



# 遮阴对杜鹃红山茶幼苗叶片生长特性及初生代谢的影响

李先民<sup>1</sup>, 李春牛<sup>1</sup>, 刘新亮<sup>2\*</sup>, 卜朝阳<sup>1</sup>, 黄展文<sup>1</sup>

(1 广西农业科学院 花卉研究所, 南宁 530007; 2 江西省林业科学院, 南昌 330032)

**摘要:**以 2.5 年生杜鹃红山茶扦插苗为试验材料, 研究了遮光率分别为 0(CK)、30%、50%、80% 条件下其叶片生长状况、光合色素含量、初生代谢产物以及叶片相对电导率的变化, 以揭示杜鹃红山茶叶片生长发育与光照强度的关系。结果表明:(1)遮阴显著促进杜鹃红山茶幼苗叶片的生长, 其叶片数量、总叶面积、平均叶面积、比叶面积、叶片含水量等指标均在 50%~80% 遮光条件下处于最高水平。(2)遮阴条件下的幼苗叶片总叶绿素、叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素含量和 SPAD 值均比 CK 上升, 且均在 80% 遮光条件下处于最高水平。(3)随遮阴强度的增加, 叶片可溶性糖和可溶性蛋白含量均表现出先降低后上升的趋势, 且均在 50% 遮光条件下处于最低水平; 叶片淀粉含量表现出先上升后降低的趋势, 并在 50% 遮光条件下处于最高水平。(4)遮阴显著降低叶片相对电导率, 且随遮阴强度的增加表现出先下降后上升的趋势, 并在 50% 遮光条件下处于最低水平。研究认为, 杜鹃红山茶幼苗对低光照环境有较强的适应性, 适度的遮阴(遮光率 50%)有助于杜鹃红山茶幼苗叶片的生长发育。

**关键词:**遮阴; 杜鹃红山茶; 叶片生长状况; 光合色素; 初生代谢

中图分类号: Q945.79

文献标志码: A

## Effect of Shading on Leaf Growth and Primary Metabolism of *Camellia azalea* Seedlings

LI Xianmin<sup>1</sup>, LI Chunniu<sup>1</sup>, LIU Xinliang<sup>2\*</sup>, BU Zhaoyang<sup>1</sup>, HUANG Zhanwen<sup>1</sup>

(1 Flowers Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China; 2 Jiangxi Academy of Forestry, Nanchang 330032, China)

**Abstract:** In order to study the needs and adaptability of *Camellia azalea* to sunlight, we studied the effects of the shading treatments at different degrees [0 (CK), 30%, 50% and 80%] on leaf growth, photosynthetic pigments contents, primary metabolite contents and relative conductivity of *C. azalea* seedlings (2.5 a). The results showed that: (1) the shading significantly promoted the growth of *C. azalea* leaves, and the leaf number, total leaf area, average leaf area, specific leaf area, and leaf water content were at the highest level under 50%–80% shading condition. (2) The total chlorophyll content, chlorophyll a content, chlorophyll b content, carotenoid content and SPAD value of *C. azalea* leaves increased to a certain extent under shading condition, and reached the highest level under 80% shading condition. (3) With the increase of shading intensity, the contents of soluble sugar, soluble protein in leaves decreased firstly and then increased, and they were at the lowest level under 50% shading condition; the content of starch in leaves increased firstly and then decreased, and it was at the highest level under 50% shading condition. (4) Shading significantly reduced the relative conductivity of leaves. With the increase of shad-

收稿日期: 2018-12-04; 修改稿收到日期: 2019-02-20

基金项目: 广西科技基地和人才专项(桂科 AD18281004); 广西农业科学院基本科研业务专项(2017YM47, 2015YT91); 广西科技重大专项(桂科 AA17204046-1)

作者简介: 李先民(1988—), 男, 硕士, 助理研究员, 主要从事花卉栽培与育种研究。E-mail: lixm7406@126.com

\* 通信作者: 刘新亮, 博士, 主要从事观赏植物选育及栽培研究。E-mail: liuxinliang1988@163.com

ing intensity, it showed the trend of decreased firstly and then increased, and at the lowest level under 50% shading condition. Therefore, *C. azalea* seedlings have a strong adaptability to low light condition, and the moderate shading treatment (50% shading condition) helps leaf growth and development of *Camellia azalea* seedlings.

**Key words:** shading; *Camellia azalea*; leaf growth status; photosynthetic pigments; primary metabolism

杜鹃红山茶(*Camellia azalea*)为山茶科(Theaceae)山茶属(*Camellia*)常绿灌木或小乔木,是中国特有珍稀濒危物种,仅在广东省阳春市鹅凰嶂省级自然保护区内一个狭窄的河谷两旁有零星分布,现存野生植株仅1 000余株,已被《中国物种红色名录》列为极危种<sup>[1]</sup>。杜鹃红山茶花期长,夏、秋两季为盛花期,在适宜的栽培条件下一年四季都可以开花,是迄今为止发现的唯一能真正全年开花的山茶物种,弥补了山茶属夏季和秋季不开花的空白<sup>[2]</sup>。杜鹃红山茶开花稠密、花朵大而艳红,叶形奇特、叶厚革质,植株紧凑,病虫害少,适应性强,在园林与观赏园艺方面具有广阔的应用前景;同时,杜鹃红山茶是培育杂交茶花优良品种的宝贵亲本材料,具有极高的科研价值<sup>[3-5]</sup>。目前,国内外关于杜鹃红山茶的研究主要集中在濒危原因及保护、繁育技术、生物学特性、遗传多样性及新品种选育等方面,外界生境对其胁迫的有关研究较少<sup>[4,6-9]</sup>。

光是植物生存和生长发育重要的环境因子之一,植物与光环境的关系一直是植物生理生态学研究的热点问题<sup>[10]</sup>。光照强度对植物的生长及形态结构建成具有重要的作用,遮光可明显改变植物生长环境,尤其对土壤和冠层温度、湿度及土壤物理性状影响较大,影响植物光合作用、营养物质吸收及其在植物体内重新分配等一系列生理过程<sup>[11]</sup>。结合原生境来看,杜鹃红山茶作为一种较为耐阴的半阳性植物,有关光照对杜鹃红山茶影响的报道主要集中在光合作用日变化特性、光合作用特征及光响应曲线模型的适用性等方面,光照对其生长及相关生理指标影响的研究却鲜有报道,限制了其繁殖和育种工作的开展<sup>[3,12]</sup>。因此,本试验采用人工遮光的方法模拟不同的光照强度,考察不同强度光照对杜鹃红山茶幼苗叶片生长状况、光合色素、初生代谢产物以及相对电导率等指标的影响,探讨其在不同光照条件下的生理生态响应机制,以期为该树种的科学栽培、管理及规模化生产供理论依据和技术支持。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验地概况

试验地位于广西农业科学院花卉研发与推广中

心内(22°48'N、108°22'E),地处南亚热带季风气候区,海拔73 m左右。年平均气温21.6 ℃,极端最高气温40.4 ℃,极端最低气温-2.4 ℃,年均降雨量1 304.2 mm,平均相对湿度79%,无霜期334 d。该区环境条件能够满足试验要求。

### 1.2 试验材料

试验材料为2.5年生杜鹃红山茶扦插苗,于2016年11月移栽入盆(15 cm×13.5 cm),每盆2株。盆栽土壤一致,培养基质为微酸性砂质壤土(pH=6.5),选择长势一致的幼苗(平均苗高20.51 cm,地径0.47 cm)进行遮阴胁迫试验,试验期间统一正常水肥管理。

### 1.3 试验设计

2017年4月开始在自然光照下应用遮阴网进行不同遮阴处理(以ZDS-10型照度计实际测定为准),共设置I(两针遮阴网1层,遮光率30%)、II(三针遮阴网1层,遮光率50%)、III(六针遮阴网1层,遮光率80%)3个处理水平,各处理遮光覆盖均采用搭棚覆盖法,即在盆苗上方搭建平棚,棚高1.5 m、边长2 m×2 m,将遮阴网覆盖于平棚上方,为保证盆苗通风透气,遮光罩底部距地面20 cm。以全光照为对照(CK,遮光率为0)。每组处理30盆,每10盆1个重复,共3个重复。分别于遮阴后0(仅测CK组数据)、50、100、150 d早上9:00采样,每株随机选择长势一致的当年生健康枝条顶端第3~4片成熟叶片3张,每个重复共30张,用于光合色素含量、初生代谢产物含量以及相对电导率的动态测定。

### 1.4 测定指标及方法

**1.4.1 叶片形态指标** 于2017年9月(遮阴150 d),从每个处理中各取5株平均标准株进行叶片数、叶面积、叶鲜重和叶干重等指标测定。其中,叶面积用LI-3000A叶面积仪(LI-COR,美国)测定;叶鲜重直接用1/1 000电子天平称量;将叶片经105 ℃ 30 min杀青后,在80 ℃条件下烘干至质量恒定,用1/1 000天平称量叶干重。并通过以下公式计算出比叶重、比叶面积和叶片含水量:

$$\text{比叶重}(\text{g} \cdot \text{m}^{-2}) = \text{叶干重}(\text{g}) / \text{叶面积}(\text{m}^2);$$

$$\text{比叶面积}(\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}) = \text{叶面积}(\text{cm}^2) / \text{叶干重}(\text{g});$$

叶片含水量(%)=[(叶鲜重-叶干重)/叶鲜重]×100%。

**1.4.2 光合色素含量** 总叶绿素、叶绿素a、叶绿素b和类胡萝卜素含量测定采用95%乙醇浸泡法<sup>[13]</sup>。同时,利用SPAD-502手持叶绿素仪(柯尼卡美能达,日本)对各处理植株的主干上部第2~3片叶片及主干下部第2~3片叶片进行叶绿素相对含量(SPAD)测定。

**1.4.3 初生代谢产物含量** 各处理苗木的叶片可溶性糖含量测定采用蒽酮比色法<sup>[13]</sup>,可溶性蛋白含量测定采用考马斯亮蓝G-250染色法<sup>[13]</sup>,淀粉含量测定参照王晶英等<sup>[14]</sup>的方法。

**1.4.4 叶片相对电导率** 叶片相对电导率测定参照陈建勋和王晓峰<sup>[15]</sup>的方法。

## 1.5 数据处理

数据统计用Excel 2010软件,方差分析和显著性检验(Duncan新复极差法)用SPSS 19.0软件。

## 2 结果与分析

### 2.1 遮阴对杜鹃红山茶幼苗叶片生长状况的影响

表1显示,杜鹃红山茶叶片数、总叶面积、平均叶面积、比叶重及叶片含水量在各处理间的差异均达到了显著水平( $P<0.05$ )。其中,在遮光条件下(处理I~III),杜鹃红山茶幼苗叶片数、总叶面积、平均叶面积及叶片含水量均显著高于未遮阴对照(CK)。植株叶片数以处理II(50%遮光)最多(20.63张),显著高于处理I(30%遮光),而与处理III(80%遮光)差异不显著;处理III植株总叶面积(99.71 cm<sup>2</sup>)、平均叶面积(5.04 cm<sup>2</sup>)、叶片含水量(71.54%)及比叶面积(37.47 cm<sup>2</sup>·g<sup>-1</sup>)均最大,并显著高于处理I,而与处理II差异不显著;CK植株比叶重最高(361.58 g·m<sup>-2</sup>),显著高于各遮阴处

理。因此,适度的遮阴有利于促进杜鹃红山茶幼苗叶片的生长发育。

### 2.2 遮阴对杜鹃红山茶幼苗光合色素含量的影响

随着遮阴时间的延长,各遮阴处理杜鹃红山茶幼苗叶片总叶绿素、叶绿素a、叶绿素b及类胡萝卜素含量均呈逐渐上升的趋势,且升幅表现为处理III>处理II>处理I,而全光照对照幼苗叶片各光合色素含量呈逐渐降低的趋势(表2)。同时,随着遮阴时间的推移,CK及处理I叶片叶绿素a/b值均呈逐渐上升的趋势,且CK上升幅度大于处理I;处理II和III的叶绿素a/b值呈逐渐下降的趋势,处理III下降幅度大于处理II。在遮阴处理前期(50 d),杜鹃红山茶叶片各光合色素含量在各光照处理间的差异不显著;在遮阴处理中后期(100 d和150 d),各处理光合色素的含量随着遮阴强度的增加而增加,且处理间的差异达到了显著水平( $P<0.05$ ),而叶绿素a/b值差异仍不显著;在遮阴处理期间,处理III的总叶绿素、叶绿素a、叶绿素b及类胡萝卜素含量均处于最高水平。

另外,杜鹃红山茶幼苗叶片SPAD值的测定结果(表3)显示,在全光照条件下,植株主干上部叶片SPAD值随生长季节逐渐升高,而下部叶片随生长季节有一定程度的降低。在各遮阴条件下,主干上部叶片SPAD值随着遮阴时间的延长呈逐渐上升的趋势,且遮阴强度越大增加幅度越大;同时,主干下部叶片SPAD值在处理I及CK中随着遮阴时间的延长呈逐渐降低的趋势,且CK下降幅度大于处理I,而在处理II和III中变化较为平稳,各时期SPAD值与50 d相比略有上升。在遮阴处理前期,主干上部和下部叶片SPAD值在各遮阴处理间差异不显著;在遮阴处理中后期,主干上部和下部叶片SPAD值均随着遮阴强度的增加而增加,各处理间

表1 不同光照条件下杜鹃红山茶幼苗叶片生长状况

Table 1 The leaf growth of *C. azalea* seedlings under different shading conditions

处理 Treatment	叶片数 Leaf number	总叶面积 Total leaf area/cm <sup>2</sup>	平均叶面积 Average leaf area/cm <sup>2</sup>	比叶重 Specific leaf weight/(g·m <sup>-2</sup> )	比叶面积 Specific leaf area/(cm <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> )	叶片含水量 Leaf water content/%
CK	9.67±1.24c	33.74±6.09c	3.53±0.70c	361.58±26.89a	27.81±2.10b	60.92±2.74c
I	17.81±1.85b	76.20±17.42b	4.24±0.63b	327.99±34.89b	30.82±3.14b	65.03±2.76b
II	20.63±1.8a	96.54±10.62a	4.69±0.45ab	282.28±28.40c	35.78±3.57a	70.73±2.50a
III	19.84±1.71a	99.71±10.96a	5.04±0.51a	270.12±29.64c	37.47±4.09a	71.54±1.76a

注:CK,全光照对照,无遮光;I,遮光率30%;II,遮光率50%;III,遮光率80%;表中数据为平均值±标准误差,同一列中不同小写字母表示处理间差异达到0.05显著水平( $P<0.05$ );下表同

Note: CK, Control, no shading; I, 30% shading; II, 50% shading; III, 80% shading; Data in the table are average ± standard error.

The different normal letters within the same column indicate significant difference between the treatments at 0.05 level; The same as below

表2 不同光照条件下杜鹃红山茶幼苗叶片的光合色素含量

Table 2 Photosynthetic pigment contents of *C. azalea* seedling leaves under different shading conditions

光合指标 Photosynthetic index	处理 Treatment	遮阴时间 Shading time/d		
		0	50	100
总叶绿素含量 Total chlorophyll content (mg·g <sup>-1</sup> )	CK		0.79±0.05 a	0.71±0.05 c
	I	0.85±0.02	0.80±0.07a	0.81±0.04b
	II		0.84±0.07a	0.85±0.05ab
叶绿素a含量 Chlorophyll a content (mg·g <sup>-1</sup> )	III		0.87±0.06a	0.93±0.04a
	CK		0.57±0.03a	0.51±0.03b
	I	0.60±0.02	0.57±0.04a	0.59±0.02a
叶绿素b含量 Chlorophyll b content (mg·g <sup>-1</sup> )	II		0.60±0.02a	0.60±0.05a
	III		0.62±0.06a	0.63±0.04a
	CK		0.22±0.03a	0.19±0.04b
叶绿素b含量 Chlorophyll b content (mg·g <sup>-1</sup> )	I	0.24±0.04	0.23±0.04a	0.22±0.03ab
	II		0.24±0.04a	0.25±0.04ab
	III		0.26±0.01a	0.30±0.01a
叶绿素a/b Chlorophyll a/b	CK		2.62±0.28a	2.75±0.57a
	I	2.53±0.45	2.56±0.33a	2.64±0.33a
	II		2.52±0.34a	2.45±0.48a
类胡萝卜素含量 Carotenoid content (mg·g <sup>-1</sup> )	III		2.41±0.37a	2.11±0.14a
	CK		0.29±0.01a	0.27±0.03b
	I	0.31±0.02	0.31±0.02a	0.32±0.02ab
类胡萝卜素含量 Carotenoid content (mg·g <sup>-1</sup> )	II		0.32±0.04a	0.35±0.04a
	III		0.34±0.02a	0.37±0.02a
	CK		0.39±0.02a	0.39±0.02a

表3 不同光照条件下杜鹃红山茶幼苗叶片 SPAD 值

Table 3 The SPAD value of *C. azalea* seedling leaves under different shading conditions

SPAD 值 SPAD value	处理 Treatment	遮阴时间 Shading time/d		
		0	50	100
主干上部叶片 Apical leaf	CK		38.92±2.76a	47.10±2.91b
	I	30.95±1.67	41.54±2.81a	51.97±3.08b
	II		42.99±2.26a	59.12±2.83a
主干下部叶片 Terminal leaf	III		41.86±2.63a	61.05±3.03a
	CK		62.95±2.01a	59.25±1.76b
	I	64.28±3.03	62.28±2.27a	60.05±2.03b
主干下部叶片 Terminal leaf	II		64.33±1.94a	66.36±2.61a
	III		65.54±3.05a	65.85±1.68a
	CK		67.14±2.94a	

SPAD 值差异达到显著水平,并以处理 III 最高,且均与处理 II 差异不显著,但显著高于 CK 和处理 I ( $P < 0.05$ )。因此,适度的遮阴有助于杜鹃红山茶幼苗叶片光合色素的积累。

### 2.3 遮阴对杜鹃红山茶幼苗初生代谢物含量的影响

随着遮阴时间的延长,各处理杜鹃红山茶幼苗叶片可溶性糖含量总体均呈逐渐增加的趋势,且在

遮阴前期上升较幅度明显高于中后期;同期各处理上升幅度表现为  $CK > I > III > II$ ,且其中处理 II 在处理期间均显著低于 CK,但各遮阴处理间差异不显著(表 4)。同时,杜鹃红山茶幼苗叶片可溶性蛋白含量在 CK、处理 I、III 中总体呈逐渐上升的趋势,且上升幅度表现为  $CK > I > III$ ,而在处理 II 中变化不明显;在遮阴前期和中期,各遮阴处理间可溶

性蛋白含量差异不显著,且仅处理Ⅱ在处理中期显著低于CK,而各遮阴处理可溶性蛋白含量在处理后期均显著低于CK( $P<0.05$ )。另外,随着遮阴时间的增加,杜鹃红山茶幼苗叶片淀粉含量在CK和处理Ⅰ中呈逐渐下降的趋势,而在处理Ⅱ中反之且上升幅度不大,在处理Ⅲ中呈先下降后上升的变化趋势;遮阴显著增加叶片的淀粉含量,且各遮阴处理在遮阴中后期均显著高于CK,并以处理Ⅲ的淀粉含量最高。以上结果说明光照过强或者过弱均会导致杜鹃红山茶幼苗叶片可溶性糖和可溶性蛋白含量升高,且不利于光合产物淀粉的积累。

## 2.4 遮阴对杜鹃红山茶幼苗叶片相对电导率的影响

叶片相对电导率可代表植株叶片细胞膜透性的大小,能够反映植株受逆境伤害的程度。随着遮阴时间的延长,杜鹃红山茶幼苗叶片相对电导率在CK、处理Ⅰ和处理Ⅲ中呈逐渐上升的趋势,且它们上升幅度为 $CK>I>III$ ,而在处理Ⅱ中变化不明

显,处理Ⅱ叶片相对电导率在各时期的处理中均最低(表5)。在遮阴前期和中期,各遮阴处理间叶片相对电导率差异均不显著,且除处理Ⅱ外均与同期CK无显著差异;在遮阴后期,各处理间叶片电导率差异达到显著水平,且各遮阴处理均显著低于对照,其中的处理Ⅱ又显著低于其他处理( $P<0.05$ )。可见,遮阴不同程度降低了叶片相对电导率,且随遮阴强度的增加表现出先下降后上升的趋势,说明CK幼苗在高光照条件下受到了一定的伤害;杜鹃红山茶幼苗对弱光环境具有较强的适应性,适度的遮阴对叶片细胞膜系统起到一定的保护作用。

## 3 讨论

适宜的光照条件能促进植物组织与器官的分化,反之则会起到抑制作用<sup>[16]</sup>。叶片是植物进行光合作用和呼吸作用等生理代谢活动的主要器官,对光照的响应最为敏感,会随光照条件而调整叶片形态结构以利于植物最大程度地吸收光能、提高光合

表4 不同光照条件下杜鹃红山茶幼苗叶片的初生代谢物含量

Table 4 Primary metabolite contents of *C. azalea* seedling leaves under different shading conditions

初生代谢指标 Primary metabolism index	处理 Treatment	遮阴时间 Shading time/d			
		0	50	100	150
可溶性糖含量 Soluble sugar content (mg·g <sup>-1</sup> )	CK		19.41±1.79a	19.82±1.42a	20.22±2.22a
	I	15.54±0.96	17.81±1.21ab	18.27±1.44ab	18.99±1.19ab
	II		15.83±1.67b	16.32±1.74b	16.65±0.98b
可溶性蛋白含量 Soluble protein content (mg·g <sup>-1</sup> )	CK		20.85±2.54a	22.07±2.10a	25.46±1.08a
	I	17.76±1.32	19.25±2.62a	19.97±1.69ab	21.61±1.85b
	II		18.24±2.70a	17.88±1.65b	18.06±1.40c
淀粉含量 Starch content (mg·g <sup>-1</sup> )	CK		54.32±3.13b	49.42±3.07c	47.07±2.18c
	I	59.63±5.28	57.67±3.67ab	56.67±2.04b	55.21±3.25b
	II		63.10±2.62a	65.60±2.09a	66.32±2.29a
	III		57.88±2.59ab	58.24±3.54b	61.97±3.17a

表5 不同光照条件下杜鹃红山茶幼苗叶片相对电导率

Table 5 Relative conductivity of *C. azalea* seedling leaves under different shading conditions

处理 Treatment	遮阴时间 Shading time/d			
	0	50	100	150
CK		0.42±0.02a	0.45±0.04a	0.50±0.02a
I	0.36±0.01	0.40±0.02ab	0.43±0.02ab	0.45±0.02b
II		0.37±0.01b	0.36±0.04b	0.36±0.01d
III		0.39±0.02ab	0.40±0.04ab	0.40±0.01c

速率,促进植物生长发育<sup>[17]</sup>。本研究中,杜鹃红山茶幼苗在遮阴条件下,其叶片数、总叶面积及平均叶面积均大于全光照条件,且均在50%~80%的遮阴条件下处于最高水平,说明在此遮阴条件下对杜鹃红山茶幼苗叶片的形成及发育有促进作用。结合实际观察,在全光照条件下随着栽培天数的增加,杜鹃红山茶幼苗成熟叶片颜色逐渐由绿变黄,且叶片灼伤愈发严重,残存叶片以黄叶居多,新生叶片小且掉落严重。这是由于在强光条件下,叶片吸收的光能不能及时有效地被利用和耗散,植物遭受强光胁迫,从而降低光合功能,出现光抑制甚至光氧化,以致破坏光合机构<sup>[10,18]</sup>。而比叶面积的减小可能是植株减少光能捕获,避免光合机能过度遭受强光胁迫破坏的策略<sup>[19]</sup>。在遮阴条件下,叶面积的增加是由于为了更好地利用光能,通过对叶片数量及叶面积的调整,增加植株整体受光面积<sup>[20]</sup>。综上认为,杜鹃红山茶幼苗对低光照环境有较强的适应性,50%~80%的遮光条件对杜鹃红山茶幼苗叶片形成及发育有促进作用。

光照过强会破坏植株叶片的光合结构,光照过弱则不利于叶肉细胞光合作用的进行<sup>[21-22]</sup>。叶绿素是光合反应中最重要的光合色素,其含量的高低直接影响到叶片光合能力的强弱,是植物适应和利用环境因子的重要指标<sup>[23-25]</sup>。本研究中,杜鹃红山茶幼苗叶片中总叶绿素、叶绿素a及叶绿素b含量在50%~80%的遮光条件下最高,在全光照条件下最低,说明遮阴条件有利于叶绿素的积累及光能捕获能力的提高,而光照过强不利于叶绿素的积累。叶绿素a/b值是反映植物耐阴性的重要指标,有研究表明,叶绿素含量高而叶绿素a/b值小的植物具有较强的耐阴性<sup>[26-27]</sup>。本研究中,杜鹃红山茶幼苗叶片叶绿素a/b值均随遮阴程度的增加而减少,说明杜鹃红山茶幼苗在遮阴条件下能通过增加叶绿素含量并调节叶绿素a/b值来提高光能捕获能力,具有较强的耐阴性。类胡萝卜素参与光能捕获和光破坏防御两个重要过程<sup>[28]</sup>。本研究中,在遮阴条件下类胡萝卜素含量随遮阴天数增加而逐渐增加,且遮阴程度越大增加的幅度越大,这说明光照过强不利于叶片类胡萝卜素含量的积累,甚至会降低叶片光能捕获与光破坏防御的能力。SPAD值也叫绿色度,与叶绿素含量呈显著正相关关系,常被用来衡量叶片含氮量的高低<sup>[28-29]</sup>。本研究中,主干上部叶片SPAD值随着栽培天数的增加而上升,且随着遮阴程度的增加,SPAD值上升幅度更为明显;同时主干

下部叶片SPAD值随着栽培天数的增加而下降,而遮阴能明显减缓下降程度,特别在50%~80%的遮阴条件下,植株主干下部叶片SPAD值基本保持不变。这说明50%~80%遮光条件有利于植株嫩叶叶绿素的积累和含氮量的提高,从而有利于光合功能的提高<sup>[30]</sup>;光强过高不利于成熟叶片氮素的积累,适度遮阴能防止氮素的流失,从而保证叶片的光合功能。

光是植物生长发育的能量来源,并作为信号因子调控植物的生长发育,影响植物初生代谢产物的合成与积累<sup>[31]</sup>。可溶性糖及淀粉是重要的初生代谢产物,同时可溶性糖和可溶性蛋白又是植物体内重要的渗透调节物质,对逆境胁迫起到抵抗作用,当植物遭受胁迫时,会通过增加或降低其含量来调节植株细胞渗透压<sup>[32-34]</sup>。本研究中,在50%遮光条件下,杜鹃红山茶叶片可溶性糖和可溶性蛋白含量在各时期均最低,但随着光照强度或遮光强度的增加,可溶性糖和可溶性蛋白含量均有不同程度升高;50%遮阴条件下,植株叶片淀粉含量随着栽培天数的增加逐渐上升,同时此条件下淀粉含量在各时期均最高,但随着光照强度或遮光强度的增加,淀粉含量均有不同程度降低。造成这种现象的原因是在不利光照条件下:(1)植株细胞渗透压发生变化,甚至形成胁迫,需提高可溶性糖及可溶性蛋白的含量来调节细胞渗透压平衡<sup>[35]</sup>;(2)植物体内蛋白质合成受到抑制、降解加剧,使游离氨基酸含量上升,包括脯氨酸及其他氨基酸等,导致可溶性蛋白含量的上升<sup>[36]</sup>;(3)植物体内的活性氧会在植物受到胁迫时增生,在一定程度上诱导了活性氧清除酶类的升高及抗氧化物质含量的增加,如过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)等,为清除活性氧,保护植物细胞免受伤害<sup>[37-38]</sup>;(4)叶片光合作用在一定程度上受到抑制,当光合产物不足以满足植株代谢所需能量时,靠植株原储备的营养物质水解提供,而淀粉的水解也是叶片可溶糖上升的主要原因。综上认为,光照过强或者过弱会导致可溶性糖和可溶性蛋白含量升高,均不利于淀粉的积累,结合叶片状况指标的研究来看,50%遮阴条件有利于叶片的生长发育和光合产物的积累。

本试验以杜鹃红山茶2.5年生扦插幼苗作为供试材料,但不同繁殖类型的植株对不同光照条件的响应存在差异,以后可以考虑对不同繁殖类型的杜鹃红山茶植株进行研究。同时,2.5年生的种苗对不同光照条件的响应不能完全反映成年苗木的响应

机理,因此,在以后的研究中,可以考虑同时用多年生的大苗作为研究材料。另外,光照条件对植物生长发育的影响较为复杂,遮阴条件不仅改变了植物的光照情况,也改变了空气温度、土壤温度、空气湿

度、土壤湿度等环境小气候因子,以及空气中 CO<sub>2</sub> 体积分数也会随之变化,同时植物适宜的遮光环境与采用遮光材料进行处理后植物利用的光质是否存在一定的联系,仍需要再进一步研究探讨。

## 参考文献:

- [1] 李先民,李春牛,卜朝阳,等.基质、促根剂及插穗对杜鹃红山茶扦插生根的影响[J].西南农业学报,2017,30(2): 426-431.  
LI X M, LI C N, PU Z Y, et al. Effect of cutting propagation techniques of *Camellia azalea* on its rooting rate[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2017, **30**(2): 426-431.
- [2] 李辛雷,孙振元,李纪元,等.广东鹅凰嶂自然保护区杜鹃红山茶种群结构与空间分布格局[J].应用生态学报,2013,24(8): 2 115-2 121.  
LI X L, SUN Z Y, LI J Y, et al. Population structure and spatial distribution pattern of *Camellia azalea* in E' huang-zhang nature reserve of Guangdong, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, **24**(8): 2 115-2 121.
- [3] 张方秋,杨会肖,徐斌,等.杜鹃红山茶的光响应特性及其最适模型筛选[J].生态环境学报,2015,24(10): 1 599-1 603.  
ZHANG Q F, YANG H X, XU B, et al. Photosynthesis light response characteristics of *Camellia azalea* and fitting of application models [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2015, **24**(10): 1 599-1 603.
- [4] 李辛雷,孙振元,李纪元,等.濒危植物杜鹃红山茶种群结构和动态变化[J].植物资源与环境学报,2018,27(2): 17-23.  
LI X L, SUN Z Y, LI J Y, et al. Population structure and dynamic change of endangered plant *Camellia azalea* [J]. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2018, **27**(2): 17-23.
- [5] 李先民,蒋月喜,李春牛,等.杜鹃红山茶无土栽培基质的筛选[J].江苏农业科学,2017,45(20): 147-151.  
LI X M, JIANG Y X, LI C N, et al. Screening the optimum substrate formula of soilless culture for *Camellia azalea* [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2017, **45**(20): 147-151.
- [6] 杨维雄,周庆宏,王有兵,等.杜鹃红山茶研究进展[J].林业调查规划,2013,38(4): 45-49.  
YANG W X, ZHOU Q H, WANG Y B, et al. Research progress of *Camellia azalea* Wei[J]. *Forest Inventory and Planning*, 2013, **38**(4): 45-49.
- [7] 徐颖.山茶属植物个体内 rDNA 多态性及杜鹃红山茶的空间遗传结构[D].上海:复旦大学,2012.
- [8] 王江英,邵小斌,殷恒福,等.过量表达杜鹃红山茶 CaAPX1 的烟草耐热性提高[J].园艺学报,2016,43(11): 2 203-2 213.  
WANG J Y, SHAO X B, YIN H F, et al. Overexpression of *CaAPX1* from *Camellia azalea* enhances hot stress tolerance in transgenic tobacco[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2016, **43**(11): 2 203-2 213.
- [9] 徐斌,彭莉霞,杨会肖,等.杜鹃红山茶叶片主要性状的遗传多样性分析[J].植物研究,2015,35(5): 730-734.  
XU B, PENG L X, YANG H X, et al. Genetic diversity analysis for leaf main traits of *Camellia azalea* [J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2015, **35**(5): 730-734.
- [10] 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.  
CHAI S F, WEI X, SHI Y C, et al. Effect of strong light stress on the growth, biomass and chlorophyll fluorescence parameters in seedlings of endangered plant *Camellia nitidissima* [J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2012, **32**(2): 159-164.
- [11] 陈菊艳,杨远庆.遮光对野扇花生长特性和生理指标的影响[J].西北植物学报,2010,30(8): 1 646-1 652.  
CHEN J Y, YANG Y Q. Growth development and physiological characters of *Sarcococca ruscifolia* Stapf under weak-light[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalis Sinica*, 2010, **30**(8): 1 646-1 652.
- [12] 刘红晓,袁莲莲,刘楠,等.杜鹃红山茶的扦插苗、嫁接苗和砧木的光合作用特征[J].生态环境学报,2013,22(6): 996-1 000.  
LIU H X, YUAN L L, LIU N, et al. Photosynthetic characteristics of cutting seedlings, grafted seedlings and stock of *Camellia changii* Ye [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2013, **22**(6): 996-1 000.
- [13] 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.
- [14] 王晶英,敖红,张杰,等.植物生理生化实验技术与原理[M].哈尔滨:东北林业大学出版社,2003.
- [15] 陈建勋,王晓峰.植物生理学实验指导(第二版)[M].广州:华南理工大学出版社,2006.
- [16] 杨虎彪,刘国道.不同光照强度对幼龄期鹧鸪茶生长的影响[J].热带作物学报,2017,38(11): 2 056-2 059.  
YANG H B, LIU G D. Different light intensity effects to growth on juvenile stage *Mallotus peltatus* [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2017, **38**(11): 2 056-2 059.
- [17] 吕晋慧,王玄,冯雁梦,等.遮阴对金莲花光合特性和叶片解剖特征的影响[J].生态学报,2012,32(19): 6 033-6 043.  
LÜ J H, WANG X, FENG Y M, et al. Impact of Shading on growth, development and physiological characteristics of *Trollius chinensis* Bunge [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, **32**(19): 6 033-6 043.
- [18] 李新国,孟庆伟,赵世杰.强光胁迫下银杏叶片的光抑制及其防御机制[J].林业科学,2004,40(3): 56-59.  
LI X G, MENG Q W, ZHAO S J. Photoinhibition and photoprotection mechanisms in *Ginkgo biloba* leaves under strong light stress[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2004, **40**(3): 56-59.
- [19] 蔡艳飞,李世峰,解玮佳,等.不同光照环境对‘徽安’铁线莲

- 光合特性的影响[J]. 园艺学报, 2011, **38**(7): 1 377-1 384.
- CAI Y F, LI S F, XIE W J, et al. Influences of different light environments on photosynthetic characteristics of *Clematis* ‘Vyryan Pennell’[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2011, **38**(7): 1 377-1 384.
- [20] 朱肖锋, 周守标, 等. 遮光对马蹄金生物量分配和形态特征的影响[J]. 生态学杂志, 2009, **28**(7): 1 419-1 422.
- ZHU X F, ZHOU S B, et al. Effects of shading on biomass allocation and morphological characteristics of *Dichondra repens*[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, **28**(7): 1 419-1 422.
- [21] 刘登仪, 李 征, 李 晶, 等. 不同光照强度下豆链格孢菌对白车轴草生理生化特性的影响[J]. 生态学报, 2005, **25**(8): 1 874-1 880.
- LIU D Y, LI Z, LI J, et al. Effect of *Alternaria azukiae* on the physiological and biochemical characteristics of *Trifolium repens* under different light intensities[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, **25**(8): 1 874-1 880.
- [22] 蒋成益, 马明东. 光照胁迫条件对台湾桤木幼苗的光合生理生态响应[J]. 中南林业科技大学学报, 2017, **37**(5): 7-14.
- JIANG C Y, MA M D. Physiological response of *Alnus formosana* seedlings under light stress[J]. *Journal of Central South University of Forestry and Technology*, 2017, **37**(5): 7-14.
- [23] 柯 学, 李军营, 李向阳, 等. 不同光质对烟草叶片生长及光合作用的影响[J]. 植物生理学报, 2011, **47**(5): 512-520.
- KE X, LI J Y, LI X Y, et al. Effects of different light quality on growth and photosynthesis of tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) leaves[J]. *Plant Physiology Journal*, 2011, **47**(5): 512-520.
- [24] 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): 1 811-1 817.
- WANG J H, REN S F, SHI B S, et al. Effects of shades on the photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters of *Forsythia suspense*[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, **31**(7): 1 811-1 817.
- [25] 张建新, 颜 贽, 方炎明. 遮光对臭牡丹生长和光合特性的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2013, **22**(1): 88-93.
- ZHANG J X, YAN Y, FANG Y M. Effect of shading on growth and photosynthetic characteristics of *Clerodendrum bungei*[J]. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2013, **22**(1): 88-93.
- [26] 胡海姿, 张 睿, 尚爱芹, 等. 金叶植物色素含量对光强的响应[J]. 园艺学报, 2007, **34**(3): 717-722.
- HU H Z, ZHANG R, SHANG A Q, et al. Response of pigment content of golden-leaf plants to light intensity[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2007, **34**(3): 717-722.
- [27] FU X Y, ZHOU L Y, et al. Relating photosynthetic performance to leaf greenness in *litchi*: A comparison among genotypes[J]. *Scientia Horticulturae*, 2013, **152**(2): 16-25.
- [28] 张 云, 夏国华, 等. 遮阴对堇叶紫金牛光合特性和叶绿素荧光参数的影响[J]. 应用生态学报, 2014, **25**(7): 1 940-1 948.
- ZHANG Y, XIA G H, et al. Effects of shade on photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence of *Ardisia violacea*[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, **25**(7): 1 940-1 948.
- [29] 王 瑞, 陈永忠, 陈隆升, 等. 油茶叶片 SPAD 值与叶绿素含量的相关分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2013, **33**(2): 77-80.
- WANG R, CHEN Y Z, CHEN L S, et al. Correlation analysis of SPAD value and chlorophyll content in leaves of *Camellia oleifera*[J]. *Journal of Central South University of Forestry and Technology*, 2013, **33**(2): 77-80.
- [30] KUMAGAI E, ARAKI T, KUBOTA F. Correlation of chlorophyll meter readings with gas exchange and chlorophyll fluorescence in flag leaves of rice (*Oryza sativa* L.) plants [J]. *Plant Production Science*, 2009, **12**(1): 50-53.
- [31] BERTRAND A, CASTONGUAY Y, NADEAU P, et al. Oxygen deficiency affects carbohydrate reserves in overwintering forage crops[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2003, **54**(388): 1 721-1 730.
- [32] 任 鹏, 赵宝平, 等. 水分胁迫对燕麦穗颖渗透调节和抗氧化能力的影响[J]. 西北植物学报, 2014, **34**(10): 2 049-2 055.
- REN P, ZHAO B P, et al. Effect of water stress on osmotic adjustment and antioxidation ability in glume of oat[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalis Sinica*, 2014, **34**(10): 2 049-2 055.
- [33] 薛 伟, 李向义, 朱军涛, 等. 遮阴对疏叶骆驼刺叶形态和光合参数的影响[J]. 植物生态学报, 2011, **35**(1): 82-90.
- XUE W, LI X Y, ZHU J T, et al. Effects of shading on leaf morphology and response characteristics of photosynthesis in *Althagi sparsifolia*[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2011, **35**(1): 82-90.
- [34] 杨胜伟, 徐佳瑜, 王晓红, 等. 钩藤幼苗生长的适宜遮阴度探索[J]. 经济林研究, 2018, **36**(3): 136-141.
- YANG S W, XU J Y, WANG X H, et al. Exploring on suitable shading for seedling growth of *Uncaria rhynchophylla*[J]. *Non-wood Forest Research*, 2018, **36**(3): 136-141.
- [35] HUANG C J, WEI G, JIE Y C, et al. Effects of concentrations of sodium chloride on photosynthesis, antioxidative enzymes, growth and fiber yield of hybrid ramie[J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2014, **76**(3): 86-93.
- [36] FIDALGO F, AZENHA M, SILVA A, et al. Copper-induced stress in *Solanum nigrum* L. and antioxidant defense system response[J]. *Food and Energy Security*, 2013, **2**(1): 70-80.
- [37] AHMAD P, JALEEL C A, et al. Roles of enzymatic and nonenzymatic antioxidants in plants during abiotic stress[J]. *Critical Reviews in Biotechnology*, 2010, **30**(3): 161-175.
- [38] GILL S S, TUTEJA N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants[J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2010, **48**(12): 909-930.