

一品红不同品种叶片叶绿素荧光特性比较

李 畅, 苏家乐*, 刘晓青, 李倩中, 陈 璐, 陈尚平

(江苏省农业科学院园艺研究所, 南京 210014)

摘 要: 利用叶绿素荧光技术测定了一品红 4 个品种 ‘金多利’、‘圣诞天使’、‘索诺拉飞雪’、‘旗帜’ 叶片光强依赖的叶绿素荧光特性。结果表明: ‘金多利’ 初始荧光 (F_0)、最大荧光 (F_m) 和可变荧光 (F_v) 值极显著高于其它 3 个品种。在各个光强 (PAR , $0 \sim 2\,171\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 下, 表观电子传递速率 ($rETR$)、实际光化学效率 (Yield) 和光化学淬灭 (q_p) 的变化趋势一致, 均为 ‘金多利’ > ‘圣诞天使’ > ‘索诺拉飞雪’ > ‘旗帜’, 在高 PAR 下这种差异更明显。拟合参数最大潜在相对电子传递速率 ($rETR_{\max}$)、半饱和光强 (I_k) 和光抑制参数 () 也同 $rETR$ 等具有一致变化。说明 ‘金多利’ 有较高的 PS 活性, 耐强光; 而 ‘旗帜’ 则光化学效率较弱, 高光强下易受光抑制。

关键词: 一品红; 叶绿素荧光; 快速光响应曲线

中图分类号: S 685.23 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-353X (2009) 10-1519-06

Comparison of Chlorophyll Fluorescence Characteristics in the Leaves of Different *Euphorbia pulcherrima* Cultivars

LI Chang, SU Jia-le*, LIU Xiao-qing, LI Qian-zhong, CHEN Lu, and CHEN Shang-ping

(Institute of Horticulture, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract: Light-dependent chlorophyll fluorescence characteristics of leaves in the four *Euphorbia pulcherrima* cultivars ‘Jinduoli’, ‘Christmas Angel’, ‘Sonora White Glitte’ and ‘Royal Red’ were explored using the chlorophyll fluorescence technique. The results indicated that the minimal fluorescence (F_0), the maximal fluorescence (F_m) and the variable fluorescence (F_v) of ‘Jinduoli’ were extremely significant higher than the other cultivars. The changing trend of relative electron transport rate ($rETR$), the effective quantum yield of PS (Yield) and photochemical quenching (q_p) were identical under the photosynthetically active radiation (PAR) from 0 to $2\,171\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, which showed ‘Jinduoli’ > ‘Christmas Angel’ > ‘Sonora White Glitte’ > ‘Royal Red’. And the differences of these values were more evident under the high PAR . There were the same trend to the maximal relative electron transport rate ($rETR_{\max}$), half-saturation light intensity (I_k) and photoinhibition parameter () among cultivars. All those revealed that ‘Jinduoli’ had higher PS activity and was able to tolerate strong irradiance; And ‘Flag’, which has lower photosynthesis efficiency was easier appearance to suffer photoinhibition.

Key words: *Euphorbia pulcherrima*; chlorophyll fluorescence; rapid light response curve

一品红 (*Euphorbia pulcherrima*) 原产热带。目前已有具有不同株型、苞片颜色、成熟期的数百个品种上市, 我国均依赖进口, 品种内部遗传规律不明, 致使成花品质与国外相比存在一定差距。近年来, 品种间光合效率差异受到科研工作者的普遍关注 (郑淑霞和上官周平, 2006)。研究表明, 植

收稿日期: 2009 - 04 - 01; 修回日期: 2009 - 08 - 10

基金项目: 江苏省科技基础设施建设计划项目 (BM2008008); 江苏省农业三项工程项目 [SX (2007) 041]; 江苏省农业科技自主创新资金项目 [CX (07) 110]

* 通讯作者 Author for correspondence (E-mail: suj166@yahoo.com.cn)

物体发出的叶绿素荧光与光合作用中各种反应过程紧密相关,在相同条件下测量不同植物的调制叶绿素荧光,是比较植物光合活性的常规方法(韩志国,2006;吕芳德等,2006)。随着叶绿素荧光技术的成熟,该技术被广泛应用于植物光合作用机理、作物增产潜力预测、植物抗性生理等研究领域(Kraus & Weis, 1984; 林世青等, 1992)。作者采用叶绿素荧光技术测定具有不同株型、苞片颜色的一品红品种的叶绿素荧光特性,探讨不同品种的光合作用特性,以期为一品红的高效优质栽培及良种选择提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为4个一品红品种:‘金多利’、‘圣诞天使’、‘索诺拉飞雪’和‘旗帜’。试验于2007年在江苏省农业科学院园艺作物研究所的荷兰Venb型现代化玻璃温室中进行,选用穴盘扦插苗,定植于口径为15 cm的塑料花盆中,基质由泥炭和珍珠岩按1:1比例混合而成,每盆1株,肥料为一品红专用肥“花多多”。试验期间保证各材料栽培条件一致。

1.2 叶绿素荧光参数的测定

叶绿素荧光测定采用PAM-2100便携式荧光仪(Walz, 德国)进行。选取待测品种顶生第4位完全展开叶片,经过30 min充分暗适应,用小于 $0.05 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 的测量光照射叶片,测得初始荧光(F_0),随后施加饱和脉冲光($8000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 0.8 s),测得最大荧光(F_m)。并由 F_0 、 F_m 计算可变荧光(F_v),暗适应叶片PS最大光化学效率(F_v/F_m),PS潜在光化学效率(F_v/F_0)(Kooten & Snel, 1990)。

荧光参数光响应曲线(快速光曲线, $\text{iETR}-\text{PAR}$)根据White和Critchley(1999)的方法进行,光强(PAR)设置为0、47、66、104、168、295、506、797、1321、2171 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,每个梯度持续10 s,测定各 PAR 下的PS有效光化学效率(F_v/F_m),实际光化学效率(Yield),光化学淬灭系数(q_p),非光化学淬灭(NPQ),表观电子传递速率(iETR)。

1.3 光合色素含量的测定

剪碎叶片,称取0.05 g放入10 mL混合提取液(乙醇:丙酮:水=4.5:4.5:1)中,在黑暗下浸泡提取至叶碎片完全变白为止(沈伟其,1988)。以提取液为对照,取浸提液分别在756MC型分光光度计上测定 OD_{440} 、 OD_{645} 、 OD_{663} ,计算叶绿素(Chl)和类胡萝卜素(Car)含量。

1.4 数据分析

所有测定指标均重复3次,结果取平均值±标准误,数据通过DPS软件进行方差分析,使用最小显著差数法(LSD),图表在Excel软件下绘制。

叶绿素荧光快速光曲线用拟合方程 $P = P_m [1 - \exp(-\text{PAR}/P_m)] \times \exp(-\text{PAR}/P_m)$ 拟合。其中 P_m 代表无光抑制时的最大光合速率,也就是最大潜在相对电子传递速率 iETR_{max} ;是快速光曲线的初始斜率;是光抑制参数;由 P_m 和可以得出半饱和光强 $I_k = P_m/$ (Platt et al, 1980)。曲线拟合采用最小二乘法,用Statistica软件进行。

2 结果与分析

2.1 一品红不同品种叶片叶绿素荧光参数的比较

一品红不同品种叶片叶绿素荧光参数测定结果(表1)表明,‘金多利’品种 F_0 、 F_m 和 F_v 值极显著高于其它3个品种,反映PS最大光化学效率和PS潜在活性的两个参数 F_v/F_m 和 F_v/F_0 ,品种间差异不大。

表 1 一品红不同品种叶片叶绿素荧光参数 F_o 、 F_m 、 F_v 、 F_v/F_m 及 F_v/F_o 的比较
Table 1 Comparison of chlorophyll fluorescence parameters F_o , F_m , F_v , F_v/F_m and F_v/F_o in different cultivars of *Euphorbia pulcherrima*

品种 Cultivar	F_o	F_m	F_v	F_v/F_m	F_v/F_o
金多利 Jinduoli	0.383 ±0.004 aA	2.351 ±0.006 aA	1.969 ±0.013 aA	0.838 ±0.002 bA	5.148 ±0.075 bA
圣诞天使 Christmas Angel	0.206 ±0.005 bB	1.380 ±0.003 bB	1.174 ±0.008 bB	0.850 ±0.004 aA	5.698 ±0.188 aA
索诺拉飞雪 Sonora White Glitte	0.208 ±0.003 bB	1.311 ±0.035 bB	1.104 ±0.032 bB	0.841 ±0.002 abA	5.313 ±0.090 abA
旗帜 Royal Red	0.214 ±0.009 bB	1.393 ±0.050 bB	1.179 ±0.042 bB	0.847 ±0.003 abA	5.523 ±0.110 abA

注：同一列中大写字母表示达到 0.01 显著水平，小写字母表示达到 0.05 显著水平。
Note: Capital indicate significance at 0.01 level, and lowercase indicate significance at 0.05 level in the same row.

2.2 一品红不同品种叶片快速光响应曲线（rETR-*PAR*）的比较

从快速光响应曲线（图 1）可以看出，4 个品种 rETR 都随 *PAR* 增加而迅速升高；达到一定 *PAR*（506 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ）后增加缓慢；*PAR* 在 1 321 ~ 2 171 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时除 ‘圣诞天使’ 的 rETR 缓慢下降外，其它 3 个品种 rETR 增加更为缓慢。低 *PAR* 下，一品红 4 个品种 rETR 无明显差异；当光强超过 295 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时，品种间光合电子传递能力不同，‘金多利’ 最强，之后依次为 ‘圣诞天使’ 和 ‘索诺拉飞雪’，‘旗帜’ 的光合电子传递能力最差。

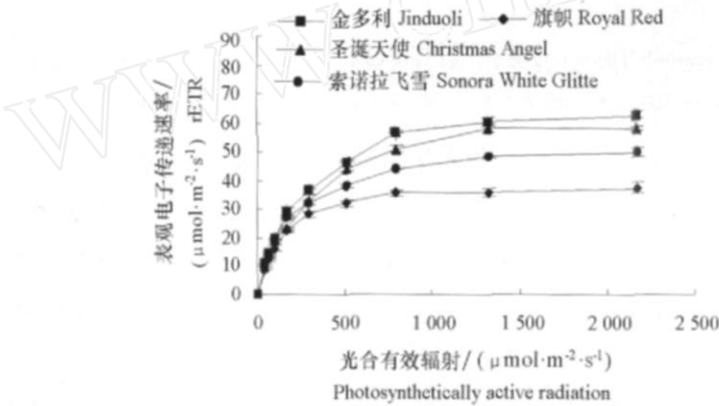


图 1 一品红不同品种叶片相对电子传递速率（rETR）对光强的响应曲线

Fig. 1 Light response curves of relative electron transport rate (rETR) in different cultivars of *Euphorbia pulcherrima* leaves

通过拟合方程可以得出 $rETR_{max}$ 、 α 和 k 等拟合参数。‘金多利’ $rETR_{max}$ 最高，‘旗帜’ 最低，是 ‘金多利’ 的 62.32%。半饱和光强 k 值和 $rETR_{max}$ 变化趋势一致，也为 ‘金多利’ > ‘圣诞天使’ > ‘索诺拉飞雪’ > ‘旗帜’， k 值最高和最低相差 34.34%。反映了叶片捕光能力的高低，也用来表示光化学反应的启动速率，4 个品种光化学反应的启动速率差异不显著。反映了忍受光抑制的程度，‘金多利’ 值最高、而 ‘旗帜’ 最低，二者间差异显著（表 2）。

表 2 一品红不同品种叶片快速光响应曲线拟合参数

Table 2 The fitted parameters of rapid light response curves (rETR-*PAR*) in different cultivars of *Euphorbia pulcherrima* leaves

品种 cultivar	最大潜在相对电子传递速率 / $(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$ $rETR_{max}$	初始斜率	光抑制参数	半饱和光强 / $(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$ k
金多利 Jinduoli	53.16 ±2.361 aA	0.2279 ±0.012 aA	0.2278 ±0.010 aA	233.21 ±10.51 aA
圣诞天使 Christmas Angel	51.46 ±2.073 aAB	0.2237 ±0.014 aA	0.2235 ±0.004 abA	230.06 ±6.913 aA
索诺拉飞雪 Sonora White Glitte	43.83 ±1.385 bB	0.2320 ±0.009 aA	0.2207 ±0.005 abA	188.94 ±7.757 bB
旗帜 Royal Red	33.31 ±1.820 cC	0.2175 ±0.014 aA	0.2053 ±0.003 bA	153.13 ±5.928 cB

注：同一列中大写字母表示达到 0.01 显著水平，小写字母表示达到 0.05 显著水平。
Note: Capital indicate significance at 0.01 level, and lowercase indicate significance at 0.05 level in the same row.

2.3 一品红不同品种叶片实际光化学效率 (Yield) 和有效光化学效率 (F_v/F_m) 的比较

一品红 4 个品种的 Yield 均随 PAR 的增强而降低; 同一 PAR 下, ‘旗帜’ Yield 明显低于其它 3 个品种, 3 个品种在低 PAR 下无明显差异, 当 PAR 超过 $295 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, Yield 值 ‘金多利’ > ‘圣诞天使’ > ‘索诺拉飞雪’ (图 2)。图 2 显示, 4 个品种反映开放的 PS 反应中心最大原初光能的捕获效率指标 F_v/F_m 也随 PAR 的增加而降低, 但降低的幅度低于 Yield; 4 个品种间 ‘圣诞天使’ 的 Yield 降幅最大, ‘索诺拉飞雪’ 次之, ‘金多利’ 和 ‘旗帜’ 较小。

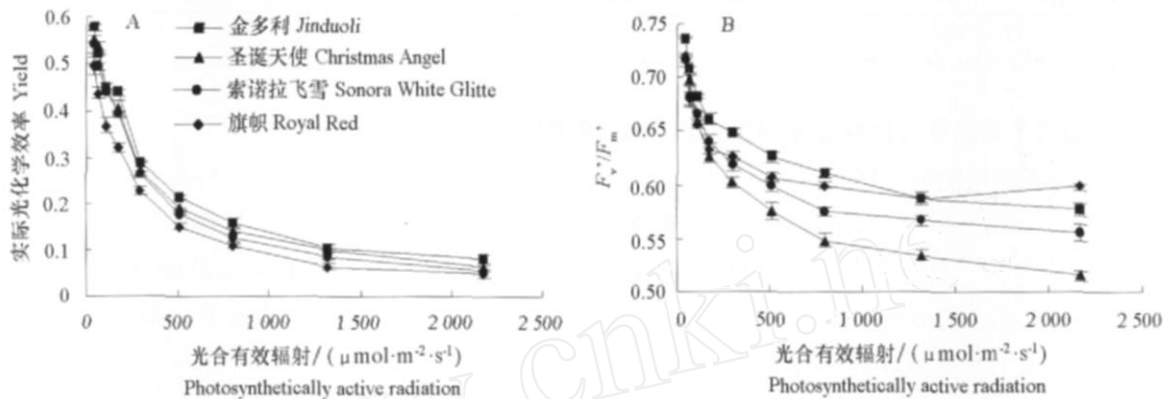


图 2 一品红不同品种叶片实际光化学效率 (A) 和有效光化学效率 (B) 对光强的响应曲线

Fig. 2 Light response curves of Yield (A) and F_v/F_m (B) in leaves of different *Euphorbia pulcherrima* cultivars

2.4 一品红不同品种叶片光化学淬灭 (q_p) 和非光化学淬灭 (NPQ) 的比较

q_p 反映的是 PS 天线色素吸收的光能用于光化学电子传递的份额, 也在一定程度上反映了 PS 反应中心的开放程度, q_p 愈大, PS 的电子传递活性越大。如图 3, A 所示, q_p 随着 PAR 的升高而降低, $0 \sim 500 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 范围升高而从 0.8 左右迅速下降到 0.3 左右, 光强大于 $500 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 后 q_p 下降缓慢。其中 ‘旗帜’ q_p 下降最快, 同一 PAR 下, ‘旗帜’ 最低, 之后依次为 ‘索诺拉飞雪’、‘圣诞天使’、‘金多利’, 但品种间差异不显著。NPQ 为 PS 天线色素吸收的光能不能用于光合电子传递而以热点形式耗散掉的光能部分。图 3, B 为 NPQ 对光强的响应曲线, 4 个一品红品种的 NPQ 均随 PAR 的增加而升高, 当 $\text{PAR} > 797 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, ‘旗帜’ NPQ 增幅明显小于其他 3 个品种。

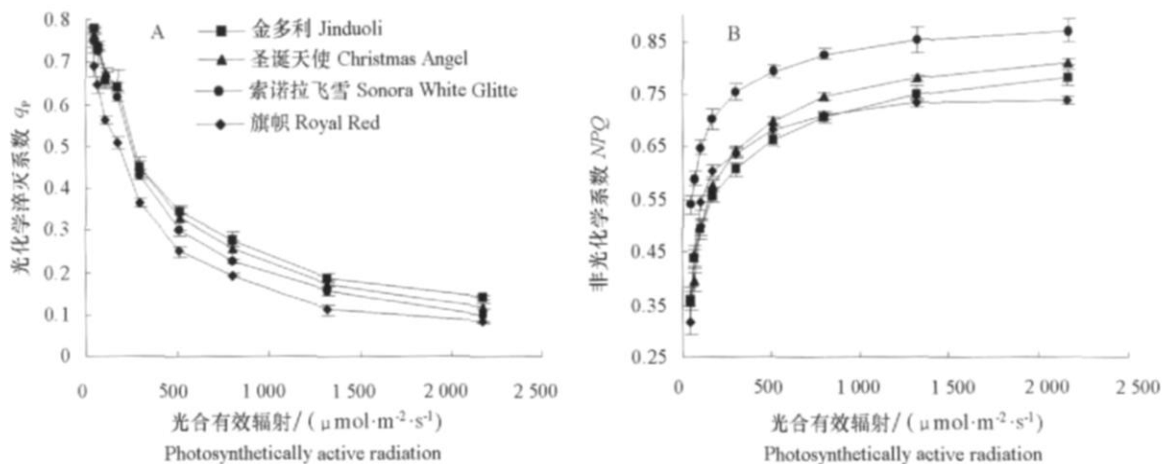


图 3 一品红不同品种叶片光化学淬灭系数 (A) 与非光化学系数 (B) 对光强的响应曲线

Fig. 3 Light response curves of q_p (A) and NPQ (B) in leaves of different *Euphorbia pulcherrima* cultivars

2.5 一品红不同品种叶片光合色素含量的比较

对叶绿素和类胡萝卜素的测定结果表明, ‘圣诞天使’、‘旗帜’的叶绿素 a (Chl. a)、叶绿素 b (Chl. b)、叶绿素总量 [Chl. (a + b)]、类胡萝卜素 (Car) 含量显著高于 ‘索诺拉飞雪’和 ‘金多利’。而 ‘旗帜’的 Chl. a/b 则显著低于 ‘索诺拉飞雪’和 ‘金多利’, 说明 ‘旗帜’ 相对含有较多的 Chl. b。相关性分析表明, Chl. a、Chl. b、Chl. (a + b) 和 Car 呈显著正相关, 且这些指标与 Chl. a/b 负相关。

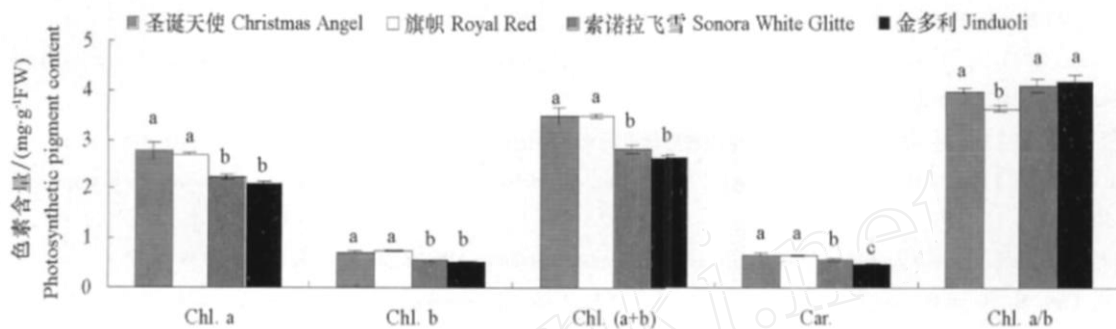


图 4 一品红不同品种光合色素含量比较

Fig. 4 Comparison of photosynthetic pigment content in different cultivars of *Euphorbia pulcherrima*

3 讨论

本研究表明一品红不同品种的叶绿素荧光参数存在差异, 而在银杏 (贺立红等, 2006)、草坪草 (李雪芹等, 2006) 等植物上也有类似的结论。此外, 供试品种 F_v/F_m 值在 0.838 ~ 0.850 之间, 而有研究表明 F_v/F_m 在非胁迫条件下比较恒定, 一般介于 0.80 ~ 0.85 之间 (Genty et al, 1989), 说明这 4 个一品红品种生长状态良好, 未受胁迫, 也从侧面说明了其它荧光指标的可靠性。

快速光曲线可以很好的反映样品对强光的耐受能力 (Kuhl et al, 2005), 且研究证实 $iETR$ 与光合放氧速率和 CO_2 固定速率在达到光饱和前具有良好的线性关系 (Genty et al, 1989)。通过对一品红不同品种在不同 PAR 下叶绿素荧光的测定, 我们发现, 在各个 PAR 下, $iETR$ 、Yield 和 q_p 的变化趋势一致 (图 1; 图 2; 图 3, A), 均为 ‘金多利’ > ‘圣诞天使’ > ‘索诺拉飞雪’ > ‘旗帜’, 且在高光强 ($> 295 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$) 下这种差异更加明显。同时, 对快速光响应曲线进行数学拟合, 得出不同品种的潜在最大相对电子传递速率 $iETR_{max}$ 、半饱和光强 I_k 和光抑制参数 β 也同 $iETR$ 等变化趋势一致 (表 2)。说明本研究中的这 4 个一品红品种中 ‘金多利’ PS 反应中心处于完全开放和完全关闭时的荧光产量较高, 具有较高的 PS 活性, 在强光下仍保持形成较多的活跃化学能, 为光合碳同化提供充分的能量和还原能力, 耐受强光能力强, 且具有较高的最大光合速率; ‘旗帜’ 的最大光合效率则最低, 耐光抑制能力较弱。品种间 F_v/F_m 、 NPQ 变化趋势相对较为复杂 (图 2; 图 3, B), 与 $iETR$ 等表现并不完全一致, 这也说明了光合作用过程中的光能吸收、传递转化的复杂性所在。作为天线色素之一, Chl. b 能有效吸收弱光, 低 Chl. a/b 是植物耐荫的重要指标 (沈允钢等, 1998)。一品红 4 个品种中 ‘旗帜’ Chl. b 含量最高, Chl. a/b 显著低于其他 3 个品种 (图 4), 也从侧面说明其相对而言耐光抑制弱, 为一弱光型品种。

一品红喜温暖气候, 生长适温 20 左右, 喜光照充足但夏季忌强光, 且不同品种间温度喜好存在差异。光合生理研究表明, 不同品种间叶绿素荧光参数存在差异, 即光合作用效率存在差异, 因此在温室栽培中应针对不同品种进行不同的温光管理, 进行高效优质栽培, 当然具体栽培指标还有待于结合生产进一步研究。同时研究也表明利用非损伤的叶绿素荧光技术不仅可以用来快速鉴定一品红不

同品种光合活性、耐光抑制能力, 还可以指导良种选育; ‘金多利’具有较强的光能利用能力, 耐强光, 很可能为夏季育种的好材料。

References

- Genty B, Briantais J M, Baker N R. 1989. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochimica Biophysica Acta*, 990: 87 - 92.
- Han Zhi-guo. 2006. Chlorophyll fluorescence of 20 species of wetland plants [Ph. D. Dissertation]. Guangzhou: Jinan University. (in Chinese)
- 韩志国. 2006. 20种湿地植物的叶绿素荧光特性 [博士论文]. 广州: 暨南大学.
- He Li-hong, He Li-jing, Liang Hong. 2006. Comparisons of the chlorophyll fluorescence parameters in different *Ginkgo biloba* varieties. *Journal of South China Agricultural University*, 27 (4): 43 - 46. (in Chinese)
- 贺立红, 贺立静, 梁红. 2006. 银杏不同品种叶绿素荧光参数的比较. *华南农业大学学报*, 27 (4): 43 - 46.
- Kooten O V, Snel J F H. 1990. The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology. *Photosynthesis Research*, 25: 147 - 150.
- Kraus G H, Weis E. 1984. Chlorophyll fluorescence as a tool in plant physiology. *Photosynthesis Research*, 5: 139 - 157.
- Kuhl M, Chen M, Ralph P J, Schreiber U, Larkum A W D. 2005. A niche of cyanobacteria containing chlorophyll. *Nature*, 433: 820.
- Li Xue-qin, Xu Li-gen, Jin Song-heng, Ma Bo-ying. 2006. Comparison of chlorophyll fluorescence characteristics in four turfgrass species. *Acta Horticulturae Sinica*, 33 (1): 164 - 167. (in Chinese)
- 李雪芹, 许礼根, 金松恒, 马博英. 2006. 4种草坪草叶绿素荧光特性的比较. *园艺学报*, 33 (1): 164 - 167.
- Lin Shi-qing, Xu Chun-hui, Zhang Qi-de, Xu Li, Mao Da-zhang, Kuang Ting-yun. 1992. Some application of chlorophyll fluorescence kinetics to plant stress physiology, ecology and agricultural modernization. *Chinese Bulletin of Botany*, 9 (1): 1 - 16. (in Chinese)
- 林世青, 许春辉, 张其德, 徐黎, 毛大璋, 匡廷云. 1992. 叶绿素荧光动力学在植物抗性生理、生态学和农业现代化中的应用. *植物学通报*, 9 (1): 1 - 16.
- Lü Fang-de, Xu De-cong, Jiang Yao. 2006. Chlorophyll fluorescence characteristics of engrafted seedlings of 12 different pecan clones. *Journal of Central South Forestry University*, 26 (2): 13 - 16. (in Chinese)
- 吕芳德, 徐德聪, 蒋瑶. 2006. 美国山核桃无性系叶绿素的荧光特性. *中南林学院学报*, 26 (2): 13 - 16.
- Platt T, Gallegos C L, Harrison W G. 1980. Photoinhibition of photosynthesis in natural assemblages of marine phytoplankton. *Journal of Marine Research*, 38: 687 - 701.
- Shen Wei-qi. 1988. Extraction of mixed solution for determination of chlorophyll content in rice leaf blade. *Plant Physiology Communications*, 3: 62 - 64. (in Chinese)
- 沈伟其. 1988. 测定水稻叶片叶绿素含量的混合液提取法. *植物生理学通讯*, 3: 62 - 64.
- Shen Yun-gang, Shi Jiao-nai, Xu Da-quan. 1998. *Dynamic photosynthesis*. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- 沈允钢, 施教耐, 许大全. 1998. 动态光合作用. 北京: 科学出版社.
- White A, Critchley C. 1999. Rapid light curves: A new fluorescence method to assess the state of the photosynthetic apparatus. *Photosynthesis Research*, 59: 63 - 72.
- Zheng Shu-xia, Shangguan Zhou-ping. 2006. Comparison of leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence parameters in eight broad-leaved tree species. *Acta Ecologica Sinica*, 26 (4): 1080 - 1087. (in Chinese)
- 郑淑霞, 上官周平. 2006. 8种阔叶树种叶片气体交换特征和叶绿素荧光特性比较. *生态学报*, 26 (4): 1080 - 1087.