

4种独蒜兰属植物光合特性比较研究*

李云霞^{1,2}, 张艺祎¹, 郭艳珊³, 彭东辉^{1,2}, 翟俊文^{1,2}, 吴沙沙^{1,2**}

(1. 福建农林大学 园林学院, 福建 福州 350002; 2. 福建农林大学海峡兰花保育中心, 福建 福州 350002;

3. 福建农林大学 金山学院, 福建 福州 350002)

摘要:【目的】探究独蒜兰属(*Pleione*)的适宜栽培条件。【方法】以独蒜兰(*Pleione bulbocodioides*)、黄花独蒜兰(*P. forrestii*)、台湾独蒜兰(*P. formosana*)和艳花独蒜兰(*P. aurita*)的成熟叶片为试验材料, 利用LI-6400 便携式光合仪、SPAD-502 PLUS 叶绿素计和OS-5p 便携式脉冲调制叶绿素荧光仪, 对光补偿点、光饱和点、表观量子效率、CO₂ 补偿点、最大羧化效率、叶绿素含量及叶绿素荧光参数等进行测定, 研究比较4种植物的光合特性。【结果】(1) 4种植物中, 独蒜兰和台湾独蒜兰的光补偿点较低, 属于阴生植物; (2) 独蒜兰和台湾独蒜兰的光饱和点和最大净光合速率相对较高, 对光的适应范围最广; (3) 所测4种植物的最大羧化效率均在15~40 μmol/(m²·s)之间, 结合其较低的光饱和点和净光合速率, 表明4种植物生产潜力较低; (4) 独蒜兰的光合能力较强, 但叶绿素含量最低, 表明叶绿素含量与光合能力并无显著相关性; (5) 黄花独蒜兰在光强超过300 μmol/(m²·s)时, 光合速率降低, 可能是其生态幅较窄的原因。【结论】基于本研究结果并结合野外自然环境条件, 可调整栽培条件以提高独蒜兰属植物的栽培质量。

关键词: 独蒜兰属; 光合参数; 叶绿素; 栽培

中图分类号: S 682.31

文献标识码: A

文章编号: 1004-390X (2018) 05-0891-07

Comparative Analysis of Four *Pleione* Species Based on Photosynthesis Characteristics

LI Yunxia^{1,2}, ZHANG Yiyi¹, GUO Yanshan³, PENG Donghui^{1,2}, ZHAI Junwen^{1,2}, WU Shasha^{1,2}

(1. College of Landscape Architecture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. Fujian Agriculture and Forestry University Cross-Straits Orchids Conservation and Research Center, Fuzhou 350002, China; 3. Jinshan College of Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: [Purpose] In order to explore the suitable cultivation environment of *Pleione*. [Method] The mature leaves of *P. bulbocodioides*, *P. forrestii*, *P. formosana* and *P. aurita* were used to analyze the photosynthetic characteristics such as light compensation point, light saturation point, apparent quantum efficiency, CO₂ compensation point, maximum carboxylation rate, chlorophyll content, chlorophyll fluorescence parameters *et al.* through LI-6400 portable photosynthesis apparatus, SPAD-502 PLUS chlorophyll meter and OS-5p portable pulse-modulated chlorophyll fluorescence instruments in this research. [Result] (1) According to the lower light compensation points *P.*

收稿日期: 2017-10-10

修回日期: 2018-04-13

网络出版时间: 2018-11-14

*基金项目: 福建省自然科学基金(2014J0102); 国家教育部博士点基金(20133515120017); 福建省教育厅新教师项目(JA13123); 国家自然科学基金青年科学基金项目(31500270); 福建农林大学杰出青年科研人才计划项目(xjq201620)。

作者简介: 李云霞(1992—), 女, 山西吕梁人, 在读硕士研究生, 主要从事园林植物资源与利用研究。

E-mail: yunxialilili@163.com

**通信作者 Corresponding author: 吴沙沙(1984—), 女, 河北邯郸人, 博士, 副教授, 主要从事园林植物资源与利用研究。E-mail: shashawu1984@126.com

网络出版地址: [http://dx.doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X\(n\).201710003](http://dx.doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X(n).201710003)

bulbocodioides and *P. formosana* had the characteristics of shade plants. (2) *P. bulbocodioides* and *P. formosana* with relatively higher light saturated point and maximum net photosynthetic rate had the most wide range of light adaptation. (3) Combined the maximum carboxylation rate of the four plants which ranged from 15 to 40 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ with their relatively lower light saturation point and net photosynthetic rate, the four plants showed lower productivity potential. (4) *P. bulbocodioides* had the relatively higher photosynthetic capacity but the lowest chlorophyll content, indicated no significant correlation between chlorophyll content and photosynthetic capacity. (5) *P. forrestii* came to photoinhibition when the photosynthetically active radiation irradiated on the plants more than 300 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$, which may related to its narrowed ecological amplitude. [**Conclusion**] Based on the results of this study and the natural environmental conditions in the wild, cultivation conditions can be adjusted to improve the quality of the genus of *Pleione*.

Keywords: *Pleione*; photosynthetic characteristics; chlorophyll; cultivation

独蒜兰属 (*Pleione*) 为兰科 (Orchidaceae) 极具园艺观赏和药用价值的一个属, 又被称为“尼泊尔番红花 (Napalese crocuses)”或“窗台兰 (window-sill orchids)”, 其形态多变的假鳞茎上通常生有一叶, 鲜有两叶, 具有花大色艳、花型奇特的特点^[1], 深受欧洲、日本和中国台湾人士的喜爱; 其干燥假鳞茎 (俗称“冰球子”) 是中国常用中药材, 有清热解毒、消肿散结、化痰止咳之功效^[2]。独蒜兰属虽被列入《国家重点保护野生名录 (第 2 批)》, 但由于生态环境的破坏和人为无节制采挖, 其野生资源濒临枯竭^[3], 因此, 发展人工栽培和育种技术来满足市场需求, 对杜绝野生资源的破坏及加强保护具有重要意义。

欧洲自 19 世纪引入独蒜兰属以后, 在大量栽培的同时已培育出约 400 个品种^[1]; 中国台湾地区已实现台湾独蒜兰 (*P. formosana*) 优良品系的筛选和大规模商品化栽培, 经济价值可观^[4]。中国是独蒜兰属植物的分布中心, 资源众多, 但开发利用滞后。当前中国大陆市售独蒜兰属植物基本为野生资源, 人工栽培育种才刚刚起步。据报道, 适宜条件下栽培 3 年的独蒜兰假鳞茎单株鲜重约 6.5 g, 每公顷可栽 9 万株, 产量可达 585 kg/hm²^[5], 具有相当可观的商业价值。目前国内外对独蒜兰属的研究主要集中在繁殖技术^[6-9]及药用化学成分研究^[10-11]上, 栽培方面仅见张燕等^[7]做了简要描述, 且主要是基于栽培经验, 缺乏理论依据; 李树发等^[12]研究了温度、光照的改变对云南独蒜兰 (*P. yunnanensis*) 开花的影响, 但未深入研究温度与花芽分化的关系; 龙聪颖等^[13]以野生独蒜兰为材料, 探讨不同的昼夜温度条件下独蒜兰

的生理变化以及开花进程, 为温度对独蒜兰的生长调控提供理论支撑。因此, 加强独蒜兰属植物的栽培育种研究, 解决人工栽培时不耐高温、新生假鳞茎较小、正常生长所需光照阈值等问题, 不仅能产生巨大经济效益, 而且对独蒜兰属植物的保育具有重要意义。

光合作用是植物生长发育、开花结果的生理生化基础, 影响植物光合作用的因子有很多, 包括光照、环境 CO₂ 浓度、环境温度、光受体、矿质营养等^[14-16]。通常研究的植物光合特性包括: 光补偿点、光饱和点、CO₂ 补偿点、CO₂ 饱和点、叶绿素含量、光合速率和蒸腾速率等。通过对各影响因子的研究, 阐明各因子作用机制, 从而优化环境调控技术, 为植物的良好繁育提供理论技术支持。兰科植物生活型多样, 在进化史和分类史上居于十分重要的地位^[17]。目前有关兰科植物的光合生理研究除了测定光合参数和管理调控技术外, 主要集中在兰科植物光合途径与生态适应性等方面, 如: 朱国鹏等^[18]通过对两种生态型的五唇兰 (*Doritis pulcherrima*) 光合特性的比较, 探究叶背紫红色的五唇兰对热带地区环境的适应性; 张石先等^[19]对石斛属进行了非光化学淬灭系数 (NPQ)、能量分配差异等方面的研究等。

目前关于独蒜兰属植物的光饱和点、光补偿点、叶绿素荧光参数、光合机制等系统的光合特性国内外鲜有报道, 因此, 加强对独蒜兰属光合特性的研究是很有必要的。本研究以 4 种独蒜兰属植物为材料, 首次探究了独蒜兰属植物的光合生理特点, 以期对独蒜兰属植物的栽培开发提供一定的参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于2016年3月起在福建农林大学园林学院实验楼室内进行,于2016年3月1日选取材料大小接近、健康无病害的独蒜兰(*P. bulbocodioides*)、黄花独蒜兰(*P. forrestii*)、台湾独蒜兰(*P. formosana*)和艳花独蒜兰(*P. aurita*)的假鳞茎栽种在光照培养箱中,并设置:培养温度25℃/15℃(白天/夜晚),空气湿度75%,光照强度为400 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,光周期为12 h。于2016年7月1日,选取生长状况良好的植株进行测定,测定时植株的状态为完成开花未结果且叶片完全成熟。

1.2 试验方法

1.2.1 光响应曲线测定

于上午9:00—11:30,利用LICOR公司(美国)生产的LI-6400便携式光合仪测定光响应曲线。每种植物随机选取5株,测定前对其进行光诱导60 min,待其完成光诱导达到稳态后开始测定。测定时设置等待时间为120~300 s,CO₂浓度设定为400 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,内置光照强度(PAR, photosynthetically active radiation)梯度设置为0、50、100、150、200、250、300、350、400、450、500、550、600 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。利用Photosyn Assistant软件对数据进行处理,分析植株的光补偿点(LCP, light compensation point)、光饱和点(LSP, light saturation point)、表观量子效率(AQE, apparent quantum efficiency)和最大净光合速率(A_{max} , maximum net photosynthetic rate)等数据,并根据测定的净光合速率(P_n , net photosynthetic rate),建立 P_n -PAR响应曲线。

1.2.2 CO₂响应参数的测定

在上午9:00—11:30,利用LI-6400便携式光合仪的红蓝光源自动CO₂响应曲线测定功能测定4种独蒜兰属植物CO₂响应曲线,设定PAR=450 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 进行光诱导60 min,以LI-6400光合测定系统的注入系统(CO₂钢瓶)设定CO₂浓度,控制梯度为400、300、200、100、50、0、50、100、200、400、600、800、1000、1200 $\mu\text{mol}/\text{mol}$,设置等待时间为120~360 s。由于胞间CO₂浓度(C_i)的降低会显著影响核酮糖1,5-二磷酸羧化酶/加氧酶(Rubisco)的活性和1,5-二磷酸核酮糖(RuBP)的再生能力,因此测量过程尽量在短时间内完成^[20]。操作中每变化1次CO₂浓度,都

进行1次光合仪的匹配操作,使其重新平衡。每种植物测定5株,最后利用Photosyn Assistant和SPSS软件计算出CO₂补偿点(CO₂ compensation point)、最大羧化效率(V_{cmax} , maximum carboxylation rate)、最大电子传递速率(J_{max} , maximum potential rate of electron transport)和磷酸丙糖利用率(TPU, triose phosphate utilization)的值。

1.2.3 叶绿素含量测定

利用SPAD-502 PLUS叶绿素计(Konica Minolta, 日本)对4种独蒜兰属植物叶片叶绿素含量(chlorophyll content)进行测定,每种植物测定5株,由于每株植物仅有1片叶,测定叶片上、中、下及光响应曲线测定部位,共4处。取其平均值作为该植株叶绿素含量最终值。

1.2.4 叶绿素荧光参数测定

利用OS-5p便携式脉冲调制叶绿素荧光仪(OPTI-sciences, 美国)对4种独蒜兰属植物叶片叶绿素荧光参数进行测定,预处理饱和脉冲光强[3 500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$],测定前将叶片暗适应20 min,测定上、中、下部位和光响应曲线测定部位,共4处,每种植物5个重复,取其平均值。测定初始荧光(F_0)、最大荧光产量(F_m),得到可变荧光(F_v)和PS II最大光化学效率(F_v/F_m)。

1.3 数据处理

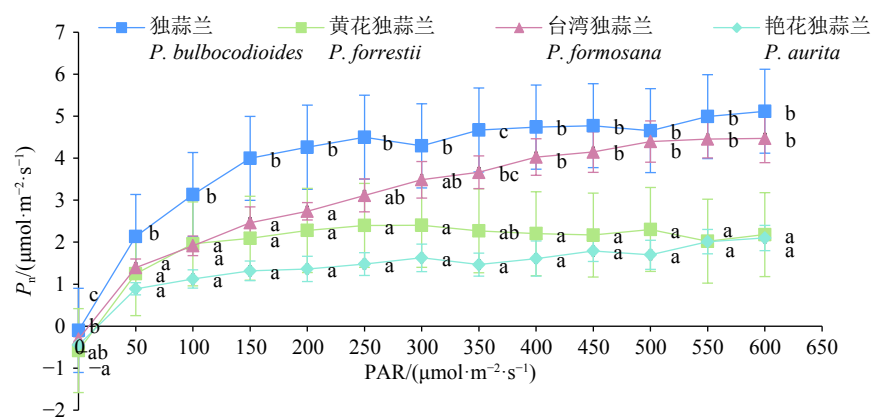
采用Excel 2007与SPSS 17.0软件对试验数据进行整理,用SPSS 17.0软件进行单因素方差分析和差异显著性检验(LSD法),并用Excel 2007制作相关图表。

2 结果与分析

2.1 光合—光响应曲线

由图1可知:4种独蒜兰属植物的 P_n -PAR响应曲线大体可分为3个阶段:当PAR在0~150 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 时,4种独蒜兰属植物的 P_n 随着PAR的增大以较高速率上升;在150~300 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 时,独蒜兰、黄花独蒜兰和艳花独蒜兰的 P_n 上升幅度逐渐减小,而台湾独蒜兰仍保持较高的增长速率;当PAR>300 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 时,独蒜兰和艳花独蒜兰的 P_n 逐渐趋于平缓;而黄花独蒜兰在光照强度300 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 时达到2.4 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,此后随着PAR增强, P_n 呈现降低趋势;PAR在150~500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 时,台湾独蒜兰的 P_n 始终保持较高的增长速率,在PAR大于500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 后, P_n 逐渐趋于平缓;在 P_n -PAR响应曲

线中，当 PAR 在 0~200 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 时，独蒜兰的光合速率显著高于其他 3 种独蒜兰属植物 ($P<0.05$)；当 PAR 在 400~600 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 时，独蒜兰和台湾独蒜兰的光合速率显著高于其他 2 种植物。



注：不同小写字母间表示相同光照强度下，4 种植物的光合速率在 5% 水平上显著差异。
Note: Different letters indicate significant difference at 5% level in the photosynthetic rate of four species under the same photosynthetically active radiation.

图 1 4 种独蒜兰属植物光合—光响应曲线
Fig. 1 The P_n -PAR response curves of four species of *Pleione*

2.2 4 种独蒜兰属植物光响应参数的差异

由表 1 可知：独蒜兰、台湾独蒜兰的光补偿点较低，独蒜兰与黄花独蒜兰、艳花独蒜兰的光补偿点在 5% 水平上差异显著，除此之外台湾独蒜兰与艳花独蒜兰二者间也有显著差异。就光饱和点而言，独蒜兰和台湾独蒜兰显著高于黄花独蒜兰和艳花独蒜兰。4 种植物中，独蒜兰表观量子效率达到 $(0.029\pm0.005) \mu\text{mol}/\mu\text{mol}$ ，表明其捕

获光子能力较强；独蒜兰与台湾独蒜兰的表观量子效率无显著差异，但与黄花独蒜兰、艳花独蒜兰的差异较大(表 1)。此外，独蒜兰与台湾独蒜兰的最大净光合速率不具有显著差异，而与黄花独蒜兰、艳花独蒜兰具有显著差异。其中独蒜兰的最大净光合速率达到 $(6.01\pm0.191) \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ，是艳花独蒜兰的 2.8 倍。

表 1 4 种独蒜兰属植物光响应参数的差异

Tab. 1 The difference of light response parameters of four *Pleione* species

种名 species	LCP/ $(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	LSP/ $(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	AQE/ $(\mu\text{mol}\cdot\mu\text{mol}^{-1})$	$A_{\text{max}}/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$
独蒜兰 <i>P. bulbocodioides</i>	1.901±0.003 a	538.41±46.442 b	0.029±0.005 b	6.010±0.191 c
黄花独蒜兰 <i>P. forrestii</i>	13.865±1.386 bc	210.87±12.855 a	0.017±0.004 a	3.235±0.453 ab
台湾独蒜兰 <i>P. formosana</i>	6.267±3.126 ab	609.90±20.849 b	0.019±0.001 ab	4.683±0.814 bc
艳花独蒜兰 <i>P. aurita</i>	17.992±3.180 c	209.08±10.148 a	0.011±0.002 a	2.160±0.310 a

注：LCP. 光补偿点；LSP. 光饱和点；AQE. 表观量子效率； A_{max} . 最大净光合速率。不同小写字母间表示 5% 水平上显著差异；下同。
Note: LCP. light compensation point; LSP. light saturation point; AQE. apparent quantum efficiency; A_{max} . maximum net photosynthetic rate. Different letters indicate significant difference at 5% level; the same as below.

2.3 4 种独蒜兰属植物 CO₂ 响应参数的差异

由表 2 可知：4 种植物中，台湾独蒜兰的 CO₂ 补偿点最高，与独蒜兰、黄花独蒜兰和艳花独蒜兰差异显著，且后三者之间无显著差异。台湾独蒜兰最大羧化效率 V_{cmax} 和磷酸丙糖利用效率 TPU 显著高于其他 3 种独蒜兰属植物；黄花独蒜兰和艳花独蒜兰的最大电子传递速率 J_{mas} 相近且显著高于独蒜兰和台湾独蒜兰的最大电子传递速率。

2.4 4 种独蒜兰属植物叶绿素含量和叶绿素荧光参数的差异

4 种独蒜兰属植物中，叶绿素含量最低的是独蒜兰，约为黄花独蒜兰的 60%；独蒜兰、黄花独蒜兰和台湾独蒜兰的叶绿素含量差异显著，艳花独蒜兰只与独蒜兰存在显著差异。台湾独蒜兰和艳花独蒜兰的 F_v/F_m 值在 0.75~0.85 间，独蒜兰和黄花独蒜兰的 F_v/F_m 值略于低此区间，为 0.730 ± 0.020 和 0.732 ± 0.011 (表 3)。

表 2 4 种独蒜兰属植物 CO₂ 响应参数的差异

Tab. 2 The difference of CO₂ response parameters of four species of *Pleione*

种名 species	CO ₂ CP/(μmol·mol ⁻¹)	V _{cmax} /((μmol·m ⁻² ·s ⁻¹))	J _{max} /((μmol·m ⁻² ·s ⁻¹))	TPU
独蒜兰 <i>P. bulbocodioides</i>	103.313±4.611 a	17.368±0.798 a	16.372±0.942 a	2.891±0.102 a
黄花独蒜兰 <i>P. forrestii</i>	94.972±2.228 a	21.047±1.765 a	22.076±2.347 b	2.708±0.152 a
台湾独蒜兰 <i>P. formosana</i>	136.312±3.744 b	38.372±4.019 b	12.299±0.647 a	19.271±1.353 b
艳花独蒜兰 <i>P. aurita</i>	95.213±5.109 a	22.692±2.251 a	21.501±2.202 b	2.981±0.146 a

注: CO₂ CP. CO₂ 补偿点; V_{cmax}. 最大羧化效率; J_{max}. 最大电子传递速率; TPU. 磷酸丙糖利用效率。
Note: CO₂ CP. carbon dioxide compensation point; V_{cmax}. maximum carboxylation rate; J_{max}. maximum potential rate of electron transport; TPU. triose phosphate utilization.

表 3 4 种独蒜兰属植物叶绿素含量与
叶绿素荧光参数的差异

Tab. 3 The difference of chlorophyll content and
chlorophyll fluorescence parameters of
four species of *Pleione*

种名 species	叶绿素含量 chlorophyll content	F _v /F _m
独蒜兰 <i>P. bulbocodioides</i>	25.025±0.751 a	0.730±0.020 a
黄花独蒜兰 <i>P. forrestii</i>	42.119±0.457 c	0.732±0.011 a
台湾独蒜兰 <i>P. formosana</i>	39.293±0.833 b	0.763±0.009 ab
艳花独蒜兰 <i>P. aurita</i>	40.553±1.419 bc	0.770±0.007 b

3 讨论

3.1 光合有效辐射对净光合速率的影响

光补偿点和光饱和点是表征植物对光的利用能力的基本指标, 较低的光补偿点反映出植物利用弱光的能力较强, 较低的光饱和点表明植物不能高效利用强光^[21]。本研究中独蒜兰、台湾独蒜兰的光补偿点 (LCP) 较低, 属于阴生植物; 其光饱和点 (LSP) 较高, 表明二者也能适应较强光。4 种植物基本表现出两种类型, 独蒜兰和台湾独蒜兰的光饱和点和最大净光合速率约为黄花独蒜兰和艳花独蒜兰的 2 倍, 说明独蒜兰和台湾独蒜兰对光环境的适应性更广, 而黄花独蒜兰和艳花独蒜兰对栽培环境的光条件要求较高。两类植物光饱和点的差异大于 320 μmol/(m²·s), 在实际栽培中, 可以此为依据进行栽培光环境的调控, 以保证栽培品质; 当光强超过光饱和点后, 气孔导度、空气 CO₂ 浓度等因素限制着黄花独蒜兰的光合速率, 胞间 CO₂ 浓度无法满足光合机构高速运转的需要^[22], 导致黄花独蒜兰出现“光抑制”现象。

表观量子效率是衡量植物利用弱光能力的又

一指标。Photosyn Assistant 软件采用非直角双曲线模型编写, 其表观量子效率采用非直角双曲线的初始斜率值。但实际计算表观量子效率时, 采用直线拟合 PAR 在 0~200 μmol/(m²·s) 的光响应数据, 以得到的直线斜率作为其表观量子效率^[23], 其值越大, 表明植物利用弱光的能力越强。自然条件下植物的表观量子效率在 0.01~0.05 之间^[24], 所测 4 种植物的表观量子效率值均在此范围内。4 种独蒜兰属植物的最大净光合速率显著低于常见的 C₃ 植物[10~25 μmol/(m²·s)], 如小麦、大豆等^[25-26], 说明 4 种植物光合能力较低。

独蒜兰相比其他 3 种植物具有较高的表观量子效率和最大净光合速率, 表明独蒜兰耐荫性较强, 在光照强度较低时, 会比其他种有更高的捕获光量子能力, 因此独蒜兰相比其他种更能适应阴生环境; 同时在强光照下的光合—光响应曲线中, 独蒜兰的光合速率较高, 表现出较高的光合潜能。综上所述, 独蒜兰耐荫性最强, 最能适应多种光环境, 因此在设施栽培中, 可以适当密植提高产量, 但要注意通风和保持较高的空气湿度。而黄花独蒜兰对光的适应范围较窄, 光和能力较低, 在实际栽培中应注意避免强光。

植物光合能力往往与植物的遗传背景及生态型相关。野外调查发现独蒜兰属植物多生长在附有潮湿苔藓的石壁或树干上。独蒜兰在野外分布范围较广, 在海拔 900~3 600 m 均有分布, 对环境的适应能力强。而黄花独蒜兰分布在海拔 2 200~3 100 m 的林下岩石或树干上, 生态幅窄, 移栽到光照培养箱内时生长势可能达不到最优, 这可能是导致测定的黄花独蒜兰光合能力较低的因素之一。

3.2 胞间二氧化碳浓度对净光合速率的影响

独蒜兰、黄花独蒜兰和艳花独蒜兰的 CO₂ 补

偿点在 94~110 $\mu\text{mol/mol}$ 之间,三者之间无显著差异。台湾独蒜兰的 CO_2 补偿点 (136 $\mu\text{mol/mol}$) 较高,与春剑 (*Cymbidium goeringii*) 的 CO_2 补偿点 (133 $\mu\text{mol/mol}$) 相近^[27],表明台湾独蒜兰对低浓度 CO_2 的适应性较弱。

在 Farquhar 模型中,叶片在任意 C_i 下的光合速率 A 是 Rubisco、RuBP、TPU 三者中的最小值^[28]。当 CO_2 浓度较低时 ($C_i < 200 \mu\text{mol/mol}$),光合速率受到 Rubisco 酶的限制,而最大羧化效率 V_{cmax} 可以反映 Rubisco 酶的活力,因此 V_{cmax} 与植物的最大净光合速率密切相关。4 种独蒜兰属植物的 V_{cmax} 值在 15~40 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 之间,符合植物叶片最大羧化速率为 6~194 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ^[29],综合 4 种植物的低光补偿点和净光合速率考虑,显示出 4 种独蒜兰属植物的生产潜力都较低。研究发现:植物最大羧化速率除与自身遗传特性有关外,还受光照、温度、水分、土壤养分的影响^[30]。BUNCE^[31]发现植物经过高温驯化后,其最大羧化速率增大。独蒜兰属植物性喜荫凉,夏季温度不能高于 25 $^{\circ}\text{C}$,这对独蒜兰的栽培环境条件提出了很高的要求。因此,可以尝试对独蒜兰进行适当高温驯化,提高其羧化效率,降低栽培成本,提高成活率。 CO_2 浓度增大时 ($C_i > 400 \mu\text{mol/mol}$),光合速率受 Rubisco 酶的再生的限制 (实则是 ATP 的限制),此时达到最大电子传递速率^[28];独蒜兰与台湾独蒜兰有较高的 J_{max} 值,表明二者相比黄花独蒜兰、艳花独蒜兰而言,具有更高的光合磷酸化活性。当 CO_2 浓度超过饱和点后,光合速率将受限于磷酸丙糖利用率,此时达到最大净光合速率^[28]。

3.3 叶绿素含量和荧光参数的特性影响

叶绿素的含量、比例、荧光参数是影响叶片光合作用的重要指标;叶绿素含量在一定程度上可以反映叶片光合能力、绿度、健康状况等^[32]。通常认为叶绿素含量越高,颜色越深,利用光能的能力越强,但仅在弱光下,光合速率与叶绿素含量存在良好的线性关系,当光照强度很强甚至超过光饱和点后,光合速率与叶绿素含量并不具有相关性^[33]。所测 4 种植物中,独蒜兰的叶绿素含量低于黄花独蒜兰和艳花独蒜兰,但其光合能力明显高于黄花独蒜兰与艳花独蒜兰,可能是由于独蒜兰单位面积内碳同化酶、光合机构的关键组分反应中心等含量高^[34]。

叶绿素荧光参数 F_v/F_m 指 PS II 最大光化学效

率,可表征植物在环境因子发生改变时产生的光合生理变化^[35]。通常 F_v/F_m 不随植物的种类、生长环境改变,处在 0.75~0.85 之间,当植物受到一定胁迫时,其比值会略微下降^[36]。独蒜兰和黄花独蒜兰的 F_v/F_m 略低于 0.75,推测二者受到了轻微胁迫作用,可能是水分胁迫、光照胁迫等,但在植物表型上尚未表现出胁迫症状。

当光照强度低时,叶片吸收的光能几乎全部用于光反应,光化学淬灭系数大,PS II 电子传递活性强;随着光强的增加,叶片吸收光能过剩,就会通过非光化学淬灭方式实行自我保护机制,即出现“光抑制”现象。如果不能及时非光化学淬灭,就会对光合机构造成不可逆的破坏^[37-38]。黄花独蒜兰在光照强度高于 300 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 后,光合电子传递受阻,Rubisco 酶活性降低^[39],RuBP 的再生受到限制^[40],因此其净光合速率随光照强度增加而逐渐降低,出现“光抑制”现象,实际是对自身光合结构的保护机制。此外,还需要进一步深入探究黄花独蒜兰在不同光照强度下的能量分配及临界值^[49],并据此来选择人工栽培过程中的合适光照强度,以提高黄花独蒜兰的栽培品质。

4 结论

独蒜兰、台湾独蒜兰为阴生植物,且对光的适应范围较广,在栽培中可适当密植。台湾独蒜兰对低浓度 CO_2 适应性弱,因此在密植的同时要注意适当提高 CO_2 浓度。黄花独蒜兰的光饱和点较低,表观量子效率低,要注意避免光强过剩造成的“光抑制”现象。4 种植物的最大羧化效率值较小,经过适当高温驯化可提高最大羧化效率,提高生产力的同时有望解决独蒜兰属植物夏季不耐高温的问题。

[参考文献]

- [1] CRIBB P, BUTTERFIELD I. The genus *Pleione* [M]. Miami: America Orchid Society, 1999.
- [2] 朱英, 杨友联, 黄永会, 等. 西南地区市场冰球子分子鉴定[J]. 种子, 2016, 35(9): 12. DOI: 10.16590/j.cnki.1001-4705.2016.09.012.
- [3] 黄成林, 项艳, 吴泽民, 等. 独蒜兰快繁技术的研究[J]. 安徽农业大学学报, 2004, 31(1): 100. DOI: 10.13610/j.cnki.1672-352x.2004.01.022.
- [4] 杨颢. 台湾一叶兰‘梅雪’与‘独星’之微体繁殖[D]. 台北: 台湾大学, 2013.
- [5] 陈德媛, 胡成刚, 陈远光, 等. 独蒜兰引种栽培[J]. 中国林副特产, 1998(3): 36. DOI: 10.13268/j.cnki.fbsic.1998.

- 03.022.
- [6] 于晓娟, 纳海燕, 胡晓丽, 等. 毛唇独蒜兰的离体快速繁殖研究[J]. 四川大学学报(自然科学版), 2007, 44(4): 891. DOI: [10.3969/j.issn.0490-6756.2007.04.035](https://doi.org/10.3969/j.issn.0490-6756.2007.04.035).
 - [7] 张燕, 李思锋, 黎斌. 独蒜兰种子无菌萌发过程观察和萌发培养基筛选[J]. 西北农业学报, 2010, 19(1): 136. DOI: [10.3969/j.issn.1004-1389.2010.01.030](https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-1389.2010.01.030).
 - [8] 李洪林, 付志惠, 杨波. 独蒜兰的离体快速繁殖[J]. 植物生理学通讯, 2005, 41(5): 632. DOI: [10.13592/j.cnki.ppj.2005.05.023](https://doi.org/10.13592/j.cnki.ppj.2005.05.023).
 - [9] 易瑾, 龙春林, 程治英. 疣鞘独蒜兰和岩生独蒜兰的组织培养与快速繁殖[J]. 植物生理学报, 2008, 44(3): 533. DOI: [10.13592/j.cnki.ppj.2008.03.056](https://doi.org/10.13592/j.cnki.ppj.2008.03.056).
 - [10] 严玉玲, 万琼, 周俭珊, 等. 山慈姑抗肿瘤作用机制的研究进展[J]. 广东医学, 2016, 37(22): 3469. DOI: [10.13820/j.cnki.gdyx.2016.22.037](https://doi.org/10.13820/j.cnki.gdyx.2016.22.037).
 - [11] DONG H L, LIANG H Q, WANG C L, et al. Shancigins E-I, five new glucosides from the tubers of *Pleione yunnanensis*[J]. Magnetic Resonance in Chemistry, 2013, 51(6): 371. DOI: [10.1002/mrc.3953](https://doi.org/10.1002/mrc.3953).
 - [12] 李树发, 陈伟, 熊丽, 等. 野生云南独蒜兰的冬季促成开花研究简报[J]. 云南农业大学学报, 2005, 20(6): 885. DOI: [10.16211/j.issn.1004-390x\(n\).2005.06.031](https://doi.org/10.16211/j.issn.1004-390x(n).2005.06.031).
 - [13] 龙聪颖, 邓辉茗, 张筱秋, 等. 不同温度对独蒜兰开花和生长的影响[J]. 西北植物学报, 2016, 36(12): 2498.
 - [14] 张欢. 光环境调控对植物生长发育的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2010.
 - [15] 徐济春, 林钊沐, 罗微, 等. 矿质营养对光合作用影响的研究进展[J]. 安徽农学通报, 2007, 13(7): 25. DOI: [10.16377/j.cnki.Issn1007-7731.2007.07.012](https://doi.org/10.16377/j.cnki.Issn1007-7731.2007.07.012).
 - [16] 时向东, 蔡恒, 焦枫, 等. 光质对作物生长发育影响研究进展[J]. 中国农学通报, 2008, 24(6): 229.
 - [17] 杨志娟, 朱根发, 张显. 兰科植物系统学及亲缘关系研究进展[J]. 西北植物学报, 2005, 25(9): 1905.
 - [18] 朱国鹏, 李凤, 宋希强, 等. 五唇兰两种生态型的光合特性研究[J]. 热带作物学报, 2010, 31(12): 2193. DOI: [10.3969/j.issn.1000-2561.2010.12.018](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-2561.2010.12.018).
 - [19] 张石先, 喻孟冬, 谢世清, 等. 20种石斛属植物叶绿素a荧光特征研究[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2017, 32(2): 331. DOI: [10.16211/j.issn.1004-390x\(n\).2017.02.020](https://doi.org/10.16211/j.issn.1004-390x(n).2017.02.020).
 - [20] 许大全. 光合作用测定及研究中一些值得注意的问题[J]. 植物生理学报, 2006, 42(6): 1163. DOI: [10.13592/j.cnki.ppj.2006.06.054](https://doi.org/10.13592/j.cnki.ppj.2006.06.054).
 - [21] BOARDMAN N K. Comparative photosynthesis of sun and shade plants[J]. Annual Review in Plant Physiology, 1977(28): 364. DOI: [10.1146/annurev.pp.28.060177.002035](https://doi.org/10.1146/annurev.pp.28.060177.002035).
 - [22] 叶子飘, 高峻. 光响应和 CO₂ 响应新模型在丹参中的应用[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2009, 37(1): 129. DOI: [10.13207/j.cnki.jnwafu.2009.01.005](https://doi.org/10.13207/j.cnki.jnwafu.2009.01.005).
 - [23] 叶子飘, 康华靖, 陶月良, 等. 以“光合助手”计算光合参数的一些问题[J]. 植物生理学报, 2010, 46(1): 67. DOI: [10.13592/j.cnki.ppj.2010.01.008](https://doi.org/10.13592/j.cnki.ppj.2010.01.008).
 - [24] LEE D W, BONE R A, TARSIS S L, et al. Correlates of leaf optical properties in tropical forest sun and extreme-shade plants[J]. American Journal of Botany, 1990, 77(3): 370. DOI: [10.2307/2444723](https://doi.org/10.2307/2444723).
 - [25] 赖世登, 刘祚昌, 余彦波, 等. 小麦光合速率和光呼吸的研究[J]. 植物学报, 1981, 23(2): 122.
 - [26] 冯春生, 沈银保, 张庆海, 等. 应用¹⁴C示踪技术测定大豆光合速率[J]. 大豆科学, 1989(4): 355.
 - [27] 李鹏民, 高辉远, 邹琦, 等. 5种国兰(*Cymbidium*)的光合特性[J]. 园艺学报, 2005, 32(1): 152. DOI: [10.16420/j.issn.0513-353x.2005.01.041](https://doi.org/10.16420/j.issn.0513-353x.2005.01.041).
 - [28] LONG S P, BEMACCHI C J. Gas exchange measurements, what can they tell us about the underlying limitations to photosynthesis? Procedures and sources of error[J]. Journal of Experimental Botany, 2003, 54(392): 393. DOI: [10.1093/jxb/erg262](https://doi.org/10.1093/jxb/erg262).
 - [29] WULLSCHLEGER S D. Biochemical limitations to carbon assimilation in C₃ plants: a retrospective analysis of the A/C_i curves from 109 species[J]. Journal of Experimental Botany, 1993, 44(5): 907. DOI: [10.1093/jxb/44.5.907](https://doi.org/10.1093/jxb/44.5.907).
 - [30] 张彦敏, 周广胜. 植物叶片最大羧化速率及其对环境因子响应的研究进展[J]. 生态学报, 2012, 32(18): 5907.
 - [31] BUNCE J A. Acclimation of photosynthesis to temperature in eight cool and warm climate herbaceous C₃ species: temperature dependence of parameters of a biochemical photosynthesis model[J]. Photosynthesis Research, 2000, 63(1): 59. DOI: [10.1023/A:1006325724086](https://doi.org/10.1023/A:1006325724086).
 - [32] 宫兆宁, 赵雅莉, 赵文吉, 等. 基于光谱指数的植物叶片叶绿素含量的估算模型[J]. 生态学报, 2014, 34(20): 5739.
 - [33] 许大全. 叶绿素含量的测定及其应用中的几个问题[J]. 植物生理学通讯, 2009, 45(9): 896. DOI: [10.13592/j.cnki.ppj.2009.09.005](https://doi.org/10.13592/j.cnki.ppj.2009.09.005).
 - [34] AMON D I. Copper enzymes in isolated chloroplasts: polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*[J]. Plant Physiology, 1949, 24(1): 13. DOI: [10.1104/pp.24.1.1](https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1).
 - [35] 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): 2188.
 - [36] 何炎红, 郭连生, 田有亮. 白刺叶不同水分状况下光合速率及其叶绿素荧光特性的研究[J]. 西北植物学报, 2005, 25(11): 2231.
 - [37] 许大全. 光合作用效率[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2002.
 - [38] POWLES S B. Photoinhibition of photosynthesis induced by visible light[J]. Annual Review of Plant Biology, 1984, 35(35): 30.
 - [39] 路涛. 亚高温强光胁迫下番茄幼苗光抑制及光保护机制研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2016.
 - [40] 郭玉朋. 植物光呼吸途径研究进展[J]. 草业学报, 2014, 23(4): 322, 1984, 35(35): 30.

责任编辑: 何馨成