

8 种大花蕙兰耐热性指标筛选及其评价

周桂英¹, 王四清^{2*}, 许建新¹, 陈卿然², 马川¹

(1. 深圳市铁汉生态环境股份有限公司, 广东深圳 518040; 2. 北京林业大学, 北京 100083)

摘要 [目的] 筛选并评价大花蕙兰品种的耐热性指标。[方法] 以 8 个大花蕙兰品种的 1 年生小苗为试材, 观测在 40/30 ℃ (日温/夜温) 高温条件下其热害指数、叶绿素含量、初始荧光值 (F_0) 和 PSII 系统最大光化学效率 (F_v/F_m) 的变化, 并结合相关性分析评价 8 种大花蕙兰的耐热性强弱及筛选出有效耐热评价指标。[结果] ① 高温胁迫使 F_v/F_m 、叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量下降, 且胁迫时间越长, 下降越多; ② 耐热性强的金玉满堂、马可受高温胁迫 F_v/F_m 下降较小, 且在恢复适温后能迅速恢复到初始值的 90% 以上, 而耐热性差的福娘和修女 F_v/F_m 受高温胁迫显著下降, 且在恢复适温后无法恢复; ③ 8 个品种耐热性从强到弱为: 金玉满堂、马可、玉蝉、UFO、红霞、黄金岁月、修女、福娘。[结论] 研究发现, F_v/F_m 与植物的热害指数相关系数达 0.946, 可作为大花蕙兰耐热品种筛选的可靠指标之一。

关键词 大花蕙兰; 耐热性; 筛选; 评价

中图分类号 S68 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)16-020-03

Heat Resistance Indexes Identification and Comprehensive Evaluation of 8 Species of *Cymbidium hybridum*

ZHOU Gui-ying¹, WANG Si-qing^{2*}, XU Jian-xin¹ et al (1. Shenzhen Techand Ecology & Environment Co. Ltd., Shenzhen, Guangdong 518040; 2. Beijing Forestry University, Beijing 100083)

Abstract [Objective] The aim was to screen out and evaluate heat resistance indexes of *Cymbidium hybridum*. [Method] With 1 year old seedlings of 8 *C. hybridum* as test materials, the change of heat injury index, chlorophyll content, F_v/F_m and F_0 under 40/30 ℃ temperature was observed. The data was treated by correlation analysis for their comprehensive evaluation of heat tolerance and effective heat resistance index. [Result] The results showed that ① chlorophyll a, chlorophyll b, F_v/F_m decreased with the extension of treatment time; ② F_v/F_m of Jinyumantang and Make decreased in small scale and recovered to 90% of the initial value quickly as the temperature returned, which had the strongest hardiness; Funiang and Xiunv had the worst hardiness; ③ The heat resistance of 8 varieties of *C. hybridum* from strong to weak were: Jinyumantang, Make, Yuchan, UFO, Hongxia, Huangjinsuiyue, Xiunv, Funiang. [Conclusion] The correlation coefficient of F_v/F_m and heat damage index is 0.946, which can be used as one of the reliable indexes of heat tolerance variety of *C. hybridum*.

Key words *Cymbidium hybridum*; Heat resistance; Screening; Evaluation

大花蕙兰 (*Cymbidium hybridum*) 又称虎头兰、西姆比兰, 主要原产地为热带、亚热带以及温带森林地区, 在我国, 大花蕙兰主要原产于云贵等西南地区。兰科植物中, 大花蕙兰的商品化程度较高, 是兰科植物中五大重要的栽培品种之一 (其他为卡特兰类、石斛类、兜兰类和蝴蝶兰类), 是国际花卉市场上重要的商品盆花和切花。大花蕙兰喜冬暖夏凉气候, 终年适宜生长温度为 10~28 ℃^[1]。研究表明, 适宜大花蕙兰花芽分化的温度为 10~16 ℃^[2]。花芽形成后需要较低温度以便其继续发育和伸长。一般来说, 高温时期形成的花芽夜间温度以 15 ℃ 最适宜, 而在 10 月以后较低温度形成的花芽夜间温度稍高, 开花较快。春季前后在高温时期形成花芽, 花芽发育期要求较低夜间温度。夏季在较低温度下生长的大花蕙兰假鳞茎的鲜重、干重、干鲜重比以及直径都比高温下生长的大些^[3]。在夏季温度高于 30 ℃ 以上时花芽停止生长分化, 开花率降低。

随着气候变暖, 我国除了云贵高原和东北、西北地区外, 长江中下游、华北以及华南大部分地区夏季较热, 多数大花蕙兰的优良品种在这些地区越夏困难。温室栽培大花蕙兰需要增加水帘、风扇等降温设施, 极大地增加了生产成本, 同

时能源消耗对环境造成二次破坏。降低生产成本, 节约能源, 提高大花蕙兰观赏价值成为花卉产业发展的目标。筛选一些耐热性强的低能耗品种, 进行规模化生产, 对现代化温室花卉生产有重要意义。目前, 对耐热作物的品种筛选已经有很多可供参考的文献, 但在观赏花卉上, 尤其是大花蕙兰的抗性筛选研究较少。该研究旨在筛选出一批耐热的大花蕙兰品种及可靠的耐热评价指标, 为大花蕙兰或者其他花卉的节能生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料 植物材料为金玉满堂、红霞、黄金岁月、玉蝉、马可、福娘、UFO 和修女这 8 个大花蕙兰品种的 1 年生苗, 种苗由北京林业科技固安花卉生产基地提供, 种植盆规格为 8 cm × 8 cm。

1.2 试验方法 试验于 2013 年在北京林业大学实验楼人工气候培养箱 (RXZ-500D, 宁波江南仪器厂) 中进行。将试验种苗放在培养箱中进行预处理, 温度为 25/15 ℃ (日温/夜温), 相对湿度 60%~70%, 光照强度为 110~120 μmol/(m²·s)。适温预处理 5 d 后将种苗放入高温 40/30 ℃ (日温/夜温) 环境处理 3、6、9 d 后移到 25/15 ℃ (日温/夜温) 环境恢复 3、6、9 d, 其他环境条件一致, 每 3 d 测 1 次数据。各品种种植 20 棵, 重复 3 次。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 热害指数。热害指数是植物受到胁迫后最直观的指标之一。于试验结束后调查热害指数, 分级标准为: 0 级, 叶片完好, 叶片无明显干尖症状, 叶片绿色; 1 级, 叶片轻微受害, 叶缘发黄; 2 级, 叶片叶尖开始发黄, 出现干尖症状; 3 级,

基金项目 广东省省级科技计划项目 (2015B090904008); 广东省软科学研究计划项目 (2014B090903015); 广东省生态环境建设与保护 (铁汉) 工程技术研究中心项目 [粤科函政字 (2013) 1589 号]。

作者简介 周桂英 (1988-), 女, 江西上饶人, 从事花卉栽培与育种研究。* 通讯作者, 教授, 博士, 从事花卉及园林植物产业化栽培研究。

收稿日期 2016-05-06

叶片 1/2 面积出现干尖症状;4 级,叶片大部分面积干尖脱落;5 级,植株全株死亡。热害指数 = Σ (每个级别的植株数量 $\times$ 级别)/植株总数 $\times$ 最高级别数

1.3.2 叶绿素荧光动力学参数。用叶绿素荧光仪 (yaxin1161)测定植株叶片叶绿素荧光动力学参数。分别于高温处理 3、6、9 d 和恢复适温 3、6、9 d 的 6:00 ~ 8:00,使叶片经夜晚充分暗适应后测定不同品种的初始荧光值 (F_0) 和 PSII 最大光化学效率 (F_v/F_m)。

1.3.3 叶绿素含量。叶绿素含量采用丙酮-乙醇(体积比 1:1)提取法^[4]。分部称取 8 种大花蕙兰叶片 0.3 g,剪成细条状放入 25 ml 带盖试管中,放入 20 mL 丙酮-乙醇混合液浸提 24 h,在波长 663、645 nm 下测定吸光度值,分别代入公式 I 和 II 得出叶绿素 a 和 b 含量。

叶绿素 a 含量 (mg/g) = $(12.20 \times A_{663} - 2.81 \times A_{645}) \times V_t / (1\,000 \times W)$ (1)

叶绿素 b 含量 (mg/g) = $(20.13 \times A_{645} - 5.03 \times A_{663}) \times V_t / (1\,000 \times W)$ (2)

式中, A_{663} 、 A_{645} 分别为 663、645 nm 波长下吸光度值; V_t 为提取液总体积 (mL); W 为样品质量 (g)。

1.4 数据分析 用 SPSS17.0 软件进行方差分析,多重比较采用 Duncan's 法。

2 结果与分析

2.1 高温胁迫对 8 个品种热害指数的影响 高温 40/30 ℃ 胁迫后植株相继出现干尖、失水的热害症状。由图 1 可知,福娘、修女、黄金岁月受高温胁迫植株受害程度较高,热害指数为 0.50 ~ 0.54,说明这 3 个品种有 50% 以上的植株受到高温损伤,耐热性差;红霞、UFO 热害指数为 0.40 左右,玉蝉热害指数为 0.34;金玉满堂和马可表现出较强耐热性,热害指数仅分别为 0.14 和 0.22,大部分植株生长正常。

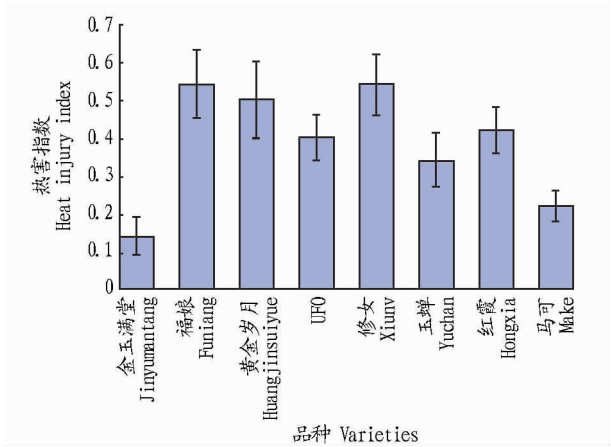


图 1 高温胁迫对 8 个品种热害指数的影响

Fig.1 The heat injury index of 8 species of *C. hybridum* under heat stress

高温胁迫对植株造成的干尖、失水等热害症状是最直观的,尤其是热敏感品种表现更为明显。大花蕙兰最适生长温度为 10 ~ 25 ℃,且昼夜需要一定温差,当温度高于 30 ℃ 时,植株生长缓慢,叶片干尖,不同品种耐受限度不同,产生的热害症状也有所不同。

2.2 高温胁迫对 8 个品种叶绿素荧光动力学参数的影响 由表 1 可知,随着处理时间的延长,红霞 F_0 的变化较为复杂,其余 7 个品种大花蕙兰的 F_0 一直呈现上升趋势。金玉满堂和红霞 F_0 显著低于其他品种,受高温胁迫增幅较小;其次为黄金岁月、UFO、马可和玉蝉,其 F_0 为 14 ~ 40,品种间无明显差异;修女 F_0 显著高于除福娘以外的其余品种,在恢复适温第 9 天增加到最大 (51.88);福娘随高温胁迫的进行 F_0 迅速上升,在恢复适温第 6 天急剧上升到 66.88,最终为 72.25,显著高于其余品种。

表 1 高温胁迫下 8 个品种 F_0 的变化
Table 1 Changes in F_0 of 8 species of *C. hybridum* under heat stress

品种 Varieties	高温 3 d Heat for 3 days	高温 6 d Heat for 6 days	高温 9 d Heat for 9 days	恢复 3 d Recovery 3 days	恢复 6 d Recovery 6 days	恢复 9 d Recovery 9 days
福娘 Funiang	30.04e	34.08 e	35.10d	36.91d	66.88e	72.25e
修女 Xiunv	21.29d	33.00de	33.13cd	33.17d	39.92d	51.88d
红霞 Hongxia	7.63a	24.04cd	17.81a	11.58a	19.13a	24.14a
黄金岁月 Huangjinsuiyue	16.58cd	19.67bc	26.78bc	28.61bc	23.83ab	30.54ab
金玉满堂 Jinyumantang	9.54ab	7.96a	19.70a	19.00a	23.25ab	24.29a
马可 Make	14.08cd	18.78bc	25.04ab	27.09bc	31.38cd	39.38bc
UFO	14.04cd	19.04bc	24.48ab	28.14bc	32.48cd	39.65bc
玉蝉 Yuchan	15.92cd	16.54b	21.39ab	21.43ab	27.64bc	40.21c

注:同列数据后小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)。
Note:The different lowercase letters following the data within the same column shows significant difference ($P < 0.05$).

由表 2 可知,高温处理后,不同品种的大花蕙兰叶片 PSII 的最大光化学效率 F_v/F_m 呈下降趋势,且随着时间的延长, F_v/F_m 下降越明显,在高温胁迫 9 d 达到最低,温度恢复后,不同品种以不同幅度恢复。

金玉满堂和马可的 F_v/F_m 一直维持在 0.72 以上,在高温胁迫 9 d 也只下降到 0.72 和 0.75;随着温度的恢复,二者的 F_v/F_m 得以迅速恢复,最终回到高温胁迫 3 d 的 90% 以上,金玉满堂甚至为 93%,二者 F_v/F_m 一直显著高于其余品

种。UFO 和玉蝉的 F_v/F_m 在高温胁迫 6 d 没有明显下降,只在高温胁迫 9 d 下降到 0.62 和 0.66,分别为高温胁迫 3 d 的 73% 和 79%,且随着温度的恢复而回升,最终为高温胁迫 3 d 的 79% 和 83%;红霞和黄金岁月 F_v/F_m 在高温胁迫 9 d 下降到 0.58 和 0.56,为高温胁迫 3 d 的 69% 左右,随着温度的恢复有缓慢的回升,最终回到高温胁迫 3 d 的 77% 和 72%,具备一定的耐热性;在高温胁迫 9 d 后,黄金岁月的 F_v/F_m 一直显著低于玉蝉和 UFO,与红霞差异不显著。福娘和修女

的 F_v/F_m 在高温胁迫 6 d 就急剧下降到 0.50 以下,尤其是福娘甚至下降到 0.44,光合机构严重受损,随着温度的恢复,二者的 F_v/F_m 也没有明显的恢复,最终仅分别恢复到 0.54 和 0.58,显著低于其余 6 个品种的值。

表 2 高温胁迫下 8 个品种 F_v/F_m 的变化
Table 2 Changes in F_v/F_m of 8 species of *C. hybridum* under heat stress

品种 Varieties	高温 3 d Heat for 3 days	高温 6 d Heat for 6 days	高温 9 d Heat for 9 days	恢复 3 d Recovery 3 days	恢复 6 d Recovery 6 days	恢复 9 d Recovery 9 days
福娘 Funiang	0.79a	0.48a	0.44a	0.48a	0.50a	0.54a
修女 Xiunv	0.83bc	0.50a	0.48a	0.53a	0.51a	0.58a
红霞 Hongxia	0.87c	0.78bc	0.58bc	0.60c	0.60bc	0.67bc
黄金岁月 Huangjinsuiyue	0.83bc	0.81bc	0.56b	0.58b	0.58ab	0.60ab
金玉满堂 Jinyumantang	0.87c	0.85c	0.72e	0.75e	0.78e	0.81d
马可 Make	0.86c	0.83c	0.75e	0.76e	0.78e	0.78d
UFO	0.85c	0.81bc	0.62cd	0.65cd	0.66cd	0.67bc
玉蝉 Yuchan	0.84bc	0.80bc	0.66d	0.67cd	0.69d	0.70cd

注:同列数据后小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。
Note:The different lowercase letters following the data within the same column shows significant difference($P<0.05$).

综上所述,受高温胁迫耐热性强的品种的 F_v/F_m 高于热敏感品种的 F_v/F_m ,降幅较小,且在温度恢复后耐热性强的品种 F_v/F_m 增幅更大,能恢复到较高水平。8 个品种耐热性从强到弱为金玉满堂、马可、玉蝉、UFO、红霞、黄金岁月、修女和福娘。

2.3 高温胁迫对 8 个品种叶绿素含量的影响 由图 2 可知,高温胁迫 9 d 后福娘的叶绿素 a 含量最低,仅 0.26 mg/g,显著低于其他品种,受高温胁迫损害最大,耐热性最差;修女、UFO、黄金岁月玉蝉和红霞叶绿素 a 含量无显著差异,为 0.41~0.60 mg/g,远高于福娘的含量,耐热性较强;而金玉满堂和马可叶绿素 a 含量较高,达 0.70~0.72 mg/g,耐热性最强。8 个品种叶绿素 a 含量由高到低为金玉满堂、马可、红霞、玉蝉、黄金岁月、UFO、修女和福娘。

黄金岁月、玉蝉、金玉满堂和福娘的叶绿素 b 含量较低,为 0.04~0.09 mg/g,品种间差异不显著;修女、红霞和 UFO 的叶绿素 b 含量较高,为 0.12~0.16 mg/g,远大于其他品种。

2.4 叶绿素荧光动力学参数、叶绿素含量与热害指数之间的相关 分别将基础荧光 F_0 、PSII 的最大光化学效率 F_v/F_m 、叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量与热害指数进行相关性可知,基础荧光 F_0 与热害指数正相关,但无显著相关性;叶绿素 b 含量与热害指数负相关,相关性不显著;而 PSII 的最大光化学效率 F_v/F_m 和叶绿素 a 含量都与热害指数极显著负相关,其中,PSII 的最大光化学效率 F_v/F_m 与热害指数相关性系数达 0.946,可作为大花蕙兰耐热性筛选的可靠指标之一。

2.5 8 个品种耐热性筛选 对 8 个品种大花蕙兰的最大光化学效率 F_v/F_m 变化原始数据求平均数。由图 3 可直观地看出,8 个品种耐热性由强到弱为金玉满堂、马可、玉蝉、UFO、红霞、黄金岁月、修女和福娘。

3 结论

(1) 从高温胁迫对大花蕙兰外观形态的影响可以明显地看出,8 个品种耐热性由强到弱为金玉满堂、马可、玉蝉、UFO、红霞、黄金岁月、修女、福娘。

(2) 金玉满堂和红霞 F_0 显著低于其他品种,受高温胁迫

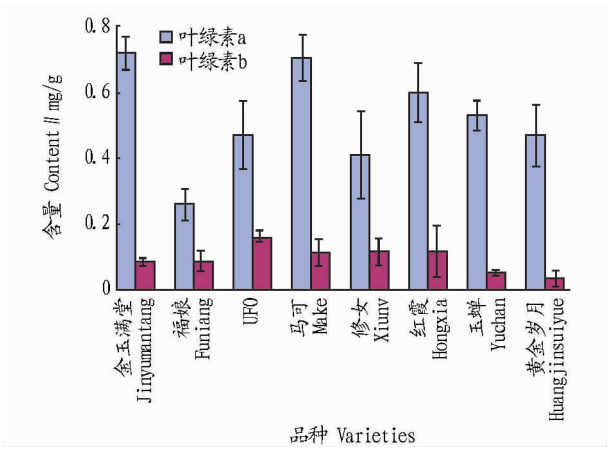
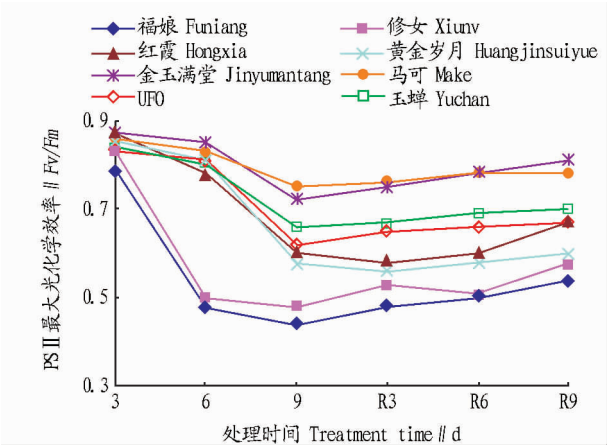


图 2 高温胁迫对 8 个品种叶绿素 a、b 含量
Fig. 2 Chlorophyll a and Chlorophyll b content of 8 species of *C. hybridum* under heat stress



注:横坐标 3、6、9 为高温处理天数, R3、R6、R9 为恢复适温处理天数。
Note: Horizontal coordinate 3, 6, 9 is high temperature treatment days, R3, R6, R9 is appropriate temperature treatment days.

图 3 低温和适温下叶片 PSII 的最大光化学效率 F_v/F_m 变化
Fig. 3 Changes in F_v/F_m of leaf PSII under low temperature and appropriate temperature

(2)对不同质地的土壤而言,热扩散率首先随着含水量的增加而增加,当含水量超过一定值时,热扩散率随着含水量的增加而减少。砂粒含量越大,热扩散率峰值越大,峰值所对应的含水量越小。

(3)利用热脉冲方法计算的热扩散率与利用热传导方程解析解法计算的热扩散率值相比较存在一定差异。但是,其通过计算所得到的温度剖面相差并不是很大,其相对误差均小于 5%。由此可见,利用热脉冲法测定土壤热扩散率是可行的。

参考文献

[1] 李毅,邵明安,王文焰,等. 质地对土壤热性质的影响研究[J]. 农业工

程学报,2003(4):62-65.

- [2] 任图生,邵明安,巨兆强,等. 利用热脉冲-时域反射技术测定土壤水热动态和物理参数 I. 原理[J]. 土壤学报,2004,41(2): 225-229.
- [3] 任图生,邵明安,巨兆强,等. 利用热脉冲-时域反射技术测定土壤水热动态和物理参数 II. 应用[J]. 土壤学报,2004,41(4):523-529.
- [4] 李婷,王全九,樊军. 土壤热参数确定方法比较与修正[J]. 农业工程学报,2008,24(3):59-64.
- [5] WANG Q J, OCHSNER T E, HORTON R. Mathematical analysis of heat pulse signals for soil water flux determination[J]. Water resources research, 2002, 38(6):271-277.
- [6] OCHSNER T E, HORTON R, REN T S. A new perspective on soil thermal properties[J]. Soil Sci Soc Am J, 2001, 65:1641-1647.
- [7] WELCH S M, KLUTENBERG G J, BRISTOW K L. Rapid numerical estimation of soil thermal properties for a broad class of heat pulse emitter geometries[J]. Sci Technol,1996,7:932-938.

(上接第 22 页)

增幅较小;其次为黄金岁月、UFO、马可和玉蝉, F_0 都在 14~40 之间变化,品种间无明显差异;福娘的 F_0 显著高于其余品种。

(3)高温处理使大花蕙兰叶片 PSII 的最大光化学效率 F_v/F_m 呈下降趋势,且随着时间的延长, F_v/F_m 下降越明显,到高温胁迫 9 d,所有品种 F_v/F_m 都下降到最低。福娘和修女 F_v/F_m 受高温胁迫显著下降到 0.5 以下,且在恢复适温后恢复缓慢,无法恢复到初始水平;金玉满堂和马可的 F_v/F_m 受高温胁迫有小幅下降,在恢复适温后,最终恢复到初始水平的 90% 以上,耐热性最强;其次为玉蝉、UFO、红霞和黄金岁月。

(4)分别将基础荧光 F_0 、PSII 的最大光化学效率 F_v/F_m 、叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量与热害指数进行相关性分析得:PSII 的最大光化学效率 F_v/F_m 与热害指数相关性系数达 0.946,可作为快速、无损筛选大花蕙兰耐热性品种的可靠指标之一。

(5)根据 8 种大花蕙兰 F_v/F_m 的变化最终得出 8 个品种耐热性由强到弱为金玉满堂、马可、玉蝉、UFO、红霞、黄金岁月、修女和福娘。

4 讨论

植物光合作用主要依靠叶绿素吸收传递电子来吸收光能合成物质,因此叶绿素含量的高低可以间接衡量植物光合作用能力的大小。作为植物光合作用的重要色素,叶绿素容易受高温影响加速分解,且合成叶绿素的酶活性下降甚至失活导致叶绿素合成受阻,含量下降。绝大部分叶绿素 a 和叶绿素 b 没有光化学活性,能够将植物吸收的光能传递到反应中心色素,因此也称作天线色素,而处于特殊状态的少量的叶绿素 a 具有光化学活性,为反应中心色素^[5]。研究表明,高温胁迫一方面导致合成叶绿素的酶失活,叶绿素合成受阻,同时促进活性氧积累加速降解叶绿素,从而造成叶绿素含量的下降^[6-7]。叶绿素含量的变化受多种因素影响,测量过程要严格避免低温。该研究发现抗性强的品种在高温胁迫

后叶绿素含量显著高于抗性差的品种,这与张志刚等^[8]在辣椒上发现的结果一致,而叶绿素 b 的含量差异不显著,原因有可能是:①色素提取过程中见光分解,仪器测量误差;②品种间初始叶绿素含量有差异。在对比品种间色素含量的差异时,应该测量各品种叶片叶绿素含量的初始值,计算叶绿素变化的相对值,从而得出叶绿素含量变化差异。

大量研究表明, F_v/F_m 与植物的抗性相关,当植物遭受高温或低温胁迫后, F_v/F_m 也随之下降,表明植物 PSII 系统受到损伤^[9],不同抗性品种 F_v/F_m 下降的幅度以及恢复速度不同。该研究发现抗寒耐热性强的品种在低温或高温逆境下能够保持着较高水平的 F_v/F_m ,且在温度恢复到适温条件下能够迅速恢复到初始值的较高水平,而耐热性较差的品种不仅受温度胁迫导致 F_v/F_m 快速下降且难以在适温条件下恢复。综上所述,PSII 的最大光化学效率 F_v/F_m 可作为大花蕙兰耐热性指标筛选的可靠指标之一,这与前人的研究结论^[10]一致。

参考文献

- [1] 杨艳团. 大花蕙兰生物学特性及栽培[J]. 特种经济动植物,2007(10): 30-31.
- [2] 张宪政. 植物叶绿素含量测定:丙酮乙醇混合液法[J]. 辽宁农业学报,1986(3):26-28.
- [3] 彭敏,王四清. 大花蕙兰耐热性研究[C]//观赏园艺与西部发展:中国园艺学会观赏园艺专业委员会 2010 年全国学术年会. 西宁,2010.
- [4] 于永畅,张林,王厚新,等. 不同春、蕙兰名品耐低温性分析[J]. 农学报,2013(2):50-53.
- [5] 郝建军,于洋,张婷. 植物生理学[M]. 北京:化学工业出版社,2013.
- [6] TEWARI A K, TRIPATHY B C. Temperature-stress-induced impairment of chlorophyll biosynthetic reactions in cucumber and wheat[J]. Plant physiology, 1998, 117(3): 851-858.
- [7] SYNG-AI C, KUMARI A L, KHAR A. Effect of curcumin on normal and tumor cells: Role of glutathione and bcl-2[J]. Molecular cancer therapeutics, 2004, 3(9): 1101-1108.
- [8] 张志刚,尚庆茂. 低温、弱光及盐胁迫下辣椒叶片的光合特性[J]. 中国农业科学,2010,43(1):123-131.
- [9] KRAUSE G H, WEIS E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basics[J]. Annual review of plant biology, 1991, 42(1): 313-349.
- [10] 严冬瑾,于超,张启翔,等. 高温胁迫对大花蕙兰和墨兰幼苗形态及生理反应的影响[C]//中国观赏园艺产业与西部开发:中国园艺学会观赏园艺专业委员会 2011 年学术年会. 银川,2011.