

3个钓钟柳品种叶绿素荧光特性比较

陶文文, 蒋文伟, 赵丽娟

(浙江农林大学 园林学院, 浙江 临安 311300)

摘要: 利用叶绿素荧光测定技术测定了多年生宿根花卉紫红钓钟柳 *Penstemon campanulatus* ‘Purple Passion’, 毛地黄钓钟柳 *P. digitalis* ‘Husker Red’ 和五彩钓钟柳 *P. barbatus* ‘Rondo’ 等3个钓钟柳品种的叶绿素荧光参数, 并对它们进行比较。结果表明: 3个钓钟柳品种间的叶绿素荧光参数均达到显著或极显著水平, 紫红钓钟柳的可变荧光(F_v), 光系统II原始光能转化效率(F_v/F_m), 光系统II的潜在活性(F_v/F_o), 光合量子产额(Y), 表观光合电子传递速率(E_{TR}), 光化学猝灭系数(q_p), 非光化学猝灭系数(N_{PQ})值最高, 其次为五彩钓钟柳, 最低是毛地黄钓钟柳。说明紫红钓钟柳具有较好的光合生理功能, 其次是五彩钓钟柳, 最差是毛地黄钓钟柳; 相关分析表明: F_o 与 F_m , q_p 与 F_m , q_p 与 F_v , Y 与 E_{TR} , F_m 与 F_v , F_o 与 F (任意期间实际荧光产量), F_m' 与 Y 呈显著正相关或极显著正相关; F_o 与 E_{TR} , F_v/F_o 与 Y 呈显著负相关。图1表3参16

关键词: 园林学; 钓钟柳; 叶绿素荧光; 快速光响应曲线

中图分类号: S718.3; S682.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2011)03-0367-05

Chlorophyll fluorescence parameters in three cultivars of *Penstemon*

TAO Wen-wen, JIANG Wen-wei, ZHAO Li-juan

(School of Landscape Architecture, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: The chlorophyll fluorescence parameters change of the *Penstemon* was studied, the aim was to enhance its planting management for the region in east China. Chlorophyll fluorescence parameters [minimal fluorescence (F_o), maximum fluorescence (F_m), photochemical quenching (q_p), variable fluorescence (F_v), yield (Y), non photochemical quenching (N_{PQ}), and electron transport rate (E_{TR})] of *Penstemon campanulatus* ‘Purple Passion’, *Penstemon digitalis* ‘Husker Red’, and *Penstemon barbatus* ‘Rondo’, all perennial root flowers, were measured and compared by the chlorophyll fluorescence measuring technique. A correlation analysis was conducted. Results of the correlation analysis showed significant positive correlations between F_o and F_m , q_p and F_m , q_p and F_v , Y and E_{TR} , F_m and F_v , F_o and F , and F_m and Y ; significantly negative correlations were found between F_o and E_{TR} and F_v/F_o and Y . Also, chlorophyll fluorescence parameters for the three cultivars were significant ($P < 0.05$) and highly significant ($P < 0.01$). The values of F_v , F_v/F_m , F_v/F_o , Y , E_{TR} , q_p , and N_{PQ} for the three cultivars were in the order: ‘Purple Passion’ > ‘Rondo’ > ‘Husker Red’. Thus, the photosynthetic physiological functions of *P. campanulatus* ‘Purple Passion’ were best. [Ch, 1 fig. 3 tab. 16 ref.]

Key words: landscape architecture; *Penstemon*; chlorophyll fluorescence parameters; fast light response curves

植物叶绿素荧光与植物光合作用的整个过程紧密相关, 用叶绿素荧光仪可以获得多种反映不同阶段光合作用状况的参数, 是研究光合作用的有效探针之一。叶绿素荧光测定技术具有灵敏、快速和无损伤

收稿日期: 2010-09-07; 修回日期: 2010-12-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30972342)

作者简介: 陶文文, 从事园林植物应用与效益研究。E-mail: twwzuibang@foxmail.com。通信作者: 蒋文伟, 副教授, 博士, 从事城市生态学与景观生态学研究。E-mail: wenweijiang@zafu.edu.cn

等优点,是研究植物光合作用的良好探针。许多学者将叶绿素荧光分析技术应用于经济植物和树木方面的抗性研究,可以可靠地鉴定植物的抗旱、抗寒等生理指标^[1-5]。钓钟柳是玄参科 Scrophulariaceae 钓钟柳属 *Penstemon* 植物的俗称。钓钟柳色彩艳丽,花色丰富,花型多变,具有极高的观赏价值。近年来,钓钟柳作为商品花卉,被大力推广应用于城市绿地中,生长表现良好。目前,尚未见有关钓钟柳叶绿素荧光特性比较分析方面的报道。本研究利用叶绿素荧光技术对3个钓钟柳品种的主要荧光参数进行了活体测定,以期了解其荧光特性差异,探讨不同品种间的光合效率,为以后选育优良高效的钓钟柳品种提供参考。

1 试验地自然概况

试验地位于浙江省临安市浙江农林大学园林学院苗圃,地处 29°56' ~ 30°23'N, 118°51' ~ 119°52'E。该区属中亚热带湿润型季风气候,气温适中,日照充足,雨水丰沛,四季分明,全年日照时数为 1 847 h,年平均降水量 1 628 mm,年均气温为 16.4 °C,7月平均气温 28.6 °C,1月平均气温 3.6 °C,全年无霜期 245 d 左右。

2 材料与方 法

2.1 试验材料

供试材料为3个钓钟柳品种的扦插苗,由上房园艺有限公司提供。将扦插生根苗栽植于直径为 18 cm 的花盆中,栽培土壤按园土:泥炭:珍珠岩 3:1:1 配比,常规管理。为方便表述,植物材料皆用其简称表示。即毛地黄钓钟柳 *Penstemon digitalis* 'Husker Red',简称毛地黄;紫红钓钟柳 *Penstemon campanulatus* 'Purple Passion',简称紫红;五彩钓钟柳 *Penstemon barbatus* 'Rondo',简称五彩。

2.2 研究方法

3个品种各5盆,选择生长良好,长势基本一致的植株。测定时间在2009年8月,选择日照充足的上午9:00-11:00,采用便携式调制叶绿素荧光仪(PAM-2100,德国Walz公司)对叶片不离体测定。测定前,叶片于暗中适应20 min,先照射测量光(小于 0.5 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)测初始荧光 F_0 ,再照射饱和脉冲(2 800.0 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)测最大荧光 F_m 。打开持续5 min的光化光(110.0 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)诱导荧光动力学,并隔20 s打开饱和脉冲测量光适应下的最大荧光(F_m')^[6]。根据测得的参数计算可变荧光($F_v = F_m - F_0$),光系统II的潜在活性(F_v/F_0) = $(F_m - F_0)/F_0$,光系统II最大光化学效率或原初光能转换效率(F_v/F_m) = $(F_m - F_0)/F_m$,光系统II实际光化学效率 $Y = (F_m' - F_0)/F_m'$,表观光合电子传递速率 $E_{\text{TR}} = Y \times P_{\text{AR}}$ (光合有效辐射) $\times 0.5 \times 0.84$,光化学猝灭系数 $q_p = (F_m' - F_0)/(F_m' - F_0)$ 、非光化学猝灭系数 $N_{\text{PQ}} = (F_m - F_m')/F_m'$ 。

以上各项测定均重复3~5次,读取数据求算平均值,测定数据采用SPSS 13.0 统计分析软件进行多元相关分析及完全随机设计单因素方差分析(one way ANOVA)方差分析。根据White和Critchley^[7]的方法测定光响应曲线。

3 结果与分析

3.1 3个钓钟柳品种主要荧光参数的差异

通过测定3个品种的叶绿素荧光参数(表1),发现毛地黄具有相对较低的 F_0 值,该值与叶片叶绿素含量有关,而与光化学反应无关;且五彩、紫红 F_v/F_m , F_v/F_0 明显高于毛地黄, F_v/F_m 和 F_v/F_0 分别用于度量植物叶片光系统II原初光能转换效率和光系统II潜在活性,说明五彩、紫红具有较高的光系统II原初光能转化效率和光系统II潜在活性。 Y 可作为植物叶片光合电子传递速率快慢的相对指标,反映叶片用于光合电子传递的能量占所吸收光能的比例,常用来表示植物光合作用电子传递的量子产额。因此,较高的 Y 值,有利于提高光能转化效率,有助于为光合碳同化提供更多的能量(ATP)和还原力(NADPH),形成更多的光合产物。同样五彩、紫红的 Y 值较高。比较3个钓钟柳的 F_m , F_v , F_v/F_m , F_v/F_0 , Y , E_{TR} , q_p , N_{PQ} 值可以看出,紫红最高,五彩次之,毛地黄最低。这说明在3个钓钟柳品种中,紫红的光合能力及吸收光能能力最好,其次为五彩,最差是毛地黄。

表 1 3 个钓钟柳品种叶绿素荧光参数的比较

Table 1 Comparisons of the chlorophyll fluorescence parameters in 3 cultivars of *Penstemon*

品种	荧光参数								
	F_o	F_m	F_v	F_v/F_m	F_v/F_o	Y	E_{TR}	q_P	N_{PQ}
毛地黄	229.700 a	1 428.300 a	1 199.700 a	0.820 a	4.290 a	0.708 a	43.300 a	0.822 a	0.327 a
五彩	253.700 b	1 440.800 a	1 238.300 a	0.844 b	4.740 a	0.714 a	79.300 b	1.015 b	0.727 b
紫红	268.300 b	1 526.00 b	1 374.300 b	0.865 c	6.430 b	0.787 b	85.500 b	1.039 b	0.783 c

说明: 不同小写字母表示达到显著差异($P<0.05$)。

3.2 3 个钓钟柳品种间叶绿素荧光特征的比较

E_{TR} 随光强变化曲线如(图 1)所示。在低光强下, 3 个钓钟柳的 E_{TR} 无明显差异, E_{TR} 与光合有效辐射(P_{AR})呈近线性关系; 但当光强超过 $200.0 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 后, 随着光强增加, E_{TR} 渐渐达到饱和, 则无明显近线性关系。在同样的生存环境下, 紫红的电子传递能力最强, 其次为五彩, 毛地黄的光合电子传递能力最差。光合速率和 E_{TR} 的动态变化一致, 说明紫红的光合能力最强, 其次是五彩, 毛地黄最差。贺立红等^[8]的研究表明, E_{TR} 饱和点越高耐光抑制能力就越高。从图 1 中可以看出, 紫红 E_{TR} 饱和点最高, 其次是五彩, 毛地黄最低, 说明紫红耐光抑制能力最强, 其次是五彩, 最低的是毛地黄。

由快速光响应曲线得出不同品种 E_{TR} 变化初始斜率(表 2), E_{TR} 变化的初始斜率可以用来表示光化学反应的启动速率。由表 2 可以看出: 紫红光化学反应的启动最快, 其次为五彩, 毛地黄最慢。当光化学反应启动后, 紫红光曲线升高得最快, 五彩次之。说明紫红对光能的利用率高, 五彩次之, 毛地黄在光化学反应启动后对光能的利用率最低。

3.3 3 个钓钟柳品种的叶绿素荧光参数的相关性分析

对 3 个钓钟柳品种的叶绿素荧光参数进行相关性分析(表 3)。结果表明: F_m 与 F_v , F_o 与 F , F_m' 与 Y 均呈极显著正相关($P<0.01$); F_o 与 F_m , F_m 与 q_P , F_v 与 q_P , Y 与 E_{TR} 呈显著正相关($P<0.05$); F_o 与 E_{TR} , F_v/F_o 与 Y 呈显著负相关($P<0.05$)。

4 小结与讨论

测定表明: 不同品种间的荧光参数 F_m , F_v , F_v/F_m , F_v/F_o , Y , E_{TR} , N_{PQ} 均存在显著或者极显著差异。这与赵秀琴等^[9]的研究结论一致, 说明基因型是造成不同品种间叶绿素荧光参数差异的主要因素。

在荧光参数中, F_v/F_m , F_v/F_o , Y 和 E_{TR} 值被认为是叶片光合效率的重要依据。且很多研究指出 F_v/F_m , F_v/F_o 和 Y 有很好的一致性^[10]。本试验发现紫红的 F_v/F_m , F_v/F_o , Y 和 E_{TR} 值最高, 其次是五彩, 毛地黄最低, 这说明紫红具有较好的光合性能, 五彩次之, 毛地黄最差。有学者研究发现^[11-12], 在相同光强下, E_{TR} 越高, 形成的活跃化学能(ATP 和 NADPH)就越多, 为光合碳同化提供充分的能量和还原能力。在同样光强下, 紫红的 E_{TR} 饱和点最高, 光化学反应的启动最快, 说明它在炎热高温的生长环境下也具有较好的光合生理性能及耐光抑制能力, 其次为五彩和毛地黄。

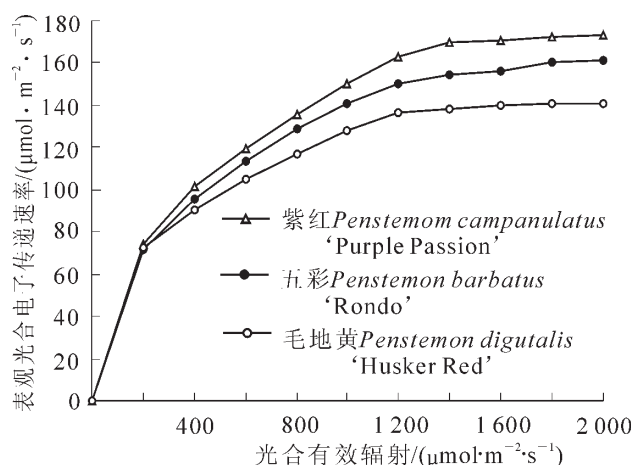


图 1 3 个钓钟柳品种快速光响应曲线的比较

Figure 1 Comparison of ETR in 3 cultivars of *Penstemon* in response to light irradiance表 2 3 个钓钟柳品种 E_{TR} 变化初始斜率和 $E_{TR\max}$ 的比较Table 2 Comparison of initial slopes of response of E_{TR} to light and $E_{TR\max}$ in 3 cultivars of *Penstemon*

项目	毛地黄	紫红	五彩
初始斜率(α)	0.18	0.27	0.25
$E_{TR\max}$	149.3	173.2	154.8

表3 3个钓钟柳品种的叶绿素荧光参数的相关性分析

Table 3 Analysis of the correlation of the chlorophyll fluorescence parameters in 3 cultivars of *Penstemon*

	F_o	F_m	F_v	F_v/F_m	F_v/F_o	F	F_m'	Y	E_{TR}	q_P
F_m	0.746*									
F_v	0.662	0.993**								
F_v/F_m	-0.337	0.376	0.483							
F_v/F_o	-0.133	-0.139	-0.133	0.016						
F	0.844**	0.612	0.538	-0.311	0.518					
F_m'	-0.242	-0.341	-0.341	-0.155	-0.569	-0.051				
Y_{id}	-0.477	-0.455	-0.428	0.012	-0.677*	-0.308	0.943**			
E_{TR}	-0.723*	-0.589	-0.535	0.180	-0.404	-0.398	0.574	0.699*		
q_P	0.630	0.787*	0.773*	0.246	0.193	-0.105	-0.201	-0.082	0.395	
N_{PQ}	0.057	-0.337	-0.390	-0.576	-0.323	-0.088	0.244	0.147	-0.169	-0.588

说明：*，**分别表示差异在0.05和0.01水平上显著。

q_P 反映光系统II天线色素吸收的光能用于光化学电子传递的比例，直接反映植物光合效率和对光能的利用， q_P 值较高有利于碳同化，提高植物的光合效率。 N_{PQ} 反映光系统II天线色素吸收光能以热的形式耗散的那部分光能，常用来评价植物耗散过剩激发能的能力，是植物光合机构的自我保护机制^[13-14]。 N_{PQ} 的高低与植物光合能力的关系，目前有不同的观点。在同等条件下较高的 N_{PQ} 值有利于光能的耗散， N_{PQ} 愈大， q_P 愈小，所以较低 N_{PQ} 值的钓钟柳具有较好的光合性能^[7-8,11-12,15-16]，但也有相反的结论。 q_P 与 N_{PQ} 值呈极显著正相关，较高的 N_{PQ} 值并没有降低 q_P 值^[16]。本研究也发现具有较好光合性能的栽培类型同样具有较高的 N_{PQ} 值，因此，本研究认为不能用 N_{PQ} 值笼统地定义品种光合效率的高低。

利用叶绿素荧光参数对不同品种钓钟柳进行光合效率评价是比较理想的方法。在供试3个品种中，紫红为光合性能较好品种，其次为五彩，最差是毛地黄。用叶绿素荧光分析技术，探测不同品种的荧光参数差异性具有可行性。本研究所得到的结论可以为选育优良高效的钓钟柳品种提供参考。

参考文献：

- [1] 徐德聪, 吕芳德, 栗彬, 等. 不同立地美国山核桃叶绿素荧光特性及叶性状比较[J]. 经济林研究, 2005, 23(4): 17-20.
XU Decong, LÜ Fangde, LI Bin, et al. Comparison of chlorophyll fluorescence characteristics and leaf characters of pecan in different site conditions [J]. *Nonwood For Res*, 2005, 23(4): 17-20.
- [2] 周蕴薇, 刘艳萍, 戴思兰. 用叶绿素荧光分析技术鉴定植物抗寒性的剖析[J]. 植物生理学通讯, 2006, 42(5): 945-949.
ZHOU Yunwei, LIU Yanping, DAI Silan. Identification of cold resistant plants by chlorophyll fluorescence analysis technique [J]. *Plant Physiol Commun*, 2006, 42(5): 945-949.
- [3] 姚庆群, 谢贵水, 陈海坚. 干旱下保水剂对橡胶苗叶绿素荧光参数的影响[J]. 热带作物学报, 2006, 27(1): 6-10.
YAO Qingqun, XIE Guishui, CHEN Haijian. Effects of water-retaining agent on chlorophyll α fluorescence parameters of *Hevea brasiliensis* under drought stress [J]. *Chin J Trop Crop*, 2006, 27(1): 6-10.
- [4] 綦伟, 谭浩, 翟衡. 干旱胁迫对不同葡萄砧木光合特性和荧光参数的影响[J]. 应用生态学报, 2006, 17(5): 835-838.
QI Wei, TAN Hao, ZHAI Heng. Photosynthetic characters and fluorescence parameters of different grape stocks under water stress [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2006, 17(5): 835-838.
- [5] 温国胜, 田海涛, 张明如, 等. 叶绿素荧光分析技术在林木培育中的应用[J]. 应用生态学报, 2006, 17(10): 1973-1977.

- WEN Guosheng, TIAN Haitao, ZHANG Mingru, *et al.* Application of chlorophyll fluorescence analysis in forest tree cultivation [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2006, **17** (10): 1973 – 1977.
- [6] 田海涛, 高培军, 温国胜. 7 种箬竹抗寒性比较[J]. 浙江林学院学报, 2006, **23** (6): 641 – 646.
TIAN Haitao, GAO Peijun, WEN Guosheng. Comparative study of cold resistance characteristics in seven *Indocalamus* spp. [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2006, **23** (6): 641 – 646.
- [7] WHITE A J, CRITCHLEY C. Rapid light curves: a new fluorescence method to assess the state of the photosynthetic apparatus [J]. *Photosynth Res*, 1999, **59**: 63 – 72.
- [8] 贺立红, 贺丽静, 梁红. 银杏不同品种叶绿素荧光参数的比较[J]. 华南农业大学学报, 2006, **27** (4): 43 – 46.
HE Lihong, HE Lijing, LIANG Hong. Comparisons of the chlorophyll fluorescence parameters in different *Ginkgo biloba* varieties [J]. *J South China Agric Univ*, 2006, **27** (4): 43 – 46.
- [9] 赵秀琴, 赵明, 陆军, 等. 热带远缘杂交水稻高光效后代在温带的光合特性观察[J]. 中国农业大学学报, 2002, **7** (3): 1 – 6.
ZHAO Xiuqin, ZHAO Ming, LU Jun, *et al.* Research on photosynthetic characteristics attemperate of remote crossing progenies which present high photosynthesis at tropic zone [J]. *J China Agric Univ*, 2002, **7** (3): 1 – 6.
- [10] 张其德, 蒋高明, 朱新广, 等. 12 个不同基因型冬小麦的光合能力[J]. 植物生态学报, 2001, **25** (5): 532 – 536.
ZHANG Qide, JIANG Gaoming, ZHU Xinguang, *et al.* Photosynthetic capability of 12 genotypes of *Tritium aestivum* [J]. *Acta Phytoecol Sin*, 2001, **25** (5): 532 – 536.
- [11] 何炎红, 郭连生, 田有亮. 7 种针阔叶树种不同光照强度下叶绿素荧光猝灭特征[J]. 林业科学, 2006, **42** (4): 27 – 31.
HE Yanhong, GUO Liansheng, TIAN Youliang. Chlorophyll fluorescence quenching characteristics of seven coniferous and broadleaved species in different light intensities [J]. *Sci Silv Sin*, 2006, **42** (4): 27 – 31.
- [12] 任士福, 史宝胜, 王志彦, 等. 果用型银杏品种叶绿素荧光特性的研究[J]. 河北农业大学学报, 2002, **25** (2): 38 – 41.
REN Shifu, SHI Baosheng, WANG Zhiyan, *et al.* Studies on the chlorophyll fluorescence characteristic of fruit cultivars in ginkgo [J]. *J Hebei Agricul Univ*, 2002, **25** (2): 38 – 41.
- [13] 赵明, 丁在松, ISHHILL R, 等. 干旱和遮光条件下玉米非光化学荧光猝灭的变化和组成的研究[J]. 作物学报, 2003, **29** (1): 59 – 62.
ZHAO Ming, DING Zaisong, ISHHILL R, *et al.* The changes and components of non-photochemical quenching under drought and shade conditions in maize [J]. *Acta Agron Sin*, 2003, **29** (1): 59 – 62.
- [14] HERAUD P, BEARDALL J. Changes in chlorophyll fluorescence during exposure of *Dunaliella tertiolectato* UV radiation indicate a dynamic interaction between damage and repair processes [J]. *Photosynth Res*, 2000, **63** (2): 123 – 134.
- [15] 郑蓉, 黄耀华, 连巧霞, 等. 刚竹属 13 个竹种叶绿素荧光特性比较[J]. 江西农业大学学报, 2008, **30** (2): 263 – 267.
ZHENG Rong, HUANG Yaohua, LIAN Qiaoxia, *et al.* Compared on chlorophyll fluorescence characteristics of thirteen species of *Phyllostachys* [J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*, 2008, **30** (2): 263 – 267.
- [16] 郑淑霞, 上官周平. 8 种阔叶树种叶片气体交换特征和叶绿素荧光特性比较[J]. 生态学报, 2006, **26** (4): 1080 – 1087.
ZHENG Shuxia, SHANGGUAN Zhouping. Comparison of leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence parameters in eight broad-leaved tree species [J]. *Acta Ecol Sin*, 2006, **26** (4): 1080 – 1087.