

## 不同遮光处理对川西柳叶菜部分形态、 生长和生理指标的影响

范 宣<sup>1</sup>, 王思思<sup>1</sup>, 刘金平<sup>1,①</sup>, 游明鸿<sup>2</sup>

(1. 西华师范大学生命科学学院, 四川 南充 637009; 2. 四川省草原科学研究院, 四川 成都 611731)

**摘要:**以自然光照为对照,对轻度、中度和重度遮光条件下(遮光率分别为24%、48%和72%)川西柳叶菜(*Epilobium fangii* C. J. Chen et al.)的部分形态、生长和生理指标进行比较分析。分析结果显示:遮光处理对川西柳叶菜的MDA含量无显著影响,对叶长、花冠宽、叶干质量分配比例以及叶绿素a(Chla)、叶绿素b(Chlb)和类胡萝卜素(Car)含量及Chla/Chlb值有显著影响( $P < 0.05$ ),对其余指标有极显著影响( $P < 0.01$ )。与对照相比,3个遮光处理组的单株根数、株高、主茎长和基径总体上显著下降,根长在轻度和中度遮光条件下略升高、在重度遮光条件下显著升高;3个遮光处理组的单株叶片数和叶长总体上显著下降,叶宽在轻度和中度遮光条件下略下降、在重度遮光条件下显著升高,叶厚在轻度遮光条件下显著升高、在中度遮光条件下略下降、在重度遮光条件下显著下降;3个遮光处理组的花柄长、花管长和花冠高显著升高,单株开花数在轻度遮光条件下略下降、在中度遮光条件下显著升高、在重度遮光条件下显著下降,花冠宽在轻度和中度遮光条件下略升高、在重度遮光条件下显著升高。与对照相比,3个遮光处理组的全株干质量和茎干质量分配比例均显著下降;根干质量分配比例和根冠比在轻度遮光条件下显著升高、在中度和重度遮光条件下略下降,地上部干质量分配比例在轻度遮光条件下显著下降、在中度和重度遮光条件下略升高;叶干质量分配比例在轻度和中度遮光条件下略下降、在重度遮光条件下略升高。在轻度和中度遮光条件下,叶片的Chla、Chlb和Car含量基本上显著高于对照,Chla/Chlb值分别略低于或显著低于对照;而在重度遮光条件下这4个指标均略高于对照。与对照相比,轻度和中度遮光条件下叶片的H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>含量和SOD活性略升高,MDA含量和总抗氧化能力略下降;总酚含量在轻度遮光条件下略下降、在中度遮光条件下略升高;重度遮光条件下这5个指标均显著升高。随着遮光程度的增强,川西柳叶菜的单株根数、株高、主茎长、基径和叶厚逐渐下降,而叶宽、全株干质量、叶干质量分配比例、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>含量、SOD活性和总酚含量逐渐升高;其中,在中度遮光条件下,其单株开花数、花柄长、花管长、花冠高、花冠宽和花干质量分配比例最高。结果表明:在遮光条件下,川西柳叶菜可在形态、生长和生理上调整生长策略,完成发育过程;并且,中度遮光有利于其生殖分配,提高其观赏价值。

**关键词:**川西柳叶菜;遮光处理;形态指标;生长指标;生理指标

中图分类号: Q948.112<sup>+</sup>.1; S58 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2016)04-0053-09

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2016.04.07

**Effects of different shading treatments on some morphological, growth and physiological indexes of *Epilobium fangii*** FAN Xuan<sup>1</sup>, WANG Sisi<sup>1</sup>, LIU Jinping<sup>1,①</sup>, YOU Minghong<sup>2</sup> (1. College of Life Sciences, China West Normal University, Nanchong 637009, China; 2. Sichuan Academy of Grassland Science, Chengdu 611731, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2016, 25(4): 53-61

**Abstract:** Taking natural light as the control, some morphological, growth and physiological indexes of *Epilobium fangii* C. J. Chen et al. were compared and analyzed under mild, moderate and severe shading conditions with shading rate of 24%, 48% and 72%, respectively. Analysis results show that shading treatments have no significant effect on MDA content of *E. fangii*, have significant effect ( $P < 0.05$ ) on leaf length, corolla width, allocation proportion of leaf dry weight, contents of chlorophyll *a*

收稿日期: 2016-05-10

基金项目: 四川省植物资源共享平台(TJPT20160021); 四川省科技支撑计划项目(2011NZ0064)

作者简介: 范 宣(1989—),男,陕西临潼人,硕士研究生,主要从事观赏植物栽培养护技术研究。

①通信作者 E-mail: jpgg2000@163.com

(Chla), chlorophyll *b* (Chlb) and carotenoid (Car), and Chla/Chlb value, and have extremely significantly effect ( $P < 0.01$ ) on other indexes. Compared with the control, root number per plant, plant height, main stem length and basal diameter in three shading treatment groups decrease significantly in general, root length increases slightly under mild and moderate shading conditions and increases significantly under severe shading condition; leaf number per plant and leaf length in three shading treatment groups decrease significantly in general, leaf width decreases slightly under mild and moderate shading conditions and increases significantly under severe shading condition, leaf thickness increases significantly under mild shading condition, decreases slightly under moderate shading condition and decreases significantly under severe shading condition; flower stalk length, flower tube length and corolla height in three shading treatment groups increase significantly, flower number per plant decreases slightly under mild shading condition, increases significantly under moderate shading condition and decreases significantly under severe shading condition, corolla width increases slightly under mild and moderate shading conditions and increases significantly under severe shading condition. Compared with the control, dry weight of whole plant and allocation proportion of stem dry weight in three shading treatment groups decrease significantly; allocation proportion of root dry weight and root/shoot ratio increase significantly under mild shading condition and decrease slightly under moderate and severe shading conditions; allocation proportion of above-ground part dry weight decreases significantly under mild shading condition and increases slightly under moderate and severe shading conditions; allocation proportion of leaf dry weight decreases slightly under mild and moderate shading conditions and increases slightly under severe shading condition. Contents of Chla, Chlb and Car in leaf under mild and moderate shading conditions are significantly higher than those of the control in general, Chla/Chlb value is slightly or significantly lower than that of the control, respectively, but these four indexes under severe shading condition are slightly higher than those of the control. Compared with the control, under mild and moderate shading conditions,  $H_2O_2$  content and SOD activity in leaf increase slightly, MDA content and total antioxidant capacity decrease slightly; total phenolic content under mild shading condition decreases slightly and increases slightly under moderate shading condition; these five indexes increase significantly under severe shading condition. With enhancing of shading degree, root number per plant, plant height, main stem length, basal diameter and leaf thickness of *E. fangii* decrease gradually, while leaf width, dry weight of whole plant, allocation proportion of leaf dry weight,  $H_2O_2$  content, SOD activity and total phenolic content increase gradually. In which, under moderate shading condition, flower number per plant, flower stalk length, flower tube length, corolla height, corolla width and allocation proportion of flower dry weight of *E. fangii* are the highest. It is suggested that under shading condition, *E. fangii* can adjust growth strategy on morphology, growth and physiology, and finish development process; in addition, moderate shading is beneficial to its reproductive allocation and enhance its ornamental value.

**Key words:** *Epilobium fangii* C. J. Chen et al.; shading treatment; morphological index; growth index; physiological index

草本花卉在园林植物配置及造景中具有不可替代的作用,因其易繁殖、生长周期短、花型多、花色丰富、花期各异和抗性强等优点,被广泛用于花坛、花境、花群和花台的布置。中国的草本花卉种质资源丰富,但是由于历史传统、供需失衡、科研滞后等诸多原因,导致国内园林大面积栽培利用的草本花卉不超过50种;并且,由于连续栽培和定向选育等原因,很多优良花卉品种出现性状漂移、抗性衰退、病虫害频发和观赏性下降等问题。从国外引种的花卉品种虽然能够在一定程度上满足草本花卉的市场需求,但由于其存在适应性、观赏性和侵占性等问题,极大地限制了引种花卉的大面积推广和应用,并且引种不当还极易

造成外来物种入侵的生态风险。因此,积极开发利用具有抗逆性强、花型奇特和耐粗放管理等特点的野生花卉资源是解决草本花卉品种缺乏、促进园林绿化事业健康持续发展的必由之路<sup>[1-2]</sup>。

川西柳叶菜(*Epilobium fangii* C. J. Chen et al.)为分布在高海拔地区的柳叶菜科(Onagraceae)柳叶菜属(*Epilobium* Linn.)多年生草本植物,具有食用、药用和观赏等多方面的应用价值<sup>[3]</sup>。川西柳叶菜的叶属于直立柳叶型,茎属于绿色圆柱型,下位子房属于紫红色棒型,花瓣呈玫瑰红色;种子成熟时,紫红色蒴果开裂并露出灰白色的种缨。在整个生活史的各阶段,川西柳叶菜植株色彩艳丽、季相明显,既可观叶、观

茎,又可观花、观果,并且,由于其花序为无限花序,因此花期极长,可见,川西柳叶菜是具有极高观赏价值的野生草本植物种类<sup>[4]</sup>。然而,近年来受人为因素和自然因素的综合影响,野生川西柳叶菜种群遭到不同程度的干扰和破坏,因此,急需加强对其野生资源的开发、保护和利用研究。迄今为止,仅见少量关于柳叶菜科分类<sup>[4]</sup>和地理分布<sup>[5]</sup>方面的研究报道,关于川西柳叶菜的研究报道更少,仅见其种子萌发特性<sup>[2]</sup>方面的研究报道。

光是植物生长发育过程中必需的生态因子,对植物的生长发育、形态结构和生理响应等均具有重要作用<sup>[6-8]</sup>;光不仅能够影响植物叶片的光合作用,而且能够以信号形式作用于细胞中的光敏色素,从而调节植物整个生命周期的生长发育和生理代谢<sup>[9]</sup>。相关研究结果<sup>[10-12]</sup>表明:当光照强度发生变化时,植物能够通过改变生长状况、构件性状、生物量分配及生理响应等策略来适应光照环境的变化。川西柳叶菜生长在条件恶劣的高寒地区(积温低、生长周期短),其能否在短暂的生活史中及时、准确地调整生长策略来适应胁迫条件,对其种群存活和延续具有决定性作用。根据川西柳叶菜野生种群分布区域的地形、地势和光照条件(太阳辐射强,日照时间长,年太阳辐射总量为 $20.93 \times 10^6 \sim 29.30 \times 10^6 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ <sup>[13]</sup>)确认其为阳生或中生植物,因此,在引种驯化川西柳叶菜时必须确保其生长环境的光照条件达到花芽分化、花器发育及生活史各阶段对光照的需求。

鉴于此,作者以野生川西柳叶菜为研究对象,比较分析了轻度、中度和重度遮光条件下(遮光率分别为24%、48%和72%)其植株的部分形态、生长及生理指标的差异,以期明确川西柳叶菜对弱光环境的生态适应机制及繁殖对策,并为人工栽培川西柳叶菜的光照条件设置和养护管理提供基础资料。

## 1 研究地概况和研究方法

### 1.1 研究地概况

本研究在四川省草原科学研究院阿坝州红原县试验基地(北纬 $32^{\circ}46'$ 、东经 $102^{\circ}32'$ )完成。该地区属大陆性高原寒温带季风气候,海拔3497 m,年均温 $1.1^{\circ}\text{C}$ ,极端最高温 $23.5^{\circ}\text{C}$ ,极端最低温 $-33.8^{\circ}\text{C}$ ,年降水量738 mm,空气相对湿度71%, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温 $865^{\circ}\text{C}$ ,年太阳辐射总量为 $20.93 \times 10^6 \sim 29.30 \times 10^6$

$\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 。该基地的土壤为草甸土,0~20 cm 土层土壤的有效氮、有效磷和有效钾含量分别为296.0、15.6和 $142.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,有机质含量为 $62.3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,土壤酸碱度为pH 6.01。

### 1.2 方法

1.2.1 遮光处理方法 于2015年6月,剔除基地空闲地上川西柳叶菜群落中的其他植物,选取处于营养生长后期的野生川西柳叶菜进行遮光处理。实验共设置轻度(遮光率为24%)、中度(遮光率为48%)和重度(遮光率为72%)3个遮光处理组,对照(CK)组采取自然光照,使用适当剪孔的黑色遮阳网调节遮光率,遮阳网置于距地面1 m处。每个处理组均设置3个小区,每个小区视为1个重复。每个小区面积均为 $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ ,植株密度为 $50 \text{ 株} \cdot \text{m}^{-2}$ ,各小区的间距为0.5 m。实验期间不采取任何管理措施,在8月中旬(即对照组植株进入盛花期时)进行相关形态、生长和生理指标的测定。

1.2.2 形态指标的测定 每个小区随机选取15株完整植株,使用直尺(精度0.01 cm)测量植株的自然株高、自下而上第3片叶的叶长和叶宽、主茎长、花柄长、花管长以及花冠的高度和宽度;采用YH-1型叶厚仪(浙江托普仪器有限公司,精度0.01 mm)测量自下而上第3片叶的厚度;采用游标卡尺(精度0.01 cm)测量基径;统计单株叶片数和单株开花数。挖取完整植株,清洗并拭干根系表面的水分,用直尺测量单株最长根的长度,并统计单株根数。

1.2.3 生长指标的测定 每个小区随机选取15株完整植株,每个单株分成根、茎、叶和花4个部分,分别装入纸袋中,置于 $105^{\circ}\text{C}$ 条件下烘干至恒质量,使用万分之一电子天平称取单株各部分的干质量,并计算全株干质量、各部分干质量的分配比例、根冠比和地上部干质量分配比例,计算公式分别为:全株干质量=根干质量+茎干质量+叶干质量+花干质量;各部分干质量的分配比例=(该部分的干质量/全株干质量) $\times 100\%$ ;根冠比=根干质量/地上部干质量;地上部干质量分配比例=(地上部干质量/全株干质量) $\times 100\%$ 。其中,地上部干质量=茎干质量+叶干质量+花干质量。

1.2.4 生理指标的测定 每个小区随机选取15株完整植株,采集植株自上而下的第3片叶进行相关生理指标的测定。使用苏州科铭生物有限公司生产的相关试剂盒进行光合色素、 $\text{H}_2\text{O}_2$ 、丙二醛(MDA)和植

物总酚的含量测定以及超氧化物歧化酶(SOD)活性和总抗氧化能力的测定。其中,光合色素含量测定采用丙酮浸提法;H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>含量测定采用硫酸钛法;MDA含量测定采用硫代巴比妥酸法;SOD活性测定采用氮蓝四唑显色法;总酚含量测定采用钨钼酸结合超声提取法;总抗氧化能力测定采用还原Fe<sup>3+</sup>-三吡啶三吡嗪(Fe<sup>3+</sup>-TPTZ)法。每个指标均重复测定3次。

### 1.3 数据处理及统计分析

采用SPSS 19.0 统计分析软件对相关数据进行单因素方差分析;采用Duncan's 新复极差法对数据进行差异显著性分析。

## 2 结果和分析

### 2.1 不同遮光处理对川西柳叶菜形态指标的影响

2.1.1 对根和茎形态指标的影响 不同遮光处理对川西柳叶菜根和茎形态指标的影响见表1。由表1可见:随着遮光程度的增强,3个遮光处理组川西柳叶菜根和茎的形态指标总体上均表现为逐渐下降的趋势。差异显著性分析结果表明:与对照(CK)组相比,轻度遮光处理组(遮光率24%)的单株根数、主茎长和基径均显著下降( $P<0.05$ ),株高略有下降( $P>0.05$ ),

而根长略有升高;中度(遮光率48%)和重度(遮光率72%)遮光处理组的单株根数、株高、主茎长和基径均显著下降,而根长却表现为中度遮光处理组略有升高、重度遮光处理组显著升高。

方差分析结果表明:遮光处理对川西柳叶菜的根长、单株根数、株高、主茎长和基径均有极显著影响( $P<0.01$ )。

根据F值判定遮光处理对川西柳叶菜根和茎形态指标的影响由大到小依次为单株根数、根长、基径、主茎长、株高。

上述实验结果表明:遮光处理能够促进川西柳叶菜根的伸长生长,但却导致根的分枝能力及株高、主茎长和基径的生长能力下降,使植株形态趋于纤细、矮化。

2.1.2 对叶形态指标的影响 不同遮光处理对川西柳叶菜叶形态指标的影响见表2。由表2可见:3个遮光处理组川西柳叶菜的单株叶片数和叶长均表现为中度遮光处理组最低;随着遮光程度的增强,3个遮光处理组的叶宽表现为逐渐升高的趋势,而叶厚则表现为逐渐下降的趋势。差异显著性分析结果表明:与CK组相比,轻度和中度遮光处理组的单株叶片数和叶长均显著下降,叶宽均略有下降,而叶厚却表现为

表1 不同遮光处理对川西柳叶菜根和茎形态指标的影响( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

Table 1 Effects of different shading treatments on morphological indexes of root and stem of *Epilobium fangii* C. J. Chen et al. ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

遮光程度 Shading degree	遮光率/% Shading rate	根长/cm Root length	单株根数 Root number per plant	株高/cm Plant height	主茎长/cm Main stem length	基径/cm Basal diameter
对照 CK	0	5.00±0.20b	6.3±0.5a	43.00±1.00a	38.33±2.15a	0.24±0.01a
轻度 Mild	24	5.08±0.14b	5.1±0.3b	41.77±1.72a	32.97±0.55b	0.21±0.01b
中度 Moderate	48	5.07±0.56b	4.7±0.3c	37.83±0.76b	30.73±0.55bc	0.20±0.01bc
重度 Severe	72	6.23±0.25a	2.6±0.3d	33.77±2.86c	29.67±2.02c	0.19±0.01c
F		33.07	48.67	16.51	19.19	23.74
P		0.001	0.001	0.001	0.001	0.001

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ) Different small letters in the same column indicate the significant difference ( $P<0.05$ ).

表2 不同遮光处理对川西柳叶菜叶形态指标的影响( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

Table 2 Effects of different shading treatments on morphological indexes of leaf of *Epilobium fangii* C. J. Chen et al. ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

遮光程度 Shading degree	遮光率/% Shading rate	单株叶片数 Leaf number per plant	叶长/cm Leaf length	叶宽/cm Leaf width	叶厚/mm Leaf thickness
对照 CK	0	30.3±0.6a	3.73±0.25a	0.77±0.12b	0.17±0.01b
轻度 Mild	24	25.7±1.5b	3.07±0.12b	0.52±0.03b	0.20±0.01a
中度 Moderate	48	18.0±1.0c	2.83±0.25b	0.62±0.03b	0.16±0.01bc
重度 Severe	72	18.3±0.6c	3.27±0.50a	1.03±0.25a	0.15±0.01c
F		107.64	4.46	7.75	13.33
P		<0.001	0.042	0.009	0.002

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ) Different small letters in the same column indicate the significant difference ( $P<0.05$ ).

轻度遮光处理组显著升高、中度遮光处理组略有下降;重度遮光处理组的单株叶片数和叶厚均显著下降,叶长略有下降,而叶宽却显著升高。

方差分析结果表明:遮光处理对川西柳叶菜的单株叶数、叶宽和叶厚均有极显著影响,对叶长有显著影响。

根据  $F$  值判定遮光处理对川西柳叶菜叶形态指标的影响由大到小依次为单株叶片数、叶厚、叶宽、叶长。

上述实验结果表明:遮光处理可导致川西柳叶菜的单株叶片数减少,轻度和中度遮光处理使其叶长和叶宽均变小,而重度遮光处理则使其叶宽显著增大,但叶厚却显著下降。

2.1.3 对花形态指标的影响 不同遮光处理对川西柳叶菜花形态指标的影响见表3。由表3可见:3个遮光处理组川西柳叶菜的单株开花数、花柄长、花管长、花管高和花冠宽均表现为中度遮光处理组最高。差异显著性分析结果表明:与CK组相比,轻度和重度遮光处理组花柄长、花管长和花冠高均显著升高,花冠宽均略有升高,而单株开花数却表现为轻度遮光处理组略有下降、重度遮光处理组显著下降;中度遮光

处理组的单株开花数、花柄长、花管长、花冠高和花冠宽均显著升高。

方差分析结果表明:遮光处理对川西柳叶菜的单株开花数、花柄长、花管长和花冠高均有极显著影响,对花冠宽有显著影响。

根据  $F$  值判定遮光处理对川西柳叶菜花形态指标的影响由大到小依次为花柄长、花管长、花冠高、单株开花数、花冠宽。

上述实验结果表明:遮光处理可使川西柳叶菜的花柄长、花管长、花冠高和花冠宽明显增大,中度遮光处理组的单株开花数及其他花形态指标均达到最大值,而重度遮光处理组的单株开花数却降到最小值。

## 2.2 不同遮光处理对川西柳叶菜生长指标的影响

不同遮光处理对川西柳叶菜生长指标的影响见表4。由表4可见:3个遮光处理组川西柳叶菜根和茎干质量的分配比例及根冠比均表现为在中度遮光处理组(遮光率48%)最低,而花和地上部干质量的分配比例则表现为在中度遮光处理组最高;随着遮光程度的增强,3个遮光处理组的全株干质量及叶干质量分配比例均表现为逐渐升高的趋势。差异显著性分析结果表明:与对照(CK)组相比,轻度遮光处理组

表3 不同遮光处理对川西柳叶菜花形态指标的影响 ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

Table 3 Effects of different shading treatments on morphological indexes of flower of *Epilobium fangii* C. J. Chen et al. ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

遮光程度 Shading degree	遮光率/% Shading rate	单株开花数 Flower number per plant	花柄长/cm Flower stalk length	花管长/cm Floral tube length	花冠高/cm Corolla height	花冠宽/cm Corolla width
对照 CK	0	6.0±1.0b	0.55±0.06c	1.80±0.17c	0.42±0.08b	0.27±0.06b
轻度 Mild	24	5.6±0.6b	1.73±0.25b	2.33±0.15b	0.62±0.04a	0.35±0.05ab
中度 Moderate	48	7.7±0.3a	2.57±0.35a	3.33±0.21a	0.65±0.05a	0.43±0.06a
重度 Severe	72	4.3±0.6c	1.40±0.10b	2.53±0.15b	0.58±0.03a	0.35±0.05ab
$F$		11.28	42.46	40.44	12.48	4.76
$P$		0.003	<0.001	<0.001	0.002	0.034

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ ) Different small letters in the same column indicate the significant difference ( $P<0.05$ ).

表4 不同遮光处理对川西柳叶菜生长指标的影响 ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

Table 4 Effects of different shading treatments on growth indexes of *Epilobium fangii* C. J. Chen et al. ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

遮光程度 Shading degree	遮光率/% Shading rate	全株干质量/g Dry weight of whole plant	各部分干质量的分配比例/% Allocation proportion of dry weight of different parts					根冠比 Root/shoot ratio
			根 Root	茎 Shoot	叶 Leaf	花 Flower	地上部 Above-ground part	
对照 CK	0	0.47±0.04a	11.91±0.01b	58.71±0.04a	27.42±0.04ab	2.04±0.01c	88.10±0.01a	0.14±0.01b
轻度 Mild	24	0.27±0.03b	19.21±0.02a	52.04±0.02b	23.13±0.02b	5.73±0.01b	80.80±0.02b	0.24±0.03a
中度 Moderate	48	0.29±0.02b	8.40±0.02b	46.72±0.01b	26.82±0.02b	18.15±0.02a	91.60±0.02a	0.09±0.02b
重度 Severe	72	0.32±0.03b	8.81±0.02b	51.42±0.04b	33.02±0.04a	6.83±0.01b	91.20±0.02a	0.10±0.02b
$F$		27.77	23.38	8.21	5.60	78.13	23.35	23.50
$P$		<0.001	<0.001	0.008	0.023	<0.001	<0.001	<0.001

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ ) Different small letters in the same column indicate the significant difference ( $P<0.05$ ).

(遮光率 24%) 的全株干质量以及茎和地上部干质量分配比例均显著下降 ( $P < 0.05$ ), 叶干质量分配比例略有下降, 而根和花干质量分配比例及根冠比却显著升高; 中度遮光处理组的全株干质量和茎干质量分配比例均显著下降, 根和叶干质量分配比例及根冠比略有下降, 而花干质量分配比例显著升高, 地上部干质量分配比例略有升高; 重度遮光处理组 (遮光率 72%) 的全株干质量和茎干质量分配比例均显著下降, 根干质量分配比例和根冠比略有下降, 而花干质量分配比例显著升高, 叶和地上部干质量分配比例略有升高。

方差分析结果表明: 遮光处理对川西柳叶菜的全株干质量, 根、茎、花和地上部干质量分配比例及根冠比均有极显著影响 ( $P < 0.01$ ), 对叶干质量分配比例有显著影响。

根据  $F$  值判定遮光处理对川西柳叶菜生长指标的影响由大到小依次为花干质量分配比例、全株干质量、根冠比、根干质量分配比例、地上部干质量分配比例、茎干质量分配比例、叶干质量分配比例。

上述实验结果表明: 遮光处理对川西柳叶菜花干质量分配比例的影响最大, 对根干质量分配比例的影响

响次之, 对茎和叶干质量分配比例的影响最小。

### 2.3 不同遮光处理对川西柳叶菜生理指标的影响

2.3.1 对光合色素相关指标的影响 不同遮光处理对川西柳叶菜叶片光合色素含量及  $Chla/Chlb$  值的影响见表 5。由表 5 可见: 3 个遮光处理组川西柳叶菜叶片中叶绿素  $a$  ( $Chla$ )、叶绿素  $b$  ( $Chlb$ ) 和类胡萝卜素 ( $Car$ ) 的含量均表现为在中度遮光处理组 (遮光率 48%) 最高, 而  $Chla/Chlb$  值则表现为在中度遮光处理组最低。差异显著性分析结果表明: 与对照 (CK) 组相比, 轻度遮光处理组 (遮光率 24%) 的  $Chla$  和  $Car$  含量均显著升高 ( $P < 0.05$ ),  $Chlb$  含量略有升高, 而  $Chla/Chlb$  值略有下降; 中度遮光处理组的  $Chla$ 、 $Chlb$  和  $Car$  含量均显著升高, 而  $Chla/Chlb$  值却显著下降; 重度遮光处理组 (遮光率 72%) 的  $Chla$ 、 $Chlb$  和  $Car$  含量及  $Chla/Chlb$  值均略有升高。

方差分析结果表明: 遮光处理对川西柳叶菜叶片的  $Chla$ 、 $Chlb$  和  $Car$  含量及  $Chla/Chlb$  值均有显著影响。

根据  $F$  值判定遮光处理对川西柳叶菜叶片光合色素的影响比较接近, 由大到小依次为  $Chlb$  含量、 $Chla/Chlb$  值、 $Chla$  含量、 $Car$  含量。

表 5 不同遮光处理对川西柳叶菜叶片光合色素含量及  $Chla/Chlb$  值的影响 ( $\bar{X} \pm SD$ )<sup>1)</sup>

Table 5 Effects of different shading treatments on contents of photosynthetic pigments and  $Chla/Chlb$  value in leaf of *Epilobium fangii* C. J. Chen et al. ( $\bar{X} \pm SD$ )<sup>1)</sup>

遮光程度 Shading degree	遮光率/% Shading rate	叶绿素 $a$ 含量/ $mg \cdot g^{-1}$ Chlorophyll $a$ content	叶绿素 $b$ 含量/ $mg \cdot g^{-1}$ Chlorophyll $b$ content	类胡萝卜素含量/ $mg \cdot g^{-1}$ Carotenoid content	$Chla/Chlb$ <sup>2)</sup>
对照 CK	0	0.66±0.09c	0.18±0.03b	6.16±0.98b	3.71±0.14a
轻度 Mild	24	0.83±0.11ab	0.25±0.06ab	8.00±1.39a	3.41±0.38ab
中度 Moderate	48	0.94±0.04a	0.31±0.03a	8.52±0.47a	3.02±0.22b
重度 Severe	72	0.75±0.08bc	0.20±0.03b	7.36±0.78ab	3.78±0.15a
$F$		6.11	6.32	3.35	6.22
$P$		0.018	0.017	0.036	0.017

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。Different small letters in the same column indicate the significant difference ( $P < 0.05$ )。

<sup>2)</sup> 叶绿素  $a$  含量与叶绿素  $b$  含量的比值 Ratio of  $Chla$  content to  $Chlb$  content。

上述实验结果表明: 轻度和中度遮光处理能够提高川西柳叶菜叶片中的光合色素含量, 但却导致  $Chla/Chlb$  值下降。

2.3.2 对抗氧化能力相关指标的影响 不同遮光处理对川西柳叶菜叶片抗氧化能力相关指标的影响见表 6。由表 6 可见: 3 个遮光处理组川西柳叶菜叶片的丙二醛 (MDA) 含量和总抗氧化能力均表现为中度遮光处理组最低; 随着遮光程度的增强, 3 个遮光处理组的  $H_2O_2$  含量、超氧化物歧化酶 (SOD) 活性和总酚

含量均逐渐升高。差异显著性分析结果表明: 与对照 (CK) 组相比, 轻度遮光处理组的  $H_2O_2$  含量和 SOD 活性略有升高, 而 MDA 含量、总酚含量和总抗氧化能力均略有下降; 中度遮光处理组的  $H_2O_2$  含量、SOD 活性和总酚含量均略有升高, 而 MDA 含量略有下降, 总抗氧化能力显著下降 ( $P < 0.05$ ); 重度遮光处理组的  $H_2O_2$  含量、SOD 活性、总酚含量和总抗氧化能力均显著升高, MDA 含量略有升高。

方差分析结果表明: 遮光处理对川西柳叶菜叶片

表6 不同遮光处理对川西柳叶菜叶片抗氧化能力相关指标的影响( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>Table 6 Effects of different shading treatments on related indexes of antioxidant capacity in leaf of *Epilobium fangii* C. J. Chen et al. ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

遮光程度 Shading degree	遮光率/% Shading rate	过氧化氢 含量/ $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ $\text{H}_2\text{O}_2$ content	丙二醛 含量/ $\text{nmol}\cdot\text{g}^{-1}$ MDA content	超氧化物歧酶 活性/ $\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$ SOD activity	总酚含量/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ Total phenolic content	总抗氧化能力/ $\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$ Total antioxidant capacity
对照 CK	0	62.23±5.79b	1.34±0.12a	1.89±0.51b	20.48±0.93b	61.44±3.10b
轻度 Mild	24	65.46±0.81b	1.31±0.34a	2.07±0.22b	20.28±0.57b	59.89±2.13b
中度 Moderate	48	67.41±4.19b	1.09±0.24a	2.31±0.22b	20.73±0.11b	48.85±1.06c
重度 Severe	72	85.94±3.94a	1.52±0.19a	4.40±0.30a	26.42±1.11a	70.68±2.33a
<i>F</i>		10.28	1.69	36.76	43.63	24.84
<i>P</i>		0.004	0.247	<0.001	<0.001	<0.001

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ) Different small letters in the same column indicate the significant difference ( $P<0.05$ ).

的 $\text{H}_2\text{O}_2$ 含量、SOD活性、总酚含量和总抗氧化能力均有极显著影响( $P<0.01$ ),而对MDA含量的影响却不显著。

根据*F*值判定遮光处理对川西柳叶菜叶片抗氧化能力相关指标的影响由大到小依次为总酚含量、SOD活性、总抗氧化能力、 $\text{H}_2\text{O}_2$ 含量、MDA含量。

上述实验结果表明:川西柳叶菜具有极强的耐阴能力,轻度和中度遮光处理对其抗氧化能力相关指标的影响均较小,重度遮光处理对其MDA含量的影响也较小,说明遮光处理对川西柳叶菜叶片细胞膜的伤害较小。

### 3 讨论和结论

遮光处理主要影响植物的光合作用,使植物的构件性状、生物量累积和分配等受到一定程度的影响。同时,光也是植物光形态建成的核心信号源,可诱导、促进、调控植物的生长发育、花器分化及能量分配等过程。在遮光条件下,植物体通过自身的表型可塑性和生理代谢过程来抵御生境变化为其带来的生存压力。表型可塑性是植物应对或适应环境变化的外在表现,主要包括生长状况、形态变化、生物量及分配等表现形式<sup>[14]</sup>。相关研究表明:植物可通过增加株高和茎长等来“觅光”或“逃离”遮光生境<sup>[15-16]</sup>,而遮光处理对川西柳叶菜根、茎、叶和花的形态指标均有显著影响,其株高、主茎长和基径均较对照下降,致使其植株呈现矮化、纤细的形态,但其根长却较对照明显升高,说明其根系进入土层的深度增大。综合上述结果,认为不同种植物的种源地、生物学特点和生态学特征对遮光条件下其植株形态的可塑性具有关键作用<sup>[17]</sup>。随遮光程度的增强,川西柳叶菜根的分

枝能力显著下降,这必将影响根系吸收土壤中的水分和营养的能力,导致植株营养不良,最终使株高和茎长受到影响。

叶性状是衡量植物对光胁迫适应能力的重要指标<sup>[18]</sup>,反映出植物实现最大碳收获的生存适应策略<sup>[19]</sup>。植物常通过改变叶性状来增强其对光环境变化的适应能力,提高其在弱光环境中对光的捕获能力<sup>[20]</sup>。本研究结果表明:川西柳叶菜以减少单株叶片数来应对遮光环境,并通过缩小叶长和叶宽来应对轻度和中度遮光环境,通过降低叶厚和增加单叶面积来适应重度遮光环境。

花性状具有较强的遗传稳定性,受环境影响极小,是物种生存繁殖的基本保证<sup>[21]</sup>,因此,常将其作为植物识别、鉴定和分类的依据。诸多研究结果表明:通过控制生境条件可调节或改变植物的花器性状<sup>[22-24]</sup>。遮光处理对川西柳叶菜的单株开花数、花柄长、花管长和花冠高等花性状均有极显著影响,对花冠宽有显著影响,其中,中度遮光利于川西柳叶菜形成数量多且更多、更大的花朵。据此认为,适度遮光处理利于川西柳叶菜的生殖生长,并在一定程度上提高其观赏价值。

光是植物生命活动的原初能量来源,生物量是能量合成、同化、转移、贮藏的基本形式,植物体的构件性状差异最终体现在植株各部分的干质量上,而各部分干质量及其分配比例通常与光照、温度、水分、营养及生物等环境条件的变化有密切关系<sup>[25-27]</sup>。因此,通常采用植物各部分干质量及其分配比例来评价植物的同化能力、健康状态及其适应环境变化的生长策略,分析植物对生境的响应能力及能量在生长、生殖和抗逆等功能间的权衡关系。本研究中,3个遮光处理使川西柳叶菜的单株干质量较对照显著下降,并

且,遮光处理对各部分干质量分配比例有显著或极显著的影响,表现为遮光条件下茎干质量分配比例显著下降,而花干质量分配比例却显著升高。其中,轻度遮光处理组的川西柳叶菜茎、叶、花和地上部干质量分配比例基本上显著下降,而根干质量分配比例却显著升高,说明在轻度遮光条件下,川西柳叶菜植株的生物量分配优先供给根;而在中度遮光条件下则优先供给花,在重度遮光条件下优先供给叶和花。以上研究结果表明:川西柳叶菜可依据遮光程度采取不同的生长策略,并且,花干质量分配比例最易受遮光程度的影响,其次为根干质量分配比例,茎干质量分配比例受到的影响较小,叶干质量分配比例受到的影响最小。说明川西柳叶菜在生长、生殖和生存上具有极强的平衡能力,这是该物种能够在高寒地区存留和延续的重要原因。

叶绿素是植物进行光合作用的一类色素分子,具有吸收和传递光量子的功能,其含量和比例在很大程度上反映了植物的生长状况和叶片的光合能力<sup>[28-29]</sup>。叶绿素 *a* (Chl*a*) 含量反映了植物对光照的利用能力,叶绿素 *b* (Chl*b*) 含量反映了植物对光照的捕获能力,而类胡萝卜素 (Car) 含量则反映了植物对光合作用中氧自由基的清除能力,即保护光合系统的能力。相关研究表明:光照强度对植物光合作用的影响主要是通过植物对光能的捕获和利用来实现,Chl*a*/Chl*b* 值越高,说明植物对光能的利用率越高<sup>[30-31]</sup>。本研究中,轻度和中度遮光处理可明显提高川西柳叶菜叶片中上述3种光合色素的含量,但降低了Chl*a*/Chl*b* 值,说明在光照不足条件下,川西柳叶菜通过提高叶绿素含量来捕获和利用有限的光能,提高叶片的光合速率,以保证植株生长所需的能量供给。在中度遮光条件下,川西柳叶菜的Chl*a*、Chl*b* 和Car含量均最高且显著高于对照,而Chl*a*/Chl*b* 值却最低且显著低于对照,说明在一定光照强度范围内,川西柳叶菜具有适应或应对遮光条件及捕获光能或光合同化的能力。

植物生理指标的改变直接体现植物对生境变化的响应能力。其中,酚类物质含量能够直接反映其在植物体中的功能与作用;超氧化物歧化酶(SOD)活性和总抗氧化能力是在植物受到外界环境干扰时表现出的对外界环境胁迫的抵抗能力;丙二醛(MDA)含量和H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>含量分别反映植物受到逆境伤害时生物膜的损害程度及细胞衰老和解体的程度<sup>[32-33]</sup>。本研究中,在轻度遮光条件下,川西柳叶菜叶片的总酚含量、总

抗氧化能力和MDA含量均较对照略有下降,而在重度遮光处理条件下却均较对照升高,说明一定程度的遮光处理可以减少有害物质的产生,从而降低其对细胞的伤害。随遮光程度的增强,SOD活性一直维持较高水平以清除植物体内的活性氧并使之保持在较低水平,防御活性氧或其他过氧化自由基对细胞膜系统的伤害,减轻遮光处理对植物体的伤害程度。在轻度和中度遮光条件下,川西柳叶菜叶片的H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>含量、MDA含量、总酚含量和SOD活性均与对照无显著差异,说明轻度和中度遮光处理对川西柳叶菜的伤害较小;即使在重度遮光条件下其叶片的MDA含量也与对照无显著差异,但其H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>含量、总酚含量、SOD活性和总抗氧化能力均较对照显著升高,这并不能说明川西柳叶菜具有极强的抗氧化能力,具体情况需要进一步的深入研究。

综上所述,川西柳叶菜可在形态、生长及生理等方面调整植株的生长策略,使其能够在遮光条件下完成生活史,保证物种的存留与延续;并且,中度遮光利于川西柳叶菜的生殖分配。因此,在作为观赏草本花卉种质资源进行利用、引种驯化和人工栽培时,应充分利用川西柳叶菜对光照的适应能力,合理调控光照强度,提高其单株开花数和花大小,充分发挥其观赏价值。

#### 参考文献:

- [1] 庄小锋,杨秀珍,张玉钧,等. 北京山区蓝色草本植物资源调查与分析[J]. 北京林业大学学报, 2010, 32(增刊1): 177-182.
- [2] 范宣,游明鸿,刘金平,等. 温度对川西柳叶菜种子萌发特性的影响[J]. 草业与畜牧, 2016(1): 31-33.
- [3] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 第五十三卷[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 151.
- [4] 李晶. 甘肃柳叶菜科植物分类研究[D]. 兰州: 兰州大学生命科学学院, 2010.
- [5] 叶康,寿海洋,奉树承. 江苏柳叶菜科植物新记录[J]. 种子, 2013, 32(5): 60-62.
- [6] 韩忠明,赵淑杰,刘翠晶,等. 遮荫对3年生东北铁线莲生长特性及品质的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(20): 6005-6012.
- [7] 王艺,韦小丽. 不同光照对植物生长、生理生化和形态结构影响的研究进展[J]. 山地农业生物学报, 2010, 29(4): 353-359.
- [8] 张元燕,季永华,贾恒,等. 遮光处理对不同生育期小麦生物量分配和叶片叶绿素含量的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2009, 18(4): 39-45.
- [9] 李中林,郭开秀,周守标,等. 光强对马兰形态、生理及黄酮类化合物含量的影响[J]. 草业学报, 2014, 23(4): 162-170.
- [10] 余婷,周兰英,张帆,等. 遮阴对凤仙花生长和开花的影响

- 响[J]. 东北林业大学学报, 2015, 43(1): 57-60.
- [11] 陶建平, 钟章成. 光照对苦瓜形态可塑性及生物量配置的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(3): 336-340.
- [12] 陈俊意, 张露, 黄祖春, 等. 遮阴对青蒿生理特性的影响[J]. 西南农业学报, 2010, 23(6): 2161-2163.
- [13] 刘金平, 游明鸿, 曾晓琳, 等. 老芒麦种子发育时不同位叶光合速率和生物量变化与种子产量的相关分析[J]. 草业学报, 2015, 24(11): 118-127.
- [14] MINER B G, SULTAN S E, MORGAN S G, et al. Ecological consequences of phenotypic plasticity[J]. Trends in Ecology and Evolution, 2005, 20(12): 685-693.
- [15] 罗学刚, 董鸣. 蛇莓克隆构型对光照强度的可塑性反应[J]. 植物生态学报, 2001, 25(4): 494-497.
- [16] 于飞海, 董鸣. 光照强度和基质养分对匍匐茎草本金戴戴克隆生长和克隆形态的影响[J]. 植物学报, 2003, 45(4): 408-416.
- [17] 许凯扬, 叶万辉, 李国民, 等. 入侵种喜旱莲子草对光照强度的表型可塑性反应[J]. 武汉植物学研究, 2005, 23(6): 560-563.
- [18] VALLADARES F, WRIGHT S J, LASSO E, et al. Plastic phenotypic response to light of 16 congeneric shrubs from a Panamanian rainforest[J]. Ecology, 2000, 81(7): 1925-1936.
- [19] WEINER J. Allocation, plasticity and allometry in plants[J]. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, 2004, 6(4): 207-215.
- [20] 吕晋慧, 李艳锋, 王玄, 等. 遮阴处理对金莲花生长发育和生理响应的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(9): 1772-1780.
- [21] 梁慧珍, 余永亮, 杨红旗, 等. 大豆花器性状的遗传分析[J]. 大豆科学, 2012, 31(5): 697-702, 706.
- [22] 邹学校, 张竹青, 陈文超, 等. 辣椒花器性状的遗传分析[J]. 热带作物学报, 2007, 28(2): 37-41.
- [23] 左利娟, 成仿云, 张佐双. 光照强度对牡丹生长发育的影响[J]. 东北林业大学学报, 2009, 37(1): 27-29.
- [24] 王永健, 方兴, 钟章成. 不同生境对蝴蝶花花部与果实特征的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(17): 4628-4635.
- [25] 刘金平, 游明鸿. 生长抑制剂对老芒麦种群生物量结构、能量分配及倒伏率的影响[J]. 草业学报, 2012, 21(5): 195-203.
- [26] 周兵, 闫小红, 肖宜安, 等. 不同生境下入侵植物胜红蓟种群构件生物量分配特性[J]. 生态学报, 2015, 35(8): 2602-2608.
- [27] GRECHI I, VIVIN P, HILBERT G, et al. Effect of light and nitrogen supply on internal C:N balance and control of root-to-shoot biomass allocation in grapevine[J]. Environmental and Experimental Botany, 2007, 59(2): 139-149.
- [28] 郁万文, 祝遵凌, 曹福亮, 等. 金叶银杏半同孢子代无性系的叶色和色素含量变化及呈色机制分析[J]. 植物资源与环境学报, 2016, 25(1): 43-53.
- [29] 唐钢梁, 李向义, 林丽莎, 等. 骆驼刺在不同遮阴下的水分状况变化及其生理响应[J]. 植物生态学报, 2013, 37(4): 354-364.
- [30] 曾晓琳, 王大伟, 刘金平, 等. 坡向对3种冷季型草坪草表观性状及叶绿素含量的影响[J]. 草业科学, 2015, 32(11): 1823-1831.
- [31] 毛立彦, 慕小倩, 董改改, 等. 光照强度对曼陀罗和紫花曼陀罗生长发育的影响[J]. 植物生态学报, 2012, 36(3): 243-252.
- [32] 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.
- [33] 廉美娜, 朱玉环, 徐长林, 等. 祁连山东段高寒草甸植物总酚和黄酮含量及抗氧化活性研究[J]. 西北植物学报, 2012, 32(12): 2492-2497.

(责任编辑: 佟金凤)

## 《植物资源与环境学报》启事

为了扩大科技期刊的信息交流、充分实现信息资源共享,《植物资源与环境学报》已先后加入“中国学术期刊(光盘版)”、“万方数据——数字化期刊群”和“中文科技期刊数据库”等网络文献资源数据库,凡在本刊发表的论文将编入数据库供上网交流、查阅及检索,作者的著作权使用费与本刊稿酬一次性给付,不再另付。如作者不同意将文章收编入数据库,请在来稿时声明,本刊将做适当处理。

《植物资源与环境学报》编辑部

2016-11