰和蝴蝶兰在中国适宜生长的光照条件仍缺乏系统的研究。本试验研究了不同光照强度下，卡特兰和蝴蝶兰的光合作用和叶绿素荧光参数的日变化规律，为了解卡特兰和蝴蝶兰的光合特性，探明适宜栽种的光照强度提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料及处理

卡特兰选自杭州市农业科学研究院园艺所生产基地，盆栽，容积为 1 L，基质为碎石和粗砂，8 叶时选取整齐一致的植株进行光照处理。蝴蝶兰选自浙江大学实验农场，栽培条件同卡特兰，6 叶时选取整齐一致的植株进行光照处理。各处理分别为：日光条件下(全光照)；盖 1 层遮阳网(36% 光照)；2 层遮阳网(18% 光照)。每处理重复 3 次，每重复 6 株。

1.2 测定方法

采用美国 Li-6400 测定光合作用日变化。于 2005 年 9 月 28 日至 30 日晴天时进行，8:00—18:00，每隔 2 h 测定第 1 片完全叶片净光合速率 (P_n)，光合有效辐射。以 3 d 测定的平均值为光合有效辐射日变化。

采用 FMS-2 便携调制式荧光仪测定叶片叶绿素荧光参数。参照 Genty 等方法^[9]进行计算。于 9 月 28 日至 30 日晴天，8:00—18:00，每隔 2 h 测定 F_v/F_m 、光化学荧光猝灭系数 (q_p)、PS 光化学效率 (Φ_{PS}) 和 PS 电子传递速率日变化，以 3 d 测定的平均值为叶绿素荧光参数日变化。

1.3 数据统计分析

数据初步统计分析由 Excel 完成，采用 Origin 7.5 作图分析，采用 SPSS 进行显著性分析。试验期间光合有效辐射日变化如图 1 所示。在不同的遮光条件下，光合有效辐射日变化呈现显著的单峰变化趋势，即从早上 8:00 开始逐渐增强，在中午 12:00 达到最大，此后开

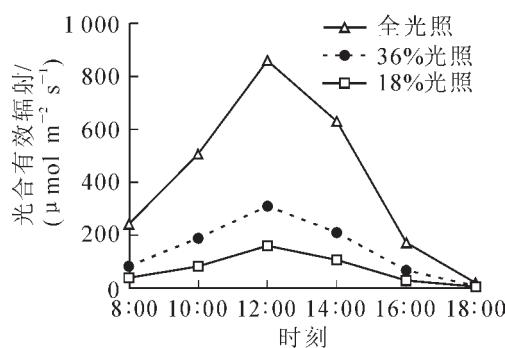


图 1 不同光照强度下光合有效辐射日变化

Figure 1 Diurnal changes of photosynthetic active radiation under different light intensities

始降低。全光照条件下最大光强可达到 $860 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 36% 光照和 18% 光照最大光合有效辐射分别为 310 和 $160 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

2 结果与分析

2.1 不同光照条件下卡特兰和蝴蝶兰净光合速率日变化

由图 2a 可见, 光照条件下卡特兰净光合速率日变化呈下降趋势, 直至下午 14:00 后才开始有所回升; 36% 光照条件下, 卡特兰净光合速率变化呈现 V 字型, 中午 12:00 时达最低值, 此后开始回升; 在 18% 光照条件下, 净光合速率在 10:00 时有所上升, 12:00 下降到最低, 此后开始上升。全光照条件下, 除上午 8:00 和 10:00 时净光合速率为正值外, 其余时间均为负值, 说明此时呼吸速率高于二氧化碳 (CO_2) 吸收速率; 在 36% 光照条件下, 早晚净光合速率为正值, 其余时间为负值; 18% 光照条件下, 除中午 12:00 和下午 14:00 外, 其余时间净光合速率均为正值。

由图 2b 可知, 在不同光照条件下, 蝴蝶兰净光合速率日变化趋势呈现 V 字型。在全光照条件下, 午间净光合速率下降幅度最大, 在傍晚恢复得最为缓慢, 下午 18:00 时, CO_2 吸收能力仍低于呼吸速率; 在 18% 光照条件下, 午间净光合速率下降幅度最小, 恢复得最快; 36% 光照条件下蝴蝶兰净光合速率变化幅度介于二者之间。在下午 18:00 时, 18% 光照条件下蝴蝶兰净光合速率极显著高于 36% 光照处理 ($P < 0.01$), 36% 光照处理蝴蝶兰净光合速率极显著高于全光照处理 ($P < 0.01$)。在下午 18:00, 36% 光照处理和全光照处理蝴蝶兰净光合速率仍为负值。

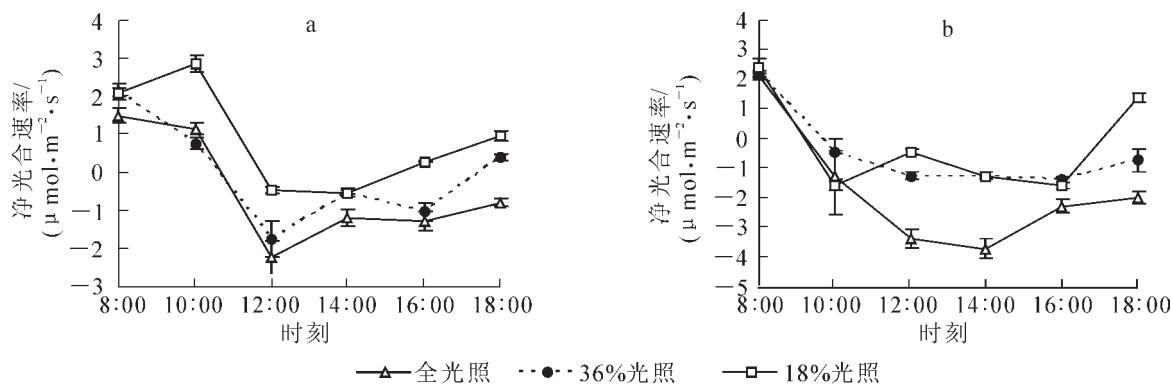


图 2 不同光照强度下卡特兰(a)和蝴蝶兰(b)净光合速率日变化

Figure 2 Diurnal changes of net photosynthesis rate of *Cattleya × hybrida*(a) and *Phalaenopsis amabilis*(b) under different light intensities

2.2 不同光照条件下卡特兰和蝴蝶兰叶绿素荧光参数日变化

叶绿素荧光参数可反映光合机构内部一系列重要的调节过程。为了真实而准确地了解在自然光下卡特兰和蝴蝶兰叶片净光合速率下降的原因, 测定了卡特兰和蝴蝶兰叶片在各种光照条件下的叶绿素荧光参数。

F_v/F_m 表示的是 PS 光化学效率。由图 3a 可见, 卡特兰在 18% 光照条件下, F_v/F_m 值比较稳定, 基本维持在 0.8 以上; 全光照下, F_v/F_m 从 10:00 开始(此时光合有效辐射为 $500 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)出现明显下降, 到中午 12:00 时下降至 0.283, 下午开始恢复, 到下午 18:00 时, 仍只能恢复至 0.632, 极显著低于上午 8:00 的值 ($P < 0.01$); 36% 光照条件下变化趋势介于两者之间。蝴蝶兰 F_v/F_m 值日变化趋势同卡特兰一致, 只是恢复得更为缓慢(图 3b)。

Φ_{PS} 表征了 PS 非环式电子传递的光化学量子产量。由图 4 a 可知, 18% 光照条件下, 卡特兰叶片 Φ_{PS} 值一直维持在较高的水平, 而 36% 光照及全光照条件下均表现为先下降再上升, 中午 12:00 下降幅度分别为 28.1% 和 81.1%, 下午 18:00, 36% 光照下卡特兰叶片 Φ_{PS} 值基本恢复至上午 8:00 的水平, 而全光照下仅恢复至 68.2%。蝴蝶兰叶片 Φ_{PS} 值变化趋势与卡特兰相同, 全光照条件下下午 18:00 时 Φ_{PS} 值仅恢复至上午 8:00 的 30.7%(图 4b)。

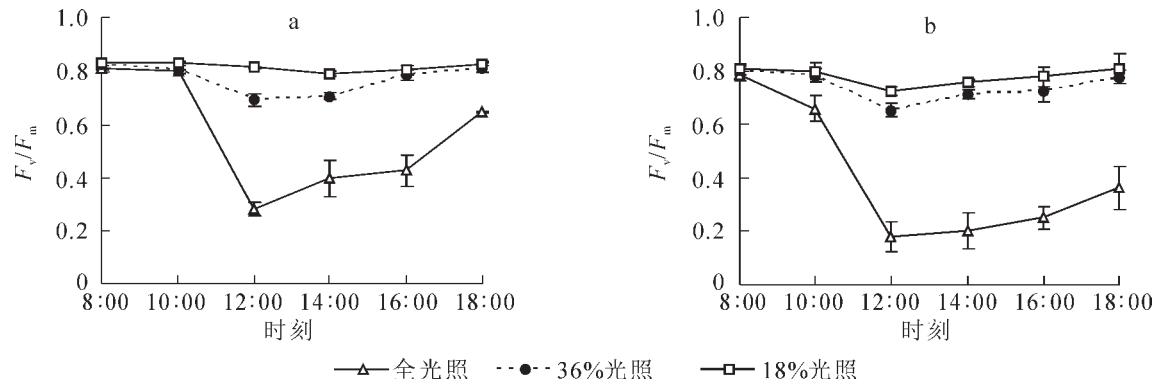
图3 不同光照强度下卡特兰(a)和蝴蝶兰(b) F_v/F_m 日变化

Figure 3 Diurnal changes of the PS photochemical efficiency(F_v/F_m) of *Cattleya × hybrida*(a) and *Phalaenopsis amabilis*(b) under different light intensities

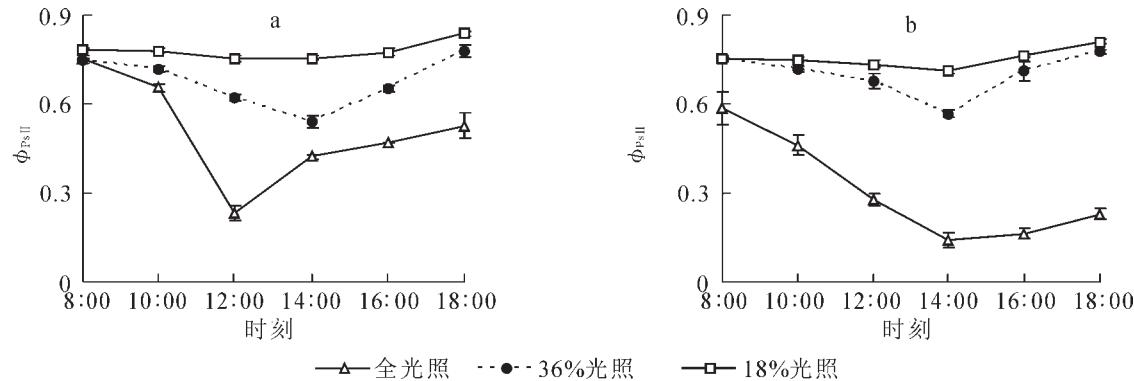
图4 不同光照强度下卡特兰(a)和蝴蝶兰(b) Φ_{PSII} 日变化

Figure 4 Diurnal changes of Φ_{PSII} of *Cattleya × hybrida*(a) and *Phalaenopsis amabilis*(b) under different light intensities

光化学荧光猝灭系数(q_p)是反映PS天线色素吸收的光能用于光化学反应的份额。由图5a可见, 18%光照条件下, 卡特兰叶片 q_p 一直维持在较高的水平; 36%光照及全光照条件下均表现为先下降再上升, 下午14:00时, 下降幅度分别为37.6%和76.7%, 下午18:00时, 36%光照下卡特兰叶片 q_p 基本恢复至上午8:00时的水平, 全光照下仅恢复至76.6%。蝴蝶兰叶片 q_p 变化趋势与卡特兰相同, 全光照条件下18:00时, q_p 恢复至8:00的62.7%(图5b)。

PS的非循环电子传递速率反映了实际光强条件下的表观电子传递效率。图6a表明, 36%和18%光照条件下, 卡特兰电子传递速率随光强增大而增大, 至中午12:00后开始降低, 而全光照下, 卡特兰电子传递速率则先降低再增加。蝴蝶兰电子传递速率日变化规律与卡特兰相同。

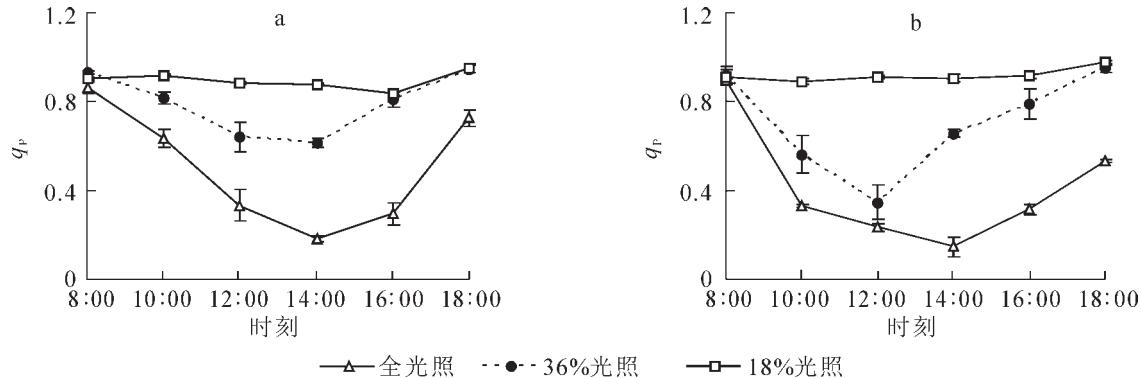
图5 不同光照强度下卡特兰(a)和蝴蝶兰(b) q_p 日变化

Figure 5 Diurnal changes of photochemical quenching (q_p) of *Cattleya × hybrida*(a) and *Phalaenopsis amabilis*(b) under different light intensities

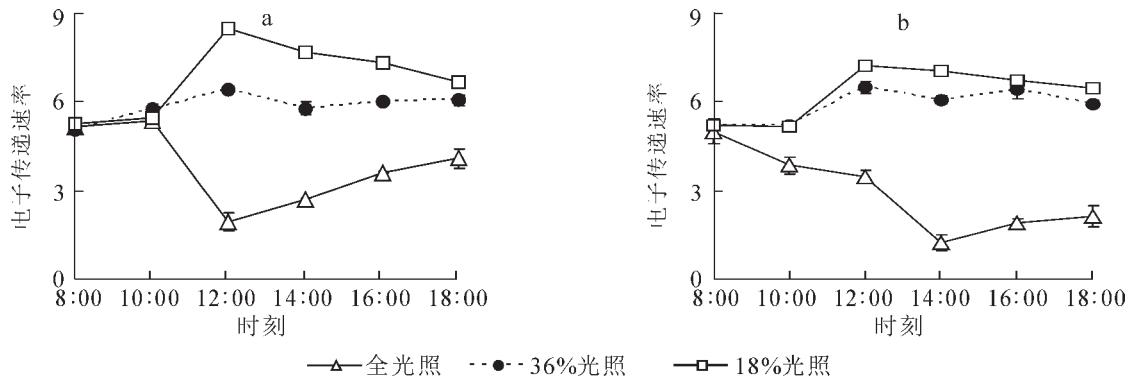


图 6 不同光照强度下卡特兰(a)和蝴蝶兰(b)电子传递速率变化

Figure 6 Diurnal changes of electron transfer rate of PS of *Cattleya × hybrida*(a) and *Phalaenopsis amabilis*(b) under different light intensities

3 讨论

卡特兰和蝴蝶兰是景天酸代谢(CAM)植物，夜间吸收CO₂，形成草酰乙酸，还原为苹果酸，白天苹果酸运输至细胞质，释放出CO₂进入C₃途径。近来有研究表明，许多CAM植物白天也能固定CO₂^[10]。在本实验中，早间和晚间，卡特兰和蝴蝶兰能固定CO₂，净光合速率为正值，在其余时间则为负值，与前人的研究结果一致。卡特兰和蝴蝶兰的光饱和点一般为130~180 μmol·m⁻²·s⁻¹，过高的光照强度可能会造成光抑制^[11]。在本实验中，18%光照处理的光合有效辐射在卡特兰和蝴蝶兰光饱和点附近，36%光照和全光照处理的光合有效辐射可达310和860 μmol·m⁻²·s⁻¹，高于卡特兰和蝴蝶兰光饱和点。因此，36%光照处理下，净光合速率恢复速度较慢，到下午18:00时有所恢复，但极显著低于上午8:00($P < 0.01$)。全光照处理下，至下午18:00，蝴蝶兰净光合速率仍为负值，卡特兰净光合速率显著低于36%处理($P < 0.05$)。这说明在36%光照和全光照处理下，卡特兰和蝴蝶兰光合机构可能受到破坏，进而影响了光合作用的进行。

气体交换参数直接反映了光合速率的大小变化，而叶绿素荧光参数可进一步解释引起光合速率变化的原因。叶绿素荧光技术作为一种快速、灵敏、无损伤技术广泛用于研究和探测各种逆境对植物光合生理的影响^[12]。PS 的光化学效率(F_v/F_m)被作为衡量PS完整性的指标。Schansker等发现^[13]，当 F_v/F_m 大于0.44时，PS活性随着 F_v/F_m 的降低而降低，当小于0.44时就完全失去活性，表现出反应中心的破坏。Ali等^[14]以 F_v/F_m 测量蝴蝶兰对高温的响应，在40℃高温下， F_v/F_m 显著下降，与丙二醛(MDA)含量上升相符合。本实验中，在全光照下，自上午8:00后卡特兰和蝴蝶兰 F_v/F_m 比值开始下降，中午12:00时分别下降至0.283及0.176，表明此时PS完全失去活性，反应中心受到破坏，到下午18:00仍未能恢复到正常水平，说明卡特兰和蝴蝶兰叶片受到了严重的光抑制。

F_v/F_m 值降低，PS活性降低， q_P 降低，表明反应中心开放的比例下降，用于光合电子传递的能量减少。本实验中， q_P 变化趋势与 F_v/F_m 值变化一致，在时间上滞后于 F_v/F_m 变化。PS的非循环光合电子传递速率是反映实际光强条件下的表观电子传递效率^[15]。在36%光照及18%光照条件下，卡特兰和蝴蝶兰电子传递速率随着光照强度的增加而增加，降低而降低，这说明PS反应中心激发能的传递处于优势地位，热耗散增加，以保护PS。在全光照条件下，卡特兰和蝴蝶兰电子传递速率随着光照强度的增加而降低，其可能的原因是由于过高的光强造成了反应中心的严重破坏，此时， F_v/F_m 值仅为0.283及0.176。反应中心失活，因而电子传递速率下降，最终导致光合速率降低。

综上所述，卡特兰和蝴蝶兰在500 μmol·m⁻²·s⁻¹以上光照强度下，受到严重光抑制，能忍受310 μmol·m⁻²·s⁻¹的光照强度。在160 μmol·m⁻²·s⁻¹光照强度下，卡特兰和蝴蝶兰未受光抑制，生长良好。在生产实践中，采用2层遮阳网，18%光照条件有利于卡特兰和蝴蝶兰的生长。

参考文献:

- [1] 王玉英, 李枝林, 余朝秀, 等. 蝴蝶兰离体快繁技术研究[J]. 西部林业科学, 2006, **35** (2): 99 – 101.
- [2] 曾宝瑞, 陈岳徐, 江秀娜. 蝴蝶兰花芽发育进度与花期调控试验[J]. 广东农业科学, 2006 (7): 40 – 42.
- [3] 林汉锐, 洪生标, 王瑞群, 等. 蝴蝶兰夏季空调温室反季节促成栽培试验[J]. 广东农业科学, 2006 (6): 43 – 44.
- [4] 吕复兵, 王碧青. 卡特兰生长发育规律初探[J]. 西南园艺, 2003, **31** (2): 33 – 34.
- [5] LI Y H, IMAI K, OHNO H, et al. Effects of acclimatization temperatures on antioxidant enzyme activities in mericlones of a cattleya hybrid[J]. *J Jpn Soc Hortic Sci*, 2004, **73** (4): 386 – 392.
- [6] OTA K, MORIOKA K, YAMANOTO Y. Effects of leaf age in florescence, temperature, light intensity and moisture conditions on CAM photosynthesis in *Phalaenopsis*[J]. *J Jpn Soc Hortic Sci*, 1991, **60**: 125 – 132.
- [7] DEMMIC A B, BJORKMAN O. Comparison of the effects of excessive light on chlorophyll fluorescence (77 K) and photo yield of O₂ evolution in leaves of higher plants[J]. *Planta*, 1987, **171**: 171 – 184.
- [8] LIN M J, HSU B D. Photosynthetic plasticity of *Phalaenopsis* in response to different light environments[J]. *J Plant Physiol*, 2004, **161**: 1 259 – 1 268.
- [9] GENTY B, BRIANTAS J M, BAKER N R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence[J]. *Biochim Biophys Acta*, 1989, **990**: 87 – 92.
- [10] GOH C J, ARDITTI J, AVANHANI P N. Carbon fixation in orchid aerial roots[J]. *New Phytol*, 1983, **95**: 367 – 374.
- [11] LEE N, GUO W J. Photosynthesis in *Phalaenopsis amabilis* [C]//LEE G J. *Proceedings of the Academic Cooperation Conferences on Technology Development*. Taipei:[s.n.], 2000: 11 – 15.
- [12] BAKER N R, ROSENQVIST E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities[J]. *J Exp Bot*, 2004, **55** (403): 1 607 – 1 621.
- [13] SCHANSKER G, VAN RENSEN J J S. Performance of active photosystem centers in photoinhibited pea leaves[J]. *Photosynth Res*, 1999, **62**: 175 – 184.
- [14] ALI M B, HAHN E J, PAEK K Y. Effects of temperature on oxidative stress defense systems, lipid peroxidation and lipoxygenase activity in *Phalaenopsis*[J]. *Plant Physiol Biochem*, 2005, **43**: 213 – 223.
- [15] 蔡永萍, 李玲, 李合生, 等. 霍山石斛叶片光合速率和叶绿素荧光参数的日变化[J]. 园艺学报, 2004, **31** (6): 778 – 783.