

# 东方百合索蚌在不同栽培基质中光合特性的研究

任爽英<sup>1</sup>, 刘 春<sup>2</sup>, 董 丽<sup>1</sup>

(1. 北京林业大学 园林学院, 国家花卉工程技术研究中心, 北京 100083; 2. 中国农业科学院 蔬菜花卉研究所, 北京 100081)

**摘要:** 采用 Li-6400 便携式光合测定仪测定了生长在常用无土栽培基质(C)和新型泥炭替代基质(A)中百合 Sorbonne 叶片的光合日变化和光响应曲线及相关叶片质量参数。栽培于这 2 种基质中的百合 Sorbonne 叶片净光合速率日变化呈现一致的单峰曲线,且峰值出现在 9:00。两种基质中生长的百合叶片光响应曲线近似一致,替代基质和常用基质中叶片的光补偿点分别是 12、20  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ; 光饱和点分别为 272、242  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ; 最大净光合速率分别为 5.95、5.77  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ; 暗呼吸速率分别为 0.247、0.537  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,且栽培于替代基质中的叶片在光饱和点 272~1 000  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  范围的  $P_n$  基本稳定在  $P_{n-\max}$  附近,说明新型基质中生长的百合 Sorbonne 具有较广泛的光适应性,其利用强光和弱光的能力较强,因此,使用新型泥炭替代基质种植百合 Sorbonne 是可行的。

**关键词:** 百合索蚌; 日变化; 光响应; 常用无土栽培基质; 新型泥炭替代基质

中图分类号: S513 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2011)增刊-0131-06

## Photosynthetic Characteristics of Oriental Lily Sorbonne in Different Media

REN Shuang-ying<sup>1</sup>, LIU Chun<sup>2</sup>, DONG Li<sup>1</sup>

(1. College of Landscape Architecture, Beijing Forestry University, National Engineering Research Center for Floriculture, Beijing 100083, China; 2. The Institute of Vegetable and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

**Abstract:** The photosynthetic Diurnal light-response curves and the related leaf parameters of *Lilium* Sorbonne planted in common soilless culture medium(C) and peat alternative medium(A) were measured using a Li-6400 portable photosynthesis system. The leaf net photosynthetic rate( $P_n$ ) of *Lilium* Sorbonne grown both of the media showed a single peak curve, and the peak appeared at 9:00 am. The photosynthetic light-response curves were approximately the same in the plants grown in different substrates, while the light compensation points of plants in A and C were respectively 12 and 20  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , the light saturation points were 272 and 242  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  respectively, the  $P_m$  were 5.95, 5.77  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  respectively, and dark respiration rates were 0.247, 0.537  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  respectively. The  $P_n$  of plants cultivated in A in light intensity range of 272~1 000  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  kept stable around  $P_{n-\max}$ , which indicated that the plants grown in substrate A had developed a much wider light range adaptation than those grown in substrates, and a higher capability of utilizing the high and low intensity of light. Therefore, the peat alternative medium can be used as substitute of common soilless culture medium in soilless culture of *Lilium* Sorbonne.

**Key words:** *Lilium* Sorbonne; Diurnal photosynthesis; Light response; Common soilless culture medium; Peat alternative medium

百合以其花姿优雅、色彩丰富而为各国人民所青睐,成为国际花卉市场的佼佼者,更以其“百年好合”的美好寓意而为中国人民所喜爱。近年来在我

国花卉产业中百合生产迅猛发展,其中东方百合杂种系(*Lilium* Oriental hybrids)索蚌(Sorbonne)是北京地区主要栽培品种之一,利用保护地栽培可周年

收稿日期: 2011-01-20

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划课题(2006BAD07B05)

作者简介: 任爽英(1978-),女,内蒙古赤峰人,工程师,博士研究生,主要从事园林植物栽培生理方面的研究。

通讯作者: 董 丽(1965-),女,教授,博士生导师,主要从事园林植物栽培及采后生理方面的研究。

生产,四季供花。但目前北京地区春秋两季采用槽式无土栽培方式生产百合切花过程中主要使用泥炭为主成分的基质。随着全球范围内逐渐认识到大量开采泥炭将导致环境恶化的问题而逐步实施限制开采的政策,势必造成泥炭价格的走高和生产成本的增加,因此,无论从环境保护还是从降低生产成本的角度考虑,寻找环保可再生泥炭替代基质成为当务之急。

课题组在前期的研究中<sup>[1]</sup>已经发现,泥炭替代基质(3V 椰糠:2V 蛭石:3V 河砂:2V 珍珠岩)的理化性质各项指标均在无土栽培基质的理想范围内,以其栽培的百合 Sorbonne,在株高、叶片数、花蕾大小、根系发育、生物量积累以及切花的采后品质等方面,综合评价优于目前国内百合切花生产上常用的基质(7V 泥炭:3V 珍珠岩)。切花品质优良与光合作用密切相关,本研究通过测定生长在此 2 种基质中 *Lilium* Sorbonne 叶片的光合日变化和光响应曲线及相关叶片质量参数,研究种植于 2 种基质中百合切花的光合特性,进一步探究替代基质中生长百合综合品质优良之生理根源,为替代基质的使用提供必要的理论依据,同时为环境光照控制提供理论支撑,以期为高效低耗百合切花产业的发展提供借鉴。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

供试的材料为东方百合杂种系(*Lilium* Oriental hybrids)中花品种索蚌(Sorbonne)。种球购自荷兰,周径 14~16 cm。2 种无土栽培基质为当前国内切花百合生产上广泛使用的无土栽培基质(7V 泥炭:3V 珍珠岩),新型泥炭替代基质(3V 椰糠:2V 蛭石:3V 河砂:2V 珍珠岩),分别简写为常用基质和替代基质,用字母 C 和 A 表示。

### 1.2 栽培方法

试验于 2008 年 4 月下旬至 7 月中旬在位于北京市昌平区南口镇的日光温室内进行。试验采用单因素完全随机区组设计,种植槽式栽培,每个处理 40 个种球,3 次重复。种植前基质和种球进行常规消毒处理。试验中除栽培基质外,其他环境条件和栽培管理措施保持一致。在栽培的过程中,结合浇水供施 MS 大量元素、微量元素和铁盐配制而成的营养液 5 次,浓度是 2%,pH 5.5~6.5,EC<1.5 mS/cm。

### 1.3 测定方法

光合作用测定采用 Li-6400 便携式光合仪。

1.3.1 光合日变化测定 种球栽植后 75 d,测定栽培于 2 种基质中百合叶片的净光合速率( $P_n$ )日变

化,从 7:00~17:00 每 2 h 测定 1 次,测定位置为花序以下第 3~5 片叶,每个叶片读数 3 次,每处理测定 3 个重复。全天各时刻净光合速率测定值的平均值表示日平均净光合速率。同时测定蒸腾速率( $T_r$ )、气孔导度( $G_s$ )、胞间  $CO_2$  浓度( $C_i$ )等气体交换参数值的日变化。按照 Fischer 和 Turner 的方法计算叶片的水分利用效率( $WUE = P_n/T_r$ );Berry 和 Downton<sup>[3]</sup>的方法计算气孔限制值( $L_s = (C_a - C_i)/C_a$ ,  $C_a$  为大气  $CO_2$  浓度);郭俊荣和潘会堂的方法<sup>[4,5]</sup>计算单位面积叶片的日同化量( $Ad$ ),单位面积叶片的日蒸腾量( $T_d$ )及单位面积叶片的日水分利用效率( $WUE_d$ )。

1.3.2 光合光响应( $P_n$ -PAR)曲线的测定 种球栽植后 78 d,测定栽培于 2 种基质中百合叶片在不同光强下的光合速率,获得光响应曲线,测定位置为花序以下第 3 片叶。测定时光照强度梯度为:1 000 900, 800 600 400 200 150 120 100 50 20 0  $\mu mol/(m^2 \cdot s)$ ,测定时温室内  $CO_2$  浓度为 420  $\mu mol/mol$ ,光照有效辐射强度为 100~120  $\mu mol/(m^2 \cdot s)$ ,环境温度为 29℃,空气相对湿度保持在 55%~60%,根系附近基质温度 25.5~26.5℃。同时测定蒸腾速率( $T_r$ )、气孔导度( $G_s$ )和胞间  $CO_2$  浓度( $C_i$ )等指标,计算叶片的水分利用效率( $WUE$ ),气孔限制值( $L_s$ )。拟合低于 200  $\mu mol/(m^2 \cdot s)$  的光强和净光合速率的直线回归方程,斜率即为表观量子效率(AQY)。利用 Farquhar 的非直角双曲线模型<sup>[6]</sup>来拟合  $P_n$ -PAR 曲线方程,将直线回归方程与非直线双曲线模型结合,可求出光响应曲线的最大净光合值( $P_{max}$ )、表观量子效率(AQY)、光饱和点(LSP)、光补偿点(LCP)、暗呼吸速率( $R_d$ )、曲线曲角( $\theta$ )及模拟方程的决定系数(R)等指标。

1.3.3 叶片质量参数的测定 光合日变化测定结束后,采集用于测定光合部位的叶片,用打孔称重法<sup>[7]</sup>计算单叶叶面积,重复 3 次。采集植株花序以下全部叶片,用去离子水反复冲洗 3 遍,吸水纸擦干其表面水分,切除叶柄后,称量鲜样质量(g/株),烘干后称量干样质量(g/株),而后将其粉碎用于测定叶片的全氮含量(开氏滴定法)<sup>[8]</sup>,重复 3 次。

1.3.4 数据分析 所有数据采用 DPS 7.05 统计分析<sup>[9]</sup>,方差分析采用 Duncan 方法,统计图采用 Excel 2003 绘制。

## 2 结果与分析

### 2.1 日变化参数

从图 1 可以看出,栽培于替代基质和常用基质

中 *Lilium Sorbonne* 植株叶片的净光合速率日变化曲线均为单峰曲线, 净光合速率的最大值均出现在 9:00, 替代基质  $P_{n-max}$  ( $4.98 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ) 略低于常用基质 ( $5.56 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ )。除 9:00 以外, 其余时刻生长在替代基质中叶片的净光合速率的变化趋势一致, 但均高于常用基质, 替代基质和常用基质中叶片  $P_n$  日平均值分别是  $2.55$ 、 $2.43 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。生长在 2 种基质中百合叶片的蒸腾日变化曲线均为双峰曲线 (图 2), 峰值分别出现在 9:00 ( $T_{rC} 1.46 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,  $T_{rA} 1.35 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ) 和 15:00 ( $T_{rC} 1.47 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,  $T_{rA} 1.64 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ), 13:00 出现明显的下降 ( $T_{rC} \approx T_{rA} 0.38 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ )。水分利用效率曲线 (图 3) 也为单峰曲线, 最高值出现在 11:00 ( $WUE_C 5.66 \mu\text{mol}/\text{mol}$ ,  $WUE_A 5.89 \mu\text{mol}/\text{mol}$ )。除 9:00 外, 栽培在替代基质上 *Lilium Sorbonne* 各时刻的水分利用效率也均高于常用基质。

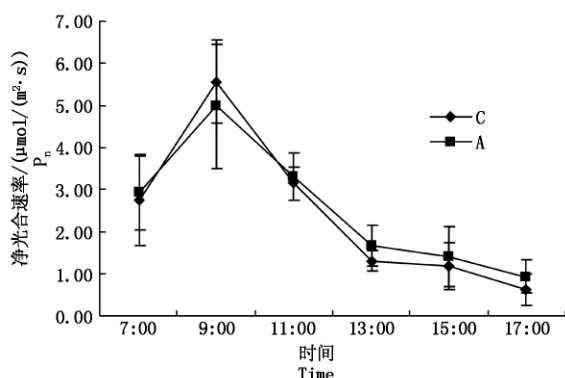


图 1 不同基质处理对百合 *Sorbonne* 叶片净光合速率日变化的影响

Fig. 1 Diurnal change of  $P_n$  of *Lilium Sorbonne* in different media

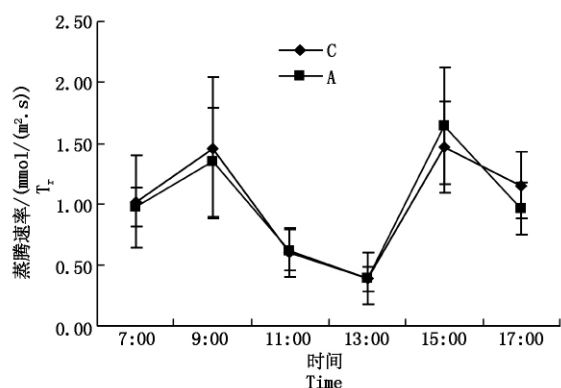


图 2 不同基质处理对百合 *Sorbonne* 叶片蒸腾速率日变化的影响

Fig. 2 Diurnal change of  $T_r$  of *Lilium Sorbonne* in different media

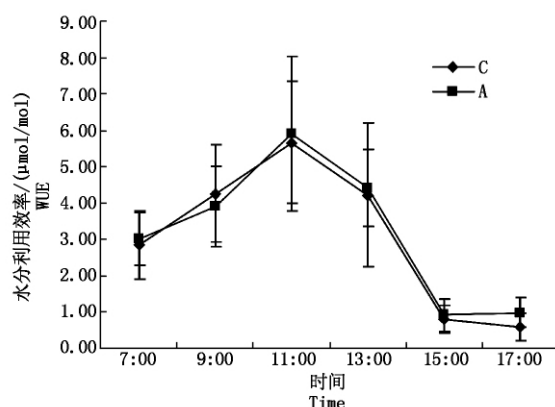


图 3 不同基质处理对百合 *Sorbonne* 叶片水分利用效率日变化的影响

Fig. 3 Diurnal change of WUE of *Lilium Sorbonne* in different media

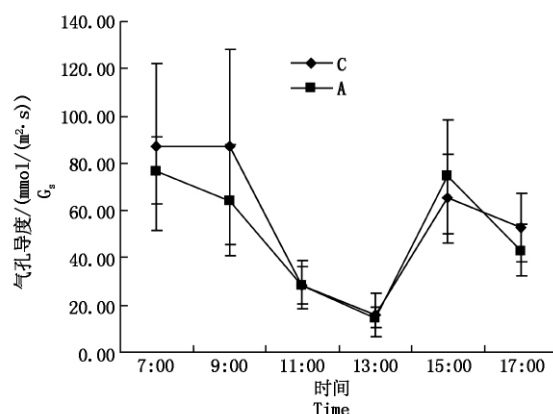


图 4 不同基质处理对百合 *Sorbonne* 叶片气孔导度日变化的影响

Fig. 4 Diurnal change of  $G_s$  of *Lilium Sorbonne* in different media

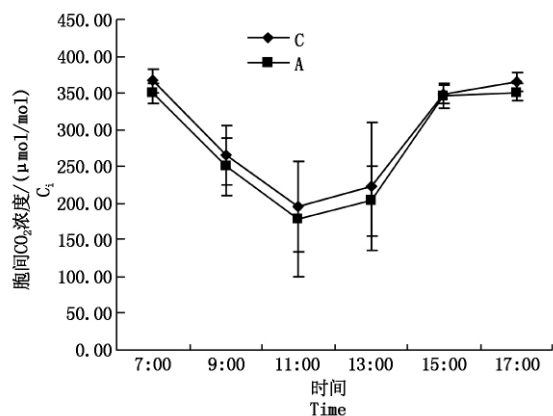


图 5 不同基质处理对百合 *Sorbonne* 叶片胞间  $\text{CO}_2$  浓度日变化的影响

Fig. 5 Diurnal change of  $C_i$  of *Lilium Sorbonne* in different media

气孔是植物体与外界气体交换的门户, 水蒸气的溢出和  $\text{CO}_2$  的扩散是通过气孔来完成的。从图 2 A~6 可以看出  $G_s$  的日变化与  $T_r$  变化曲线和  $C_i$  变化曲线紧密相关, 9:00–11:00 气孔关闭导致  $T_r$

下降和  $C_i$  降低。经过分析还发现,测量当天环境  $CO_2$  基本保持在  $400 \mu\text{mol/mol}$ ,而  $C_i$  降低,  $L_s$  增大,说明  $P_n$  的降低主要是由于气孔导度降低引起,即百合为适应高温闷湿天气,及时关闭气孔,降低水分的蒸发,致使胞间  $CO_2$  浓度降低,光合速率下降,光合产量下降。此后,尽管气孔重新打开,但是净光合速率却持续下降,并伴随  $C_i$  升高,  $L_s$  减少,说明此时光合速率的决定因素不再是气孔导度,是叶肉细胞的光合活性。

从表 1 可以看出,替代基质和常用基质中百合 Sorbonne 单位叶面积的日同化量分别为  $3.89$ 、 $3.99 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ,日蒸腾量分别为  $620.21$ 、 $629.84 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ,日水分利用效率分别为  $6.60$ 、 $6.39 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})/\text{kg}(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ,

各指标值无显著性差异。

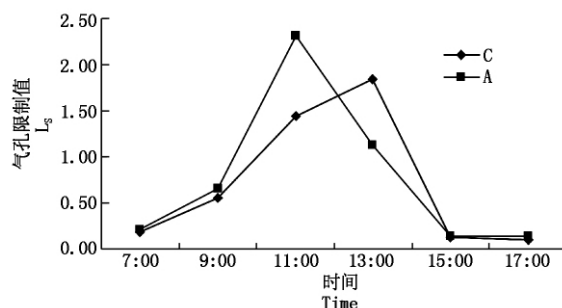


图 6 不同基质处理对百合 Sorbonne 叶片气孔限制值日变化的影响

Fig. 6 Diurnal change of  $L_s$  of *Lilium Sorbonne* in different media

表 1 不同基质处理对百合 Sorbonne 单位叶面积日累积光合参数的影响

Tab. 1 Effect of the photosynthetic parameters of unit leaf area *Lilium Sorbonne* in different media

处理 Treatments	单位面积叶片的日同化量 $/(\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})) \text{ Ad}$	单位面积叶片的日蒸腾量 $/(\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})) \text{ Trd}$	单位面积叶片的日水分利用效率 $/(\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})/\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})) \text{ WUEd}$
常用基质(C)	$3.89 \pm 0.82\text{a}$	$629.84 \pm 191.06\text{a}$	$6.39 \pm 0.93\text{a}$
替代基质(A)	$3.99 \pm 0.91\text{a}$	$620.21 \pm 141.91\text{a}$	$6.60 \pm 1.28\text{a}$
A 占 C 百分比/% A/C	102.57	98.47	103.29

注:表中数据为 9 个重复的平均值  $\pm$  标准差;邓肯氏显著性检验,不同小写字母表示同一列差异显著 ( $\alpha = 0.05$ )。

Note: Each value represents the mean of nine replicates  $\pm$  SD; Duncan's multiple tests. Different letters indicate significant difference at 0.05 levels each column.

表 2 不同基质处理对百合 Sorbonne 光响应曲线特征参数值的影响

Tab. 2 Effect of the photosynthetic parameters of light response curve *Lilium Sorbonne* in different media

处理 Treatments	表观量子效率 AQY	暗呼吸速率 $/(\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})) \text{ R}_d$	光补偿点 $/(\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})) \text{ LCP}$	光饱和点 $/(\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})) \text{ LSP}$	最大净光合速率 $/(\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})) \text{ P}_m$	模型决定系数 $R^2$
常用基质(C)	0.026 a	0.537 2 a	20.67 a	242.56 a	5.769 3 a	0.954 7
替代基质(A)	0.022 9a	0.274 7 b	12.00 b	271.71a	5.947 5 a	0.946 3
A 占 C 百分比/% A/C	88.08	51.13	58.06	112.02	103.09	99.12

注:表示中数据为 3 个重复的平均值;邓肯氏显著性检验,不同小写字母表示同一列差异显著 ( $\alpha = 0.05$ )。

Note: Each value represents the mean of three replicates; Duncan's multiple tests. Different letters indicate significant difference at 0.05 levels each column.

## 2.2 光响应参数

光响应曲线反映了植物光合速率随光照强度的变化而变化的规律。生长于 2 种基质中的 *Lilium Sorbonne* 叶片光响应曲线近似一致,从图 7 可以看出,模型拟合的结果非常好,相关系数高达 0.99。在低光强范围,随着光照强度的增加,光合速率显著增大;当光照强度增大到一定程度后,光合速率基本稳定在某一水平,达到光饱和;继续增大光强,光合速率会出现下降,光抑制发生。当光合有效辐射在  $0 \sim 200 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  范围内时,栽培于 2 种基质中 *Lilium Sorbonne* 叶片的光响应曲线近似直线性上升,此后随着光强增加  $P_n$  增加较缓慢,直到饱和点,净光合速率达最大值 ( $P_{n-\max}$ ),此后随着光强的增加,光合速率缓慢下降。在高光强时替代基质中叶片  $P_n$  变化相对于常用基质变化平缓。替代基质和常用基质

中百合叶片的光补偿点分别是  $12$ 、 $20 (\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ;光饱和点分别是  $272$ 、 $242 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ;最大净光合速率分别是  $5.95$ 、 $5.77 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ;表观量子效率分别是  $0.0229$ 、 $0.026$ ;暗呼吸速率分别为  $0.2474$ 、 $0.5372 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  (表 2)。 $G_s$  和  $T_r$  与 PAR 对应的变化趋势与光响应曲线一致 (图 8、9),仍然是替代基质的变化较常用基质的平缓,从光强为 0 开始替代基质中百合叶片的气孔张开程度就低于常用基质,蒸腾速率也低,这也说明了为什么生长于替代基质来百合的叶片在  $0 \sim 1000 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  光强范围内的水分利用效率均高于常用基质 (图 10)。 $C_i$  变化 (图 11) 与上述指标的变化相反,  $0 \sim 200 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  光强范围内,  $C_i$  急剧下降;当光强  $> 200 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  时,  $C_i$  基本保持恒定 ( $C_{iA}$   $200 \mu\text{mol/mol}$ ,  $C_{iC}$   $230 \mu\text{mol/mol}$ )。气孔限制值的变化

(图 12) 则与  $C_i$  相反, 在  $0 \sim 200 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  先增加, 而后稳定在一个水平 ( $L_{sA} 0.50$ ,  $L_{sC} 0.45$ )。

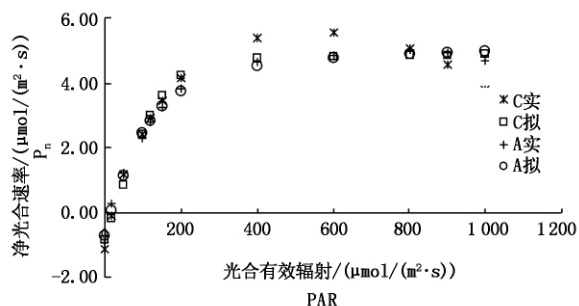


图 7 不同基质处理对百合 Sorbonne 叶片光响应曲线的影响

Fig.7 Light curve of *Lilium Sorbonne* in different media

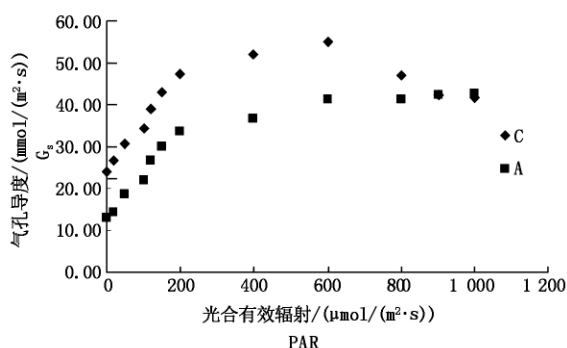


图 8 不同基质处理对百合 Sorbonne 叶片气孔导度曲线的影响

Fig.8  $G_s$  curve of *Lilium Sorbonne* in different media

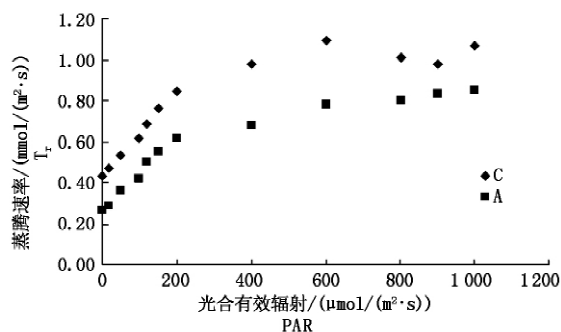


图 9 不同基质处理对百合 Sorbonne 叶片蒸腾速率曲线的影响

Fig.9  $T_r$  curve of *Lilium Sorbonne* in different media

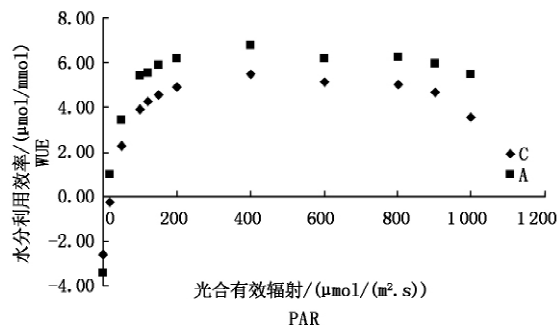


图 10 不同基质处理对百合 Sorbonne 叶片水分利用效率曲线的影响

Fig.10 WUE curve of *Lilium Sorbonne* in different media

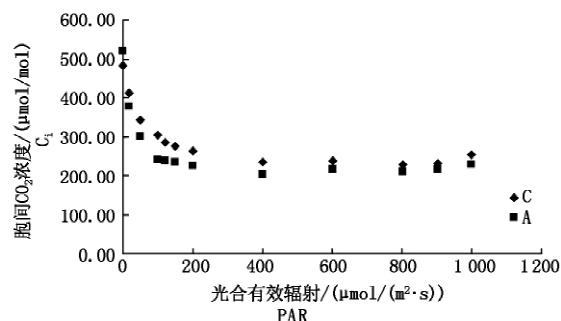


图 11 不同基质处理对百合 Sorbonne 叶片胞间  $\text{CO}_2$  曲线的影响

Fig.11  $C_i$  curve of *Lilium Sorbonne* in different media

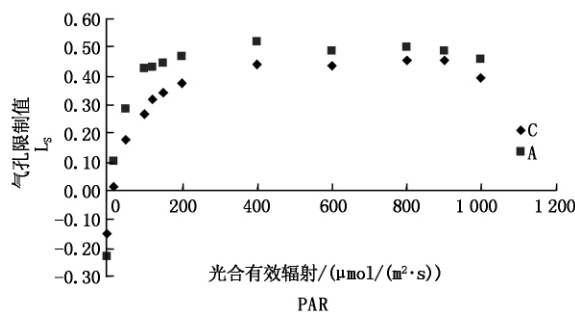


图 12 不同基质处理对百合 Sorbonne 叶片气孔限制值曲线的影响

Fig.12  $L_s$  curve of *Lilium Sorbonne* in different media

## 2.3 叶片质量参数

叶片是高等植物进行光合作用的主要器官, 叶片的面积可以反映其捕捉光的能力; 叶片生物量的积累也可以充分说明其光合生产力。同时, 叶片的光合能力也与其含氮量相关<sup>[10]</sup>。生长于替代基质和常用基质中 *Lilium Sorbonne* 花序下第 3 ~ 5 片叶子的平均面积分别为  $40.27$ 、 $41.51 \text{ cm}^2$ , 整株叶片的鲜样质量分别为  $39.86$ 、 $41.01 \text{ g}$ , 干样质量分别为  $4.41$ 、 $4.40 \text{ g}$ , 叶片含氮量是  $3.33\%$ 、 $3.38\%$ , 参数值间差异不显著(表 3)。

## 3 结论与讨论

北京地区 2008 年 6 - 7 月份大部分天气为高温、闷湿。选择种植过程中比较典型的一天, 测定叶片净光合速率日变化, 可以真实反映百合的光合特性 ( $T_{\text{leaf}}$  为  $28 \sim 34^\circ\text{C}$ , 空气相对湿度为  $45\% \sim 55\%$ )。生长在 2 种无土栽培基质中 *Lilium Sorbonne* 叶片净光合速率日变化呈现一致的单峰曲线, 且峰值在上午的早些时候 (9:00) 这是一种午睡现象<sup>[11]</sup>。通常情况, 光合速率变化与太阳辐射强度变化相符合, 植物光合的峰值出现在 11:00 或 12:00, 而本研究中的 *Lilium Sorbonne* 的  $P_n$  峰值提前到 9:00, 这是因为栽培于日光温室的切花百合在晴朗的夏日一般采用自然通风结合开启遮阳网来降

低温度,在降温的同时也减少了太阳辐射,引起光合速率的变化。这种午睡现象,是植物对环境胁迫的一种适应行为,通过在高温、高湿及低光照的情况下,植物主动关闭气孔,降低蒸腾,从而保持较高的水分利用效率。对于光合午睡的原因, Farquhar 和 Sharkey 认为当胞间  $\text{CO}_2$  浓度 ( $C_i$ ) 降低和气孔限制值 ( $L_s$ ) 增大时,光合速率的降低是由气孔导度降低引起的;如果光合速率的降低伴随  $C_i$  提高,那么光合作用的主要限制因素则是非气孔因素,即叶肉细

胞光合活性的下降<sup>[12]</sup>。9:00 ~ 11:00 *Lilium Sorbonne* 叶片的  $C_i$  降低,  $L_s$  增大,说明此阶段  $P_n$  的降低主要是由于气孔导度降低引起。而此后尽管气孔重新打开,但是净光合速率却持续下降,并伴随  $C_i$  升高,  $L_s$  减少,此时光合速率的决定因素不再是气孔导度,是叶肉细胞的光合活性。此外,光合与蒸腾速率的变化曲线出现了不同步现象,有可能与基质含水量有关,有待进一步研究。

表3 不同基质处理对百合 *Sorbonne* 叶片质量参数值的影响

Tab.3 Effect of the leaf characteristic parameters of *Lilium Sorbonne* in different media

处理 Treatments	平均叶面积/ $\text{cm}^2$ Mean leaf area	鲜质量/(g/plant) Fresh weight	干质量/(g/plant) Dry weight	叶片氮含量/% Leaf nitrogen content
常用基质(C)	41.51 ± 0.54a	41.01 ± 2.50a	4.40 ± 0.09a	3.38 ± 0.03a
替代基质(A)	40.27 ± 1.17a	39.86 ± 2.00a	4.41 ± 0.46a	3.33 ± 0.18a
A占C百分比/% A/C	97.01	97.20	100.23	98.52

生长于2种基质中 *Lilium Sorbonne* 叶片光响应曲线近似一致,伴随光照强度由0 ~ 200  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  的逐渐增加,气孔受光照的影响而逐渐张开。气孔导度不断增大,从而引起 *Lilium Sorbonne* 叶片蒸腾速率也不断上升,但叶片胞间  $\text{CO}_2$  浓度却由于气孔的张开和光合速率的增大而迅速下降。当光照强度大于200  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,  $G_s$ 、 $T_r$  和  $C_i$  的变化趋于平缓,并在光饱和点附近基本达到极值。此后随着光照继续升高,净光合速率和气孔导度一致下降。但栽培于新型替代基质中 *Lilium Sorbonne* 叶片在光强272 ~ 1 000  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  范围的  $P_n$  基本稳定在  $P_{n-\max}$  附近,而且其暗呼吸速率和光补偿点低于常用基质,光饱和点高于常用基质,说明新型基质中生长的百合 *Sorbonne* 具有较广泛的光适应性,其利用强光和弱光的能力较强。日光温室,基于其结构,内部光照不可能绝对均匀,栽培于新型替代基质中的百合利用光照的范围广,而且呼吸消耗能量少,利于其光合产物的积累,这些特点对切花的生长发育及采后品质都是有贡献的,进一步阐明了替代基质中种植百合 *Sorbonne* 综合品质优良之生理根源,因此,使用新型泥炭替代基质种植百合 *Sorbonne* 是可行的。

目前,光响应曲线拟合的方程有很多,选择拟合模型,直接影响到计算的结果。本研究选择 Farquhar 非直角双曲线模型,计算结果为替代基质和常用基质中叶片的光补偿点分别是12.20  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ;光饱和点分别是272.242  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,与常玮等<sup>[13]</sup>在云南露地栽培的周径6 ~ 9 cm 的 *Sorbonne* 的测量值基本一致,尤其是光饱和点。远低于 Sorrentino 等<sup>[14]</sup>的研究结果。但百合的光强适应性很广,尤其是对高光强与 Sorrentino 等<sup>[14]</sup>的结论相一致。

本研究结论可以用来指导北京地区种植百合的光照控制,如夏季采用日光温室种植百合,一般通过

适当遮阳来降温,减少灌溉用水量,但必需尽可能满足百合生长发育的所需的饱和光照强度,否则就会以牺牲光合产物为代价,根据本研究,光强需高于242 ~ 272  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。此外,合理的种植密度,适当的肥水供应也是必不可少的,要保证透光良好,让植株中下层叶片受光充足,至少要在光补偿点22  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  以上,避免这些叶子成为“消费”器官。

#### 参考文献:

- [1] 任爽英,刘春,冯冰,等.东方百合‘Sorbonne’无土栽培基质的研究[J].北京林业大学学报,2011,33(3):94-100.
- [2] Fischer R A, Turner N C. Plant Productivity in the Arid and Semiarid Zones[J]. Annual Review of Plant Physiology, 1978, 29: 277-317.
- [3] Berry J A, Downton W J S. Environmental regulation of photosynthesis [M]//Govindjee. Photosynthesis Vol II. New York: Academia Press, 1982: 263-343.
- [4] 郭俊荣,杨培华,谢斌,等.银杏光合与蒸腾特性的研究[J].西北植物学报,1997,17(4):505-510.
- [5] 潘会堂.北京地区月季切花生产的环境调控及理论探讨[D].北京:北京林业大学,2002.
- [6] Farquhar G D, von Caemmerer S, Berry J A. A biochemical model of photosynthetic  $\text{CO}_2$  assimilation in leaves of  $C_3$  species [J]. Planta, 1980, 149: 78-90.
- [7] 高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [8] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:上海科学技术出版社,1980.
- [9] 唐启义,冯明光. DPS 数据处理系统[M].北京:科学出版社,2007.
- [10] Evans J R. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of  $C_3$  plants [J]. Oecologia, 1989, 78: 9-19.
- [11] 许大全.光合作用效率[M].上海:上海科学技术出版社,2002.
- [12] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis [J]. Annual Review Plant Physiology, 1982, 33: 317-345.
- [13] 常玮,李树云,胡虹,等.三个东方百合品种在滇中鳞茎繁育中的光合特性[J].云南植物研究,2007,29(1):109-114.
- [14] Sorrentino G, Gerio L, Alvino A. Effect of shading and air temperature on leaf photosynthesis, fluorescence and growth in lily plants [J]. Scientia Horticulture, 1997, 69(3): 259-273.