

几个三角梅品种光合作用日变化的比较研究

唐源江, 武小燕

(华侨大学 花卉工程研究所 福建 厦门 361021)

摘要: 运用美国产 CI-340 便携式光合测定系统和 OSI-FL 便携式叶绿素荧光仪, 比较研究了 5 个三角梅品种的光合作用日变化特征, 包括净光合速率、光合有效辐射、温度、空气湿度、大气二氧化碳浓度、蒸腾速率、气孔导度、叶间二氧化碳浓度等因子及叶绿素荧光动力学参数。结果表明: 不同三角梅品种的光合速率日变化都呈现不对称的双峰曲线, 有明显的“午休”现象; 气孔导度、蒸腾速率和净光合速率变化均成正相关, 影响三角梅光合速率下降的主要因素是气孔限制。荧光动力学参数变化表明, 5 个品种光合作用器官在中午光强和温度较高下其光合活性受到了暂时的抑制, 光合器官并没有受到损伤, 随着光强和温度的下降其光合功能得到恢复, 说明这些三角梅品种能较好地适应强光辐射及高温栽培条件, 品种之间差异不明显。

关键词: 三角梅; 光合作用; 叶绿素荧光; 品种

中图分类号: S 685.99 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2011)12-0074-04

三角梅 (*Bougainvillea spectabilis* Willd.) 为紫茉莉科 (Nyctaginaceae) 三角梅属 (*Bougainvillea*) 植物, 别名勒杜鹃、叶子花、九重葛等。三角梅属于强阳性短日照植物, 在荫处能长但基本不开花, 性喜温暖、湿润、空气清新流通的环境, 耐热、不耐寒, 生长适温为 20~30℃, 越冬室温应不低于 7℃, 3℃以下叶片易遭冻害。三角梅有极高的观赏价值, 花期长, 花朵艳丽, 苞片独特, 色彩丰富。我国华南 (广东、广西、海南)、西南 (四川、重庆、贵州、云南、西藏) 各地均栽培于庭院或作攀缘植物, 长江以北可作温室花卉栽培^[1]。在我国已有很多城市把三角梅作为市花, 如海南三亚市和海口市, 广西的北海市和梧州市, 福建的厦门市等。作为重要的园林景观植物, 越来越受到人们关注。我国目前引种栽培的三角梅品种很多, 原种、栽培种、杂交种等多达上百种。有关三角梅属植物光合作用特征的研究目前尚未见报道。现以 5 个三角梅品种为试验材料, 研究了其光合作用及叶绿素荧光参数日变化情况, 以揭示三角梅的光合作用规律及有关生理生态因子的响应机制, 为三角梅的园艺新品种培育及生产养护提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验在厦门市梅海岭公园进行, 该地点位于厦门市岛内, 东经 118°04'04"、北纬 24°26'46", 属于亚热带海洋性季风气候, 终年温和, 雨量充足。年平均气温在

21℃左右, 夏无酷暑, 冬无严寒。年平均降雨量在 1 200 mm 左右, 每年 5~8 月份雨量最多, 风力一般 3~4 级, 常向主导风力为东北风。由于太平洋温差气流的关系, 每年平均受 4~5 次台风的影响, 且多集中在 7~9 月份。

1.2 试验材料

试验材料均为人工盆栽品种, 分别为红宝巾、紫宝巾、花叶塔宝巾、金边橙、玫瑰红; 试验区地势平坦, 日照条件好, 海拔约为 100~150 m。成年植株长势良好、无病虫害, 所选叶片生长均同一方向, 叶位相近, 并进行挂牌标记。

1.3 测定方法

1.3.1 光合日进程测定 于 5 月 18~30 日选择晴天, 用美国产 CI-340 便携式全自动光合作用测定系统自然条件下测定净光合速率及环境因子的日变化, 开放气路测定。从 6:00~18:00, 每隔 2 h 测定 1 次, 共测 3 d。每品种测定 3 片叶, 3 次重复。测定指标包括: 净光合速率 (P_n , $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、气孔导度 (G_s , $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、光合有效辐射 (PAR , $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、胞间 CO_2 浓度 (C_i , mol/mol)、大气 CO_2 浓度 (C_a , mol/mol)、蒸腾速率 (E , $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、叶片温度 (T_l , $^{\circ}\text{C}$)、大气温度 (T_a , $^{\circ}\text{C}$)、空气相对湿度 (RH , $\%$) 等参数同步显示。

1.3.2 叶绿素荧光动力学参数测定 用美国产 OSI-FL 便携式叶绿素荧光仪 (Fv/Fm 模式) 测定叶绿素荧光动力学参数, 可直接读出初始荧光 $F_t(F_0)$ 以及 PS 原始光能转换效率 $QY(F_v/F_m)$, 计算最大荧光 F_m 、可变荧光 F_v 和 F_v/F_0 。

1.4 数据处理

对所测的数据取平均值, 用 Microsoft Excel 进行处理并绘图分析。

第一作者简介: 唐源江 (1966), 男, 湖南郴州人, 博士, 副教授, 现主要从事景观与园林植物研究工作。E-mail: yjtang2009@hqu.edu.cn.

基金项目: 华侨大学高层次引进人才资助项目 (09BS506)。

收稿日期: 2011-03-30

2 结果与分析

2.1 环境因子的日变化

2.1.1 光合有效辐射和大气 CO₂ 浓度日变化 由图 1 可知,三角梅光合有效辐射日变化曲线呈明显单峰型,峰值出现在 12:00,为 2 054.8 mol · m⁻² · s⁻¹,早 6:00 值为 453.2 mol · m⁻² · s⁻¹,18:00 值为 354.9 mol · m⁻² · s⁻¹,可见 2 个时间点的辐射强度相差不大。大气 CO₂ 浓度日变化不明显,呈不明显双峰型,第一峰值出现在 8:00,为 574.3 mol/mol,第二峰值出现在 12:00,为 722.9 mol/mol。第一峰的峰值幅度约是第二峰的 34%。

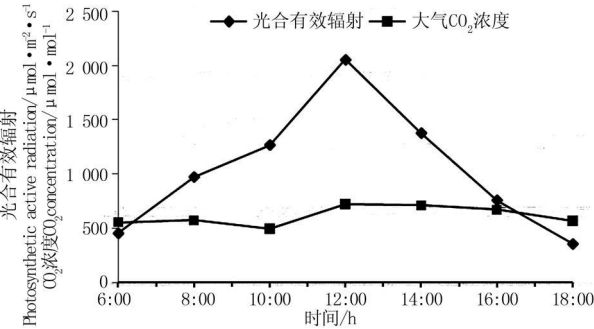


图 1 光合有效辐射与大气 CO₂ 浓度日变化

Fig. 1 Daily changes of photosynthetic activation and air CO₂ concentration

2.1.2 大气温度和三角梅叶片温度日变化 由图 2 可知,大气温度和三角梅叶片温度均呈单峰型,叶面温度基本上略高于大气温度,二者的最高温均出现在 12:00,大气温度峰值为 33.5℃,叶面温度的峰值为 38.3℃,测量的不同三角梅品种之间的叶面温度几乎没什么差异。

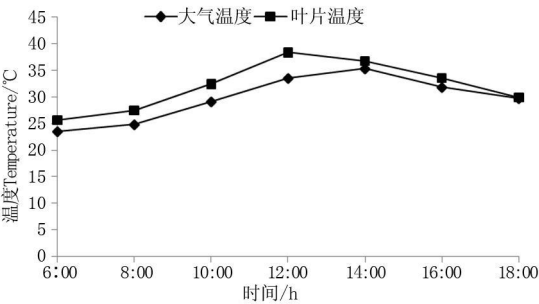


图 2 大气温度与叶片温度日变化

Fig. 2 Daily changes of air temperature and leaf temperature

2.1.3 空气相对湿度日变化 由图 3 可知,最大值在早晨 6:00,为 78.6%,随着太阳高度角增大,空气相对湿度下降,至 12:00 达谷值 44.7%,随后逐渐升高,至 18:00 达 65.3%。

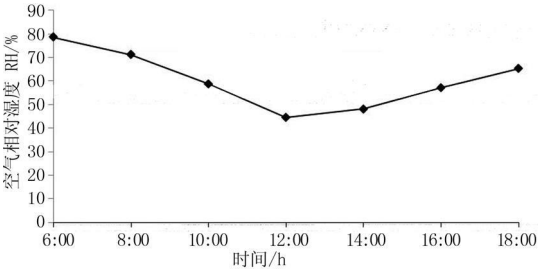


图 3 相对湿度日变化

Fig. 3 Daily changes of relation humidity

m⁻² · s⁻¹; 峰值最小者为紫宝巾,其第一峰值为 5.74 mol · m⁻² · s⁻¹,第二峰值为 4.07 mol · m⁻² · s⁻¹,可以看到金边橙的净光合速率峰值比其它 4 个品种明显偏高;而谷值最高者是花叶塔宝巾,为 0.99 mol · m⁻² · s⁻¹,最低者为紫宝巾,为 0.06 mol · m⁻² · s⁻¹。按最大峰值到谷值的降幅与其最大峰值的比值看,紫宝巾(99%) 红宝巾(98%) 玫瑰红(96%) 金边橙(93%) 花叶宝塔巾(83%)。

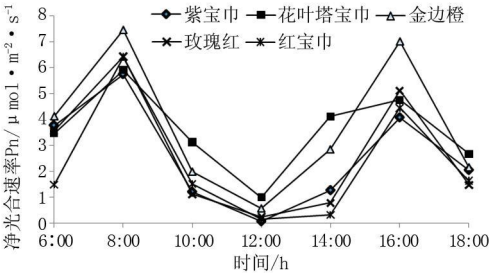


图 4 5 个三角梅品种的净光合速率日变化

Fig. 4 Daily changes of net photosynthetic rate of 5 different varieties

2.2.2 不同三角梅品种气孔导度日变化 由图 5 可知,5 个品种的气孔导度日变化趋势与净光合速率的日变化具有一定的相似性,除玫瑰红外,其余 4 个品种均呈现双峰型曲线,其中金边橙与紫宝巾品种呈明显双峰,其它 2 个品种不明显;整体看,早上 6:00 ~ 8:00 气孔导度都保持相对平稳,变化幅度不大,该期间温度相对较低,气孔开放度较高,此后,随着太阳高度角增大,光辐射增强,空气相对湿度下降,从而引起蒸腾失水加剧,造成气孔部分关闭,气孔导度下降,而气孔导度的降低,避免了过多的水分损失,但也引致 CO₂ 吸收量减少,导致光合速率也降低。在 12:00 左右达最低点,此后随着辐射强度减弱,气温下降,气孔导度也逐渐上升,这样叶片中 CO₂ 浓度得到一定补充,从而促进光合速率的加快。至 16:00 金边橙与紫宝巾品种出现第二峰值,此后气孔导度再次下降。其它 3 个品种变化不大。

2.2.3 不同三角梅品种胞间 CO₂ 浓度日变化 由图 6 可知,胞间二氧化碳浓度日变化曲线呈不显著双峰型,第一峰均出现在早上 8:00,峰值为:紫宝巾 665.3 mol/mol、花叶塔宝巾 571.4 mol/mol、金边橙 622.4 mol/mol、玫瑰红 597.3 mol/mol、红宝巾 543.2 mol/mol;第二峰除花叶塔宝巾出现在 16:00 外,其它 4 个品种均出现在 14:00 峰值为:紫宝巾 687.9 mol/mol、

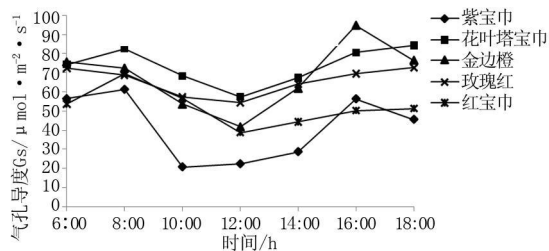


图5 5个三角梅品种的气孔导度日变化

Fig. 5 Daily changes of stomatal conductances of 5 different varieties

花叶塔宝巾 663.8 mol/mol、金边橙 646.6 mol/mol、玫瑰红 523.1 mol/mol、红宝巾 557.6 mol/mol。2个峰值幅度相差不大。谷值除金边橙在 10:00 出现外,其它4品种均出现在 12:00,谷值分别为:紫宝巾 582.3 mol/mol、花叶塔宝巾 514.8 mol/mol、金边橙 592.7 mol/mol、玫瑰红 520.6 mol/mol、红宝巾 510.7 mol/mol。6:00~8:00 植株气孔陆续打开,开始消耗积累的胞间 CO₂,所以造成短暂的 CO₂ 浓度下降,此后,伴随着呼吸速率的升高,胞间 CO₂ 也持续升高,净光合速率快速上升,但随后由于 CO₂ 同化速度的不断提高,在 12:00 左右胞间 CO₂ 浓度也略微下降,在 16:00 时,胞间 CO₂ 浓度又略有回升,但此后由于有效光辐射的持续下降,净光合速率的降低,CO₂ 同化利用率下降,加之细胞呼吸作用释放 CO₂ 积聚在细胞间隙中,从而导致胞间 CO₂ 浓度又回升。但整体看,胞间 CO₂ 浓度日变化不显著,品种间差异不明显。

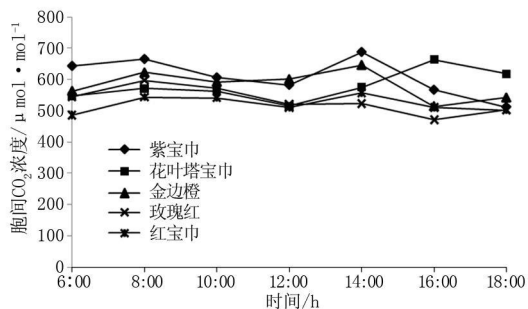


图6 不同品种胞间 CO₂ 浓度日变化

Fig. 6 Daily changes of stomatal CO₂ concentration of 5 different varieties

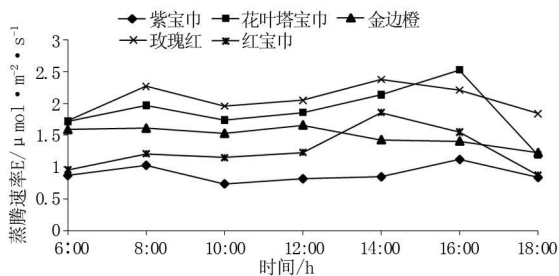


图7 不同品种蒸腾速率日变化

Fig. 7 Daily changes of transpiration rate of 5 different varieties

2.2.4 不同三角梅品种蒸腾速率日变化 蒸腾是植物重要的生理过程,植物通过蒸腾作用运输矿物质、调节叶面温度及供应光合作用所需要的水分等。由图7

可知,早上光线较弱,蒸腾速率比较低,随后,由于有效光辐射的不断增强,蒸腾速率也不断增加,8:00 时5个品种的蒸腾速率同时达到第一峰值,其值最大者是玫瑰红,值为 2.27 mol·m⁻²·s⁻¹,最小者是紫宝巾,值为 1.03 mol·m⁻²·s⁻¹,随后下降,到 10:00 达谷值,而谷值最大与最小的品种与第一峰最大、最小者相同,此后回升,至 12:00,品种金边橙达第二峰值,接着在 14:00,品种玫瑰红和红宝巾达第二峰值,而紫宝巾和花叶塔宝巾于 16:00 达第二峰值。从整个过程看,不同品种的蒸腾速率与其净光合速率的变化趋势相似,只是变化的节奏有些许差异,即其蒸腾速率达谷值的时间提前,多数品种达第二峰值的时间也提前。

2.3 叶绿素荧光动力学参数日变化

从图8~9可看出, Fv/Fm 和 Fv/Fo 的日变化曲线相一致,呈现双峰型,只是 Fv/Fo 的双峰型更明显。上午随着光强增加而逐渐增强,8:00~10:00 均出现了第一峰值,然后逐渐下降,再上升,至 14:00~16:00 出现第二峰值。Fv/Fm 和 Fv/Fo 的日变化趋势的一致,说明三角梅光合作用的器官在中午光强和温度较高下其光合活性只是受到了暂时的抑制,光合器官并没有受到损伤,16:00 后随着光强和温度的下降其光合器官的功能得到恢复,且品种间差异不明显。

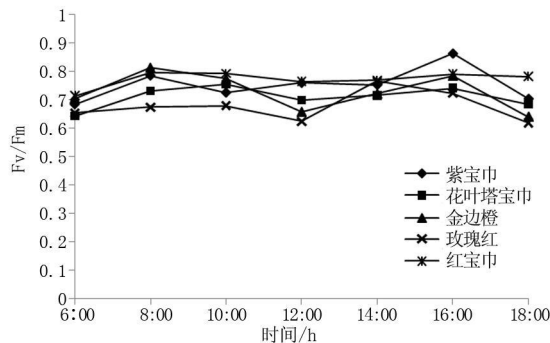


图8 不同品种叶绿素荧光参数 Fv/Fm 日变化

Fig. 8 Daily changes of chlorophyll fluorescent parameter Fv/Fm

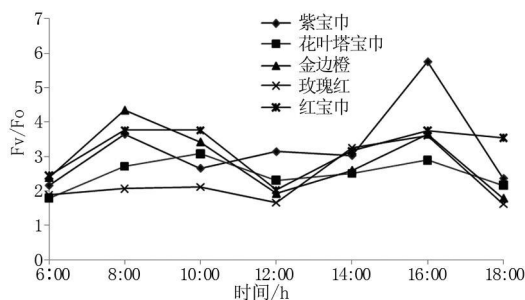


图9 不同品种叶绿素荧光参数 Fv/Fo 日变化

Fig. 9 Daily changes of chlorophyll fluorescent parameter Fv/Fo

3 讨论与结论

植物光合作用是植物生产过程中物质积累与生理代谢的基本过程,也是分析环境因素影响植物生长和代谢的重要途径。植物光合作用的日变化是有章可循的,其日变化曲线通常呈双峰型或单峰型^[4]。该研究

结果表明,不同三角梅品种的净光合速率日变化曲线呈明显的双峰型,峰值均出现在 10:00 和 16:00。第一峰值的幅度略高于第二峰值,在中午 12:00 均出现谷值,5 个品种的三角梅净光合速率均具有明显的“午休”现象。发生“午休”的原因主要是中午温度过高、光合有效辐射过强,使空气相对湿度降低,从而使叶片蒸腾失水加剧,叶温升高,导致部分气孔关闭,避免过量失水,也因此使 CO_2 交换吸收量减少,导致光合速率下降。但随着光辐射的减弱,气温回落,空气相对湿度升高,光合速率得以回升。“午休”是植物对过强光照的一种适应性,以避免自身光合器官的伤害。所以在三角梅的园艺栽培上,可以结合实际需要和具体的品种种类特点,适当采用遮荫、增加空气湿度等措施,以调节植物光合进程中相关的环境因子,避免“午休”以达到既增强植物的光合作用,又不使植物受到伤害的目的,从而有效控制或调节植株的生长。

在植物光合日进程中,温度也是影响光合速率的重要环境因子。一定温度范围内,温度与光合速率呈正相关^[3],这主要在于光合作用的关键酶-Rubisco 的最适活化温度在 25~30℃,其活性高低直接影响光合速率的大小^[4],温度增高超过其最适范围,关键酶-Rubisco 活性降低或失活,从而使光合作用受到限制已被很多研究所证实^[5-7],该试验中,所测得叶面温度最高达 38.3℃,已远超出关键酶-Rubisco 最适活化的最高温,光合作用显然受到抑制。

Farquhar 等认为,净光合速率降低并伴胞间 CO_2 浓度上升时,光合作用的主要限制因子应当是非气孔因素;光合速率降低的同时,气孔导度和胞间 CO_2 浓度降低,则光合速率降低以气孔限制为主^[8]。5 个三角梅品种的研究结果显示,气孔导度与胞间 CO_2 浓度的日变化趋势与其净光合速率具有相似性,因此,光合速率下降应以气孔限制为主,其中以紫宝巾和金边橙变化最为明显,而玫瑰红和红宝巾在气孔导度以及胞间二氧化碳浓度日变化中相对比较平稳,说明后二者对有效光辐射和温度的适应范围相对较强,应更适合在南方气候条件下栽培。

Daily Dynamics of Photosynthesis in Five *Bougainvillea* Varieties

TANG Yuan-jiang, WU Xiao-yan

(Institute of Flower Engineering, Huaqiao University, Xiamen, Fujian 361021)

Abstract: Daily dynamics of photosynthesis, including the net photosynthetic rate, relative humidity, photosynthetic available radiation, temperature, atmospheric CO_2 concentration, transpiration rate, stomatal conductance between carbon dioxide concentrations, etc. and chlorophyll fluorescence kinetics parameters of five *Bougainvillea* varieties were studied with CI-340 portable photosynthesis and OS1 determination systems-FL portable chlorophyll fluorescence analyzer. The results showed that asymmetric bimodal curve of Pn was present at all *Bougainvillea* varieties examined, ‘noon break’ phenomenon was apparent. Stomatal conductance, transpiration rate and net photosynthetic rate changes were positive correlated with *Bougainvillea* photosynthetic rate, and stomatal limitation was the main factor to influence on Pn falling. The daily change of chlorophyll fluorescence parameters showed that photosynthetic activities were temporarily inhibited and photosynthetic organs had not been damaged, and they resume their functions with decrease of photosynthetic available radiation and temperature. The difference was rare among all varieties examined, and they all could adapt more strong radiation and high temperature in cultivated conditions.

Key words: *Bougainvillea*; photosynthesis; chlorophyll fluorescence; variety

叶绿素荧光是光合作用的探针,通过对各种荧光参数的分析,可以得到有关光能利用途径的信息,其中初始荧光(F_0)反映 PSII 反应中心完全开放的荧光产量,与叶绿素浓度有关;最大荧光(F_m)是 PSII 反应中心处于完全关闭时的荧光产量,反映通过 PSII 的电子传递情况;可变荧光(F_v)反映 QA 的还原情况,可作为 PSII 反应中心活性大小的相对指标, F_v/F_0 值的变化可以衡量光合机构是否受到损伤,而 F_v/F_m 则用于度量 PSII 原初光能转换效率^[9]。荧光动力学参数变化表明,5 个三角梅品种光合作用的器官在中午光强和温度较高下其光合活性只是受到了暂时的抑制,光合器官并没有受到损伤,随着光强和温度的下降其光合器官的功能得到恢复。这说明这些三角梅品种能较好地适应强光辐射及高温栽培条件,品种之间差异不明显。

参考文献

- [1] 徐凤侠,王亮生,舒艳艳,等.三角梅属植物的生物学研究进展[J].植物学通报,2008,25(4):483-490.
- [2] 邹琦.作物抗旱生理生态研究[M].济南:山东科学技术出版社,1994:155-163.
- [3] 李春鸣,蒲小朋,马姝雯.高寒地区地膜覆盖栽培饲用甜菜光合日变化初探[J].西北民族大学学报(自然科学版),2005,26(2):46-48.
- [4] Salvucci M E, Portis A R, Ogren W L. Light and CO_2 response of ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase activation in Arabidopsis leaves[J]. Plant Physiology, 1986, 80: 655-659.
- [5] 蒋高明.植物的温度及测定[J].植物杂志,1998(1):30-31.
- [6] Gesch R W, Boote K J, Allen L H, et al. Changes in grown CO_2 result in rapid adjustments of ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase small subunit gene expression in expanding and mature leaves of rice[J]. Plant Physiology, 1998, 118(2): 521-529.
- [7] Law R D, Crafts-brandner S J. Inhibition and acclimation photosynthesis to heat stress in closely correlated with activation of Rubulose-1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase[J]. Plant Physiology, 1999, 120(1): 173-181.
- [8] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis[J]. Annual Review of Plant Physiology, 1982(33): 317-345.
- [9] 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,1999,16(4):444-448.

(致谢:华侨大学 2006 级本科生熊力和刘建峰同学参加了试验数据的测定,在此表示感谢!)