

## 遮光对刺五加生长以及光合生理参数的影响

徐明远<sup>1,2</sup>, 王谦博<sup>3</sup>, 郭盛磊<sup>2</sup>, 唐中华<sup>4</sup>, 倪红伟<sup>1</sup>, 李凤霞<sup>2</sup>, 刘佳<sup>4</sup>, 王振月<sup>2</sup>

(1. 黑龙江省林业科学院, 哈尔滨 150081; 2. 黑龙江中医药大学, 哈尔滨 150040;

3. 广东药科大学附属第一医院, 广州 510000;

4. 东北林业大学化学化工与资源利用学院, 哈尔滨 150040)

**[摘要]** 目的:研究遮光条件对刺五加生长及光合生理参数的共同影响,可为规范化种植和合理开发利用刺五加提供理论依据。方法:该研究使用三年生刺五加为实验样本,通过测定株高、叶片数、叶面积等生长参数以及光合生理参数,研究不同遮光条件对刺五加生长及光合作用的影响规律。结果:株高、叶片数及叶面积在遮光处理条件下显著均高于对照组,在中度遮光条件下最高。净光合速率、气孔导度、蒸腾速率在中度遮光组中显著高于对照组,在重度遮光组有所降低,而胞间二氧化碳浓度则在中度遮光组中显著低于其他处理组。随着处理时间的进行,初始荧光在中度遮光组中与对照组无显著性,而在重度遮光组中显著升高;最大荧光在遮光处理组显著高于对照组,在中度遮光组中最高;潜在光化学效率和最大光化学效率则在中度遮光组与对照组无显著性差异,在重度遮光组中不断下降,显著低于其他处理组。结论:遮光处理有利于刺五加的生长,中度遮光条件可显著提高刺五加的光合作用,重度遮光处理可显著抑制刺五加叶片光合作用,这种作用与其调节气孔调节有关,也与光反应中心的活性相关。

**[关键词]** 刺五加; 遮光; 生长; 光合作用; 栽培条件

**[中图分类号]** R284.2;R289;R22;R2-031 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2020)20-0140-06

**[doi]** 10.13422/j.cnki.syfjx.20202116

**[网络出版地址]** <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3495.R.20200806.1335.003.html>

**[网络出版日期]** 2020-8-6 16:22

### Effect of Shading on Growth and Photosynthetic Physiological Parameters of *Acanthopanax senticosus*

XU Ming-yuan<sup>1,2</sup>, WANG Qian-bo<sup>3</sup>, GUO Sheng-lei<sup>2</sup>, TANG Zhong-hua<sup>4</sup>, NI Hong-wei<sup>1</sup>, LI Feng-xia<sup>2</sup>,  
LIU Jia<sup>4</sup>, WANG Zhen-yue<sup>2</sup>

(1. Heilongjiang Academy of Forestry, Harbin 150081, China;

2. Heilongjiang University of Chinese Medicine, Harbin 150040, China;

3. The First Affiliated Hospital/School of Clinical Medicine of Guangdong Pharmaceutical University, Guangzhou 510000, China; 4. College of Chemistry, Chemical Engineering and Resource Utilization,

Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

**[Abstract]** **Objective:** To study the effect of different shading conditions on the growth and photosynthetic physiological parameters of *Acanthopanax senticosus*, and provide a theoretical basis for standardized planting and rational development and utilization of *A. senticosus*. **Method:** Three-year-old *A. senticosus* was used as the experimental sample. The growth parameters and photosynthetic physiological parameters of plant height, leaf number and leaf area were determined to study the effects of different shading

**[收稿日期]** 20200713(010)

**[基金项目]** 国家重点研发计划项目(2016YFC0500303);黑龙江省国家科技重大专项和重点研发项目(GX17C006);黑龙江省中医药管理局重点项目(2018-009);国家科技基础资源调查专项(2019FY100500)

**[第一作者]** 徐明远,博士,主管药师,从事中药资源与开发利用研究,E-mail:xumingyuan2000@163.com

**[通信作者]** \*王振月,教授,从事中药资源开发与生物技术研究,E-mail:wangzhen\_yue@163.com

conditions on the growth and photosynthesis of *A. senticosus*. **Result:** Plant height, leaf number, and leaf area were significantly higher in the shading treatment than in the control group, and highest under moderate shading conditions. The net photosynthetic rate, stomatal conductance, and transpiration rate were significantly higher in the moderate shading group than in the control group, and decreased in the severe shading group, while the intercellular carbon dioxide concentration was significantly lower in the moderate shading group than in the other treatment groups. As the treatment time progressed, the initial fluorescence was not significantly higher in the moderate shading group than in the control group, but significantly higher in the severe shading group; the maximum fluorescence was significantly higher in the shading group than in the control group, in the moderate shading group. The potential photochemical efficiency and maximum photochemical efficiency were not significantly different between the moderate shading group and the control group and decreased in the severe shading group, which was significantly lower than other treatment groups. **Conclusion:** Shading treatment is beneficial to the growth of *A. senticosus*. The moderate shading condition can significantly improve the photosynthesis of *A. senticosus*. Severe shading treatment can significantly inhibit the photosynthesis of *A. senticosus* leaves. This effect is related to the regulation of stomatal regulation. The activity of the photoreaction center is related.

[Key words] *Acanthopanax senticosus*; shading; growth; photosynthesis; cultivation conditions

光不仅作为植物能量的来源,而且还是环境变化的信号,可诱导植物的各种生理反应<sup>[1]</sup>。在药用植物的生长过程中,只有在合适的光照条件下,防止可能的非生物胁迫引起过度蒸散、光合作用抑制和植物生长受损,才能保证其质量达到要求。据报道,遮光材料的材质、密度、颜色均可影响药用植物的质量<sup>[2]</sup>。有研究结果显示,不同遮阴材料均可促进人参根长和根径的生长,且各种材料的促进作用各不相同<sup>[3]</sup>;使用蓝网遮阴会增加山茱萸的株高、叶面积和叶绿素含量;使用抗紫外聚乙烯薄膜可提高姜黄的光合效率和生物量<sup>[4]</sup>。另外,随着光照强度的降低,五倍子的单位叶面积的叶片质量呈下降趋势,而单株叶面积、相对生长率和净同化率、叶面积比则显示出上升的趋势<sup>[5]</sup>。

遮阴环境对植物的光合生理也有着显著的影响。例如,遮光处理可显著影响冬小麦的光合能力,且随着处理时间的延长,影响更为严重,开花期和灌浆期是冬小麦对遮阴反应的敏感期<sup>[6]</sup>;另外,遮光处理虽然会增加大豆叶绿体的数量,但叶绿体和淀粉粒的大小和净光合速率均低于对照处理<sup>[7]</sup>;遮光处理后,2个品种玉米的净光合速率和气孔导度呈逐渐下降趋势<sup>[8]</sup>。但也有研究发现,黑色遮光网可显著增强黄瓜的光合反应,显著提高了光合参数中的蒸腾速率、气孔导度。

刺五加为来自于五加科五加属的多年生灌木。2015年版《中国药典》记载的法定药用部位为其干燥根及根茎或茎,具有益气健脾、补肾安神的功效,

临床常用于脾肺气虚,体虚乏力,食欲不振,肺肾两虚,久咳虚喘,肾虚腰膝酸痛,心脾不足,失眠多梦<sup>[9]</sup>。国内外学者对刺五加化学成分、药理作用的研究发现刺五加中主要存在刺五加苷类、黄酮类、木脂素类、多糖类等化学成分<sup>[10]</sup>。同时,药理研究结果表明刺五加可作用于心脑血管系统、神经系统、内分泌系统,具有免疫功能调节、抗癌、保护肝脏、抗衰老、抗氧化、抗炎、降血压、抗应激等药理活性<sup>[11-12]</sup>。由于其良好的临床疗效导致市场需求量逐年增加,大量的采挖使野生资源锐减严重<sup>[13]</sup>,而人工栽培历史较短,导致其资源匮乏并制约了刺五加产业经济的发展。

目前已有遮光对刺五加生长和光合作用的影响<sup>[14]</sup>的相关研究,但采取的指标相对单一,且还没有关于遮光条件对刺五加叶绿素荧光参数的相关研究。为进一步研究遮光处理对刺五加生长的影响规律,初步探索遮光对刺五加光合作用的影响机制,本研究设置了3个遮光处理组,在温室条件下对3年生刺五加苗的株高、叶片数、叶面积等生长参数,光合参数以及叶绿素荧光参数进行研究,其结果可为进一步探索不同遮光条件对刺五加次生代谢的影响提供基础。

## 1 材料

TES 1332A型数位式照度计(台湾泰仕工业股份有限公司);LogTab型温湿度记录仪(深圳中级冷链电子有限公司);电子数显卡尺(哈尔滨量具刃具集团有限责任公司);Li-6400型便携式光合仪(美国

LI-COR公司);PAM-2500型便携式叶绿素荧光分析仪(德国Walz Effeltrich公司)。

试验材料为3年生刺五加实生苗,购买于黑龙江省七台河市(地理坐标为45°95'N,131°05'E)。经黑龙江中医药大学中药资源与开发教研室王振月教授鉴定为刺五加 *Acanthopanax senticosus*,留样保存于黑龙江中医药大学中药资源与开发教研室。于2017年4月初将购买的刺五加幼苗栽种至黑龙江中医药大学药用植物园(地理坐标为45°72'N,126°64'E),选择口径为30 cm的花盆,每盆装土3 kg,土壤pH 6.5,每盆1株。

## 2 方法

**2.1 人工遮光条件及实验设计** 2017年6月15日,在黑龙江中医药大学药用植物园温室安置遮阴棚,每个遮阴棚长3 m,宽2 m,高1.4 m,遮阴棚用黑色网眼布搭建。本实验选取的人工遮光条件参考了文献[15]的实验设计,该实验共设置了100%,50.5%,38.8%,19.9%及4.5%共5个实验组,其研究结果显示,刺五加苗在50.5%和38.8%组生长无显著性差异,且药用活性成分紫丁香苷在38.8%处理组显著高于50.5%处理组;经前期预实验,刺五加在4.5%遮光条件处理下在1个半月左右枯萎死亡。为后续研究刺五加应对光强变化的响应机制,本研究设置3个遮光处理梯度:对照组,全光不遮阴,透光率100%。中度遮光组,1层厚网眼布,透光率38.8%。重度遮光组,2层厚网眼布,透光率19.9%。每个遮阴棚分为3个实验组,每个实验组内3个处理,每个处理内6株。实验期间除草,浇水,但不施肥,处理时间为3个月。

## 2.2 项目测定

**2.2.1 幼苗生长指标测定** 2017年9月15日,取6株刺五加测量株高、叶片数及叶面积。植株高度采用米尺(精确度1 mm)测量,叶面积采用纸片法测量。

**2.2.2 光合生理指标的测定** 2017年9月10日至9

月14日,在天气晴朗的上午9:00~11:30,每盆选取测定枝条中上方成熟的叶片各3片。采用Li-6400型便携式光合仪(美国LI-COR公司)测定其光合生理参数。测定时使用的条件为开放式气路,控制叶片温度为25 °C,相对湿度为50%~65%。在光照强度(PAR)为800  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,在该条件下对叶片净光合速率( $P_n$ ),气孔导度( $G_s$ ),蒸腾速率( $T_r$ )和胞间 $\text{CO}_2$ 浓度( $C_i$ )进行测定。

**2.2.3 叶绿素荧光参数的测定** 在植株生长期间,定期使用PAM-2500便携式叶绿素荧光分析仪(德国Walz Effeltrich公司)测定叶绿素荧光参数。包括最小荧光( $F_o$ ),最大荧光( $F_m$ ),潜在光化学效率( $F_v/F_o$ ),最大光化学效率( $F_v/F_m$ )等。测定前,叶片要先暗适应30 min。

**2.3 数据处理** 采用Microsoft Excel 2007软件对数据进行处理,折线图使用GraphPad prism 7.0绘制,采用SPSS 22.0统计分析软件,进行不同处理间的数据单因素方差分析(One-way ANOVA)。

## 3 结果

**3.1 遮光对刺五加生长的影响** 3个月的遮光处理,3年生刺五加的株高、茎粗、冠幅、叶片数、叶长、叶面积均显示出在中度遮光组中最高,见表1。其中,株高在中度和重度遮光组较对照组分别升高了40.79%和34.40%( $P<0.05$ );茎粗在中度遮光组中较对照组升高了25%( $P<0.05$ ),重度遮光组与对照组相比无显著性差异;冠幅在中度遮光组中较对照组增加了30.83%( $P<0.05$ ),重度遮光组较对照组减少了16.25%( $P<0.05$ );叶片数量在中度和重度遮光组较对照组分别增加了55.84%和44.16%( $P<0.05$ ),重度遮光组较中度遮光组减少了7.49%,两组间无显著性差异;中度遮光组的叶长较对照组升高了17.41%( $P<0.05$ ),重度遮光组的叶长较对照组降低了13.92%( $P<0.05$ );叶面积在中度遮光组中最大,较对照组增加了9.43%,两组间无显著性差异,在重度遮光组最小,较对照组减少了25.28%( $P<0.05$ )。

表1 不同光强对刺五加苗生长参数的影响( $\bar{x}\pm s, n=6$ )

Table 1 Effect of light intensity on growth parameters of *Acanthopanax senticosus*( $\bar{x}\pm s, n=6$ )

处理	株高/cm	茎粗/mm	冠幅/cm	叶长/cm	叶片数/片	叶面积/cm <sup>2</sup>
对照	26.17±1.875 <sup>a</sup>	10.00±0.414 <sup>a</sup>	40.02±2.608 <sup>a</sup>	6.32±0.154 <sup>a</sup>	18.50±1.975 <sup>a</sup>	16.22±1.378 <sup>a</sup>
中度遮光	36.83±2.892 <sup>b</sup>	12.50±1.378 <sup>b</sup>	52.33±2.982 <sup>b</sup>	7.43±0.199 <sup>b</sup>	28.83±2.041 <sup>b</sup>	17.76±2.145 <sup>a</sup>
重度遮光	35.17±3.167 <sup>b</sup>	11.00±1.265 <sup>a</sup>	33.50±1.961 <sup>c</sup>	5.44±0.244 <sup>c</sup>	26.67±2.204 <sup>c</sup>	12.23±1.241 <sup>b</sup>

注:相同列不同字母代表组间有显著性差异( $P<0.05$ )。

**3.2 遮光对刺五加光合参数的影响** 经过3个月的遮光处理,刺五加叶片的净光合速率在中度遮光

组中最高,较对照组升高了49.07%,具有显著性差异( $P<0.05$ ),在重度遮光组最低,较对照组降低了

13.62%。蒸腾速率在中度遮光组中最高,较对照组升高了47.76%,具有显著性差异( $P<0.05$ ),重度遮光条件较对照组降低了9.60%。气孔导度在中遮光处理条件较对照组升高了39.15%,具有显著性差异( $P<0.05$ ),在重度遮光处理组较对照组下降了

35.63%,具有显著性差异( $P<0.05$ )。胞间二氧化碳浓度在中度遮光组较对照组的降低了23.51%,具有显著性差异( $P<0.05$ ),在重度遮光组较对照组升高了14.81%,具有显著性差异( $P<0.05$ )。光合参数指标测定结果见表2。

表2 不同光强对刺五加苗的光合参数的影响( $\bar{x}\pm s, n=6$ )

Table 2 Light intensity on photosynthetic parameters of *Acanthopanax senticosus* ( $\bar{x}\pm s, n=6$ )

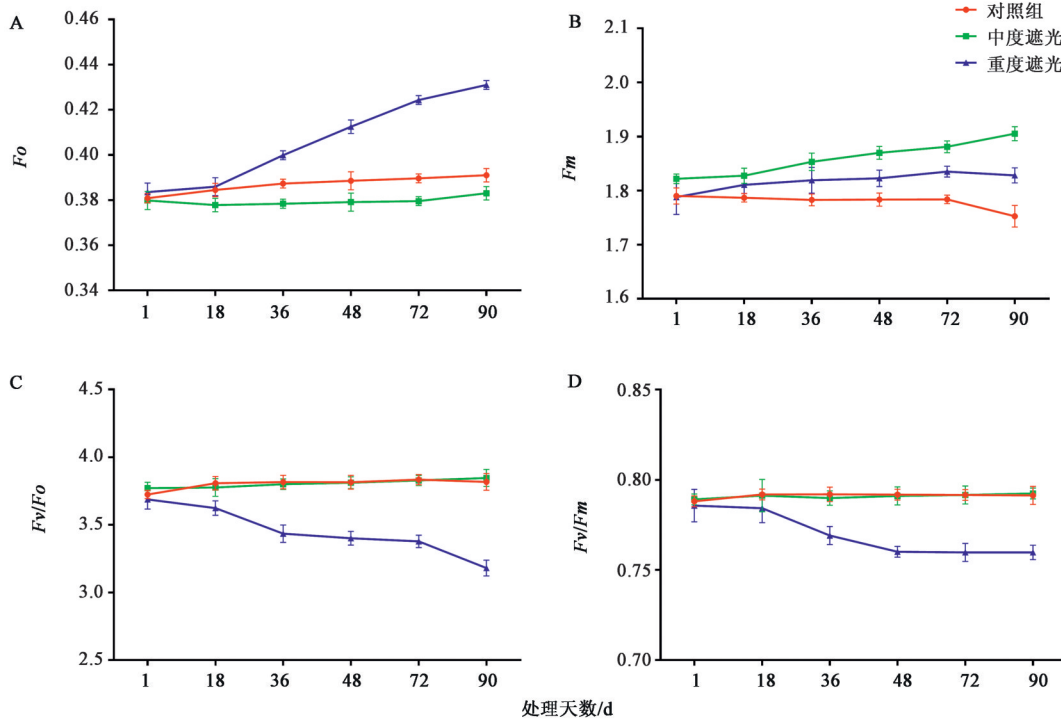
处理	净光合速率/ $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	气孔导度/ $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	胞间二氧化碳浓度/ $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$	蒸腾速率/ $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$
对照	5.469±0.271 <sup>a</sup>	0.056±0.003 <sup>a</sup>	248.306±7.149 <sup>a</sup>	1.351±0.040 <sup>a</sup>
中度遮光	8.153±0.218 <sup>b</sup>	0.077±0.003 <sup>b</sup>	189.929±6.381 <sup>b</sup>	1.996±0.039 <sup>b</sup>
重度遮光	4.724±0.214 <sup>a</sup>	0.036±0.002 <sup>c</sup>	285.079±5.625 <sup>c</sup>	1.221±0.036 <sup>a</sup>

### 3.3 遮光对刺五加叶绿素荧光动力学参数的影响

#### 3.3.1 遮光对刺五加叶片初始荧光( $F_0$ )的影响

重度遮光处理组的 $F_0$ 随着遮光天数的增加而不断上升,遮光90 d时,中度遮光组的 $F_0$ 与对照组无

显著性差异,说明中度遮光条件不会破坏刺五加叶的PS II反应中心;重度遮光组的 $F_0$ 值显著高于对照组( $P<0.05$ ),说明重度遮光处理使刺五加叶的PS II反应中心受到了破坏或失去可逆性。见图1A。



a. 初始荧光; b. 最大荧光; c. 潜在光化学效率; d. 最大光化学效率

图1 不同遮光条件对刺五加叶绿素荧光参数的影响

Fig. 1 Effects of different shading conditions on chlorophyll fluorescence parameters of *Acanthopanax senticosus*

#### 3.3.2 遮光对刺五加叶片最大荧光( $F_m$ )的影响

$F_m$ 随着遮光处理天数的增加,在中度遮光处理组随处理天数的增加而升高,在第90天显著高于对照组( $P<0.05$ )。重度遮光处理组的 $F_m$ 值在第20天开始显著下降,在处理90 d时显著低于对照组( $P<0.05$ )。结果表明,适度的遮光可增加刺五加的内在活性,而重度遮光处理会抑制电子传递,使通过PS

II的电子传递逐渐减少,最终导致植物内在活性逐渐降低。见图1B。

#### 3.3.3 遮光对刺五加叶片潜在光化学效率( $F_v/F_0$ )的影响

随着遮光处理进行,重度遮光组的潜在光化学效率降低幅度就越明显<sup>[16]</sup>。在遮光处理进行至第90天时,重度遮光处理组的 $F_v/F_0$ 较对照组显著下降( $P<0.01$ ),而中度遮光处理组的变化幅度较

小,与对照组无显著性差异。结果表明,中度遮光组对PS II的潜在活性影响较小,重度遮光对光反应中心的潜在活性起到了一定的破坏作用。见图1C。

**3.3.4 遮光对刺五加叶片最大光化学效率( $F_v/F_m$ )的影响** 随着光照强度的降低,中度遮光组与自然光组 $F_v/F_m$ 无显著性差异,而重度遮光组随着遮光时间的延长不断下降,在第90天时, $F_v/F_m$ 显著低于对照组及中度遮光处理组( $P<0.05$ )。结果表明,中等程度遮光不会对刺五加产生光抑制作用,重度遮光处理会导致光反应中心受到了破坏及损伤,且时间越长,伤害越深,光抑制程度也越深。见图1D。

#### 4 讨论

**4.1 遮光处理对刺五加生长的影响** 光在植物生长发育中起着非常重要的作用,可影响植物的形态结构、解剖结构和生理代谢。遮阴对植物最直接的影响是改变其形态特征。如大豆植株在不同光照条件下可通过调控其形态特征和叶片解剖结构来适应光强的变化<sup>[17]</sup>,适度的遮阴还可以提高紫苑的产量和质量<sup>[18]</sup>。在本研究中,刺五加幼苗在中度遮光条件下,通过增加叶长、叶面积、和叶片数来适应遮光环境,这有利于光合产物的制造和累积,因此株高、茎粗和冠幅在该条件下最大,此结果与遮光处理对5种金线莲属植物生长影响以及棉花生长影响的研究结果一致<sup>[19]</sup>。此外,本研究结果显示,重度遮光条件使株高较中度遮光组有所下降,且茎粗、冠幅、叶长、叶面积均低于对照组。这与前人研究光强对刺五加种子萌发和幼苗生长的影响的研究结果一致,即中度遮光条件对刺五加生长没有明显影响,但在严重遮光下生长会受到抑制<sup>[15]</sup>。因此,刺五加人工栽培的质量能否达到自然生长条件下的标准,是研究刺五加人工栽培技术的关键<sup>[20]</sup>。综上,在人工栽培刺五加时,应尽量模拟刺五加的自然生长环境,营造仿生栽培的光照条件,可选择东北向或北向坡种植或在行间进行遮光处理。

**4.2 遮光处理对刺五加光合作用的影响** 光是影响植物生长发育最重要的因子之一,参与调节植物生命周期中绝大多数生理过程<sup>[21]</sup>。除了利用光进行光合作用和生产碳水化合物进行生长外,植物还可以在不同的光照条件下调整自身营养和生殖生长资源的比例,以实现组织和器官的差异,确保最大的生存和繁殖机会。本研究的结果与李昌禹等<sup>[22]</sup>的研究结果也类似,发现5个不同生育时期的刺五加的光响应特性存在一定差异:在展叶至新梢形成期,其对光强敏感,光强在1 200 Lx以上,光合

速率不增反降,而200 Lx以下弱光则不能引发光合作用;而从蕾期后一直到生育期终了,其对高光强有较强的适应能力,但光强超过1 400 Lx后,光合速率增幅不明显。在果实快速生长期光合作用明显加强,光合速率最高,而此期也是新梢的二次生长期,即使在较弱的200 Lx光强下,净光合亦高达6.5;结果显示较适宜刺五加光合作用光强在400~1 200 Lx,表明刺五加为典型的阴生植物。在该文的研究中,重度遮光组的刺五加的 $F_o$ 较高,说明重度遮光处理使刺五加叶的光反应中心受到了破坏或失去可逆性。中度遮光处理组的 $F_m$ 值随处理天数的增加而升高,重度遮光处理组的 $F_m$ 值在第30天开始显著下降,在处理90 d时显著低于对照组。结果表明,中度遮光条件对刺五加叶绿素荧光参数的影响不显著,故对其内在活性的影响也不显著,而重度遮光处理会使刺五加内部的电子传递受到抑制,通过光反应中心的电子传递逐渐减少,最终使其内在活性逐渐降低。

总之,中度遮光条件可以促进刺五加生长和叶片的光合作用,对叶片的光反应中心的影响并不显著,而重度遮光条件不仅会抑制刺五加生长和叶片的光合作用,还破坏了叶片的光反应中心。这表明光强对刺五加生长调节与其影响了叶片的光合作用有关,而光强对刺五加光合作用的影响方式也显著不同,进一步可通过研究光强对刺五加药用成分的影响以及其与生长光合参数之间的关系来阐述其机制。综上分析,刺五加虽被公认为阴性植物,但在人工种植时还是要控制合适的光照强度,才会保证刺五加幼苗的生长,人工栽培刺五加时可选择38.8%的光强条件。

#### [参考文献]

- [1] ABIDI F, GIRAULT T, DOUILLET O, et al. Blue light effects on rose photosynthesis and photomorphogenesis[J]. Plant Biol (Stuttg), 2013, 15(1):67-74.
- [2] ARAÚJO J G, ARAÚJO JÚNIOR M M, MENEZES R D, et al. Efeito do recipiente e ambiente de cultivo sobre o desenvolvimento de mudas de mamoeiro cv. Sunrise Solo[J]. Rev Brasil de Fruticultura, 2006, 28(3):526-529.
- [3] KIM H H, SEONG B J, LEE K S, et al. Comparison of growth characteristics and quality of Korean ginseng (*Panax ginseng* CA Meyer) using different shade materials[J]. Planta Med, 2016, 82(S01):P283.

- [ 4 ] FERREIRA M I, LIMA G, RODRIGUES L, et al. Biomass production and photosynthetic efficiency of turmeric grown in different shade conditions[J]. Acta Horticulturae, 2016, doi: 10.17660/ActaHortic. 2016. 1125. 5.
- [ 5 ] FEIJÓ N S, MIELKE M S, GOMES F P, et al. Growth and photosynthetic responses of *Gallesia integrifolia* (spreng.) Harms and *schinus terebinthifolius* raddi seedlings in dense shade[J]. Agroforest Syst, 2009, 77(1):49-58.
- [ 6 ] LI Q, DING Q, WANG L, et al. Effects of shading and waterlogging on the photosynthesis and yield performance of winter wheat in Jiangsu province, China [J]. Int J Agriculture Biol, 2019, 21(2):472-478.
- [ 7 ] FAN Y, CHEN J, WANG Z, et al. Soybean (*Glycine max* l. Merr.) seedlings response to shading: leaf structure, photosynthesis and proteomic analysis [J]. BMC Plant Biol, 2019, 19(1):34.
- [ 8 ] WANG J, HUANG H, JIA S, et al. Photosynthesis and chlorophyll fluorescence reaction to different shade stresses of weak light sensitive maize[J]. Pak J Bot, 2017, 49(5):1681-1688.
- [ 9 ] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[M]. 北京:中国医药科技出版社, 2015:206.
- [ 10 ] 高彦宇, 李文慧, 寇楠, 等. 刺五加化学成分和药理作用研究进展[J]. 中医药信息, 2019, 36(2):113-116.
- [ 11 ] 白雪, 胡文忠, 姜爱丽, 等. 刺五加主要活性物质及其药理作用的研究进展[J]. 食品工业科技, 2016, 37(6):396-399.
- [ 12 ] 潘景芝, 金莎, 崔文玉, 等. 刺五加的化学成分及药理活性研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(23):353-360.
- [ 13 ] 张爽, 付士朋, 刘悦, 等. HPLC法分析刺五加茎中原儿茶酸及苯丙素类成分动态累积规律研究[J]. 天然产物研究与开发, 2018, 30(8):1410-1414.
- [ 14 ] 宋丽萍. 环境因子对刺五加幼苗光合特性和生长的影响[D]. 哈尔滨:东北林业大学, 2007.
- [ 15 ] 崔立勇, 佟庆, 史伟国, 等. 光照对刺五加种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 西北农业学报, 2015, 24(8):157-164.
- [ 16 ] 张绪成, 上官周平. 施氮对不同抗旱性冬小麦叶片光合与呼吸的调控[J]. 应用生态学报, 2006(11):2064-2069.
- [ 17 ] FAN Y, CHEN J, CHENG Y, et al. Effect of shading and light recovery on the growth, leaf structure, and photosynthetic performance of soybean in a maize-soybean relay-strip intercropping system [J]. PLoS One, 2018, 13(5):0198159.
- [ 18 ] YAZICI K, GUNES S. The effects of shading treatments on the plant growth rate of some varieties of aster flowers (*Dahlia* spp.) in the ecologic conditions of tokat(Turkey)[J]. Appl Ecol Environ Res, 2018, 16(5):7191-7202.
- [ 19 ] CHEN C, LUO X, JIN G, et al. Shading effect on survival, growth, and contents of secondary metabolites in micropropagated aneocochilus plantlets [J]. Brazil J Bot, 2017, 40(3):599-607.
- [ 20 ] 赵淑兰, 沈育杰, 杨义明, 等. 光照强度对不同栽培环境下刺五加生长发育的影响[J]. 特产研究, 2004, 26(3):18-19.
- [ 21 ] 何蔚, 杨振超, 蔡华, 等. 光质调控蔬菜作物生长和形态研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2016, 18(2):9-18.
- [ 22 ] 李昌禹, 王振兴, 张庆田, 等. 刺五加田间栽培光响应特性研究[J]. 北方园艺, 2011(5):195-197.

[责任编辑 顾雪竹]