

# 三个百合品种光合特性研究

李 璟<sup>1</sup>,晏晓霞<sup>2</sup>,蔡仕珍<sup>3</sup>,叶 充<sup>4</sup>

(1. 宜宾职业技术学院,四川 宜宾 644000;2. 攀枝花市园林绿化处,四川 攀枝花 617000;  
3. 四川农业大学 风景园林学院,四川 成都 611130;4. 四川农业大学 图书馆,四川 成都 611130)

**摘要:**为了指导百合反季节栽培,以3个百合品种(多安娜、布朗尼诺和精粹)为研究对象,利用 Li-6400 便携式光合测定系统测定了寡日多雨地区大棚条件下 11 月开花期植株不同叶位的叶绿素含量和比值、气孔交换参数、以及中位叶片的光合有效辐射-Pn 响应曲线和胞间 CO<sub>2</sub> 浓度-Pn 响应曲线。结果表明:3 个品种不同叶位的 Chla+b 含量变化趋势不一致,多安娜以下位叶片最高,布朗尼诺以中、下位叶片较高,精粹则以中、上位叶片较高,而 Chla/b 均以上位叶片高;多安娜和精粹的 Pn 以中位叶片最高,上位叶片次之,下位叶片最小,布朗尼诺则以上位叶片高于中位叶片,下位叶片最小。Pn 变化趋势与气孔导度、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度、蒸腾速率和水分利用率变化趋势大体一致,却与饱和蒸汽压亏缺变化相反;3 种百合均有较低的光补偿点(2.36~18.92 μmol·(m<sup>2</sup>·s)<sup>-1</sup>)、暗呼吸速率(0.496~0.651 μmol·(m<sup>2</sup>·s)<sup>-1</sup>)和表观量子效率(0.0365~0.0419),较高的光饱和点(1 163~1 236 μmol·(m<sup>2</sup>·s)<sup>-1</sup>)和最大净光合速率(10.11~13.94 μmol·(m<sup>2</sup>·s)<sup>-1</sup>),对低光照有较强的利用能力和对光强适应幅度较宽。3 种百合均具有较低的 CO<sub>2</sub> 补偿点(12.19~63.71 μmol·(m<sup>2</sup>·s)<sup>-1</sup>),较高的 CO<sub>2</sub> 饱和点(1 257~1 313 μmol·(m<sup>2</sup>·s)<sup>-1</sup>)和光合能力(18.74~20.50 μmol·(m<sup>2</sup>·s)<sup>-1</sup>),具有较高的碳源同化能力。

**关键词:**百合;叶位;叶绿素;光合特性

中图分类号:S682.2 文献标识码:A 文章编号:1002-2767(2015)04-0060-07 DOI:10.11942/j.issn1002-2767.2015.04.0060

百合为百合科百合属栽培品种的总称。其品种众多、花大、色艳、雍容高雅、吉祥富贵,是世界公认的为数不多的高档花卉之一。常应用于婚礼等场合,象征百年好合。其文化底蕴浓厚、栽培历史长、栽培范围广。市场上流通的百合品种较多,百合的反季节栽培比较普遍。研究品种的光合特性,对了解品种的特性,采取最佳的栽培管理措施,调控环境因子,使百合在节能、节省成本的前提下进行反季节栽培,达到商品效益最大化尤为重要。

多安娜、布朗尼诺和精粹是目前已经在市场上流通的百合品种,尽管在保护地或温室栽培下可周年生产,全年供花,但鲜见对这几个品种光合特性的研究报道。前人对百合的研究,在育种<sup>[1]</sup>、组织培养技术<sup>[2]</sup>、水分胁迫<sup>[3]</sup>和遮荫<sup>[4]</sup>对百合光合特性的影响、摘顶措施对其光合产物分配的影响<sup>[5]</sup>、光合作用与鳞茎和植株生长的关系<sup>[7]</sup>、野生百合的引种驯化<sup>[6]</sup>以及进口品种的引种研究<sup>[7]</sup>等方面有报道。光合作用是制约百合生长、开花和鳞茎发育的关键因素,对于百合品种的栽培管理

措施,尤其是反季节栽培中光环境的调控具有至关重要的理论指导作用。在自然条件下,百合一般在 3-4 月出苗,5-7 月开花,从出苗到开花的时间相对较短。本文通过调节栽种时间,打破季节限制,研究在寡日多雨的区域秋季大棚栽培百合的光合特性,探讨 3 种百合品种的光合特性差异,旨在对其反季节栽培的科学种植密度、种植环境、减少种植成本等方面提供理论依据和指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地位于四川省雅安市四川农业大学农场内。地处 N30°08',E103°14',海拔 620 m。属亚热带季风性湿润气候,一般冬无严寒,夏无酷暑,年平均温度 16.1℃,1 月气温 6.1℃,极端高温 37.7℃,极端低温-3.0℃,≥10℃积温 5 321℃;年降雨量 1 772.2 mm,相对湿度 83%;年均日照时数 1 019.9 h,全年太阳辐射总量 3 640.13 MJ·cm<sup>-2</sup>,全年无霜期 304 d。

### 1.2 材料

试材为四川明日风公司代售的百合杂种系品种多安娜(黄色花)、布朗尼诺(橙色花)和精粹(红色花),种球周径 9~11 cm,各 150 个种球。

收稿日期:2014-09-01  
第一作者简介:李璟(1976-),女,四川省宜宾市人,硕士,讲师,从事园林植物培育及栽培生理研究。E-mail:93620816@qq.com。

### 1.3 方法

1.3.1 试验设计 2012 年 9 月上旬用 500 倍液多菌灵溶液消毒种球,栽于直径为 30 cm 的盆中,盆土为泥炭土:菜园土:沙(体积比为 4:3:3)配制而成。每盆栽 3 个种球,每个品种栽 50 盆。生长期正常管理,2012 年 11 月上旬,百合进入花期,选晴天条件下测定其不同叶位的气孔交换参数、光合有效辐射(PARi)-净光合速率响应曲线和胞间 CO<sub>2</sub> 浓度(Ci)-净光合速率响应曲线。

1.3.2 测定项目与方法 ①叶绿素含量测定:Arnon 法<sup>[8]</sup>测定。每品种随机选 7~10 株百合,分别取其上位(从顶部往下数第 3~5 片叶片)、中位(从顶部往下数第 10~12 片叶片)和下位叶片(从顶部往下数第 17~19 片叶片),剪碎,各称 1.0 g,80%丙酮提取叶绿素,至叶绿素完全提出,紫外-可见分光光度计 UVIKON-820 下测定 645 nm 和 663 nm 的 OD 值,用 Arnon 公式计算出叶绿素 a 和叶绿素 b 的含量及比值。重复 3 次,结果取平均值。

②不同叶位的气体交换参数的测定:设定光强为(1 000±1)lx,测定上、中、下叶片的 Pn(净光合速率),Vpdl(蒸汽压亏缺),Gs(气孔导度),Ci(胞间 CO<sub>2</sub> 浓度),Tr(蒸腾速率)等。利用公式计算 WUE(水分利用率),WUE=Pn/Tr。

③光合有效辐射-净光合速率响应曲线的测定:用 Li-6400 便携式光合测定仪晴天测定其净光合速率,气路开放。设定光合有效辐射(叶室内光强)梯度为 0、50、100、150、200、400、600、800、1 000、1 200、1 500 和 1 800 μmol·(m<sup>2</sup>·s)<sup>-1</sup>,测定中位叶片(从顶部往下数第 10~12 片叶片)净光合速率(Pn)。用测得的 PARi 和 Pn 的值绘制数据趋势曲线,从曲线可估计 LSP(光饱和点)。在 PARi<200 时,得到 PARi-Pn 响应直线回归方程  $y=ax+b$ ,其中  $x$  表示 PARi, $y$  表示 Pn, $a$  是 AQY(表观量子效率),直线与  $x$  轴的交点表示 LCP(光补偿点)。

④胞间 CO<sub>2</sub> 浓度-净光合速率响应曲线的测定:选晴天,设定光合系统叶室工作参数 PARi 为(1 000±1)μmol·(m<sup>2</sup>·s)<sup>-1</sup>,叶室中 CO<sub>2</sub> 浓度梯度为 50、100、150、200、400、600、800、1 000、1 200、1 500 和 1 800 μmol·mol<sup>-1</sup>下测定中位(从顶部往下数第 10~12 片叶片)叶片的 Pn。用实测得到的 Ci(胞内 CO<sub>2</sub> 浓度)和 Pn 绘制数据趋势曲线,从曲线可得到 CSP(CO<sub>2</sub> 饱和点),Pm(最大

净光合速率,也称光合能力,即 CO<sub>2</sub> 饱和点时的 Pn 值),当 Ci<200 μmol·mol<sup>-1</sup>时,求得 Ci-Pn 响应直线回归方程  $y=ax+b$ ,其中  $x$  表示 Ci, $y$  表示测得的 Pn, $a$  是 CE(RuBP 羧化率),直线与  $x$  轴的焦点为 CCP(CO<sub>2</sub> 补偿点)。

1.3.3 数据处理 数据用 Excel 软件和 SPSS 软件进行分析处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 3 种百合不同叶位叶绿素含量与比值的比较

由表 1 可以看出,3 个品种以多安娜下位叶片 Chla+b 最高(1.119 mg·g<sup>-1</sup>),精粹的中、上位次之,布朗尼诺的上位叶片最低(0.576 mg·g<sup>-1</sup>),且布朗尼诺全株的 Chla+b 显著低于多安娜和精粹( $P<0.05$ );其中,随叶位降低,多安娜叶片的 Chla+b 依次增加,3 个叶位之间差异极显著;布朗尼诺的上位叶片则极显著低于中位和下位叶片;精粹的上位和中位叶片极显著高于下位叶片( $P<0.01$ )。从叶片的 Chla/b 来看,3 个品种以精粹上位叶片最高(3.228),多安娜上位叶片次之,布朗尼诺中位叶片最小(1.799),且布朗尼诺全株均极显著低于精粹( $P<0.01$ )。其中,随叶位降低,多安娜和精粹均依次降低,布朗尼诺上位叶片高于下位叶片,中位最小,且 3 者之间差异极显著( $P<0.01$ )。表明布朗尼诺对强光的转化和利用能力弱于多安娜和精粹,但对漫射光的捕获和传递能力强于二者;3 个品种的上位叶片对强光的转化和利用能力较强,中、下位叶片捕获漫射光和传递光能的能力较强。

### 2.2 3 种百合不同叶位净光合速率(Pn)与气孔交换参数变化分析

气孔是植物体与外界交流的通道,在碳同化、呼吸和蒸腾等代谢中具有重要的作用。气孔参数可以揭示光合作用的运行状况。从 Pn 值来看,多安娜和精粹品种的上位和中位叶片均极显著高于下位叶片( $P<0.01$ ),且上位和中位叶片间差异不显著;布朗尼诺上位叶片与中位叶片差异不显著,但极显著高于下位叶片( $P<0.01$ )。多安娜和精粹的上位和中位叶片均极显著高于布朗尼诺的上位和中位叶片;3 个品种叶片的净光合速率(Pn)与气孔导度(Cond)、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度(Ci)、蒸腾速率(Tr)和水分利用率(WUE)变化趋势基本一致,与饱和蒸汽压亏缺(Vpdl)的变化趋势相

反(见表 2)。说明 3 品种百合光合机构处于非逆境 的运行状态。

表 1 3 种百合不同部位叶片的叶绿素含量及比值分析

Table 1 Chlorophyll content and Chl-a/Chl-b of three lily cultivars at different positions of leaves					
品种 Name	叶位 Leaf position	叶绿素 a 含量/(mg·g <sup>-1</sup> ) Content of Chla	叶绿素 b 含量/(mg·g <sup>-1</sup> ) Content of Chlb	叶绿素总量/(mg·g <sup>-1</sup> ) Content of Chla+b	叶绿素 a/b Chla/b
多安娜	上位叶片	0.593±0.038 cC	0.200±0.032 hH	0.793±0.033 dD	2.965±0.054 bB
	中位叶片	0.586±0.036 cC	0.257±0.038 cC	0.843±0.023 cC	2.280±0.039 fF
	下位叶片	0.750±0.033 aA	0.369±0.027 aA	1.119±0.031 aA	2.033±0.042 gG
布朗尼诺	上位叶片	0.405±0.032 fF	0.171±0.026 iI	0.576±0.038 fF	2.368±0.058 eE
	中位叶片	0.448±0.033 eE	0.249±0.040 dD	0.697±0.029 eE	1.799±0.049 iI
	下位叶片	0.461±0.035 eE	0.240±0.032 eE	0.701±0.032 eE	1.920±0.038 hH
精粹	上位叶片	0.723±0.026 bB	0.224±0.029 fF	0.947±0.029 bB	3.228±0.053 aA
	中位叶片	0.722±0.025 bB	0.267±0.041 bB	0.989±0.035 bB	2.704±0.047 cC
	下位叶片	0.506±0.021 dD	0.205±0.0322 gG	0.711±0.025 eE	2.468±0.041 dD

同列数据后的大小写字母分别表示 1%和 5%水平差异显著。下同。  
The different captial letters and lowercases after the column data show significant difference at 1% and 5% level,respectively. The same below.

表 2 3 种百合叶片不同叶位的气孔交换参数比较

Table 2 Comparison on stomata exchange parameters of three lily cultivars at different positions of leaves							
品种 Name	叶位 Leaf position	净光合速率/ ( $\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$ ) Pn	饱和蒸汽压亏 缺/(kPa) VpdL	气孔导度/ ( $\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$ ) Cond	胞间 CO <sub>2</sub> 浓度/ ( $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ ) Ci	蒸腾速率/ ( $\text{mmol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$ ) Tr	水分利用率/ ( $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ ) WUE
多安娜	上位叶片	8.95±0.05 aA	0.171±0.002 fgEFG	1.097±0.038 cdC	409.0±0.6 abAB	1.407±0.018 eE	6.36±0.11 aA
	中位叶片	9.25±0.09 aA	0.185±0.001 efEF	1.070±0.020 cdC	406.3±0.9 abcdABC	1.563±0.023 dD	5.91±0.07 bB
	下位叶片	7.14±0.09 bB	0.197±0.002 deDE	0.960±0.011 dC	405.0±1.2 bcdABC	1.450±0.012 eDE	4.92±0.11 dD
布朗尼诺	上位叶片	6.70±0.15 bB	0.160±0.003 gFG	1.153±0.015 cC	411.7±1.5 aA	1.707±0.020 cD	3.93±0.14 fF
	中位叶片	6.52±0.10 bcBC	0.339±0.002 bB	0.479±0.010 fE	407.7±0.9 abcABC	1.880±0.040 bB	3.47±0.11 gG
	下位叶片	5.82±0.07 cdC	0.405±0.007 aA	0.256±0.004 gF	401.3±2.7 deCD	1.107±0.088 fF	5.26±0.38 cC
精粹	上位叶片	8.81±0.33 aA	0.156±0.005 gG	1.390±0.080 bB	405.3±0.3 bcdABC	1.860±0.021 bB	2.53±0.21 iH
	中位叶片	9.56±0.13 aA	0.211±0.004 dD	1.993±0.024 aA	401.7±0.7 cdeBCD	2.140±0.058 aA	4.47±0.05 eE
	下位叶片	5.59±0.19 dC	0.242±0.005 cC	0.749±0.017 eD	395.7±0.9 eD	1.453±0.033 eDE	2.65±0.43 hH

2.3 3 种百合中位叶片光合有效辐射-净光合速率响应曲线差异

由图 1 可知,3 种百合的光合有效辐射-净光合速率响应曲线均呈急剧上升-缓慢上升-趋于平缓-略有下降的变化趋势。即光合有效辐射低于 400  $\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$  时,净光合速率随光合有效辐射增加而迅速升高,光合有效辐射在 400 ~ 800  $\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$  时净光合速率则缓慢上升,且光合有效辐射越高,净光合速率上升幅度越小,800~1 500  $\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$  时趋于平缓,1 500  $\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$  以上略有下降趋势。从净光

合速率值来看,光合有效辐射在 400  $\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$  以下,净光合速率值差异不大,但随光合有效辐射增大,差距逐渐拉大,光合有效辐射高于 400  $\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$ ,多安娜的净光合速率明显高于精粹,精粹高于布朗尼诺。说明多安娜的光合能力最强,精粹次之,布朗尼诺最差。且在光合有效辐射达 1 500  $\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$  时 3 种百合都出现轻度的光抑制。

光补偿点和光饱和点是植物光合生理中两个重要指标,很大程度上能反映植物对光强的利用能力。一般来说,光补偿点低,光饱和点较高的植

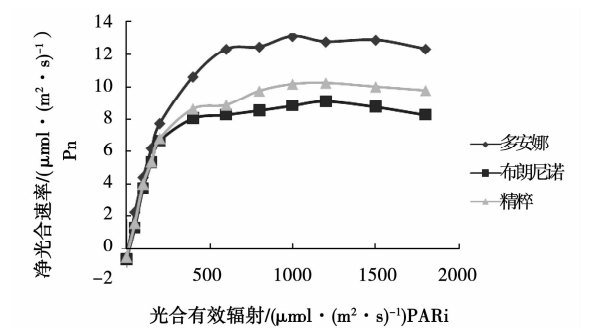


图1 3种百合 PARi-Pn 响应曲线

Fig. 1 Response curve of PARi-Pn among three lily cultivars

物对光环境的适应范围较广。暗呼吸速率低的植物呼吸消耗较低。表观量子效率高而暗呼吸速率低,且光补偿点低的植物具有较强的弱光利用能力,在较低的光照条件下就能实现有机物质的正向积累。从光补偿点、光饱和点、最大净光合速率和暗呼吸速率来看(见表3),多安娜的光补偿点为 $2.36\text{ }\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$ ,光饱和点达 $1\text{ }173\text{ }\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$ ,布朗尼诺的光补偿点为 $18.92\text{ }\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$ ,光饱和点为 $1\text{ }163\text{ }\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$ ,精粹的光补偿点为 $5.55\text{ }\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$ ,光饱和点为 $1\text{ }236\text{ }\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$ 。3个品种中以多安娜的最大净光合速率最高( $13.94\text{ }\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$ ),精粹次之,布朗尼诺最低,且三者之间差异显著( $P<0.05$ )。暗呼吸速率则以布朗尼诺最

高( $0.651\text{ }\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$ ),精粹次之,多安娜最低。表明3种百合均有较低的光补偿点和较高的光饱和点,较低的暗呼吸速率,适应光照范围较广,反季节栽培过程中受光环境的限制较小,且都具有较强的光合能力。

表观量子则是植物光能转化效率的一种度量,通常植物的表观量子效率范围在 $0.02\sim 0.05$ ,量子效率高,表明植物捕获弱光的能力强。当光合有效辐射小于 $200\text{ }\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$ 时,植物的表观量子效率反映了植物利用光能的能力。从表3和图2可以看出,3个百合品种的表观量子效率均较小,在 $0.0365\sim 0.0419$ ,表明3个品种均具有较强的光能利用能力。

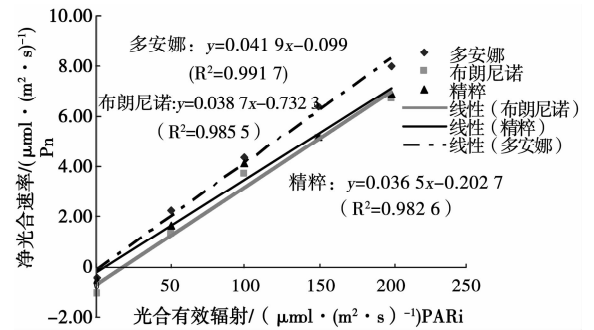


图2 百合0~200  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  PARi-Pn 的直线回归

Fig. 2 Linear regression of PARi-Pn from 0~200  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

表3 3种百合叶片 的 PARi-Pn 的光合参数比较

Table 3 Photosynthetic parameter of PARi-Pn of leave among three lily cultivars

品种 Name	光饱和点/ ( $\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$ ) Light saturation point	光补偿点/ ( $\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$ ) Light compensation point	最大净光合速率/ ( $\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$ ) The max Pn	暗呼吸速率/ ( $\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$ ) Dark respiration rate	表观量子效率 Apparent quantum yield
多安娜	$1173\pm 9\text{ b}$	$2.36\pm 0.23\text{ c}$	$13.94\pm 0.4\text{ a}$	$0.496\pm 0.08\text{ c}$	0.0419
布朗尼诺	$1163\pm 6\text{ c}$	$18.92\pm 1.36\text{ a}$	$10.11\pm 0.3\text{ c}$	$0.651\pm 0.09\text{ a}$	0.0387
精粹	$1236\pm 8\text{ a}$	$5.55\pm 0.87\text{ b}$	$11.33\pm 0.4\text{ b}$	$0.522\pm 0.09\text{ b}$	0.0365

### 2.4 3种百合中位叶片光合作用 CO<sub>2</sub> 响应曲线的差异

CO<sub>2</sub>是植物进行光合作用的碳源原料,胞间CO<sub>2</sub>浓度的变化可以影响 Rubisco 羧化酶活性,影响羧化效率,从而影响植物的净光合速率。Ci-Pn响应曲线可知(见图3,图4,图5),3种百合叶片的Pn对Ci浓度增加的变化趋势大体一致,即Ci浓度在 $0\sim 700\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 时,Pn随Ci浓度增加快速升高,曲线陡峭;Ci浓度在 $700\sim 1\text{ }100\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 时,Pn随Ci浓度增加升高幅度减小,且Ci浓度越大,Pn增幅越小,曲线逐

渐趋于平缓;Ci浓度大于 $1\text{ }100\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 时,Pn不再增加,曲线平缓,且Ci浓度大于 $1\text{ }500\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 时,Pn略有下降趋势。

由图4和表4知,3种百合的CO<sub>2</sub>补偿点以布朗尼诺最高( $63.71\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ ),精粹次之,多安娜最小( $12.19\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ ),布朗尼诺与精粹之间、精粹与多安娜之间差异显著( $P<0.05$ );CO<sub>2</sub>饱和点以精粹最高( $1\text{ }313\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ ),布朗尼诺次之,多安娜最小( $1\text{ }257\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ ),精粹与布朗尼诺之间、布朗尼诺与多安娜之间差异显著;多安娜的光合能力高于布朗尼诺和精粹,而布

表 4 3 种百合叶片的 Ci-Pn 光合参数比较

Table 4 Comparison on photosynthetic parameter of leave Ci-Pn among three lily cultivars

品种 Name	羧化效率 Carboxylation efficiency	CO <sub>2</sub> 补偿点/( $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ ) CO <sub>2</sub> compensation point	CO <sub>2</sub> 饱和点/( $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ ) CO <sub>2</sub> saturation point	光合能力/( $\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$ ) Photosynthetic capacity
多安娜	0.058±0.001 a	12.19±0.02 c	1257±4 c	20.50±0.32 a
布朗尼诺	0.058±0.001 a	63.71±0.03 a	1293±7 b	19.04±0.28 b
精粹	0.061±0.003 a	57.31±0.01 b	1313±3 a	18.74±0.25 b

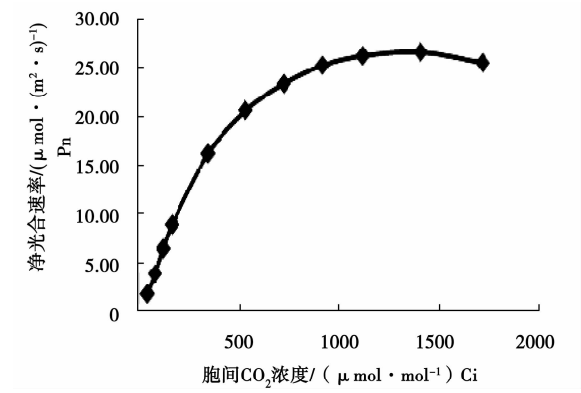


图 3 多安娜的 Ci-Pn 响应曲线  
Fig. 3 Ci-Pn response curve of Pollyanna

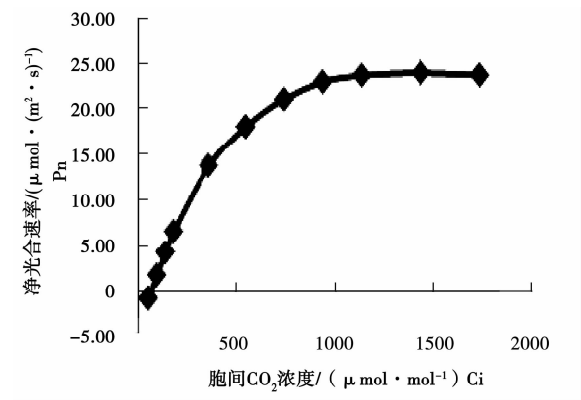


图 4 布朗尼诺的 Ci-Pn 响应曲线  
Fig. 4 Ci-Pn response curve of Brunello

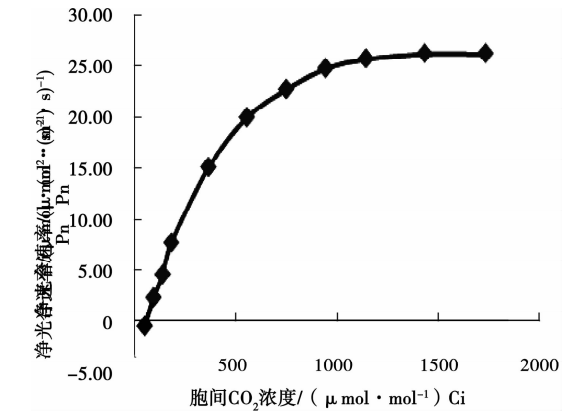


图 5 精粹的 Ci-Pn 响应曲线  
Fig. 5 Ci-Pn response curve of Elite

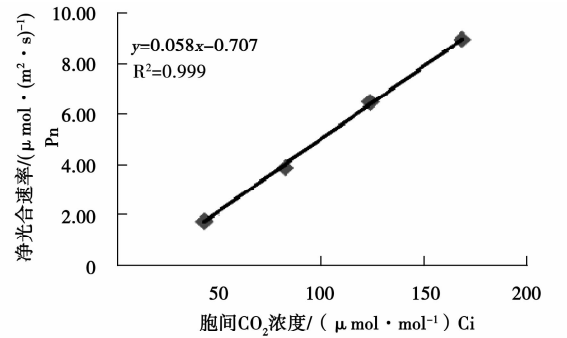


图 6 多安娜 42.5~186  $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$  Ci-Pn 响应的直线回归  
Fig. 6 Linear regression of Ci-Pn between 42.5~186  $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$  in Pollyanna

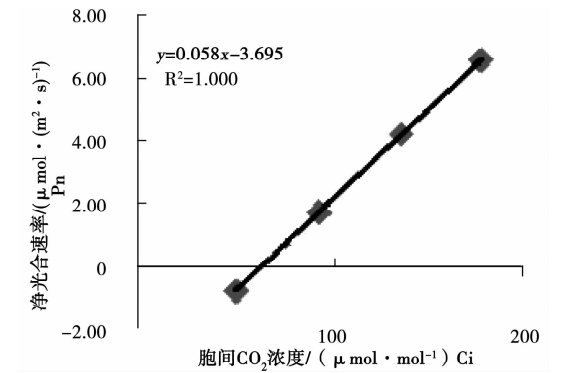


图 7 布朗尼诺 50.7~179  $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$  Ci-Pn 响应的直线回归  
Fig. 7 Linear regression of Ci-Pn between 50.7~179  $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$  in Brunello

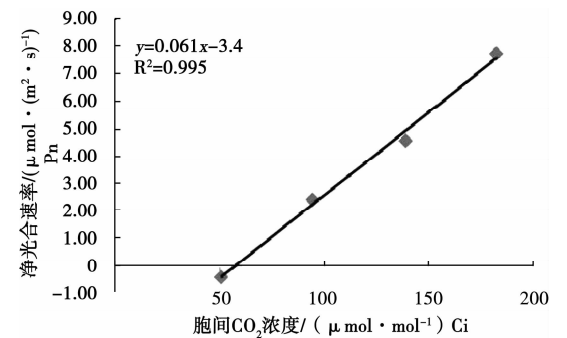


图 8 精粹 50.8~182  $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$  Ci-Pn 响应的直线回归  
Fig. 8 Linear regression of Ci-Pn between 50.8~182  $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$  in Elite

朗尼诺和精粹之间差异不显著( $P>0.05$ );3个品种的羧化效率均在0.060左右,且品种间差异不显著( $P>0.05$ )。表明3个品种均具有较强的碳源同化能力,其中多安娜较布朗尼诺和精粹强。

### 3 结论与讨论

叶绿素是光合作用的光敏催化剂,其含量和比值可反映植物适应和利用环境因子的能力以及光合作用水平,其主要作用是选择性地吸收光,并且将光能转化为化学能,叶绿素含量高,是植物具有较强光合能力的重要指标<sup>[9-12]</sup>。前人研究认为在植株不同叶位的叶片中,中位叶片的叶绿素含量往往较上位和下位叶片高<sup>[13-14]</sup>,但也有下位叶片的叶绿素含量高于中位和上位叶片的报道<sup>[15-16]</sup>。本研究表明,多安娜叶绿素含量下位叶片>中位叶片>上位叶片,布朗尼诺下位叶片高于上位片和中位叶片,精粹则上位和中位叶片高于下位叶片,其原因除与叶片所在光环境有关外,还有可能与叶片的发育阶段和品种特性相关。

光合作用是植物生长所需能量的主要来源和物质生产的基础<sup>[17]</sup>。对植物光合作用的测定有助于判断植物光合机构的运转状况、光合能力、光合效率及其受环境变化的影响程度<sup>[18]</sup>。因为光合作用是一个对环境变化非常敏感的生理过程,除受光照、温度、水分等诸环境因子以及自身生理特性的影响外,还与植株所在的生育阶段和叶片所在的叶位相关<sup>[19-20]</sup>。通常认为叶绿素含量的高低直接决定了光合作用的强度。本研究发现,3个品种不同叶位的Pn与Chla+b含量并不存在简单的正相关关系,Chla/b都以下位叶片较低,说明百合不同空间位置的叶片能随光环境的变化,主动调整叶绿素的含量和比值,使光能的捕获、转化和利用达到最优化,叶片的Pn并非单一受叶绿素含量的调控。百合叶片的Pn与气孔参数的相关性研究进一步表明,Pn还与气孔诸因子的共同调控相关。进一步证明影响光合作用因子的多样性和复杂性。因此生产中如何调控环境因子和植株的生长状态,使之达到促进光合作用最佳化将是反季节栽培中需要研究的重要问题。

光补偿点和光饱和点是植物光合生理中两个重要指标,很大程度上能反映植物对光强的利用能力。一般地,光补偿点低及光饱和点较高的植物对光环境的适应范围较广。而表观量子则是植物光能转化效率的一种度量<sup>[21-23]</sup>,通常植物的表观量子效率范围在0.02~0.05,量子效率高表明

植物捕获弱光的能力强。暗呼吸速率低的植物呼吸消耗较低。表观量子效率高而暗呼吸速率低,且光补偿点低的植物具有较强的弱光利用能力,在较低的光照条件下就能实现有机物质的正向积累。本试验条件下,3个百合品种均具有较低的光补偿点( $2.36\sim18.92\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$ ),较高的光饱和点( $1163\sim1236\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$ ),较强的最大净光合速率( $11.33\sim13.94\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$ ),较低的表观量子效率( $0.0365\sim0.0419$ )和暗呼吸速率( $0.496\sim0.651\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$ ),表明3个品种利用弱光的能力都较强,对光环境的适应范围较广,进一步证明了在冬季光线较弱的季节大棚条件下栽种这3个百合品种是可行的。

低CO<sub>2</sub>补偿点和高光合效率之间是互相联系的,低CO<sub>2</sub>补偿点常作为植物高光合效率的重要指标之一<sup>[19]</sup>,CO<sub>2</sub>饱和点和光合能力常作为植物碳源同化能力的判断指标。本试验条件下,3个百合品种均具有较高的羧化效率(羧化效率为0.058~0.061),较低的CO<sub>2</sub>补偿点( $12.19\sim63.71\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ ),较高的CO<sub>2</sub>饱和点( $1257\sim1313\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ ),以及较高的光合能力( $18.74\sim20.50\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$ ),进一步揭示了3个品种的碳同化能力,即自然或者温室条件下,CO<sub>2</sub>浓度均不会成为百合光合作用的限制因子,温室条件下采用提高CO<sub>2</sub>浓度的措施可以促进百合的光合作用。

综上所述,3个百合品种对光照的适应性均较强,也具有较高的碳同化能力。反季栽培时根据栽培区的环境条件,可以通过调整种植时间调控花期,能在露地生产的季节,可以露地生产,既能节省成本,也能收到理想的效果。

### 参考文献:

- [1] 吴祝华,施季森,池坚,等.观赏百合资源与育种研究进展[J].南京林业大学学报:自然科学版,2006,30(2):113-117.
- [2] 周春华,尤超,陈凝华.百合组织培养研究进展[J].北方园艺,2013(14):193-195.
- [3] 张亚娟,谢忠奎,赵学勇,等.水分胁迫对东方百合光合特性、叶绿素荧光参数及干物质积累的影响[J].中国沙漠,2011,31(4):884-888.
- [4] 张安林,潘远志,姜贝贝,等.遮荫对香水百合光合特性及叶绿素荧光参数的影响[J].西南师范大学学报:自然科学版,2011,36(5):163-167.
- [5] 黄鹏.摘顶对兰州百合光合物质分配和鳞茎品质的影响[J].甘肃农业大学学报,2008,43(1):110-113.
- [6] 郭太君,胡昕,葛新新,等.遮荫对细叶百合和松叶百合生长

- 发育及光合色素含量的影响[J]. 东北农业大学学报, 2013, 44(7): 128-131.
- [7] 刘氏尧. 重庆地区引种观赏百合多性状综合评价研究[J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2013, 35(6): 22-29.
- [8] 苏正淑, 张宪政. 几种测定植物叶绿素含量的方法比较[J]. 植物生理学通讯, 1989(5): 77-78.
- [9] 刘悦秋, 孙向阳, 王勇, 等. 遮荫对异株荨麻光合特性和荧光参数的影响[J]. 生态学报, 2007, 27(8): 3457-3464.
- [10] 朱志勇, 郝友芬, 李友军, 等. 镉对小麦旗叶叶绿素含量及籽粒产量的影响[J]. 核农学报, 2011, 25(5): 1010-1016.
- [11] 李羿桥, 李西, 胡庭兴. 巨桉凋落叶分解对假俭草生长及光合特性的影响[J]. 草业学报, 2013, 22(3): 169-176.
- [12] 徐向东, 孙艳, 郭晓芹. 高温胁迫下外源褪黑素对黄瓜幼苗光合作用及叶绿素荧光的影响[J]. 核农学报, 2011, 25(1): 0179-0184.
- [13] 王景燕, 龚伟, 胡庭兴, 等. 光叶子华不同叶位叶片叶绿素含量和光合作用研究[J]. 四川林业科技, 2006, 27(6): 51-54.
- [14] 刘宁, 麻路遥. 向日葵不同叶位叶片光合指标与性状的相关研究[J]. 石河子科技, 2013(4): 11-13.
- [15] 朱延姝, 张福珍, 樊金娟, 等. 玉米幼苗不同叶位叶片叶绿素含量和荧光参数特性研究[J]. 西南农业学报, 2012, 25(2): 412-415.
- [16] 文习成, 姜卫兵, 韩键, 等. 金叶女贞不同叶位叶片光合特性研究[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(11): 168-172.
- [17] 刘俊祥, 孙振元, 勾萍, 等. 镉胁迫下多年生黑麦草的光合生理响应[J]. 草业学报, 2012, 21(3): 191-197.
- [18] 赵娟, 宋媛, 毛子君. 蒙古栎幼苗光合作用以及叶绿素荧光对温度和降水交互作用的响应[J]. 北京林业大学学报, 2013, 35(1): 64-71.
- [19] 于贵瑞, 王秋风. 植物光合、蒸腾与水分利用的生理生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [20] 陈利业, 张振文. 赤霞珠光合作用与叶片累积物质的关系[J]. 西北农业学报, 2013, 22(5): 77-82.
- [21] 王刚, 孙广玉. 不同紫花苜蓿品种光合能力的比较[J]. 东北林业大学学报, 2007, 35(4): 19-21.
- [22] 王建华, 任士福, 史宝胜, 等. 遮荫对连翘光合特性和叶绿素荧光参数的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(7): 1811-1817.
- [23] 严海燕, 董然, 金光勋, 等. 遮荫对富贵草光合特性的影响[J]. 东北林业大学学报, 2013, 41(5): 46-49.

## Study on the Photosynthetic Characteristics of Three Lily Cultivars

LI Jing<sup>1</sup>, YAN Xiao-xia<sup>2</sup>, CAI Shi-zhen<sup>3</sup>, YE Chong<sup>4</sup>

(1. Yibin Vocational and Technical College, Yibin, Sichuan 644000; 2. Garden Department of Panzhihua, Panzhihua, Sichuan 617000; 3. College of Forestry, Sichuan Agricultural University, Chengdu, Sichuan 625014; 4. Library of Sichuan Agricultural University, Chengdu, Sichuan 625014)

**Abstract:** In order to guide the lily anti-season cultivation, using the Li-6400 portable photosynthesis system, three flowering lily cultivars (Pollyanna, Brunello, Elite) were measured with the chlorophyll content and chlorophyll a/b, stomata exchange parameters of different leaf position, and the response curves of photosynthetic active radiation - Pn, the response curves of intercellular CO<sub>2</sub> concentration-Pn in greenhouse on November at cloudy and rainy area. The results showed that the variation trends of the chlorophyll a+b on different leaf position of three cultivars were inconsistent, the highest chlorophyll of the Pollyanna were on the under part leaves, the highest chlorophyll of the Brunello were on the under and middle part leaves, and the higher chlorophyll of the Elite were on the upper and middle part leaves. While the highest chlorophyll a/b of three cultivars were all on the upper part leaves. The highest Pn of Pollyanna and Elite leaves were on the middle part leaves, and the minimum were on the under part leaves, while the highest Pn of Brunello was on the upper part leaves, the minimum was on the under part leaves. The variation trends of Pn on different leaf position with the variation trends of stomata conductance, intercellular CO<sub>2</sub> concentration, transpiration rate and water utilization rate was similar, while with vapor pressure deficit was opposite. Three lily cultivars had lower light compensation point (2.36~18.92  $\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$ ), dark respiration rate (0.496~0.651  $\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$ ), apparent quantum efficiency (0.0365~0.0419), and higher light saturation point (1163~1236  $\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$ ), and maximum net photosynthetic rate (10.11~13.94  $\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$ ), and had higher capacity on utilizing low light, could adapt a wide range of light density. All three lily cultivars had lower light compensation point (12.19~63.71  $\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$ ), higher light compensation point CO<sub>2</sub> (1257~1313  $\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$ ), and photosynthetic rate (18.74~20.50  $\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$ ), which suggests that these cultivars had higher capacity of carbon source assimilation.

**Keywords:** lily; leaf position; the chlorophyll; photosynthetic characteristics