

引用格式:

张大毛, 张霞, 王香菲, 刘洋, 杨期宏, 李卫东, 于晓英, 李炎林. 红花檵木短枝和开花缺失型变异株系的光合特性[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2021, 47(2): 180-184.

ZHANG D M, ZHANG X, WANG X F, LIU Y, YANG Q H, LI W D, YU X Y, LI Y L. Photosynthetic characteristics of short-branched and flowering-deficient mutation lines of *Loropetalum chinense* var. *rubrum*[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2021, 47(2): 180-184.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



红花檵木短枝和开花缺失型变异株系的光合特性

张大毛^{1,2}, 张霞^{1,2}, 王香菲^{1,2}, 刘洋³, 杨期宏³, 李卫东⁴, 于晓英^{1,2,5*}, 李炎林^{1,2,5*}

(1.湖南农业大学园艺学院, 湖南 长沙 410128 2.湖南省中亚热带优质花木繁育与利用工程技术研究中心, 湖南 长沙 410128; 3.湖南农业大学教育学院, 湖南 长沙 410128; 4.园林花卉种质创新与综合利用湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410128; 5.园艺作物种质创新与新品种选育工程研究中心, 湖南 长沙 410128)

摘要: 测定红花檵木短枝和开花缺失型变异株系‘娇玲珑’初始荧光、最大荧光、叶绿素相对含量, 分析其叶绿素荧光特性。结果表明: ‘娇玲珑’的初始荧光值为 8921.20, 高于对照‘密枝玫红’和‘花叶檵木 2 号’; ‘娇玲珑’的 PS II 最大光化学量子效率值为 0.763, 与对照的差异极显著($P<0.01$); ‘娇玲珑’的叶绿素相对含量为 37.88, 均小于对照的。红花檵木短枝和开花缺失型变异株系叶绿素荧光特性发生了改变, 对光能转化利用效率较低和叶绿素含量的减少, 可能是其生长缓慢的原因, 适合在弱光环境下栽培。

关键词: 红花檵木; 短枝和开花缺失变异株系; 叶绿素荧光特性

中图分类号: S685.99

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2021)02-0180-05

Photosynthetic characteristics of short-branched and flowering-deficient mutation lines of *Loropetalum chinense* var. *rubrum*

ZHANG Damao^{1,2}, ZHANG Xia^{1,2}, WANG Xiangfei^{1,2}, LIU Yang³, YANG Qihong³,
LI Weidong⁴, YU Xiaoying^{1,2,5*}, LI Yanlin^{1,2,5*}

(1.College of Horticulture, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 2.Hunan Provincial Mid-subtropical High Quality Flower and Tree Breeding and Utilization Engineering Technology Research Center, Changsha, Hunan 410128, China; 3.Education College, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 4.Hunan Key Laboratory of Innovation and Comprehensive Utilization, Changsha, Hunan 410128, China; 5.Engineering Research Center for Horticultural Crop Germplasm Creation and New Variety Breeding, Ministry of Education, Changsha, Hunan 410128, China)

Abstract: The initial fluorescence, maximum fluorescence and chlorophyll relative content of the short-branched and flowering-deficient mutation lines of *Loropetalum chinense* var. *rubrum* ‘Jiaolinglong’ were measured to analyze its chlorophyll fluorescence characteristics. The results show that the initial fluorescence value of ‘Jiaolinglong’ was 8921.20, which was higher than that of the control the cultivars ‘Mizhimeihong’ and ‘Huayejimu2’; PS II maximum photochemical quantum efficiency of ‘Jiaolinglong’ was 0.763, which showed very significant difference compared to the controls ($P<0.01$); the relative chlorophyll content of ‘Jiaolinglong’ was 37.88, which was lower than that of the control

收稿日期: 2020-04-13

修回日期: 2021-01-05

基金项目: 湖南省科学技术厅项目(2018TP2007、2019TP1033、206NK2100); 湖南农业大学“双一流”建设科学研究培育项目(SYL201802026, SYL2019012); 湖南省教育厅项目(18B124); 湖南农业大学第三批重大科研项目暨创新团队培育工程(201909)

作者简介: 张大毛(1997—), 男, 湖北十堰人, 硕士研究生, 主要从事观赏植物资源与应用研究, 2506613070@qq.com; *通信作者, 于晓英, 博士, 教授, 主要从事观赏植物资源与应用研究, 475705701@qq.com; *通信作者, 李炎林, 博士, 副教授, 主要从事观赏植物资源与应用研究, liyanlin@hunau.edu.cn

materials. The short branch and flowering-deficient variants of *Loropetalum chinense* var. *rubrum* caused a significant change in its chlorophyll fluorescence characteristics including the low efficiency in the utilization of light energy conversion and the reduction of chlorophyll content, which may be important reasons for its slow growth, indicating 'Jiaolinglong' strain is suitable for low light environment cultivation.

Keywords: *Loropetalum chinense* var. *rubrum*; short branch and flowering deletion variants; chlorophyll fluorescence

红花檵木(*Loropetalum chinense* var. *rubrum*)的花和叶都具有较高的观赏价值^[1-2]。根据花色、花型、叶色和叶型的不同,可将其分为嫩叶红、透骨红、双面红 3 大类 15 个型 41 个品种^[3-4]。红花檵木叶色的变异较为丰富,红色变化至亮紫红色、紫红色和玫瑰红色不等,新叶呈紫红色^[5];红花檵木有在进化过程中叶片出现玫红色和绿色镶嵌的花叶类型^[6],也有花瓣突变为淡水红色和玫红色的二乔类型^[7]。檵木属植物生长量较大,枝条之间易互相遮挡,影响树体内部枝叶的营养生长,增加了修剪、养护成本;同时又导致花量减小,叶色返青而影响其观赏价值^[8]。

湖南农业大学于晓英、李炎林等于 2010 年采集‘花叶檵木 2 号’(母本为‘密枝玫红’)自然授粉结实种子进行播种和栽植,通过形态观测和分子标记筛选出优良实生后代,在 2013 年 5 至 10 月进行扦插繁殖,对无性系后代进行品比试验和栽培试验后,筛选出短枝和开花缺失变异株系‘娇玲珑’。该株系叶小,叶尖钝圆或近圆形,或叶片先端微凹,叶长约 0.771 cm,叶宽约 0.657 cm;分枝密,节间短,年生长量小,新叶呈玫红色,老叶呈紫红色,新梢韧皮部呈紫红色;须根紫红色,10 年生实生苗不开花。笔者通过测定‘娇玲珑’叶绿素荧光特征,了解它的光合生理特性,为其在园林应用中提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

红花檵木短枝和开花缺失型变异株系‘娇玲珑’、红花檵木栽培品种‘密枝玫红’和‘花叶檵木 2 号’,均为 10 龄龄壮苗,栽植于湖南农业大学花卉基地。种植地土壤肥力中等,常规管理。

1.2 方法

1.2.1 叶绿素荧光参数的测定

于 2019 年 10 月 25 日,使用 Pen FP110 手持

式叶绿素荧光仪,选择仪器内的 OJIP^[9]、NPQ3、LC3 程序依次测量红花檵木植株顶叶叶片的初始荧光、最大荧光、可变荧光、PS II 最大光化学量子效率^[10]、光化学淬灭系数、非光化学淬灭系数^[11]共 6 个叶绿素荧光参数。5 次重复。

1.2.2 叶绿素相对含量的测定

于 2019 年 10 月 25 日,使用 SPAD-502 手持式叶绿素仪分别测量红花檵木顶叶叶片的相对叶绿素含量。5 次重复。

1.3 数据统计分析

试验数据采用 SPASS 22.0 进行统计分析,多重比较采用 Duncan 法,使用 Origin 8.0 进行图形的绘制。通过 JIP-test(叶绿素荧光诱导动力学曲线分析技术)^[12-14]分析‘娇玲珑’的叶绿素荧光特性。

2 结果与分析

2.1 红花檵木短枝和开花缺失型株系的叶绿素荧光参数

2.1.1 OJIP 曲线

红花檵木 JIP-test 曲线(图 1)表明,‘娇玲珑’与‘花叶檵木 2 号’和‘密枝玫红’的偏转点 I 相以及最高峰 P 相对应的荧光量均高于原点 O 相以及拐点 J 相对应的荧光量;‘娇玲珑’在 O、J、I 3 相时的荧光量均高于对照材料,其 P 相即最大荧光出现的时间比对照材料早。O、J、I、P 4 相是叶绿素荧光诱导动力学曲线的典型特征^[15-17],这 4 相的特征表明,‘娇玲珑’的原初光化反应时间较短,原初反应过程中利用的原初电子受体较少,说明‘娇玲珑’的光合电子转化效率低于对照。

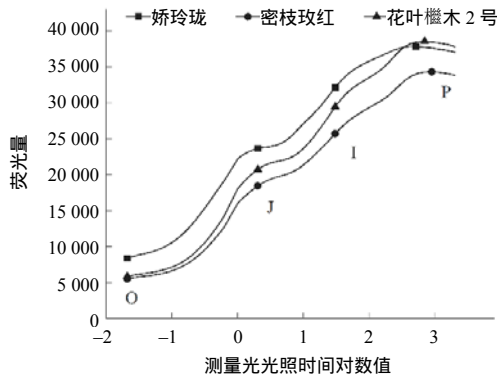


图 1 ‘娇玲珑’的 JIP-test 曲线
Fig. 1 JIP-test curve of ‘Jiaolinglong’

2.1.2 PS II 效率

分析 OJIP 曲线, 计算得到 PS II 最大光化学量子效率^[17-19]。计算与多重比较结果(表 1)表明, ‘娇玲珑’与‘花叶櫟木 2 号’和‘密枝玫红’的最大荧光无显著差异; ‘娇玲珑’的初始荧光值最大, 为 8921.20, 与 2 对照间差异显著; PS II 最大光化学量子效率值最小, 为 0.763, 与 2 对照间差异极显著($P < 0.01$)。初始荧光的大小与叶绿素的含量有关, ‘娇玲珑’的初始荧光远大于对照, 表明‘娇玲珑’叶片的叶绿素含量与对照材料之间存在较大差异, PS II 最大光化学量子效率值小于对照, 进一步表明‘娇玲珑’光合电子转化效率低于对照。

表 1 ‘娇玲珑’顶叶暗适应叶绿素荧光参数

Table 1 Chlorophyll fluorescence parameters of ‘Jiaolinglong’ top leaves under dark adaptation

红花櫟木	初始荧光	最大荧光	PS II 最大光化学量子效率
‘娇玲珑’	(8 921.2±401.215)a	37 719.2±789.435	(0.763±0.012 4)b
‘密枝玫红’	(5 811.2±414.523)b	34 247.0±2 506.973	(0.830±0.183 8)a
‘花叶櫟木 2 号’	(6 195.6±730.377)b	38 454.0±4 599.246	(0.838±0.216 2)a

同列不同小写字母表示材料间差异显著($P < 0.05$)。

2.1.3 光化学与非光化学淬灭系数

从图 2 可看出, 在光适应后的前 40 s 和后 140 s, ‘娇玲珑’的光化学淬灭系数都小于 2 个对照。‘娇玲珑’的非光化学淬灭系数在光适应后的前 40 s 高于对照, 在光适应后的 40~60 s 达最大, 光化学淬灭

系数的大小可衡量植物对光能的利用率, 而非光化学淬灭系数的大小反映植物自我保护机制的强弱^[19], 说明‘娇玲珑’对光能的利用率较低, 并且它的自我保护机制已出现损伤。

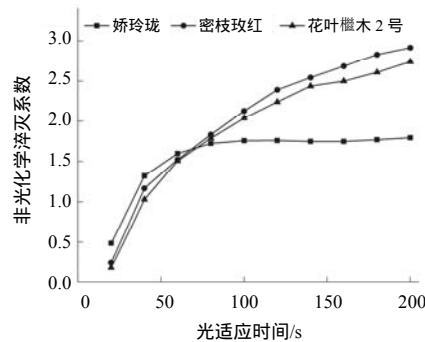
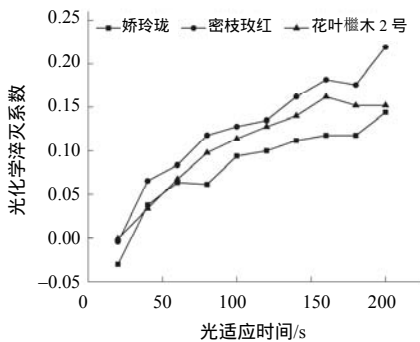


图 2 ‘娇玲珑’光化学淬灭系数与非光化学淬灭系数

Fig. 2 Photochemical quenching coefficients and non-photochemical quenching coefficients of ‘Jiaolinglong’

2.2 红花櫟木短枝和开花缺失型变异株系的叶绿素相对含量

SPAD 值测定结果表明, ‘娇玲珑’与‘花叶櫟木 2 号’和‘密枝玫红’植株叶片的 SPAD 值差异较大, ‘娇玲珑’的 SPAD 值为 37.88, 小于‘花叶櫟木 2 号’(44.22)和‘密枝玫红’(43.64)的, 说明‘娇玲珑’的叶绿素含量低于 2 个对照, 推测叶绿素含量低导致

了‘娇玲珑’与对照之间叶绿素荧光参数的差异。

3 讨论

‘娇玲珑’的初始荧光比对照大, 而初始荧光的大小代表不参与 PS II 光化学反应的光能辐射部分^[20], ‘娇玲珑’的初始荧光较对照增大, 可能是其类囊体膜受损所致^[21], PS II 原初电子受体减少, 因此‘娇

玲珑’的 P 相提前出现。由此推断‘娇玲珑’的 PS II 反应中心出现了不可逆的破坏或者可逆的失活，引起叶片中不参与 PS II 光化学反应的光能辐射部分的异常变化^[10]。

‘娇玲珑’PS II 最大光化学量子效率低于‘花叶檵木 2 号’和‘密枝玫红’，且存在显著差异。植物的 PS II 最大光化学量子效率通常为 0.80~0.84^[22]，‘娇玲珑’为 0.763(<0.8)，推测它“不开花”的特性可能是一种非生物胁迫，导致它的电子传递效率较对照低，而且‘娇玲珑’的叶绿素含量也低于对照。说明 3 种红花檵木中叶绿素的含量与初始荧光和 PS II 最大光化学量子效率存在一定的相关性^[19]，即初始荧光与叶绿素含量成反比，这一结果与陈凌艳等^[11]对花叶唐竹的研究结果相左。

‘娇玲珑’较低的 PS II 最大光化学量子效率，意味着其拥有较低的 PS II 原初光能转换效率，说明它比‘花叶檵木 2 号’和‘密枝玫红’更加适合弱光环境。非光化学淬灭系数在一定程度上可以防止强光对植物 PS II 系统的破坏，是植物的一种自我保护机制^[19]。在测量后的 140 s 内‘娇玲珑’的非光化学淬灭系数值变化趋近于 0，此时其叶片将天线色素吸收来的光能大多都用来进行光合作用中电子的传递，说明‘娇玲珑’的这种自我保护机制出现了损伤，所以在强光下其 PS II 系统易遭受损伤。光化学淬灭系数反映天线色素吸收的光能用于光化学反应的大小^[23]，‘娇玲珑’的光化学淬灭系数值低于对照，表明其 PS II 系统出现了一定程度的损伤。综合来看，‘娇玲珑’一方面将光能用于光化学反应的能力低于对照，另一方面其自我保护机制出现损伤，因此更适应弱光环境下生长。

结合‘娇玲珑’叶小、短枝的生理特性，可将其应用于室内弱光条件下制作小盆景，也可将其应用于地被、绿篱等园林绿化场景，通过减少修剪次数来降低维护成本，其不开花的特性也可运用于开花机理的探究中。

参考文献：

[1] 李炎林, 于晓英, 熊兴耀, 等. 红花檵木花粉单倍体愈伤组织的诱导与培养[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2011, 37(6): 632-636.
LI Y L, YU X Y, XIONG X Y, et al. Induction and cultivation of haploid callus of *Loropetalum chinense*

var. *rubrum*[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2011, 37(6): 632-636.

[2] 李达, 于晓英, 熊兴耀, 等. 红花檵木种质资源研究与利用[J]. 经济林研究, 2008(1): 117-121.
LI D, YU X Y, XIONG X Y, et al. Researches and utilization of *Loropetalum chinense* var. *rubrum* germplasm resources[J]. Economic Forest Research, 2008(1): 117-121.

[3] 侯伯鑫, 董新旺, 林峰, 等. 红花檵木品种资源的研究[J]. 中国野生植物资源, 2002, 21(6): 15-17.
HOU B X, TONG X W, LIN F, et al. Study on variety resources of *Loropetalum chinense* var. *rubrum*[J]. Chinese Wild Plant Resources, 2002, 21(6): 15-17.

[4] BAO Z Y, CHEN B, ZHANG H. Variation in morphological traits among *Loropetalum chinense* var. *rubrum* accessions[J]. HortScience, 2007, 42(2): 399-402.

[5] 侯伯鑫, 林峰, 董海燕, 等. 红花檵木品种分类新系统[C]//中国园艺学会观赏园艺专业委员会、国家花卉工程技术研究中心. 中国观赏园艺研究进展(2010). 北京: 中国园艺学会, 2010: 48-51.
HOU B X, TONG X W, LIN F, et al. Classification System to Variety of *Loropetalum chinense* ‘Rubrum’ [C]//Ornamental Horticulture Committee of Chinese Society of Horticulture and National Engineering Research Center of Flowers. Research progress of ornamental horticulture in China(2010). Beijing: Chinese Society of Horticulture, 2010: 48-51.

[6] 李炎林, 熊兴耀, 于晓英, 等. 红花檵木花叶芽变生物学特性[J]. 林业科学, 2010, 46(8): 56-61.
LI Y L, XIONG X Y, YU X Y, et al. Biological characteristics of variegated bud sports of *Loropetalum chinense* var. *rubrum* [J]. Forestry Science, 2010, 46(8): 56-61.

[7] 李炎林, 钟志平, 李达, 等. 红花檵木花叶芽变 1 号的选育[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2011, 37(1): 31-33.
LI Y L, ZHONG Z P, LI D, et al. Selection-breeding of variegated bud sports of *Loropetalum chinense* var. *rubrum* ‘Huayejimu 1’[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2011, 37(1): 31-33.

[8] 刘伟, 陈继杰, 黄滔, 等. 逆境胁迫对红花檵木生长发育的影响[J]. 经济林研究, 2007(2): 31-34.
LIU W, CHEN J J, HUANG T, et al. Effects of Stress Conditions on Growth and Development of *Loropetalum chinense* var. *rubrum* yieh[J]. Economic Forest Research, 2007(2): 31-34.

[9] KUPPER H, BENEDIKTY Z, MORINA F, et al. Analysis of OJIP chlorophyll fluorescence kinetics and Q_A reoxidation kinetics by direct fast imaging[J]. Plant

- Physiol, 2019, 179(2): 369–381.
- [10] 王海珍, 韩路, 徐雅丽, 等. 胡杨异形叶光合系统II叶绿素荧光特性[J]. 西北植物学报, 2019, 39(10): 1795–1804.
WANG H Z, HAN L, XU Y L, et al. Chlorophyll fluorescence characteristics of Photosystem II of *Populus euphratica* heteromorphic leaves[J]. Journal of Northwest Botany, 2019, 39(10): 1795–1804.
- [11] 陈凌艳, 谢德金, 荣俊冬, 等. 光合色素含量差异对花叶唐竹不同叶色表型光合特性的影响[J]. 林业科学, 2019, 55(12): 21–31.
CHEN L Y, XIE D J, RONG J D, et al. Effects of photosynthetic pigment content on photosynthetic characteristics of different leaf color phenotypes of *Sinobambusa tootsik* f. *luteoloalbostrata*[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2019, 55(12): 21–31.
- [12] 王振兴, 艾军, 陈丽, 等. 软枣猕猴桃叶片光系统II活性对不同温度的响应[J]. 西北植物学报, 2015, 35(2): 329–334.
WANG Z X, AI J, CHEN L, et al. Activity of Photosystems II in leaves of *Actinidia arguta* under different temperature treatments[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentia Sinica, 2015, 35(2): 329–334.
- [13] KVĚTOŇ J, YUNUS M, PATHRE U, et al. Probing photosynthesis; mechanisms, regulation and adaptation[J]. Biologia Plantarum, 2001, 44(4): 508.
- [14] ZUSHI K, KAJIWARA S, MATSUZOE N. Chlorophyll a fluorescence OJIP transient as a tool to characterize and evaluate response to heat and chilling stress in tomato leaf and fruit[J]. Scientia Horticulturae, 2012, 148: 39–46.
- [15] 李鹏民. 快速叶绿素荧光诱导动力学在植物逆境生理研究中的应用[D]. 泰安: 山东农业大学, 2006.
LI P M. Application of chlorophyll a fluorescence transient in study of plant physiology under stress conditions[D]. Taian, China: Shandong Agricultural University, 2006.
- [16] ZHU X G, GOVINDJE E, BAKER N R, et al. Chlorophyll a fluorescence induction kinetics in leaves predicted from a model describing each discrete step of excitation energy and electron transfer associated with photosystem II[J]. Planta, 2005, 223(1): 114–133.
- [17] LAZĀR D. The polyphasic chlorophyll a fluorescence rise measured under high intensity of exciting light[J]. Functional Plant Biology, 2006, 33(1): 9–30.
- [18] 李晓, 冯伟, 曾晓春. 叶绿素荧光分析技术及应用进展[J]. 西北植物学报, 2006, 26(10): 2186–2196.
LI X, FENG W, ZENG X C. Advances in Chlorophyll Fluorescence analysis and its uses[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentia Sinica, 2006, 26(10): 2186–2196.
- [19] 张守仁. 叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论[J]. 植物学通报, 1999, 34(4): 444–448.
ZHANG S R. A Discussion on chlorophyll fluorescence kinetics parameters and their significance[J]. Chinese Bulletin of Botany, 1999, 34(4): 444–448.
- [20] 时丽冉, 郝洪波, 崔海英, 等. 遮光对谷子光合性能及快速叶绿素荧光动力学特征的影响[J]. 作物杂志, 2019(5): 125–128.
SHI L R, HAO H B, CUI H Y, et al. Effects of shading on photosynthetic characteristics and rapid chlorophyll fluorescence kinetic characteristics of *Foxtail millet*[J]. Crops, 2019(5): 125–128.
- [21] 陈建明, 俞晓平, 程家安. 叶绿素荧光动力学及其在植物抗逆生理研究中的应用[J]. 浙江农业学报, 2006, 18(1): 51–55.
CHEN J M, YU X P, CHENG J A. The application of chlorophyll fluorescence kinetics in the study of physiological responses of plants to environmental stresses[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2006, 18(1): 51–55.
- [22] 岑海燕, 姚洁妮, 翁海勇, 等. 叶绿素荧光技术在植物表型分析的研究进展[J]. 光谱学与光谱分析, 2018, 38(12): 3773–3779.
CEN H Y, YAO J N, WENG H Y, et al. Applications of chlorophyll fluorescence in plant phenotyping: a review[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2018, 38(12): 3773–3779.
- [23] 班宜辉, 徐舟影, 李静, 等. 叶绿素荧光分析技术在实验教学中的应用[J]. 实验技术与管理, 2019, 36(9): 172–175.
BAN Y H, XU Z Y, LI J, et al. Application of chlorophyll fluorescence analysis technique in experimental teaching[J]. Experimental Technology and Management, 2019, 36(9): 172–175.

责任编辑: 罗慧敏

英文编辑: 罗维