

2 个地被菊品种对不同遮光处理的生理适应性

雷 燕^{1,2,3,4}, 李庆卫^{1,2,3,4}, 李文广⁵, 景 珊^{1,2,3,4}, 陈俊愉^{1,2,3,4}

(1. 北京林业大学 花卉种质创新与分子育种北京市重点实验室, 北京 100083; 2. 北京林业大学 国家花卉工程技术研究中心, 北京100083; 3. 北京林业大学 城乡生态环境北京实验室, 北京 100083; 4. 北京林业大学 园林学院, 北京 100083; 5. 大庆市城市管理局, 黑龙江 大庆 163311)

摘要: 为探究地被菊 *Chrysanthemum grandiflorum* 在不同遮光处理下的生理适应性, 以地被菊‘梅红’‘Meihong’‘金不换’‘Jinbuhuan’为试验材料, 通过人工搭建不同透光率(A: 25%透光率; B: 50%透光率; C: 85%透光率; ck: 全光照)的遮阳网对它们进行遮光逆境胁迫处理。结果表明: 随着遮光程度的增加, 地被菊株高、叶面积、节间长度、叶绿素质量分数和花径等呈增加趋势, 冠幅、基径、比叶质量、叶绿素 a/b 值、分枝数和成花量等呈降低趋势; 地被菊在遮光条件下的光饱和点、光补偿点及暗呼吸速率下降, 表现出它们在弱光条件下的生理适应机制; 地被菊虽是阳生植物, 但其光照生态幅较宽, 轻度遮光(85%透光率)能促进其光合效率, 减少光抑制, 促进长势, 当透光率达减少到 25%时, 仍能正常开花; 另外, 不同品种对光的适应能力存在一定的差异性, ‘金不换’对光强的生态适应范围大于‘梅红’。图 2 表 6 参 24

关键词: 园艺学; 地被菊; 遮光处理; 光合特性; 叶绿素; 比叶质量; 观赏特性

中图分类号: S628.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2015)05-0708-08

Physiological characteristics of adaptability for two ground-cover chrysanthemum cultivars with shading

LEI Yan^{1,2,3,4}, LI Qingwei^{1,2,3,4}, LI Wenguang⁵, JING Shan^{1,2,3,4}, CHEN Junyu^{1,2,3,4}

(1. Beijing Key Laboratory of Ornamental Plants Germplasm Innovation & Molecular Breeding, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. National Engineering Research Center for Floriculture, Beijing Forestry University, Beijing, 100083 China; 3. Beijing Laboratory of Urban and Rural Ecological Environment, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 4. School of Landscape Architecture, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 5. Daqing City Administrative Bureau, Daqing 163311, Heilongjiang, China)

Abstract: To determine the physiological adaption of two shade-tolerant, ground-cover *Chrysanthemum grandiflorum* cultivars, a greenhouse experiment was conducted with four shading treatments (transmittance of 25%, 50%, 85%, and 100%) with *C. grandiflorum* ‘Jinbuhuan’ and *C. grandiflorum* ‘Meihong’. Light response curve for each plant were measured by LI-6400. For each treatment, three leaves (i.e. three replicates) were selected and alternatively. Results showed that with increased shading, the plant height, leaf area, flower diameter, internode length, and total chlorophyll content (chlorophyll a + b) of the *C. grandiflorum* cultivars increased significantly ($P < 0.05$); whereas, crown width, stem diameter, specific leaf weight (SLW), ratio of chlorophyll a to chlorophyll b (chlorophyll a/b), number of flowers, and number of branches decreased ($P < 0.05$). Photosynthetic light compensation point (LCP), photosynthetic light saturation point (LSP), and dark respiration rate (Rd) also decreased ($P < 0.05$) as physiological adaptability to light decreased. Moderate shading (85% transmittance) improved photosynthetic capacity and reduced photo inhibition; even with 25% trans-

收稿日期: 2014-12-02; 修回日期: 2015-03-06

基金项目: 国家林业局资助项目(2015-LY-231)

作者简介: 雷燕, 从事园林植物与观赏园艺研究。E-mail: 736053642@qq.com。通信作者: 李庆卫, 副教授, 从事园林植物种质资源遗传与育种等研究。E-mail: lqw6809@bjfu.edu.cn

mittance, normal flowering occurred. However, physiological adaption of cultivars varied according to the range of ecological adaptation to light intensity with *C. grandiflorum* 'Jinbuhuan' being broader than *C. grandiflorum* 'Meihong'. [Ch, 2 fig. 6 tab. 24 ref.]

Key words: horticulture; *Chrysanthemum grandiflorum*; shading treatments; photosynthetic characteristics; chlorophyll; specific leaf weight; ornamental characteristics

地被菊 *Chrysanthemum grandiflorum* 为菊科 Compositae 菊属 *Dendranthema* 多年生宿根草本花卉, 是陈俊愉院士及其带领的团队, 利用中国优良的野生菊花资源反复进行杂交而选育出的极具园林应用价值的菊花新品种群。地被菊具有植株低矮、株型紧凑、花色丰富、花朵繁多、花期长、抗逆性强、耐粗放管理等特点^[1-2], 适于在广场、街道、公园、风景区、居民区等各类绿地中应用, 是城市园林绿化的优良地被植物^[3]。地被菊作为优良的观花地被植物, 在维持城市生态平衡、丰富城市绿化景观等方面可发挥重要的作用。目前, 对地被菊的研究多集中在育种、栽培、抗寒、抗旱、耐盐碱以及耐湿热等方面^[3-5], 而光照对地被菊产生的影响却鲜有人研究。随着城市化进程的加快, 绿地面积逐渐减少, 由高层建筑、立交桥、林地等形成的荫地、半荫地面积不断增加, 造成了大量的荫地生态环境。光照作为影响植物光合作用最主要的生态因子, 是影响园林植物配置的主要因素^[6-7], 地被菊对光照条件的适应能力决定了它们在园林绿化中的应用形式。因此, 本研究通过对地被菊进行人工遮光处理, 了解不同光照条件对地被菊光合特性及观赏特性的影响, 为地被菊作为林下观花地被植物提供科学的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于北京林业大学园林学院梅菊圃, 地处 39°23'~41°05'N, 115°20'~117°32'E。砂质壤土。年平均气温为 12℃左右, 平均年积温(平均气温大于 0℃的积温)在 4 500℃以上。无霜期较长, 为 180~200 d。日照充足, 日照时数平均为 2 600~2 700 h。年降水量只有 600 mm 左右, 年平均相对湿度为 54%。由于受季风影响, 降水大多集中在夏季, 占全年降水量的 70%以上, 而春冬 2 季降水最少, 仅占 11%左右。

1.2 试验材料及处理方法

2014 年 3 月 10 日选取生长健壮、整齐一致的地被菊品种 '金不换' *Chrysanthemum grandiflorum* 'Jinbuhuan' 及 '梅红' *Chrysanthemum grandiflorum* 'Meihong' 插穗, 于洁净的河沙插床上进行扦插育苗。5 月 10 日, 将已经生根的扦插苗移栽至练苗区进行练苗 30 d。6 月 10 日, 各选取 60 株·种⁻¹长势一致、生长健壮的扦插苗定植于大田中, 缓苗 1 周后, 选用不同透光率的遮阳网进行遮光处理: 处理 A (25%透光率)、处理 B (50%透光率)、处理 C (85%透光率)、对照 ck (全光照)。采用完全随机区组设计, 5 株·处理⁻¹, 重复 3 次, 60 d 后对各项指标进行测定。

1.3 测定项目与方法

遮光处理 60 d 后, 用卷尺测定植株株高、冠幅, 用游标卡尺测定基径、节间长度^[8]; 用扫描仪扫描叶片, AutoCAD 软件测定叶长、叶宽、叶面积; 使用打孔器 ($d=0.6$ cm) 钻取叶片, 测定叶片单位面积干质量、鲜质量及含水量^[9]; 利用美国 LI-COR 公司产的 LI-6400 型便携式光合仪测定光响应曲线, 测定试验植株不同处理下成熟叶片的净光合速率 (P_n , $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), 蒸腾速率 (T_r , $\text{mmol}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$), 气孔导度 (G_s , $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), 胞间二氧化碳摩尔分数 (C_i , $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$) 等光合参数, 计算出植株的光补偿点 (P_{LCP}), 光饱和点 (P_{LSP}), 最大净光合速率 (P_{max}), 暗呼吸速率 (R_d) 和最大表观量子效率 (Φ); 运用 UV-3300 分光光度计, 采用 Lichtenthaler^[9]法测定叶绿素质量分数。10 月上旬盛花期, 观察花的形态特征, 用游标卡尺测量花径, 11 月中下旬 95% 的花枯萎后, 采摘, 计算成花量及分枝数。

1.4 数据统计与分析

采用 SPSS 20.0 和 Excel 软件进行数据分析; 采用 Duncan 法进行方差分析; 运用 Farquhar^[10]模型对光合曲线进行拟合。

2 结果与分析

2.1 遮光对地被菊形态特征的影响

2.1.1 遮光对地被菊株高、冠幅、基径、节间长度的影响 由表1可知:60 d的遮光处理对植株的株高、冠幅、基径、节间长度等方面均产生了显著的影响。在透光率85%条件下,2个品种株高达到最大值,其次是透光率25%条件下,然后是透光率50%条件下,全光照下植株最矮,各处理组间差异显著。‘梅红’冠幅随着遮光程度的增加逐渐减小,在全光照条件下达到最大值47.33 cm,透光率25%条件下冠幅最小29.33 cm,各处理组差异显著。‘金不换’在透光率85%条件下冠幅最大34.33 cm,比全光照条件下增加了21.18%。‘梅红’在全光照条件下有最大茎粗9.97 mm,而‘金不换’在透光率85%条件下有最大基径,为7.52 mm,比全光照条件下增加了14.81%。节间长度随着遮光程度的增加逐渐加长。可见,弱光有利于茎的延长生长。植物为获取足够阳光,会大大增加基径生长速度以使新生叶片尽快达到林木顶层,从而引起节间明显延长^[1],这与前人研究结果一致。在透光率25%的弱光环境下,植物株高增加,同时基径变细,冠幅减小,节间变长,植株变得细弱,一定程度上影响了其生长势。

表1 遮光处理对地被菊植株形态的影响

Table 1 Effects of shading on plant morphologies of *Chrysanthemum grandiflorum*

品种	处理	株高/cm	冠幅/cm	基径/mm	节间长度/mm
‘金不换’	25%透光率	24.00 ± 1.00 b	15.67 ± 0.58 d	3.84 ± 0.09 d	12.36 ± 0.87 a
	50%透光率	21.67 ± 1.16 c	22.33 ± 0.58 c	4.42 ± 0.03 c	9.67 ± 1.51 b
	75%透光率	30.00 ± 2.00 a	34.33 ± 0.58 a	7.52 ± 0.12 a	7.78 ± 0.38 c
	全光照 ck	21.00 ± 1.00 c	28.33 ± 0.58 b	6.56 ± 0.02 b	6.88 ± 0.65 c
‘梅红’	25%透光率	28.00 ± 2.00 b	29.33 ± 1.16 d	5.22 ± 0.12 d	11.98 ± 0.26 a
	50%透光率	25.00 ± 1.00 c	34.67 ± 2.52 c	6.75 ± 0.11 c	9.58 ± 0.35 b
	75%透光率	31.00 ± 1.00 a	38.67 ± 2.31 b	8.06 ± 0.21 b	8.12 ± 0.19 c
	全光照 ck	20.67 ± 0.58 d	47.33 ± 2.51 a	9.97 ± 0.17 a	8.12 ± 0.19 c

说明:同列不同小写字母表示光照处理之间在0.05水平上存在显著性差异($P < 0.05$)。

2.1.2 遮光对地被菊叶厚、叶长、叶宽及叶面积的影响 由表2可知:经遮光处理后,叶厚、叶长、叶宽、叶面积等差异显著,表现出一定的规律性。具体表现为叶片厚度随着遮光程度的增加而呈下降趋势;叶长、叶宽及叶面积随着遮光程度的增加而呈上升趋势,不同处理间差异显著。其中叶面积由全光照到透光率85%条件下,由透光率85%到透光率50%条件下,由透光率50%到透光率25%条件下的增幅分别为‘梅红’:13.66%,26.54%,57.21%;‘金不换’:30.53%,32.72%,25.58%。由此可推断,在遮光条件下,地被菊通过增加单位生物量的叶面积来捕获足够的光能提供给植株进行光合作用,制造出能满足生命活动所需要的有机物,以适应弱光环境。

2.1.3 遮光对地被菊分枝数、成花量以及花径的影响 地被菊的分枝数及成花量受光照条件影响显著

表2 遮光处理对地被菊叶片特征的影响

Table 2 Effects of shading on leaf characteristics of *Chrysanthemum grandiflorum*

品种	处理	叶厚/ μm	叶面积/ cm^2	叶长/mm	叶宽/mm
‘金不换’	25%透光率	240.00 ± 10.00 c	30.00 ± 0.99 a	100.91 ± 3.68 a	56.82 ± 1.31 a
	50%透光率	256.67 ± 15.28 c	23.89 ± 0.69 b	92.99 ± 2.29 b	51.68 ± 0.77 b
	75%透光率	310.00 ± 10.00 b	18.00 ± 0.85 c	73.50 ± 1.50 c	44.82 ± 1.10 c
	全光照 ck	403.33 ± 28.87 a	13.79 ± 0.59 d	64.98 ± 0.86 d	42.58 ± 0.42 d
‘梅红’	25%透光率	230.00 ± 10.00 d	22.34 ± 0.52 a	79.22 ± 0.13 a	53.10 ± 0.75 a
	50%透光率	263.33 ± 5.77 c	14.21 ± 0.54 b	63.68 ± 1.41 b	42.07 ± 1.78 b
	75%透光率	300.00 ± 10.00 b	11.23 ± 0.33 c	58.78 ± 0.45 c	36.59 ± 0.20 c
	全光照 ck	343.33 ± 20.82 a	9.88 ± 0.21 d	51.00 ± 0.26 d	34.65 ± 0.38 d

说明:同列不同小写字母表示光照处理之间在0.05水平上存在显著性差异($P < 0.05$)。

(表 3)。分枝数随着遮光程度的增加呈下降趋势。成花量变化趋势与分枝数一致。遮光对花径产生了一定的影响, 随着遮光程度的增加, 花径有所增加。

表 3 遮光处理对地被菊枝条及花的影响

Table 3 Effects of shading on branches and flowers of *Chrysanthemum grandiflorum*

品种	处理	分枝数	成花量	花径/mm
‘金不换’	25%透光率	5.0 ± 1.0 d	29.0 ± 3.0 d	41.21 ± 1.15 a
	50%透光率	9.7 ± 0.6 c	42.7 ± 0.6 c	41.75 ± 1.75 a
	75%透光率	24.0 ± 1.0 b	147.3 ± 5.5 b	40.48 ± 0.99 b
	全光照 ck	34.7 ± 2.5 a	181.7 ± 4.5 a	37.79 ± 0.41 c
‘梅红’	25%透光率	8.0 ± 1.0 d	104.0 ± 7.9 d	39.62 ± 1.61 a
	50%透光率	16.7 ± 0.6 c	186.7 ± 7.5 c	38.31 ± 0.71 b
	75%透光率	27.7 ± 1.2 b	354.0 ± 9.0 b	38.98 ± 1.26 b
	全光照 ck	37.3 ± 1.5 a	447.3 ± 8.5 a	37.60 ± 1.74 c

说明: 同列不同小写字母表示光照处理之间在 0.05 水平上存在显著性差异 ($P < 0.05$)。

2.2 遮光对地被菊比叶质量、单位面积鲜质量及单位面积含水量的影响

比叶质量是衡量植物叶片光合特性的一个重要参数, 可以反映植物叶片在不同的光环境中同化产物量的变化情况^[12]。由表 4 可知: 经遮光处理后, 地被菊的比叶质量、单位面积鲜质量、单位面积含水量差异显著, 三者变化趋势一致, 即随着遮光程度的增加, 比叶质量、单位面积鲜质量及单位面积含水量逐渐降低。

表 4 遮光处理对地被菊叶片质量的影响

Table 4 Effects of shading on leaf weight of *Chrysanthemum grandiflorum*

品种	处理	比叶质量/(mg·cm ⁻²)	单位面积鲜质量/(mg·cm ⁻²)	单位面积含水量/(mg·cm ⁻²)
‘金不换’	25%透光率	2.90 ± 0.01 d	26.57 ± 0.19 d	23.66 ± 0.18 d
	50%透光率	3.41 ± 0.01 c	29.34 ± 0.11 c	25.93 ± 0.10 c
	75%透光率	3.54 ± 0.03 b	32.25 ± 0.30 b	28.71 ± 0.27 b
	全光照 ck	4.07 ± 0.05 a	35.75 ± 0.11 a	31.82 ± 0.10 a
‘梅红’	25%透光率	2.45 ± 0.03 d	24.66 ± 0.28 d	22.21 ± 0.25 c
	50%透光率	2.81 ± 0.03 c	25.55 ± 0.32 c	22.74 ± 0.33 c
	75%透光率	3.36 ± 0.03 b	30.08 ± 0.32 b	26.72 ± 0.28 b
	全光照 ck	3.90 ± 0.03 a	32.63 ± 0.31 a	28.73 ± 0.28 a

说明: 同列不同小写字母表示光照处理之间在 0.05 水平上存在显著性差异 ($P < 0.05$)。

2.3 遮光对地被菊叶绿素质量分数的影响

经遮光处理后, 地被菊叶片色素质量分数差异显著(表 5)。叶绿素质量分数在遮光处理下明显高于

表 5 遮光处理对地被菊叶绿素质量分数的影响

Table 5 Effects of shading on chlorophyll contents of *Chrysanthemum grandiflorum*

品种	处理	叶绿素 a/(mg·g ⁻¹)	叶绿素 b/(mg·g ⁻¹)	叶绿素总量/(mg·g ⁻¹)	类胡萝卜素/(mg·g ⁻¹)	叶绿素 a/b
‘金不换’	25%透光率	1.226 ± 0.007 a	0.533 ± 0.005 a	1.759 ± 0.012 a	0.244 ± 0.001 a	2.301 ± 0.013 c
	50%透光率	1.193 ± 0.008 b	0.504 ± 0.011 b	1.698 ± 0.012 b	0.231 ± 0.008 b	2.367 ± 0.057 c
	75%透光率	1.138 ± 0.011 c	0.449 ± 0.015 c	1.587 ± 0.026 c	0.223 ± 0.007 bc	2.536 ± 0.057 b
	全光照 ck	1.069 ± 0.010 d	0.406 ± 0.010 d	1.475 ± 0.020 d	0.216 ± 0.006 c	2.633 ± 0.038 a
‘梅红’	25%透光率	1.182 ± 0.008 a	0.457 ± 0.007 a	1.639 ± 0.011 a	0.262 ± 0.006 a	2.587 ± 0.039 d
	50%透光率	1.138 ± 0.006 b	0.403 ± 0.009 b	1.541 ± 0.011 b	0.251 ± 0.003 b	2.826 ± 0.065 c
	75%透光率	1.089 ± 0.005 c	0.361 ± 0.004 c	1.450 ± 0.009 c	0.237 ± 0.006 c	3.016 ± 0.021 b
	全光照 ck	1.048 ± 0.006 d	0.324 ± 0.006 d	1.372 ± 0.011 d	0.219 ± 0.002 d	3.237 ± 0.055 a

说明: 同列不同小写字母表示光照处理之间在 0.05 水平上存在显著性差异 ($P < 0.05$)。

对照组。具体表现为：叶绿素 a、叶绿素 b 及叶绿素总量随着遮光程度的增加逐渐增加；叶绿素 a/b 值在叶绿素总量增加的情况下逐渐减小。这说明了叶绿素 b 的增加幅度比叶绿素 a 大，这是植物对弱光环境表现出的生态适应，保证植物在弱光环境中能更好地利用散射光，从而提高植株的光能利用率；类胡萝卜素含量随着遮光程度的增加明显增加。由此可知：遮光处理在一定程度上提高了地被菊叶片叶绿素 a，叶绿素 b，叶绿素总量和类胡萝卜素的质量分数，降低了叶绿素 a/b 值，来适应弱光环境。

2.4 遮光对地被菊光合特性的影响

从图 1 和图 2 可以看出：当光合有效辐射 R_{PAR} 在 $800.000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 以内时，地被菊叶片净光合速率 P_n 随 R_{PAR} 的增加迅速升高；当 R_{PAR} 达到 $800.000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 后， P_n 增加缓慢，但当 R_{PAR} 超过一定范围后，植株叶片 P_n 增速几乎维持不变，此时叶片光合速率已达到饱和现象。由表 6 可知：经遮光处理后，地被菊光补偿点、光饱和点、最大净光合速率、最大表观量子效率、暗呼吸速率均差异显著。‘金不换’在全光照条件下，光饱和点达到最大值 $2\ 046.663 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，显著大于其他 3 组处理下植株的光饱和点，即随着遮光程度的增加，光饱和点不同程度的降低，其中，在透光率 85% 条件下下降至 $1\ 869.030 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，透光率 50% 条件下下降至 $1\ 717.083 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，透光率 25% 条件下下降至 $1\ 645.373 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ；‘梅红’在透光率 85% 条件下光饱和点最大，为 $2\ 003.080 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，明显高于全光照条件下的光饱和点 $1\ 732.587 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，其他几个处理下，光饱和点随着遮光程度的增加而逐渐减低。透光率 50% 条件下为 $1\ 694.603 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，透光率 25% 条件下为 $1\ 293.443 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

光补偿点、最大净光合速率、暗呼吸速率变化趋势与光饱和点变化趋势一致。植物光补偿点越低，植物对弱光环境的适应能力越强^[13]。经遮光处理后，地被菊叶片光补偿点、暗呼吸速率及最大净光合速率较对照组均有不同程度的降低，与对照组差异显著；‘梅红’最大净光合速率在透光率 85% 条件下有最大值 $29.593 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，比全光照条件下显著提高了 18.84%，透光率 50% 条件下最大净光合速率与全光照条件下差异不显著，分别为 $24.248 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $24.901 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，透光率 25% 条件下较全光照条件下显著降低，为 $18.616 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

最大表观量子效率 (Φ) 是叶片光能利用率的一个重要指标，反映了植物在弱光条件下对光的利用能力^[14]。一般情况下，耐荫植物的最大表观量子效率在弱光环境中有所增加，以提高光能利用效率。从表 6 可知：地被菊在全光照条件下具有最大表观量子效率，随着遮光程度的增加，最大表观量子效率并没有出现递增的现象，由此可推断：地被菊对光照的适应性表现为喜阳。在全光照及透光率 85% 条件下，地被菊对光照强度的利用能力显著高于透光率 25% 及透光率 50% 条件下，即当遮光程度较高时，地被菊不能很好地利用光能效率，影响了其生长势。

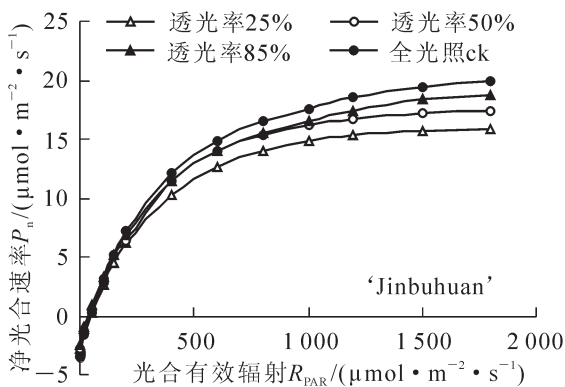


图 1 地被菊‘金不换’光响应曲线

Figure 1 Net photosynthetic rate-light response curves in leaves of ‘Jinbuhuan’

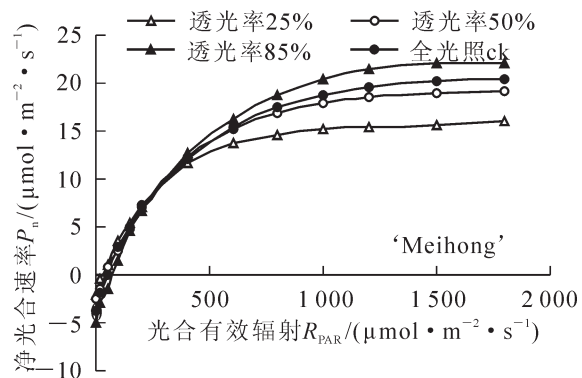


图 2 地被菊‘梅红’光响应曲线

Figure 2 Net photosynthetic rate-light response curves in leaves of ‘Meihong’

3 讨论与结论

光环境是影响植物生长发育最重要的环境因子。随着光环境的变化，植物能够在形态和生理方面发生可塑性响应来适应变化的光环境^[15]。从试验结果与分析中可知，地被菊的形态特征、比叶质量、色素

表 6 遮光处理对地被菊光合—光响应参数的影响

Table 6 Effects of shading on photosynthetic parameters of *Chrysanthemum grandiflorum*

品种	处理	光补偿点 P_{Lc} / ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	光饱和点 P_{Is} / ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	最大净光合速 P_{max} / ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	最大表观量子效率 Φ	光下呼吸速率 R_d / ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
‘金不换’	25%透光率	28.610 ± 0.459 d	1 645.373 ± 41.987 d	17.247 ± 0.683 d	0.070 ± 0.010 b	2.639 ± 0.003 b
	50%透光率	32.910 ± 0.757 c	1 717.083 ± 6.713 c	20.907 ± 0.676 c	0.061 ± 0.002 c	2.424 ± 0.151 c
	75%透光率	35.583 ± 0.406 b	1 869.030 ± 23.757 b	23.443 ± 1.209 b	0.065 ± 0.002 bc	2.285 ± 0.005 c
	全光照 ck	38.903 ± 0.309 a	2 046.663 ± 44.597 a	26.120 ± 0.887 a	0.076 ± 0.001 a	3.340 ± 0.010 a
‘梅红’	25%透光率	27.673 ± 1.105 d	1 293.443 ± 13.699 c	18.616 ± 0.204 c	0.059 ± 0.001 c	1.808 ± 0.054 d
	50%透光率	35.417 ± 0.519 c	1 694.603 ± 33.238 b	24.248 ± 1.044 b	0.051 ± 0.002 d	2.467 ± 0.015 c
	75%透光率	61.460 ± 0.973 a	2 003.080 ± 8.640 a	29.593 ± 0.878 a	0.071 ± 0.002 b	4.771 ± 0.010 a
	全光照 ck	43.273 ± 0.343 b	1 732.587 ± 25.067 b	24.901 ± 0.398 b	0.076 ± 0.002 a	3.445 ± 0.015 b

说明: 同列不同小写字母表示光照处理之间在 0.05 水平上存在显著性差异 ($P < 0.05$)。

质量分数及各项光合指标经遮光处理后, 差异显著。经遮光处理后, 地被菊株高增加, 基径变细, 节间变长, 分枝数减少, 成花量降低; 叶面积、叶长、叶宽随着遮光程度的增加逐渐增加, 叶片变薄, 比叶质量降低, 叶绿素质量分数增加, 光饱和点和光补偿点下降, 暗呼吸速率降低等, 与赵大球等^[16]、蔡志全等^[17]研究结果一致, 体现了其通过增加光的捕获能力, 降低呼吸消耗, 保证植株碳水化合物正向积累的弱光适应机制。这是地被菊在弱光环境下表现出的生态适应。

光是植物光合作用的原动力, 光照强度的改变会引起植物生长环境的其他因子的变化, 如温度、水分等^[18]。适度的遮光处理可以在一定程度上缓解水分亏缺及强烈的太阳辐射等胁迫因子的副作用, 从而提高净光合速率^[19]。本研究结果表明: 适度的遮光(85%透光率)会显著提高地被菊的净光合速率和潜在光合能力, 主要是由于全光照条件下, 过强的光辐射超出了地被菊叶片光能利用的范围, 导致其光合机构受损, 光合功能下降^{[20][21]}。轻度遮光(85%透光率)能促进其光合效率, 减少光抑制, 促进其生长势。而光照过弱(25%透光率)时, 地被菊净光合速率显著降低, 即在重度遮光(5%透光率)条件下, 光合作用受抑制。随着遮光程度的增加, 地被菊的分枝数及成花量显著降低, 花径却不同程度的增大。原因可能是, 在弱光环境中, 花芽分化率降低, 成花量减少, 每朵花能获取足够的营养物质, 促使花径变大。由此可推测, 随着遮光程度的增加, 成花量减少, 在一定程度上有助于花径的增大。

光饱和点和光补偿点的高低直接反映了植物对弱光利用的能力, 是植物耐荫性评价的重要指标^[22]。一般光补偿点低且光饱和点高的植物能适应多种光环境^[23]。本研究表明: 地被菊‘金不换’和‘梅红’的光饱和点及光补偿点均较高, 这说明地被菊对强光的利用能力较强, 具有典型的阳生植物特征^[24]。同时, 随着光照强度的减弱, 光饱和点及光补偿点降低, 这是地被菊对弱光环境的生理响应和适应。光饱和点高且光补偿点低的植物对光强的生态适应范围较大。通过拟合 2 个地被菊品种的光补偿点及光饱和点, ‘金不换’光饱和点为 1 645.373~2 046.663 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 光补偿点为 28.610~38.903 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, ‘梅红’光饱和点为 1 293.443~2 003.080 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 光补偿点为 27.673~61.460 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。可见, ‘金不换’对光强的生态适应范围大于‘梅红’。

综上所述, 地被菊虽为阳生植物, 但其光照生态幅度较宽。在弱光环境下, 地被菊会在形态及生理方面做出相应的适应, 维持正常的生命活动。在透光率 85%条件下, 部分品种的净光合速率及光合能力有所提高; 透光率 50%条件下, 各项形态指标虽有所下降, 但长势良好; 透光率 25%条件下, 则严重抑制了地被菊的光合作用, 植株徒长, 茎干细弱, 分枝数及成花量显著降低, 但对花的质量影响不大, 仍有一定的观赏价值。因此, 地被菊在园林应用中既可以栽植在阳光充足处, 也可以栽植在稀疏的乔木下方或者林冠线边缘。另外, 本试验研究的 2 个地被菊品种‘金不换’和‘梅红’经遮光处理后, 各项测定指标变化趋势大致相似, 但还是存在一定的差异性。地被菊品种繁多, 各品种对弱光环境的适应能力存在一定的差异, 因此, 有必要进一步进行多品种间的耐荫性比较试验, 挑选出较耐荫品种, 以丰富耐荫地被观花植物种类。

4 参考文献

- [1] 陈俊愉, 崔娇鹏. 地被菊培育与造景[M]. 北京: 中国林业出版社, 2006.
- [2] 王彭伟, 陈俊愉. 地被菊新品种选育研究[J]. 园艺学报, 1990, **17**(3): 223 - 228.
WANG Pengwei, CHEN Junyu. Studies on breeding ground-cover chrysanthemum new cultivars [J]. *Acta Horti Sin*, 1990, **17**(3): 223 - 228.
- [3] 时丽冉, 赵炳春, 白丽荣, 等. 地被菊抗盐性研究[J]. 中国农学通报, 2010, **26**(12): 139 - 142.
SHI Liran, ZHAO Bingchun, BAI Lirong, *et al.* The study on salt tolerance of ground-cover chrysanthemum [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2010, **26**(12): 139 - 142.
- [4] 崔娇鹏. 地被菊抗旱节水性初步研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2005.
CUI Jiaopeng. *Preliminary Studies on Drought Resistance of the Ground-cover Chrysanthemum* [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2005.
- [5] 王亚. 地被菊苗期耐湿热能力评价及其生理的研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2013.
WANG Ya. *Comprehensive Evaluation and Physiological Reaction of Ground-cover Chrysanthemum (Chrysanthemum × morifolium) under Heat and Humidity Stress* [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2013.
- [6] 王雁. 14种地被植物光能利用特性及耐阴性比较[J]. 浙江林学院学报, 2005, **22**(1): 8 - 13.
WANG Yan. Comparative studies on light utilization characteristics and shade tolerance of 14 groundcover plants [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2005, **22**(1): 6 - 11.
- [7] 杨东海. 7种常用园林植物耐阴性的研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2011.
YANG Donghai. *Study on Shade Tolerance of Seven Main Landscape Plants* [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2011.
- [8] 孙艳, 高海顺, 管志勇, 等. 菊花近缘种属植物幼苗耐阴特性分析及其评价指标的确定[J]. 生态学报, 2012, **32**(6): 1908 - 1916.
SUN Yan, GAO Haishun, GUAN Zhiyong, *et al.* Analysis of shade-tolerance and determination of evaluation indicators of shade-tolerance in seedlings of *Chrysanthemum grandiflorum* and its closely related genera [J]. *Acta Ecol Sin*, 2012, **32**(6): 1908 - 1916.
- [9] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [10] FARQUHAR G D, von CAEMMERERS S, BERRY J A. A biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C₃ species [J]. *Planta*, 1980, **149**(1): 78 - 90.
- [11] SMITH H. Light quality, photo perception, and plant strategy [J]. *Annul Rev Plant Physiol*, 1982, **33**(1): 481 - 518.
- [12] 王凯. 蓝百合耐荫性研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2007.
WANG Kai. *Study on Shade Tolerance of Agapanthus* [D]. Haerpin: Northeast Forestry University, 2007.
- [13] 杨莹, 王传华, 刘艳红. 光照对鄂东南2种落叶阔叶树种幼苗生长、光合特性和生物量分配的影响[J]. 生态学报, 2010, **30**(22): 6082 - 6090.
YANG Ying, WANG Chuanhua, LIU Yanhong. The effect of low irradiance on growth, photosynthetic characteristics, and biomass allocation in two deciduous broad-leaved tree seedlings in south east of Hubei Province [J]. *Acta Ecol Sin*, 2010, **30**(22): 6082 - 6090.
- [14] 朱延姝, 樊金娟, 冯辉. 弱光胁迫对不同生育期番茄光合特性的影响[J]. 应用生态学报, 2010, **21**(12): 3141 - 3146.
ZHU Yanshu, FAN Jinjuan, FENG Hui. Effects of low light on photosynthetic characteristics of tomato at different growth stages [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2010, **21**(12): 3141 - 3146.
- [15] 宋晓蕾, 杨红玉, 曾黎琼, 等. 植物遮荫效应的研究进展[J]. 北方园艺, 2009(5): 129 - 133.
SONG Xiaolei, YANG Hongyu, ZENG Liqiong, *et al.* Study on the shading impact on plant [J]. *Northern Hortic*, 2009 (5): 129 - 133.
- [16] ZHAO Daqiu, HAO Zhaojun, TAO Jun. Effects of shade on plant growth and flower quality in the herbaceous peony (*Paeonia lactiflora* Pall.) [J]. *Plant Physiol Biochem*, 2012, **61**: 187 - 196
- [17] CAI Zhiquan. Shade delayed flowering and decreased photosynthesis, growth and yield of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis*) plants [J]. *Indust Crops Prod*, 2011, **34**(1): 1235 - 1237.

- [18] KIM S J, YU D J, KIM T C, *et al.* Growth and photosynthetic characteristics of blueberry (*Vaccinium corymbosum* 'Bluecrop') under various shade levels [J]. *Sci Hortic*, 2011, **129**(3): 486 – 492.
- [19] 张斌斌, 姜卫兵, 翁忙玲, 等. 遮荫对红叶桃叶片光合生理的影响[J]. 园艺学报, 2010, **37**(8): 1287 – 1294.
ZHANG Binbin, JIANG Weibing, WENG Mangling, *et al.* Effects of shading on photosynthetic characteristics of red-leaf peach [J]. *Acta Horti Sin*, 2010, **37**(8): 1287 – 1294.
- [20] 柴胜丰, 韦霄, 史艳财, 等. 强光胁迫对濒危植物金花茶幼苗生长和叶绿素荧光参数的影响[J]. 植物研究, 2012, **32**(2): 159 – 164.
CAI Shengfeng, WEI Xiao, SHI Yancai, *et al.* Effect of strong light stress on the growth, biomass and chlorophyll fluorescence parameters in seedlings of endangered plant *Camellia nitidissima* [J]. *Bull Bot Res*, 2012, **32**(2): 159 – 164.
- [21] 王强, 温晓刚, 张其德. 光合作用光抑制的研究进展[J]. 植物学通报, 2003, **20**(5): 539 – 548.
WANG Qiang, WEN Xiaogang, ZHANG Qide. Progress in studies on photoinhibition [J]. *Chin Bull Bot*, 2003, **20**(5): 539 – 548.
- [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.
WANG Jianhua, REN Shifu, SHI Baosheng, *et al.* Effects of shades on the photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters of *Forsythia suspensa* [J]. *Acta Ecol Sin*, 2011, **31**(7): 1811 – 1817.
- [23] 蔡仕珍, 李西, 潘远智, 等. 不同光照对蝴蝶花光合特性及生长发育研究[J]. 草业学报, 2013, **22**(2): 264 – 272.
CAI Shizhen, LI Xi, PAN Yuanzhi, *et al.* A study on photosynthetic characteristics and growth and development of *Iris japonica* under different illumination [J]. *Acta Pratac Sin*, 2013, **22**(2): 264 – 272.
- [24] 娄义龙, 高嘉麟, 田应生, 等. 唐菖蒲、月季、菊花、香石竹的光合特性和叶表特征研究[J]. 园艺学报, 1998, **25**(3): 280 – 286.
LOU Yilong, GAO Jialin, TIAN Yingsheng, *et al.* The Characteristics of photosynthesis and leaf surface of gladiolus, rose, chrysanthemum and carnation [J]. *Acta Horti Sin*, 1998, **25**(3): 280 – 286.