

6 个芍药品种的光合生理特性及耐阴性分析

郝丽红,宋焕芝,于晓南*

(花卉种质创新与分子育种北京市重点实验室,国家花卉工程技术研究中心,城乡生态环境北京实验室,
北京林业大学 园林学院,北京 100083)

摘 要:芍药是观赏价值颇高的宿根花卉,在园林中可以用来充实栽培群落的下层空间。对 6 个芍药品种的耐阴性进行了综合评价,以期为城市绿化植物的选择、配置及园林景观的丰富提供试验依据。试验采用 CI-203 型激光叶面积仪、Li-6400 型便携式光合作用系统、分光光度计等,对光合速率及相关因子进行测定,并对其进行主成分分析和聚类分析,对 6 个芍药品种的耐阴性进行了综合评价。结果可分为 3 类:第 1 类为耐阴性较强的‘粉玉奴’、‘紫凤朝阳’、‘团叶红’,第 2 类为耐阴性中等的‘朱砂判’、‘大富贵’,第 3 类为耐阴性相对较弱的‘种生粉’。各芍药品种间耐阴性存在差异,应根据环境条件选择相应的品种。

关键词:芍药;叶片形态;光合特性;耐阴性

中图分类号:S682.12 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2016)01-0031-05

Photosynthetic and Physiological Characteristics and Shade Tolerance of Six Peony Cultivars

HAO Li-hong, SONG Huan-zhi, YU Xiao-nan*

(Beijing Key Laboratory of Ornamental Plants Germplasm Innovation & Molecular Breeding, National Engineering
Research Center for Floriculture, Beijing Laboratory of Urban and Rural Ecological Environment, College of
Landscape Architecture, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: Peony is a perennial root flower plant with high ornamental values. It can be used to enrich the culture community of underlayer space in the garden. In order to provide experimental basis for the selection of urban greening plant, community deployment and the landscape enrichment, the shade-tolerance of six peony cultivars was studied. Using the CI-203 laser leaf area meter, Li-6400 portable photosynthesis system, spectrophotometer, etc, the diurnal variation of photosynthetic characteristics and its relationship to the environmental factors were measured. The measured data were analyzed for principal component and cluster analysis. Shade tolerance of six peony cultivars was comprehensively evaluated. The results showed that 6 peony cultivars could be classified into three groups according shade-tolerance by hierarchical cluster analysis: cultivars of strongly shade-tolerant: ‘Fenyunu’, ‘Zifengchaoyang’, ‘Tuanyehong’; cultivars of intermediate shade-tolerance: ‘Zhushapan’, ‘Dafugui’; cultivars of low shade-tolerance: ‘Zhongshengfen’. The peony varieties were different in shade tolerance, so we should choose corresponding varieties according to environmental conditions.

Key words: peony; leaf morphology; photosynthesis characteristic; shade-tolerance

在风景园林中,芍药(*Paeonia lactiflora*)良好的观赏性和丰富的种植方式为人们创造了优美的景观,其文化意蕴加深了园林审美的层次,成为人们美好愿望的寄托^[1]。它不仅花朵硕大,姹紫嫣红,且品

收稿日期:2015-02-05 修回日期:2015-04-08
基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金(YX2014-20)。
作者简介:郝丽红,女,硕士研究生,研究方向:园林植物与观赏园艺。E-mail:haolihong1986@163.com
* 通信作者:于晓南,女,教授,硕士生导师,研究方向:园林植物栽培育种。E-mail:yuxiaonan626@126.com

种名多含吉祥之意,如‘大富贵’、‘紫凤朝阳’等^[2]。探讨芍药不同品种光合生理特性的特点,可以为不同空间的园林环境选择合适的品种提供依据。而耐阴性较强的品种,对于丰富植物群落层次,构建稳定的园林复层种植结构,具有重要意义。张燕林^[3]等研究表明,光合作用是植物生长过程中的一项重要生理进程,也就是在一定天气条件下各种生理生态因子的综合效应。目前已有学者对一些植物的光合特性^[4-6]、耐阴性^[7-9]等进行了研究,初步筛选了一些耐阴性较好的植物种类,但研究的范围还很有限。随着城市化进程的加快,由高层建筑、林地等形成的荫蔽土地不断增多^[10]。徐炳成^[11]等认为依据不同的立地条件选择不同的植物种类进行合理布局尤为重要,因此对城市绿化植物的生理特性,尤其植物耐阴性的研究势在必行。而芍药适宜在林下栽植,但对其耐阴性的研究目前尚未见报道。本研究选择常用的中国芍药品种‘大富贵’、‘粉玉奴’、‘种生粉’、‘朱砂判’、‘团叶红’和‘紫凤朝阳’作为研究对象,探究其光合生理特性,从而推测耐阴性的差异,以期芍药的园林应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料:‘大富贵’、‘粉玉奴’、‘种生粉’、‘朱砂判’、‘团叶红’、‘紫凤朝阳’6个芍药品种1年生分株苗。2010年10月12日栽植于北京市小汤山国家花卉工程中心,栽植时分株苗饱满芽个数为3~5个·株⁻¹。

1.2 试验方法

1.2.1 叶片形态特征测定 用游标卡尺测定各芍药品种的叶片厚度(LT),CI-203型激光叶面积仪测定叶面积(LA),用万分之一分析天平测定叶片鲜重(g),再置于烘箱70℃烘干至恒重,称其干重(g),计算叶片的比叶面积(SLA)和叶片含水量(LWC)。上述测定重复10次,结果取平均值和标准差。

1.2.2 光合参数测定 于2012年5月下旬至6月中旬,选择晴朗无风的上午9:00—11:00,利用Li-6400型便携式光合作用系统(LI-COR, Lincoln, USA)的自动光曲线程序来测定光合一光响应曲线。光源为Li-6400配置的红蓝光LED光源,标准叶室(2 cm×3 cm),控制CO₂浓度为400 μmol·mol⁻¹,设定光合有效辐射通量密度(PAR)依次为1 500、1 400、1 200、1 000、800、600、400、200、100、50、30、10、0 μmol·m⁻²·s⁻¹,利用Li-6400自带的“Light Curve”曲线测定3个芍药品种成熟叶片的

净光合速率(P_n, μmol·m⁻²·s⁻¹)、蒸腾速率(T_r, mmol·mol⁻¹)、气孔导度(G_s, mmol·m⁻²·s⁻¹)、胞间CO₂浓度(C_i, μmol·mol⁻¹)等光合参数,依据测定的光合一光响应曲线,计算出植物的光补偿点(LCP)、光饱和点(LSP)、最暗呼吸速率(R_d)和表观量子效率(Φ)。测定时控制叶片温度为25±1℃。

每个品种选3株生长健康、长势一致的植株,每株选南部枝条自顶端向下数第4枚复叶的中间叶为测定对象,重复3次,以平均值作为每个品种的观察值。

1.2.3 叶绿素含量测定 准确称取0.2 g新鲜叶片材料,用50%丙酮与50%乙醇的混合液提取,用分光光度计测定叶绿素含量(Chl.)。

用游标卡尺测定各芍药品种的叶片厚度(LT),用CI-203型激光叶面积仪测定叶面积(LA),摘取样品后,用分析天平测定叶片鲜重(g),然后置于烘箱70℃烘干至恒重,称干重(g),计算叶片的叶片含水量(LWC)和比叶面积(SLA)。上述测定重复次数为10~30次,结果取平均值和标准差。

1.3 数据处理

采用Excel及Spss数据分析软件进行数据统计,采用最小显著差法(LSD)对植物进行种间多重比较,采用因子分析法对各指标进行主成分分析和权重计算,依据筛选出的指标进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 6个芍药品种叶片的形态特征分析

在植物叶片形态特征中,厚度、叶面积和比叶面积是判断植物耐阴性的指标,耐阴植物具有叶片薄、叶面积大、比叶面积高和含水量高等特点^[12-14]。

由表1可见,各芍药品种叶片厚度依次为‘紫凤朝阳’<‘粉玉奴’<‘团叶红’<‘大富贵’<‘种生粉’<‘朱砂判’;SLA大小顺序依次为:‘团叶红’>‘粉玉奴’>‘紫凤朝阳’>‘大富贵’>‘朱砂判’>‘种生粉’;叶面积的大小顺序依次为:‘紫凤朝阳’>‘朱砂判’>‘大富贵’>‘团叶红’>‘种生粉’>‘粉玉奴’。将各芍药品种的含水量进行比较,可以发现,‘粉玉奴’的含水量显著高于其他芍药品种。

2.2 叶绿素含量分析

叶绿素含量及叶绿素a/b的比值也是衡量植物耐阴性的指标之一,一般来说,耐阴性强的植物叶绿素含量较高,Chl. a/b比值较低^[12-14]。研究表明,低的叶绿素a/b值有利于提高植物对远红光的吸收^[15-16],这有利于植物在低光度下吸收较多的光照以提高光合效率,这是植物对弱光照形成的一种

生理适应^[10,15-17]。

由表 2 可得,各品种间叶绿素含量存在较大差异,最高的可达 3.86。其中‘粉玉奴’的叶绿素含量较高,‘种生粉’的叶绿素含量最低,且与其他品种差异较显著,‘大富贵’、‘朱砂判’、‘紫凤朝阳’、‘团叶

红’居中。6 个品种的叶绿素 a/b 值位于 3.28~4.61 之间。‘粉玉奴’、‘团叶红’的叶绿素 a/b 值较低,表明这 2 个品种具有较强的吸收远红光的能力,而‘朱砂判’与‘大富贵’的叶绿素 a/b 值最高,说明其吸收远红光的能力较弱。

表 1 6 个芍药品种的叶片形态特征

Table 1 Leaf morphological characteristics of six peony cultivars

品种名	叶厚度/mm	叶面积/cm ²	比叶面积	含水量/%
‘粉玉奴’	0.39±0.01 cd	11.80±1.20 b	131.56±13.10 a	0.83±0.02 a
‘朱砂判’	0.56±0.08 a	22.10±4.60 a	110.50±22.95 a	0.69±0.07 b
‘大富贵’	0.44±0.07 bc	16.70±2.95 b	111.87±18.97 a	0.69±0.10 b
‘紫凤朝阳’	0.34±0.02 d	23.10±5.60 a	121.37±18.97 a	0.67±0.06 b
‘种生粉’	0.51±0.04 ab	13.10±2.70 b	109.25±29.46 a	0.67±0.04 b
‘团叶红’	0.43±0.06 bc	15.80±3.30 b	131.75±27.19 a	0.68±0.02 b

注:小写字母表示差异显著性,表 2 同。

表 2 6 个芍药品种的叶绿素含量

Table 2 Chlorophyll content of six peony cultivars

品种名	叶绿素 a/(μg·cm ⁻²)	叶绿素 b/(μg·cm ⁻²)	叶绿素(a+b)/(μg·cm ⁻²)	叶绿素 a/b 值
‘粉玉奴’	2.85±0.06 a	0.85±0.02 a	3.86±0.04 a	3.35±0.22 c
‘朱砂判’	2.49±0.04 b	0.54±0.01 b	3.15±0.03 c	4.61±0.19 a
‘大富贵’	2.53±0.03 b	0.55±0.01 b	3.21±0.02 b	4.58±0.15 a
‘紫凤朝阳’	2.19±0.01 c	0.51±0.01 c	2.81±0.01 d	4.30±0.01 b
‘种生粉’	0.84±0.01 e	0.19±0.01 e	1.06±0.01 f	4.34±0.01 b
‘团叶红’	1.55±0.02 d	0.47±0.01 d	2.10±0.01 e	3.28±0.06 c

2.3 光合参数分析

光补偿点、光饱和点、最大净光合速率是反映植物耐阴性的主要指标^[12,18],光补偿点和表观量子效

率是体现植物在弱光条件下光合作用能力的 2 项重要指标。一般来说,光补偿点越低,表观量子效率越大,植物的耐阴性越强。

表 3 6 个芍药品种的光合参数

Table 3 Photosynthetic parameters of six peony cultivars

品种名	净光合速率 /(μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	暗呼吸速率 /(μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	光补偿点 /(μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	光饱和点 /(μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	表观量子效率 /(mol·mol ⁻¹)
‘粉玉奴’	6.068	−1.360	48	534	0.029
‘朱砂判’	3.372	−1.340	33	225	0.043
‘大富贵’	4.430	−0.701	15	234	0.049
‘紫凤朝阳’	4.520	−1.240	75	570	0.017
‘种生粉’	5.830	−0.607	48	876	0.013
‘团叶红’	4.725	−1.120	45	459	0.025

由表 3 可见,6 个芍药品种的净光合速率比较低,在 3.372~6.068 μmol·m⁻²·s⁻¹ 之间,光补偿点最高的是‘紫凤朝阳’,为 75 μmol·m⁻²·s⁻¹,光补偿点依次为‘大富贵’<‘朱砂判’<‘团叶红’<‘粉玉奴’<‘种生粉’<‘紫凤朝阳’;光饱和点最高的为‘种生粉’,依次为‘种生粉’>‘紫凤朝阳’>‘粉玉奴’>‘团叶红’>‘大富贵’>‘朱砂判’;表观量子效率大小依次为‘大富贵’>‘朱砂判’>‘粉玉奴’>‘团叶红’>‘紫凤朝阳’>‘种生粉’。由此可见,植物的耐阴性判断受多种因素影响,因此不能单独依据某一指标来判断。

2.4 测定指标的主成分分析和 6 个芍药品种耐阴性的聚类分析

由以上的研究可以发现各指标直接和间接地影响着植物的耐阴性,但各指标所发挥的重要性不甚明白,因此对各影响因子进行了权重计算。

在主成分分析中,如果各变量的特征值越大,就说明了变量综合原始变量的能力越强。为了让选取的成分能够充分反映原始变量的变动,所以一般来说都要求累计贡献率不<75%^[19]。利用 SPSS.19 软件进行因子分析,得到各因子的特征值及贡献率,结果如表 4 所示。

表 4 解释的总方差
Table 4 Total variance explained

成分	初始特征值			提取平方和载入		
	合计	方差的/%	累积/%	合计	方差的/%	累积/%
1	5.848	97.460	97.460	5.848	97.460	97.460
2	0.146	2.437	99.896			
3	0.006	0.097	99.993			
4	0.000	0.006	99.999			
5	2.903E-5	0.000	100.000			
6	1.593E-6	2.654E-5	100.000			

提取方法:主成分分析。

在因子分析中,每个因子包含原始数据的信息量是贡献率来反映的,本文选取因子的累积贡献率 $\geq 95\%$ 的主成分作为初始因子。如表 4 所示,第 1 个因子的累积贡献率达到 97.46%,符合条件,能够满足因子分析用提取的因子解释整个问题的要求。为了便于叙述,本文将该主因子称为 F_1 , F_1 的权重 $W_1=1$ 。

表 5 成分得分系数矩阵
Table 5 Component score coefficient matrix

品种	成分
	1
‘粉玉奴’	0.167
‘朱砂判’	0.167
‘大富贵’	0.168
‘紫凤朝阳’	0.171
‘种生粉’	0.169
‘团叶红’	0.171

提取方法:主成分。旋转法:具有 Kaiser 标准化的正交旋转法。

表 5 给出的是主成分的得分系数矩阵,通过表中的主成分得分系数以及原始变量经过标准化的数据,可以计算出主成分得分。旋转后的因子得分表达式为:

$$F_1 = 0.167X_1^* + 0.167X_2^* + 0.168X_3^* + 0.171X_4^* + 0.169X_5^* + 0.171X_6^*$$

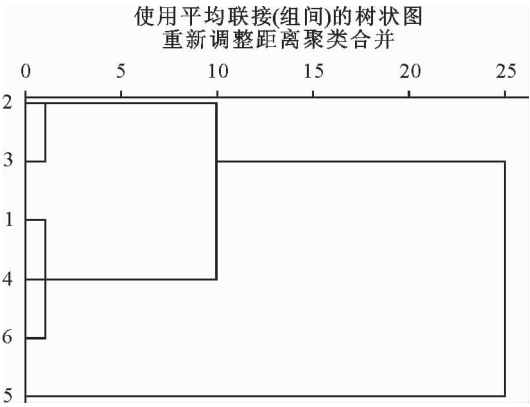
其中, X_i^* 是变量 X_i , $i=1,2\cdots 6$,通过计算可以算出芍药各性状的得分,如表 6 所示。

表 6 各芍药品种性状的综合得分
Table 6 Comprehensive score of each peony cultivars on indexes

	性状 综合得分	排名	性状 综合得分	排名
P_n	4.886 9	5	SLA	104.265 0 2
Rd	-1.075 0	13	LWC	0.713 8 9
LCP	44.679 0	3	Chl. a	2.098 3 8
LSP	490.068 0	1	Chl. b	0.524 2 10
Φ	0.030 0	12	Chl. a+b	2.728 7 7
LT	0.450 4	11	Chl. a/b	4.128 4 6
LA	17.332 7	4		

由表 6 可以看出各指标对芍药耐阴性影响的重要性,选取较为重要的 LSP 、 SLA 、 LCP 、 LA 、 P_n 、

Chl. a/b 6 个指标进行聚类分析,结果如图 1 所示,当聚合值为 10 时,6 个芍药品种可分为 3 类,‘粉玉奴’、‘紫凤朝阳’、‘团叶红’聚在一起,为第 I 类,说明其耐阴性较为相似,并且其耐阴性较强;‘朱砂判’、‘大富贵’聚在一起,为第 II 类,说明这 2 个品种的耐阴性居中,而‘种生粉’则独自列为第 III 类,其耐阴性最弱。



注:1:粉玉奴,2:朱砂判,3:大富贵,4:紫凤朝阳,5:种生粉,6:团叶红。

图 1 6 个芍药品种耐阴性的聚类分析

Fig.1 Cluster analysis on shade-tolerance of six peony cultivars

3 结论与讨论

由叶片形态特征分析可得,‘粉玉奴’、‘紫凤朝阳’、‘团叶红’的耐阴性较强,‘大富贵’、‘朱砂判’次之,‘种生粉’的耐阴性相对较弱;在叶绿素含量方面,当 Chl. a/b 比值较低时说明植物在低光度条件下也可以吸收较多的光照以提高光合效率 Chl. a/b 比值由小到大依次为:‘团叶红’、‘粉玉奴’、‘紫凤朝阳’、‘种生粉’、‘大富贵’、‘朱砂判’,说明其耐阴性亦应如此;而根据光合参数分析,当光补偿点越低时,植物的耐阴性就越强,依此判断耐阴性的强弱顺序应为:‘大富贵’ $>$ ‘朱砂判’ $>$ ‘团叶红’、‘粉玉奴’、‘种生粉’ $>$ ‘紫凤朝阳’。由此可见,根据不同的指标进行判断得出的结果不尽相同,以光合指标为例,影响光合作用的因素就有 CO_2 浓度、温

度等外界不可控条件,因此单独依据某一指标来判断是不科学的。综合上述各指标,通过主成分分析和权重计算,筛选出了影响这 6 个芍药品种耐阴性的 6 个指标进行聚类分析,结果为‘粉玉奴’、‘紫凤朝阳’、‘团叶红’的耐阴性较强,‘朱砂判’、‘大富贵’的耐阴性次之,‘种生粉’的耐阴性较弱。依据此结果,在园林绿化应用中,可根据芍药不同品种耐阴性的差异合理地进行植物配置,以达到丰富园林景观的目的。

另外,依据此试验可以发现 6 个芍药品种的光饱和点均较低,所以炎热夏季需进行遮阴防晒。这与生产实践中芍药喜侧方遮阴的状况相一致。此外,本文仅对园林中常用的 6 个芍药品种进行了耐阴性分析,至于其他品种的耐阴性,还有待进一步研究。

参考文献:

[1] 苑庆磊,于晓南.牡丹、芍药花文化与我国的风景区园林[J].北京林业大学学报:社会科学版,2011,10(3):53-57.

[2] 王历慧,郑黎文,于晓南.观赏芍药促成栽培技术与休眠解除的研究进展[J].北方园艺,2011,33(6):201-204.

WANG L H,ZHENG L W,YU X N. Research advance in technology of forcing herbaceous peony and dormancy breaking [J]. Northern Horticulture,2011,33(6):201-204. (in Chinese)

[3] 张燕林,张玉兰,戴小笠,等.宁夏红枣叶片光合参数日变化及其与环境因子的关系[J].资源与环境科学现代农业科技,2012,41(4):278-282.

ZHANG Y L,ZHANG Y L,DAI X L,*et al.* Diurnal dynamics of photosynthetic parameters in leaves of Ningxia *Zizyphus jujuba* and its relation to environmental factors [J]. The Resources and Environmental Science of Modern Agricultural Science and Technology,2012,41(4):278-282. (in Chinese)

[4] 骆绪美,郭婉琳,韩文妍.安徽 3 种黄精植物光合生理生态特性分析[J].安徽农业大学学报,2012,39(5):821-824.

[5] 王晓冰,刘建军,张士济.太白山 4 种药用植物光合生理特性研究[J].西北林学院学报,2013,28(4):6-10,79.

WANG X B,LIU J J,ZHANG S J. Photosynthetic physiological characteristics of four medicinal plants in the Taibai Mountain [J]. Journal of Northwest Forestry University,2013,28(4):6-10,79. (in Chinese)

[6] 许克福,黄成林,庄艳.酒金东瀛珊瑚光合生理特性的研究[J].安徽农业大学学报,2009,36(4):618-622.

[7] 许怡玲,遇文婧,宋小双,等.6 种玉簪耐阴性分析[J].东北林业大学学报,2012,40(11):31-34.

XU Y L,YU W J,SONG X S,*et al.* Shade tolerance in six species of *Hosta* [J]. Journal of Northeast Forestry University,2012,40(11):31-34. (in Chinese)

[8] 童开林.10 种地被植物的耐阴性与园林适应性比较[J].西北

林学院学报,2012,27(4):234-237.

TONG K L. Comparative studies on shade tolerance and adaptability to garden-environment planting of 10 ground cover plants [J]. Journal of Northwest Forestry University,2012,27(4):234-237. (in Chinese)

[9] 王旭军,吴际友,廖德志,等.长沙市 8 种常见绿化树种的耐阴性[J].东北林业大学学报,2010,38(3):14-16.

WANG X J,WU J Y,LIAO D Z,*et al.* Shade tolerance of eight common afforestation tree species in Changsha City [J]. Journal of Northeast Forestry University,2010,38(3):14-16. (in Chinese)

[10] 张春桃,朱小楼,蔡开锋,等.墓草的耐阴性研究及园林适用环境分析[J].北京林业大学学报,2010,32(4):207-212.

ZHANG C T,ZHU X L,CAI K F,*et al.* Evaluation of shade tolerance of *Carex* species available for garden-environment planting [J]. Journal of Beijing Forestry University,2010,32(4):207-212. (in Chinese)

[11] 徐炳成,山仑,李凤民.半干旱黄土丘陵区五种植物的生理生态特征比较[J].应用生态学报,2007,18(5):992-998.

XU B C,SHAN L,LI F M. Comparison of ecophysiological characteristics of five plant species in semiarid loess hillygully region [J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2007,18(5):992-998. (in Chinese)

[12] 曾小平,赵平,蔡锡安,等.25 种南亚热带植物耐阴性的初步研究[J].北京林业大学学报,2006,28(4):88-95.

ZENG X P,ZHAO P,CAI X A,*et al.* Shade-tolerance of 25 low subtropical plants [J]. Journal of Beijing Forestry University,2006,28(4):88-95. (in Chinese)

[13] KOZLOWSKI T T,PALLARDY S G. Physiology of woody plants[M]. 2nd ed. New York:Academic Press,1997.

[14] LARCHER W. Physiological plant ecology [M]. 4th ed. Berlin:Springer-Verlag,2003.

[15] 林树燕,张庆峰,陈其旭.10 种园林植物的耐阴性[J].东北林业大学学报,2007,35(7):32-34.

LIN S Y,ZHANG Q F,CHEN Q X. Shade-tolerance of ten species of garden plants [J]. Journal of Northeast Forestry University,2007,35(7):32-34. (in Chinese)

[16] GOODWIN T W. The biochemistry Carotenoids [J]. Plant, Chapman and Hall,1980(1):529.

[17] BENCKE Y. Environmental control of CO₂ assimilation and leaf conductance in *Larix decidua* Mill I A comparison of contrasting natural environments [J]. Oecologia,1981,50(1):54-61.

[18] 白伟岚,任建武,苏雪痕.八种植物耐阴性比较研究[J].北京林业大学学报,1999,21(3):49-55.

BAI W L,REN J W,SU X H. Comparative study on shade-tolerance of eight garden plants [J]. Journal of Beijing Forestry University,1999,21(3):49-55. (in Chinese)

[19] 曹荷艳,管洁,徐顺超,等.不同种系百合品种表型性状分类研究[J].中国观赏园艺研究进展,2013(8):66-73.