西北林学院学报 2020,35(4):56-60
Journal of Northwest Forestry University

doi:10.3969/j.issn.1001-7461.2020.04.10

水果兰耐阴性研究

王 庆[1,2],李 倩[1,2],刘国宇[1,2],张瑞博[1,2],李 艳[1,2*],王 玮[1,2],
杨群力[1,2],刘安成[1,2]

(1.陕西省西安植物园 陕西省植物研究所,陕西 西安 710061;2.陕西省植物资源保护与利用工程技术研究中心,陕西 西安 710061)

摘 要:以水果兰为研究材料,研究不同光照条件(全光照、遮阴30%、遮阴65%和遮阴85%)对水果兰的形态、生理指标及光合特性的影响。结果表明,随着遮阴强度的增加,水果兰的叶长、叶宽、叶面积、叶片厚度等形态指标和电导率、叶绿素等生理指标降低,叶片厚度、冠幅、叶绿素a/b、叶片最大净光合速率、光补偿点、光饱和点和暗呼吸速率等光合参数先增高后降低,在30%遮阴强度下最高。说明水果兰有一定的耐阴性,在30%遮阴强度下生长较好,遮阴度过大,水果兰生长受到抑制。

关键词:水果兰;遮阴;形态指标;生理指标;光合特性

中图分类号:S688.4　　**文献标志码:**A　　**文章编号:**1001-7461(2020)04-0056-05

Shade Tolerance of *Teucrium fruitcans*

WANG Qing[1,2],**LI Qian**[1,2],**LIU Guo-yu**[1,2],**ZHANG Rui-bo**[1,2],**LI Yan**[1,2*],**WANG Wei**[1,2],
YANG Qun-li[1,2],**LIU An-cheng**[1,2]

(1. *Xi'an Botanical Garden of Shaanxi Province*, *Institute of Botany of Shaanxi Province*, *Xi'an* 710061, *Shaanxi*, *China*;
2. *Shaanxi Engineering Research Centre for Conservation and Utilization of Botanical Resources*, *Xi'an* 710061, *Shaanxi*, *China*)

Abstract: Effects of four different shading treatments (0%, 30%, 65%, 85%) were investigated on the growth, morphology, physiological characteristics, and photosynthetic characteristics of *Teucrium fruitcans*. The results showed that morphological indicators (such as leaf length, width, area and thickness), physiological indicators (such as electrical conductivity and chlorophyll) decreased with the increase of shading intensity. Leaf thickness, crown width, chlorophyll a/b, maximum net photosynthetic rate, light compensation point, light saturation point and dark respiration rate increased first and then decreased with the increase of shading intensity, and reached their highest values under 30% shading intensity. Briefly, *T. fruitcans* had a moderate shade tolerance and grew well under 30% shading intensity.

Key words: *Teucrium fruitcans*; shading intensity; morphological characteristics; physiological characteristics; photosynthetic parameter

随着工业化和城市化进程加快,城市中逐渐增多的建筑群使城市绿地面积越来越多的处于阴蔽的环境中,光照强度强弱成为城市绿化植物面临的一大问题[1-2],因此,在城市园林绿化中,植物耐阴性的选择具有重要的作用和意义。光是植物进行光合作用的必要条件,可以调节植物生长、发育和形态建成[3-4];植物在弱光条件下其生理生化都会产生明显的变化,在不同光强下也可以通过自身调节适应外界的光强,植物适应弱光照条件的能力即为植物的耐阴性,因此,植物的耐阴性是园林植物合理配置的依据之一[5]。

水果兰(*Teucrium fruitcans*)属唇形科(Lamiaceae)石蚕属(*Teucrium*)常绿灌木,原产于地中海及西班牙地区,2004年从新西兰引入我国[6]。水果

收稿日期:2019-09-24　**修回日期:**2019-10-11
基金项目:陕西省科学院优秀青年科研项目暨青年联合创新项目(2017k-04);陕西省科学院重大专项(2017k-15);陕西省科技研发项目(2017SF-307);陕西省重点研发项目(2019NY-049)。
作者简介:王 庆。研究方向:观赏植物引种栽培与开发利用。E-mail:icely415@163.com
* **通信作者:**李 艳,研究员,研究方向:观赏植物引种繁育及园林创新利用。E-mail:5214352@126.com

兰全株银灰色,叶卵圆形,对生;小枝四棱形,全株被白色绒毛;花期 3—4 月,花淡紫色。因其与众不同的蓝灰色叶片,既适宜作深绿色植物的前景,也适合作草本花卉的背景,近年来在园林景观配置中起到重要作用,是调剂绿化环境色调的新优彩叶常绿灌木。目前关于水果兰的描述是喜光植物,但有关水果兰的具体喜光程度,是否具有一定的耐阴性鲜见报道。本研究通过对水果兰在不同光照条件下的形态、生理、光合指标进行测定,分析水果兰的耐阴性及适宜的光照范围,从而指导水果兰在园林绿化中的配置方式,为其在园林植物配置的应用及广泛推广提供依据。

1　材料与方法

1.1　材料

试验地位于陕西省西安植物园花卉种植区。试验材料为引种于上海吉祥园艺的盆栽水果兰。

1.2　方法

1.2.1　试验设计　试验于 2018 年 6 月上旬选择长势一致、无病虫害健壮植株进行田间种植,种植随机进行分组,每个种植区组种植 20 株苗。植株缓苗 20 d 后进行遮阴处理。采用不同密度的黑色遮阳网做遮阴处理,遮阴高度控制在 1.5 m,并对遮光率进行测定。共设置 3 个遮光处理和 1 个对照(CK),光照强度分别为全光照(遮光 0%)、遮光率 30%、遮光率 65%、遮光率 85%,经过 3 个月常规管理后,进行田间和实验室理化指标测定。

1.2.2　指标测定

1.2.2.1　形态指标测定　包括叶长、叶宽、叶片厚度、叶面积、覆盖率(冠幅)、比叶面积、叶片含水量。叶长、叶宽、叶片厚度用游标卡尺进行测定,叶面积用 STYM-1 叶面积仪测定,测定时随机选取 3 丛,对其枝条顶端开始计算的第 5 片叶子进行测量,每丛测定 10 片叶子。覆盖率用卷尺进行测定。测定完的叶片用万分之一天平测定叶片鲜重(g),再置于 80℃烘箱内烘干至恒重,称其干重(g),计算叶片的比叶面积(SLA)和叶片含水量(LWC),结果取平均值和标准差。

1.2.2.2　生理指标测定　叶绿素含量测定采用丙酮-乙醇混合液浸提法[7],叶片相对电导率用电导仪测定法[8]。

1.2.2.3　光合-光响应曲线测定　2018 年 10 月,使用 Li-6400 型光合仪于晴朗天气的 9:00—12:00 完成对水果兰光合指标的测定。光响应曲线测定时采用红蓝光源,光合有效辐射(PAR)设置为 1 800、1 500、1 200、1 000、800、600、400、200、100、80、50、20、0 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 共 13 个梯度,温度控制为 25℃,CO_2 浓度 400 $\mu mol \cdot mol^{-1}$,流速为 500 $\mu mol \cdot s^{-1}$,每个梯度平衡 180 s,每个测定重复 3 次。叶片净光合速率(P_n,$\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)、气孔导($G_s$,$mmol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$),胞间 CO_2 浓度(C_i,$\mu mol \cdot mmol^{-1}$)和蒸腾速率(T_r,$mmol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)由仪器直接测出。最大净光合速率($P_{max}$)采用最小二乘法按下列经验方程对光合响应曲线进行拟合得到:

$$P_n = P_{max}(1 - C0(-\alpha PAR/P_{max})) \quad (1)$$

式中,α 为弱光下光量子利用效率;$C0$ 为一度量弱光下净光合速率趋于 0 的指标。

采用以下公式计算得到光补偿点(LCP)和光饱和点(LSP)。

$$LCP = P_{max}\ln(C0)/\alpha, LSP = P_{max}\ln(100C0)/\alpha \quad (2)$$

光拟合曲线与净光和速率所在的轴相交的截距即为暗呼吸速率(Rd)。

1.2.2.4　耐阴性评价　通过主成分分析和隶属函数值法,运用公式:耐阴系数=处理测定值/对照测定值×100%,隶属函数值:

$$U(x_j) = (x_j - x_{min})/(x_{max} - x_{min}), (j = 1, 2, 3 \cdots\cdots n) \quad (3)$$

式中:x_j 表示第 j 个因子的得分值,x_{min} 表示第 j 个因子得分的最小值,x_{max} 表示第 j 个因子得分的最大值。将各隶属值进行累计平均,得出综合隶属值,进行耐阴性综合评价。

1.3　数据分析

用 Microsoft Excel 2010 对数据进行整理作图,用 SPSS Statistics 19.0 进行差异性检验和主成分分析,利用综合评价指标进行隶属函数分析,STATISTICA 软件进行曲线模拟和参数计算。

2　结果与分析

2.1　遮阴对水果兰形态特征的影响

由表 1 可知,叶长、叶宽、叶面积的形态指标随遮阴强度增加无显著变化。叶片厚度随着遮阴强度增高降低,且遮阴后叶片厚度显著低于对照;比叶面积、叶片含水量随遮阴强度增高升高,且遮阴 85%极显著高于对照和 30%遮阴;冠幅随遮阴强度的增高呈先增高后降低趋势,遮阴 65%极显著高于对照。

2.2　遮阴对水果兰叶片生理特征的影响

由表 2 可知,叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素含量及相对电导率随着遮阴强度的增高降低,且全光照和 30%遮光强度下叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素 a/b 的值显著高于 65%遮阴强度和 85%的遮阴强度,全光照下的相对电导率显著高于遮阴条件下的电导率。

表 1 不同遮阴处理下水果兰的形态特征

Table 1 Effects of different shading treatments on morphological characteristics of *Teucrium fruitcans*

遮阴处理	叶长 /cm	叶宽 /cm	叶片厚度 /mm	叶面积 /cm²	冠幅 /cm	比叶面积 /(g·cm⁻²)	叶片含水量 /%
CK	3.867aA	2.167aA	0.038aA	5.960aA	47.333bB	155.138cC	0.712bB
30%	3.533aA	2.067aA	0.024bB	4.303aA	61.000abAB	179.558cC	0.709bB
65%	3.867aA	1.900aA	0.019bB	5.397aA	73.333aA	253.236bB	0.746abA
85%	3.333aA	2.033aA	0.021bB	5.115aA	54.3333bAB	379.101aA	0.835aA

注:大写字母表示同列之间差异极显著($P<0.01$),小写字母表示同列之间差异显著($P<0.05$)。下同。

表 2 不同遮阴处理下水果兰叶片的叶绿素含量及相对电导率

Table 2 Effects of different shading treatments on chlorophyll content and relative conductivity of *T. fruitcans*

遮阴处理	叶绿素 a /(mg·g⁻¹)	叶绿素 b /(mg·g⁻¹)	总叶绿素 /(mg·g⁻¹)	叶绿素 a/b	相对电导率 /%
CK	1.914aA	0.636aA	2.5501aA	3.0107bB	0.544aA
30%	1.9080aB	0.6369aA	2.5449aA	2.9885bB	0.3112bB
65%	1.6941cC	0.4522bB	2.1464bB	3.7765aA	0.277bB
85%	1.3117cC	0.3463cC	1.6581cC	3.8564aA	0.2568bB

2.3 遮阴对水果兰光合特性的影响

采用指数模型进行 P_n-PPED 光响应曲线模拟(图 1)。由图 1 可知,水果兰对光强的响应基本与全光响应一致,各处理下净光合速率随光合有效辐射的增强而上升,在光强<600 μmol·m^{-2}·s^{-1}时,遮阴条件下的净光合速率随光合有效辐射的增强升高,光合有效辐射升高到一定程度后,即达到光饱和点后,净光合速率开始下降。

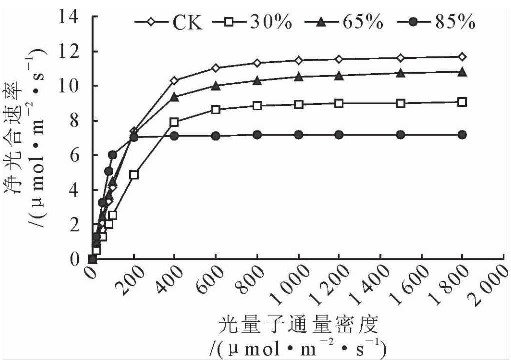

图 1 不同光强下水果兰光合作用响应曲线

Fig.1 Light-photosynthetic response curves of *T. fruitcans* under different shading treatments

表 3 统计表明,遮阴程度对水果兰最大净光合速率、光补偿点、光饱和点和暗呼吸速率和表观量子效率影响显著,光饱和点、光补偿点均随遮阴程度的增加呈现先增高而降低的趋势,在遮阴 30%处理下最高,随后降低;最大净光合速率、表观量子效率随遮阴程度的增加呈先降低后增加的趋势,表观量子效率在 30%遮阴处理下最低。

2.4 水果兰耐阴性综合评价

通过对 20 个指标的耐阴系数进行主成分分析,得出各综合指标系数及贡献率,前 3 个综合指标的贡献率分别为 63.441%、22.848%和 13.711%,累积贡献率达 100%,其余可忽略不计(表 4)。这样把原来具有相互关联的 20 个指标转换为 3 个新的相互独立的综合指标(CI),分别定义为 $C1$、$C2$、$C3$ 主成分,能够代表 20 个单项指标的绝大部分信息。根据综合指标系数和单项指标系数相对系数可以求得不同遮阴处理下水果兰的综合指标值(表 5)。D 值为水果兰在不同遮阴条件下用综合指标评价所得耐阴性指标综合评价,随着遮阴强度的增强,水果兰耐阴性降低。

表 3 不同遮阴处理下水果兰光响应参数

Table 3 Effects of different shading treatments on photosynthetic characteristics of *T. fruitcans* (μmol·m^{-2}·s^{-1})

遮阴处理	光饱和点 LSP	光补偿点 LCP	最大净光合速率 P_{max}	暗呼吸速率 Rd	表观量子效率 AQY
CK	796.742aA	22.354bAB	11.56aA	1.156abA	0.07bB
30%	858.474aA	35.3aA	8.9915bAB	1.222aA	0.05cB
65%	731.967aA	15.381bcBC	10.242abA	1.11bA	0.066bB
85%	283.726bB	2.977cC	6.28bB	1.052bB	0.103aA

3 讨论

3.1 遮阴对水果兰形态特征的影响

光是影响植物生长的重要因子,光照强度影响植物的形态特征、光合速率[9],植物生长需要适宜的光照强度,过高或过低的光照强度会限制植物的生长,不同的植物对光照强度的适应能力不同[10-12]。本研究中,随着遮阴程度的增加,水果兰叶片厚度降

表 4　各综合指标的系数及贡献率

Table 4　Coefficients and contribution of comprehensive indicators

指标	综合指标		
	C1	C2	C3
叶长	0.615	−0.024	0.788
叶宽	0.54	0.707	−0.457
叶面积	0.102	0.676	0.73
叶片厚度	0.718	0.695	0.043
叶片鲜重	−0.719	0.587	−0.373
叶片干重	0.689	0.693	0.212
比叶面积	−0.995	0.076	−0.06
叶片含水量	−0.926	−0.09	0.365
冠幅	−0.216	−0.888	0.406
总叶绿素含量	0.992	−0.125	−0.034
叶绿素 a	0.983	−0.176	0.045
叶绿素 b	0.982	−0.022	−0.188
叶绿素比值	−0.921	−0.112	0.372
电导率	0.901	−0.415	0.129
光饱和点	0.869	−0.351	−0.348
光补偿点	0.863	−0.395	−0.315
最大净光合	0.828	0.045	0.558
暗呼吸速率	−0.813	0.582	0.003
表观量子效率	0.741	0.65	0.169
特征值	12.054	4.341	2.605
贡献率%	63.441	22.848	13.711
累积贡献率%	63.441	86.289	100.00

低,差异显著,而比叶面积、叶片含水量增高,说明弱光会减小叶片厚度,比叶面积升高,含水量增高可能是光照强度减弱使叶片的结构发生变化,叶肉细胞层数减少,水果兰用有限的营养物质产生更大的面积吸收光能,来适应弱光条件。全光照条件下水果兰叶长、叶宽、叶面积最大,冠幅最低,说明水果兰生长较好,适宜强光下生长。随着遮阴强度的增强,水果兰的生长状况降低,30%遮阴率下,水果兰的各形态参数与对照无显著差异。遮阴率 65%,水果兰的冠幅最大,随后降低,且与对照和 30%遮阴率条件差异显著,说明遮阴 65%时,为水果兰适应光强的最大限度,超过 65%水果兰生长受到抑制,这与水果兰原产地光照强,水果兰喜欢强光照有关。遮阴率超过 65%以上,影响水果兰的观赏效果,因此在园林种植及应用中可对水果兰进行适当遮阴,但遮阴率不得高于 65%。

3.2　遮阴对水果兰生理指标的影响

叶绿素可以在一定程度上反映植物的光合能力的大小[13-14],叶片叶绿素含量和叶绿素 a/b 是衡量植物耐阴性的重要指标[15],叶绿素含量增加而叶绿素 a/b 下降是耐阴植物的典型特征[16],而细胞膜透性是衡量植物耐阴性的一个负指标[15]。本研究中,随着遮阴强度增高,叶绿素含量降低,而叶绿素 a/b 增高,全光照和30%遮阴强度下,叶绿素含量和叶绿 a/b 差异不显著,但显著高于 65%和 85%遮阴处理,说明水果兰不耐阴,在全光照和 30%遮阴强度下生长状况良好,耐阴强度增高其生长受到限制。水果兰的相对电导率随遮阴程度的增加呈现下降趋势,各组遮阴处理下,电导率均显著低于全光照处理,在85%的遮阴强度时相对电导率最低,说明水果兰耐阴性较低,在 85%遮阴强度时生长状况较差。

表 5　不同遮阴处理下水果兰的综合指标值、权重、隶属函数值及综合评价

Table 5　The comprehensive indicator values, indicator weight, $U(X_j)$ and comprehensive evaluation of *T. fruitcans* under different shading treatments

处理	$C1$	$C2$	$C3$	$U(X_1)$	$U(X_2)$	$U(X_3)$	D
0	3.25	2.32	0.57	1	1	0.789	1.000 7
30%	2.16	−1.76	−1.74	0.86	0	0.003	0.595
65%	−0.88	−1.75	−1.75	0.469	0.002	0	0.302 5
85%	−4.53	1.19	1.19	0	0.723	1	0.302 3
权重				0.634 41	0.228 48	0.137 11	

3.3　遮阴对水果兰光合参数的影响

光饱和点和光补偿点是测定植物耐阴性的两个重要光合生理指标,典型的耐阴植物其光饱和点和光补偿点均较低[17]。光补偿点越低,耐阴性越强,光补偿点低而光饱和点较高,则反映其有较强耐阴性又能适应光照充足环境,叶片最大净光合速率反映植物叶片的最大光合速率,表观量子效率可准确反映光合机构既能的变化,表示对弱光的利用能力[18]。耐阴植物的光补偿点<20 μmol·m^{-2}·s^{-1},光饱和点为 50～1 000 μmol·m^{-2}·s^{-1}或更低(遮阴对绣球光和特性的影响)。本研究中,水果兰的光补偿点为 2.977～35.3 μmol·m^{-2}·s^{-1},光饱和点为 283.726～858.474 μmol·m^{-2}·s^{-1},因此,水果兰为不耐阴植物,但随着遮阴强度的增强,光饱和点、光补偿点、暗呼吸速率均随遮阴程度的增加呈现先增高后降低的趋势,而最大净光合速率、表观量子效率随遮阴程度的增高呈先降低后增加的趋势,30%遮阴处理为转折点,表明水果兰在此光照强度下,其光合特性受到了限制,利用弱光的能力降低,

但随遮阴强度的增加，其光补偿点降低、表观量子效率升高，说明水果兰虽然耐阴性不强，但是其光合特性对光照强度具有一定的调节可塑性，在光强降低时具有较强和较快的适应性。

3.4 水果兰耐阴能力评价

通过对水果兰的形态指标、生理指标、光合生理指标等20个指标换算成耐阴系数进行比较分析，以D值作为耐阴性的综合评价指标，结果表明，随着遮阴强度的增强，水果兰耐阴性降低，水果兰为不耐阴植物，与前面研究分析相同。

4 结论

试验系统研究了水果兰在不同遮阴强度下对光强的适应能力，遮光后，水果兰的叶长、叶宽、叶面积、叶片厚度等形态指标和电导率、叶绿素等生理指标随着遮阴强度增强降低，叶片厚度、冠幅、叶绿素a/b、叶片最大净光合速率、光补偿点、光饱和点和暗呼吸速率等光合参数先增高后降低，在30%遮阴强度下最高。说明水果兰为喜光植物，遮阴对水果兰的生长有一定抑制作用。30%遮阴强度为水果兰的遮阴临界点，在此遮阴强度下水果兰受到光抑制可自身适应，生长良好，65%遮阴强度以上，水果兰的生长受到显著抑制，生长状况变差。因此，在园林应用中水果兰可进行适当的半阴环境下，遮阴强度不高于65%。

参考文献：

[1] 曾小平，赵平，蔡锡安，等. 25种南亚热带植物耐荫性的初步研究[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)

[2] 王云贺，韩忠明，韩梅，等. 遮阴处理对东北铁线莲生长发育和光合特性的影响[J]. 生态学报，2010，30(24)：6762-6770.
WANG Y H，HAN Z M，HAN M，*et al*. Effects of shading on the growth and photosynthetic characteristics of *Clematis manshurica* Rupr[J]. Acta Ecologica Sinica 2010，30(24)：6762-6770. (in Chinese)

[3] 王京伟，张晓飞，崇晓泽，等. 泽兰的耐荫性研究[J]. 西部林业科学，2018，47(3)：107-112.

[4] 冷寒冰，叶康，秦俊，等. 遮阴对2种地被竹光和特性的影响[J]. 西北林学院学报，2016，31(1)：65-70.
LENG H B，YE K，QIN J，*et al*. Effects of shading on photosynthetic characteristics of two dwarf bamboo species [J]. Journal of Northwest Forestry University，2016，31(1)：65-70. (in Chinese)

[5] 郭思佳，张培，赵婵璞，等. 2种委陵菜耐阴性研究[J]. 河北农业大学学报，2015，38(3)：52-58.

[6] 程天航，马玉心，陈实，等. 水果兰组织再生体系的研究[J]. 安徽农业科学，2012，40(21)：10760-10761.

[7] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京：高等教育出版社，2000：135.

[8] 陈建勋，王晓峰. 植物学生理实验指导[M]. 广州：华南理工大学出版社，2006.

[9] 杨柳，何正军，赵文吉，等. 红景天属植物生长及生理生化特征对遮阴的响应[J]. 江苏农业科学，2018，46(3)：106-111.

[10] SHAO Q，WANG H，GUO H，*et al*. Effects of shade treatments on photosynthetic characteristics，chloroplast ultrastructure，and physiology of *Anoectochilus roxburghii* [J]. PLoS One，2014，9(2)：e85996.

[11] WANG Q M，HOU F Y，DONG S X，*et al*. Effects of shading on the photosynthetic capacity，endogenous hormones and root yield in purple—fleshed sweet potato *Ipomoea batatas* (L.) Lam[J]. Plant Growth Regulation，2014，72(2)：113-122.

[12] 李彩斌，郭华春. 遮光处理对马铃薯生长的影响[J]. 西南农业学报，2015，28(5)：1932-1935.

[13] 张斌斌，姜卫兵，翁忙玲，等. 遮阴对红叶桃叶片光合生理的影响[J]. 园艺学报，2010，37(8)：1287-1294.
ZHANG B B，JIANG W B，WENG M L，*et al*. Effects of shading on photosynthetic characteristics of red-leaf peach [J]. Acta Horticulturae Sinica，2010，37(8)：1287-1294. (in Chinese)

[14] 胡肖肖，段玉侠，金荷仙，等. 4个杜鹃花品种的耐荫性[J]. 浙江农林大学学报，2018，35(1)：88-95.
HU X X，DUAN Y X，JIN H X，*et al*. shade tolerance of four *Rhododendron* cultivars [J]. Journal of Zhejiang A&F University，2018，35(1)：88-95. (in Chinese)

[15] 刘忆文，董彦娜，白靖怡，等. 加拿大美女樱的耐荫性[J]. 江苏农业学报，2017，33(6)：1438-1440.

[16] 郭玉洁，董彦娜，王琦，等. 藿香耐荫性研究[J]. 河北农业大学学报，2018，41(2)：62-66.
GUO Y J，DONG Y N，WANG Q，*et al*. Study on the shade tolerance of *Agastache rugose* [J]. Journal of Hebei Agriculture University，2018，41(2)：62-66. (in Chinese)

[17] 汪小飞，靳文文. 扇脉杓兰耐阴性的测定与分析[J]. 南京林业大学学报：自然科学版，2014，38(Supp. 1)：57-61.
WANG X F，JI W W. Determination and analysis of *Cypripedium japonicum* shade tolerance [J]. Journal of Nanjing Forestry University：Natural Sciences Edition，2014，38(Supp. 1)：57-61. (in Chinese)

[18] 王非，王凯，王竞红. 遮阴对2种铁线莲光合特性的影响[J]. 东北林业大学学报，2017，45(2)：12-16.
WANG F，WANG K，WANG J H. Effects of weak light stress on photosynthetic characteristics of two species of *Clematis*[J]. Journal of Northeast forestry University，2017，45(2)：12-16. (in Chinese)