

## 紫薇突变体 *gll* 和野生型叶片解剖结构及叶绿素荧光参数比较

宋振兴, 王淑安, 王 鹏, 李素梅<sup>①</sup>, 杨如同, 李 亚<sup>①</sup>

[江苏省中国科学院植物研究所(南京中山植物园), 江苏 南京 210014]

**摘要:** 以紫薇 (*Lagerstroemia indica* Linn.) 品种‘粉晶’(‘Fenjing’)为野生型对照,对紫薇黄叶突变体 *gll* 叶片横切面解剖结构和叶绿素荧光参数进行研究。结果表明:与野生型相比,突变体 *gll* 叶片的栅栏组织排列疏松,叶绿体较少;上表皮厚度、下表皮厚度、海绵组织厚度和非调节性能量耗散的量子产额极显著 ( $P<0.01$ ) 升高,叶片厚度、光适应下初始荧光和调节性能量耗散的量子产额显著 ( $P<0.05$ ) 升高,而栅栏组织厚度、栅海比、光适应下最大荧光、光适应下最大光化学效率、电子传递速率和实际光量子产额极显著下降。结果显示:紫薇突变体 *gll* 特有的叶片解剖结构导致其对光能的吸收和利用效率均较低。

**关键词:** 紫薇; 黄叶突变体; 解剖结构; 叶绿素荧光参数

中图分类号: Q944.56; Q945.11; S685.99 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2023)06-0087-03

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2023.06.10

**Comparison on anatomical structures and chlorophyll fluorescence parameters of leaves of mutant *gll* and wild type of *Lagerstroemia indica*** SONG Zhenxing, WANG Shu'an, WANG Peng, LI Sumei<sup>①</sup>, YANG Rutong, LI Ya<sup>①</sup>  
[Institute of Botany, Jiangsu Province and Chinese Academy of Sciences (Nanjing Botanical Garden Mem. Sun Yat-Sen), Nanjing 210014, China], *J. Plant Resour. & Environ.*, 2023, 32(6): 87-89

**Abstract:** Taking cultivar ‘Fenjing’ of *Lagerstroemia indica* Linn. as the control of wild type, the transverse anatomical structures and chlorophyll fluorescence parameters of leaves of yellow-leaf mutant *gll* of *L. indica* were researched. The results show that compared with the wild type, the palisade tissue loosely arranges and chloroplasts are less of leaves of mutant *gll*; the upper epidermal thickness, lower epidermal thickness, spongy tissue thickness, and quantum yield of non-regulated energy dissipation extremely significantly ( $P<0.01$ ) increase, the leaf thickness, initial fluorescence under light adaptation, and quantum yield of regulated energy dissipation significantly ( $P<0.05$ ) increases, while the palisade tissue thickness, ratio of palisade tissue to spongy tissue, maximum fluorescence under light adaptation, maximum photochemical efficiency under light adaptation, electron transport rate, and actual light quantum yield extremely significantly decrease. It is suggested that the unique leaf anatomical structure of mutant *gll* of *L. indica* results in low light energy absorption and utilization efficiency.

**Key words:** *Lagerstroemia indica* Linn.; yellow-leaf mutant; anatomical structure; chlorophyll fluorescence parameter

叶色突变体又称叶绿素突变体,一般由突变基因直接或间接引起的叶绿素含量或比例变化产生<sup>[1]</sup>。叶色黄化是叶色突变体的一种常见类型。研究发现,多种园林植物存在叶色黄化突变体<sup>[2-4]</sup>,这些突变体丰富了园林景观色彩,具有很高的观赏价值和特殊的园林用途。

紫薇 (*Lagerstroemia indica* Linn.) 为千屈菜科 (Lythraceae) 紫薇属 (*Lagerstroemia* Linn.) 多年生木本植物,具有较高的观赏价值。*gll* 为江苏省中国科学院植物研究所研究人员利用紫薇品种‘粉晶’(‘Fenjing’)自然变异产生的黄叶枝条扦插繁殖出的突变体,品种名为‘金幌’(‘Jinhuang’)<sup>[5]</sup>,并且已经以突变体 *gll* 为核心亲本培育出一系列彩叶紫薇新品种,如

‘紫金’(‘Zijin’)、‘金玫’(‘Jinmei’)、‘粉金’(‘Fenjin’)和‘紫铜’(‘Zitong’),因此,该突变体可作为紫薇彩叶化育种的优良种质资源。

研究发现,黄绿叶突变体的光能利用率较低、环境适应性较弱,但也存在少数黄绿叶突变体的光能利用率相对较高、环境适应性相对较强的情况<sup>[6]</sup>。前期研究发现,在自然光照下,紫薇突变体 *gll* 叶片的叶绿素和类胡萝卜素含量均显著低于野生型<sup>[7-8]</sup>,然而,该突变体对光能的吸收利用特性尚不清楚。为了探明这一问题,笔者以‘粉晶’为野生型对照,对紫薇突变体 *gll* 叶片的横切面解剖结构特征和叶绿素荧光参数变化进行了研究。

收稿日期: 2022-10-28

基金项目: 中央财政林业科技推广示范资金项目(苏[2021]TG07); 江苏省植物资源研究与利用重点实验室基金项目(JSPKLB202054)

作者简介: 宋振兴(1981—),男,江苏南京人,硕士研究生,主要从事紫薇栽培生理研究。

<sup>①</sup>通信作者 E-mail: smli321@163.com; yalicnbg@163.com

引用格式: 宋振兴, 王淑安, 王 鹏, 等. 紫薇突变体 *gll* 和野生型叶片解剖结构及叶绿素荧光参数比较[J]. 植物资源与环境学报, 2023, 32(6): 87-89.

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

供试的紫薇突变体 *gll* 和野生型对照‘粉晶’均种植于南京中山植物园紫薇苗圃内。样株均为硬枝扦插获得的3年生无性系苗,水肥管理条件一致。定植用塑料钵上口径28 cm、下口径16 cm、高20 cm,每钵1株,栽培基质为  $V(\text{草炭}) : V(\text{珍珠岩}) : V(\text{椰糠}) : V(\text{有机肥}) = 9 : 5 : 5 : 1$  的混合基质。于2022年3月初在新芽未萌动前修剪主茎,留茬高度5 cm;同年5月中旬(最高光照强度  $1\ 600\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )选取长势基本一致的样株进行实验。

### 1.2 方法

**1.2.1 叶横切面解剖结构观测** 选取突变体和野生型植株各4株,采集每株向阳面枝条上部的第4枚成熟叶,切取主脉两侧面积约  $0.5\ \text{cm} \times 0.5\ \text{cm}$  的小块,放入 FAA 溶液 [ $V(\text{无水乙醇}) : V(\text{甲醛}) : V(\text{冰醋酸}) = 90 : 5 : 5$ ] 中固定,然后制成石蜡切片<sup>[9]</sup>,切片厚度  $8\ \mu\text{m}$ ,经番红和固绿染色后置于 Eclipse Ni-U 光学显微镜(日本 Nikon 公司)下观察并拍照,每个重复随机抽取5个视野,使用明美显微数码测量分析系统测量叶片、上表皮、栅栏组织、海绵组织和下表皮的厚度,并计算栅栏组织厚度与海绵组织厚度的比值(栅海比)。

**1.2.2 叶绿素荧光参数测定** 于晴朗日 10:00 左右选取突变体 *gll* 和野生型植株各4株,选择每株向阳面枝条上部的第4枚成熟叶,每株选取3枚叶片。将叶片暗适应 30 min 后,采用 OS1p 便携式调制荧光仪(美国 Opti-Sciences 公司)测定叶绿素荧光参数,包括光适应下的初始荧光、最大荧光和最大光化学效率以及电子传递速率、实际光量子产额、调节性能量耗散的量子产额和非调节性能量耗散的量子产额。

### 1.3 数据处理及统计分析

采用 SPSS 20.0 软件对数据进行统计和单因素方差分析

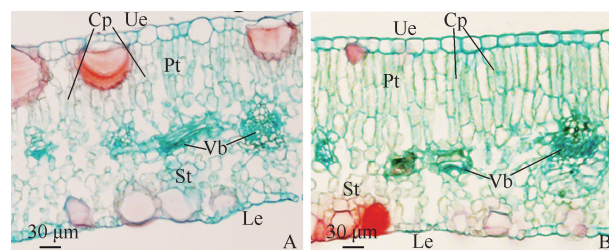
(one-way ANOVA)。

## 2 结果和分析

### 2.1 叶片横切面解剖结构比较

从叶片横切面解剖结构(图1)看,突变体 *gll* 和野生型叶片的上、下表皮均由1层排列紧密的长方形或椭圆形细胞组成,且无明显细胞间隙;叶脉分布于叶肉间;栅栏组织紧邻上表皮,并整齐排列于上表皮的垂直面上,由2~3层长柱形薄壁细胞组成;海绵组织紧邻下表皮,细胞大小不一、形状不规则、分布较分散且间隙较大。比较而言,野生型叶片的栅栏组织排列紧凑,叶绿体较多,而突变体 *gll* 叶片的栅栏组织排列较为疏松,叶绿体较少。

叶片横切面解剖结构特征参数(表1)显示:与野生型相比,突变体 *gll* 叶片的叶片厚度显著 ( $P < 0.05$ ) 升高;上表皮厚度、下表皮厚度和海绵组织厚度极显著 ( $P < 0.01$ ) 升高,增幅分别为 21.98%、28.07% 和 40.66%;栅栏组织厚度和栅海比极显著降低,降幅分别为 20.03% 和 43.16%。



Cp: 叶绿体 Chloroplast; Ue: 上表皮 Upper epidermis; Le: 下表皮 Lower epidermis; Pt: 栅栏组织 Palisade tissue; St: 海绵组织 Spongy tissue; Vb: 维管束 Vascular bundle.

图1 紫薇突变体 *gll* (A) 和野生型 (B) 叶片横切面的解剖结构  
Fig. 1 Leaf transverse anatomical structures of leaves of mutant *gll* (A) and wild type (B) of *Lagerstroemia indica* Linn.

表1 紫薇突变体 *gll* 和野生型叶片横切面解剖结构参数比较 ( $\bar{X} \pm SD$ )<sup>1)</sup>

Table 1 Comparison on parameters of transverse anatomical structures of leaves of mutant *gll* and wild type of *Lagerstroemia indica* Linn. ( $\bar{X} \pm SD$ )<sup>1)</sup>

材料 Material	叶片厚度/ $\mu\text{m}$ Leaf thickness	上表皮厚度/ $\mu\text{m}$ Upper epidermal thickness	下表皮厚度/ $\mu\text{m}$ Lower epidermal thickness	栅栏组织厚度/ $\mu\text{m}$ Palisade tissue thickness	海绵组织厚度/ $\mu\text{m}$ Spongy tissue thickness	栅海比 Ratio of palisade tissue to spongy tissue
突变体 <i>gll</i> Mutant <i>gll</i>	268.16 $\pm$ 8.02Aa	24.08 $\pm$ 0.98Aa	13.23 $\pm$ 0.91Aa	101.86 $\pm$ 8.94Bb	130.10 $\pm$ 10.99Aa	0.79 $\pm$ 0.11Bb
野生型 Wild type	256.30 $\pm$ 5.14Ab	19.74 $\pm$ 0.67Bb	10.33 $\pm$ 0.34Bb	127.37 $\pm$ 2.40Aa	92.49 $\pm$ 7.98Bb	1.39 $\pm$ 0.14Aa

<sup>1)</sup> 同列中不同大写和小写字母分别表示差异极显著 ( $P < 0.01$ ) 和显著 ( $P < 0.05$ )。Different uppercases and lowercases in the same column indicate the extremely significant ( $P < 0.01$ ) and significant ( $P < 0.05$ ) differences, respectively.

### 2.2 叶片叶绿素荧光参数比较

从叶片叶绿素荧光参数(表2)看,与野生型相比,突变体 *gll* 的光适应下初始荧光和调节性能量耗散的量子产额显著 ( $P < 0.05$ ) 升高,增幅分别为 13.68% 和 25.92%;非调节性能量

耗散的量子产额极显著升高,增幅为 105.51%;光适应下的最大荧光和最大光化学效率、电子传递速率和实际光量子产额极显著 ( $P < 0.01$ ) 下降,降幅分别为 48.61%、79.10%、77.64% 和 84.62%。

表2 紫薇突变体 *gll* 和野生型叶片叶绿素荧光参数比较 ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>Table 2 Comparison on chlorophyll fluorescence parameters of leaves of mutant *gll* and wild type of *Lagerstroemia indica* Linn. ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

材料 Material	$F_o'$	$F_m'$	$F_v'/F_m'$	ETR	Y(II)	Y(NPQ)	Y(NO)
突变体 <i>gll</i> Mutant <i>gll</i>	182.875±24.497Aa	212.125±29.797Bb	0.126±0.018Bb	12.775±1.392Bb	0.080±0.006Bb	0.136±0.017Aa	0.783±0.015Aa
野生型 Wild type	160.875±6.958Ab	412.750±8.598Aa	0.603±0.030Aa	57.138±2.873Aa	0.520±0.013Aa	0.108±0.011Ab	0.381±0.014Bb

<sup>1)</sup>  $F_o'$ : 光适应下初始荧光 Initial fluorescence under light adaptation;  $F_m'$ : 光适应下最大荧光 Maximum fluorescence under light adaptation;  $F_v'/F_m'$ : 光适应下最大光化学效率 Maximum photochemical efficiency under light adaptation; ETR: 电子传递速率 Electron transport rate; Y(II): 实际光量子产额 Actual light quantum yield; Y(NPQ): 调节性能量耗散的量子产额 Quantum yield of regulated energy dissipation; Y(NO): 非调节性能量耗散的量子产额 Quantum yield of non-regulated energy dissipation. 同列中不同大写和小写字母分别表示差异极显著 ( $P<0.01$ ) 和显著 ( $P<0.05$ )。Different uppercases and lowercases in the same column indicate the extremely significant ( $P<0.01$ ) and significant ( $P<0.05$ ) differences, respectively.

### 3 讨论和结论

植物叶片解剖结构特征与光合作用密切相关<sup>[10-12]</sup>。比较发现,紫薇突变体 *gll* 叶片的上、下表皮厚度极显著 ( $P<0.01$ ) 高于野生型,可能会造成紫薇突变体 *gll* 的蒸腾作用和叶片气体交换水平下降。另外,突变体 *gll* 叶片的栅栏组织厚度和栅海比极显著低于野生型,且叶绿体较少,说明突变体 *gll* 叶片中缺少用于光合作用的光合结构,导致其光合能力大幅下降,笔者的前期研究结果<sup>[13]</sup>已经证实了这一推论。

叶绿素荧光参数能够反映植物吸收和利用光能的效率,与叶绿体发育密切相关<sup>[14-15]</sup>。紫薇突变体 *gll* 叶片的光适应下最大光化学效率、实际光量子产额和电子传递速率均极显著低于野生型,说明该突变体光系统 II (PS II) 的光能捕获效率和利用效率均较低,这与突变体 *gll* 的叶绿体稀少密切相关。突变体 *gll* 叶片的调节性能量耗散的量子产额极显著高于野生型,由此推断该突变体叶片的热耗散效率较高,这可能与突变体 *gll* 的类胡萝卜素含量与叶绿素含量的比值极显著升高有关<sup>[16]</sup>。而且,突变体 *gll* 的非调节性能量耗散的量子产额极显著高于野生型,说明该突变体的热耗散不能及时消耗全部过量光能,在高光照条件下过量光能的累积会导致光抑制和光损伤,使叶片出现漂白、焦枯甚至脱落等现象<sup>[13]</sup>。

综上所述,紫薇突变体 *gll* 对光能的吸收和利用效率均较低,在高光照条件下易出现光抑制和光损伤症状。因此,该突变体在园林应用中应避免长时间的阳光直射。

#### 参考文献:

- [1] 何冰,刘玲珑,张文伟,等. 植物叶色突变体[J]. 植物生理学通讯, 2006, 42(1): 1-9.
- [2] 茹广欣,刘小园,朱秀红,等. 泡桐黄化突变体生理特性分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2017, 41(4): 181-185.
- [3] 吕运舟,董筱响,杨小鑫,等. 黄山栎树新品种‘金焰彩棠’叶片呈色的生理特性及影响因子分析[J]. 植物资源与环境学报, 2020, 29(6): 51-56.
- [4] 孙旺旺,孟灵敏,徐秀源,等. 金叶连翘叶片色素含量和解剖结

构研究[J]. 植物研究, 2020, 40(3): 321-329.

- [5] WANG S A, YANG R T, WANG P, et al. ‘Jinhuang’ yellow-leaf crape myrtle[J]. HortScience, 2016, 51(5): 595-596.
- [6] 郑伟,师箴,龙美,等. 黄绿叶突变体冀麦 5265yg 的光合生理特性分析[J]. 中国农业科学, 2021, 54(21): 4539-4551.
- [7] LI Y, ZHANG Z, WANG P, et al. Comprehensive transcriptome analysis discovers novel candidate genes related to leaf color in a *Lagerstroemia indica* yellow leaf mutant[J]. Genes and Genomics, 2015, 37: 851-863.
- [8] LI S M, WANG S A, WANG P, et al. Label-free comparative proteomic and physiological analysis provides insight into leaf color variation of the golden-yellow leaf mutant of *Lagerstroemia indica* [J]. Journal of Proteomics, 2020, 228: 103942.
- [9] 李芬. 细胞生物学实验技术[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 15-21.
- [10] 季子敬,全先奎,王传宽. 兴安落叶松针叶解剖结构变化及其光合能力对气候变化的适应性[J]. 生态学报, 2013, 33(21): 6967-6974.
- [11] 范元芳,杨峰,刘沁林,等. 套作荫蔽对苗期大豆叶片结构和光合荧光特性的影响[J]. 作物学报, 2017, 43(2): 277-285.
- [12] 周明明,钱晨云,刘洋,等. 青钱柳叶片解剖结构及黄酮、三萜和多糖的组织化学定位观察[J]. 植物资源与环境学报, 2017, 26(2): 107-109.
- [13] LI S M, WANG S A, SONG Z X, et al. The oxidative damage of the *Lagerstroemia indica* chlorosis mutant *gll* involves in ferroptosis [J]. Journal of Plant Physiology, 2023, 280: 153886.
- [14] 杨小苗,吴新亮,刘玉凤,等. 一个番茄 EMS 叶色黄化突变体的叶绿素含量及光合作用[J]. 应用生态学报, 2018, 29(6): 1983-1989.
- [15] 姬语璐,杨维,李涵,等. 铁皮石斛叶色突变体的叶绿体超微结构、光合色素和叶绿素荧光特性的研究[J]. 植物科学学报, 2020, 38(2): 260-268.
- [16] DEMMIG-ADAMS B, ADAMS W W, III. The role of xanthophyll cycle carotenoids in the protection of photosynthesis[J]. Trends in Plant Science, 1996, 1(1): 21-26.

(责任编辑:佟金凤)