

# 两种光照下低海拔引种云锦杜鹃的光合作用日变化\*

杨 华<sup>1</sup> 宋绪忠<sup>1</sup> 王秀云<sup>1</sup> 沈 剑<sup>2</sup> 郑国良<sup>2</sup>

(1. 浙江省林业科学研究院, 浙江 杭州 310023; 2. 金华市林业技术推广站, 浙江 金华 321000)

**摘要** 以移栽的野生云锦杜鹃 *Rhododendron fortunei* 为材料, 使用 LI-6400 便携式光合作用仪, 分析 10% 光照和全光照下低海拔区域引种云锦杜鹃的光合日变化, 结果显示 10% 光照下生长的云锦杜鹃蒸腾速率低于全光照下生长的云锦杜鹃, 而水分利用效率高于全光照下云锦杜鹃的 60.17%。两种光照下的云锦杜鹃净光合速率和蒸腾速率日变化呈现“单峰”型。全光照下净光合速率下降是非气孔限制引起的, 而 10% 光照下则为气孔限制引起。研究说明种植在低海拔环境的云锦杜鹃喜光的特性并不因为温度高而改变, 但夏季遮荫措施还是有必要的。

**关键词** 云锦杜鹃; 光合作用; 低海拔; 日变化

**中图分类号:** S718.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-2053 (2021) 01-0043-05

## Diurnal Variation of Photosynthesis of *Rhododendron fortunei* in Two Kinds of Illumination Intensity under Low Altitude

YANG Hua<sup>1</sup> SONG Xuzhong<sup>1</sup> WANG Xiuyun<sup>1</sup> SHEN Jian<sup>2</sup>  
ZHENG Guoliang<sup>2</sup>

(1. Zhejiang Academy of Forestry, Hangzhou, Zhejiang 310023, China; 2. Jinhua Forestry Technology Promotion Station, Jinhua, Zhejiang 321000, China)

**Abstract** The diurnal variation of photosynthesis of wild *Rhododendron fortunei* introduced at low altitude area under 10% light and full light was measured using LI-6400 portable photosynthesizer. The results showed that the transpiration rate of *R. fortunei* under 10% light was lower than that of full light, while water utilization efficiency was 60.17% higher than that of full light. The diurnal variation of net photosynthetic rate and transpiration rate under two kinds of lights showed single peak. The decrease of net photosynthetic rate under full light was not caused by stomatal restriction, while it was caused by stomatal restriction under 10% light. Research suggested that the light-loving characteristics of *R. fortunei* were not changed for the high temperature in the introduction area and summer shading was still necessary.

**Key words** *Rhododendron fortunei*; photosynthesis; low altitude; diurnal variation

云锦杜鹃 *Rhododendron fortunei* 原产我国, 为常绿灌木或小乔木, 花期 5—6 月, 总状花序大如碗, 花粉红色或白色带粉, 带有淡淡的香气, 分布于长江流域各省, 在高山上大多呈零星分布<sup>[1]</sup>,

也有部分区域成片分布, 如浙江天台华顶山、浙江景宁上山头、湖南省城步苗族自治县金童山, 具有很高的园林观赏价值。目前, 相关文献对云锦杜鹃的形态特征、分布范围、种子形态以及自

\* 基金项目: 浙江省科研院所扶持专项 (2020F1065-1)。

第一作者: 杨华 (1976—), 女, 副研究员, 主要从事植物遗传育种研究, E-mail: ynpsta@126.com。

通信作者: 宋绪忠 (1976—), 男, 研究员, 主要从事森林生态研究, E-mail: popsong@163.com。

然条件下生长规律、光合特性、群落特征等进行了描述<sup>[2-7]</sup>，介绍了高山杜鹃引种驯化情况<sup>[8]</sup>。云锦杜鹃适宜在海拔高、气候凉爽而湿润的环境下生长，而城市夏季常有温室效应，最高气温可达38℃以上，因此引种成功率并不高，对云锦杜鹃人工栽培方面的研究少有报道<sup>[9-10]</sup>。

光合作用作为植物生长发育的基础，涉及多种物理化学过程，受诸多因素影响。开展植物的光合特性及其与环境生态因子关系的研究，对了解植物生长状况和明确植物对环境的适应性来说，是一种有效的方法。在诸多的影响因子中，光合有效辐射是一个重要生态因子，光合有效辐射过强时植物容易受到灼伤，过弱时无法满足植物发挥最大光合能力。因此，众多学者研究了不同植物的需光性及遮光处理对植物的影响<sup>[11-13]</sup>，以指导植物栽培。夏季晴天高温、强光照时，牡丹 *Paeonia suffruticosa* 叶片光系统 II (photosystem II, PS II) 反应中心发生了可逆失活，PS II 功能下调，发生光合作用的光抑制现象，进行遮荫可消减光抑制，改善光合功能并促进植物生长<sup>[11]</sup>。潘远智<sup>[12]</sup>等人发现长期在遮荫环境中生长会导致一品红 *Euphorbia pulcherrima* 光合速率下降，但将其再放入自然光照下，其光合速率不升反降，说明遮荫处理已改变了一品红对光环境的适应。云锦杜鹃多生长在高山或纬度较高的地区，即使在全光照条件下，也因山高气温相对较低、湿度相对较大而正常生长。本研究以引种到低海拔区域——杭州的云锦杜鹃盆栽苗为研究对象，分析10%光照和全光照对其光合作用的影响，以期为人工栽培云锦杜鹃的光环境人工调控提供一定的依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

3月，从浙江省松阳县枫坪乡海拔1000 m左右的高山上，移栽5-6年生云锦杜鹃野生苗于浙江省林业科学研究院苗圃地(30°13'09"N, 120°01'26"E)。该苗圃地海拔为24 m，年均气温达16.2℃，年均降水量为1500 mm。移栽苗高为30~45 cm，地径为0.3~0.5 cm，冠幅为25 cm×15 cm~20 cm×30 cm。栽种基质为酸性黄土，盆大小为20 cm×25 cm(直径×高)。移栽当年适时遮荫、浇水，移栽1年后，苗木全部成

活且生长正常。次年5月，按生长情况将10株苗分成2组，其中5株放置在近樟树 *Cinnamomum camphora* 树干的树阴下，此树冠幅为10 m×8 m，高为5 m，生长旺盛。用LX1010B照度计对树干四周多点多次测定树阴下的光合有效辐射，树下光合有效辐射约为自然光照下的10%。另5株置于空旷地，无任何遮荫设施，认为是全光照条件。在10%光照和全光照两种光照中处理2个月后，进行光合作用日变化的测定。根据水分亏缺情况及时补水。

### 1.2 测定方法

1.2.1 光合作用日变化测定 8月下旬，在晴天6:00—18:00时，使用LI-6400便携式光合作用测定系统，采用透明标准叶室，选择生长势最接近的3株，每株选3片最佳功能叶各测3次，测定净光合速率( $P_n / \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )、蒸腾速率( $T_r / \text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )、气孔导度( $G_s / \text{mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )、胞间CO<sub>2</sub>浓度( $C_i / \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$ )，同时记录的指标有光合有效辐射(PAR/ $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )、大气CO<sub>2</sub>浓度( $C_a / \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$ )、空气温度( $T_a / ^\circ\text{C}$ )、叶片温度( $T_l / ^\circ\text{C}$ )、空气湿度(RH/%)等，每次测定相隔2 h。

1.2.2 数据统计与分析 所有数据取平均值，使用Excel 2003进行计算和曲线图绘制。

水分利用效率(WUE/ $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \mu\text{mol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$ )计算公式为： $WUE = P_n / T_r$ 。 $P_n$ 代表净光合速率， $T_r$ 代表蒸腾速率。

气孔限制值( $L_s$ )计算公式： $L_s = (C_a - C_i) / C_a$ 。 $C_a$ 代表大气CO<sub>2</sub>浓度， $C_i$ 代表胞间CO<sub>2</sub>浓度。

## 2 结果与分析

### 2.1 环境因子的日变化

分析各环境因子(图1)，光合有效辐射日变化呈“单峰”型，两种光照在中午12:00时达到最高点。两种光照强度下大气CO<sub>2</sub>浓度值较接近，不同时间亦无明显变化。随着时间的推移，空气温度不断上升，空气湿度逐渐降低，到14:00时，两种光照下空气温度达到最高点，空气湿度达到最低点，随后温度降低，湿度升高。10%光照下的空气温度比全光照低，特别是在14:00时，全光照下空气温度达42.12℃，10%光照下也有39.2℃，云锦杜鹃处于高温的环境。经T检验，两个处理的光合有效辐射有显著差异，其它环境因

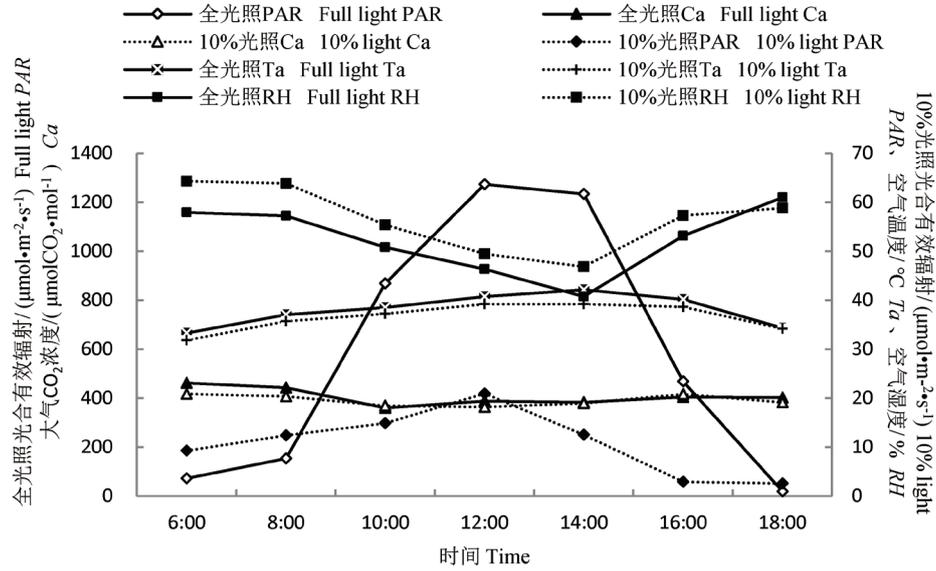


图 1 两种光照条件下环境因子的日变化

Fig.1 Diurnal variation of environmental factors under two kinds of lights

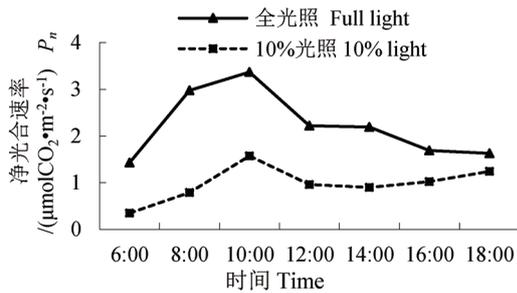


图 2 净光合速率的日变化

Fig.2 Diurnal variation of PAR

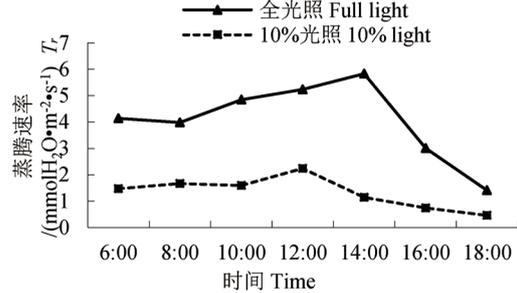


图 3 蒸腾速率的日变化

Fig.3 Diurnal variation of  $T_r$

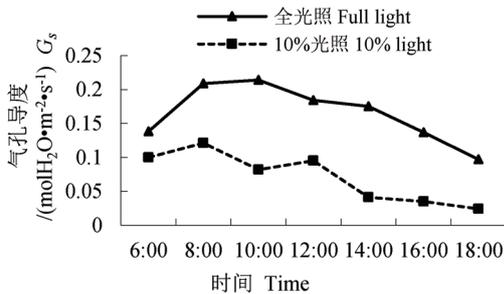


图 4 气孔导度的日变化

Fig. 4 Diurnal variation of  $G_s$

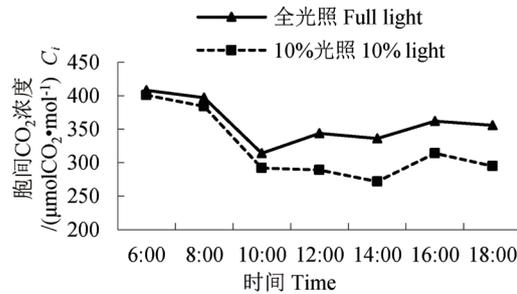


图 5 胞间 CO<sub>2</sub> 浓度的日变化

Fig. 5 Diurnal variation of  $C_i$

子无显著差异。

## 2.2 净光合速率、蒸腾速率的日变化

两种光照下的云锦杜鹃净光合速率、蒸腾速率日变化呈现“单峰”型(图 2-3)。它们在 10:00

时净光合速率达到最高点, 10%光照时的净光合速率为  $1.57 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 全光照时的净光合速率为  $3.37 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 是 10%光照时的 2.15 倍。10%光照下的云锦杜鹃在 12:00 时蒸腾速

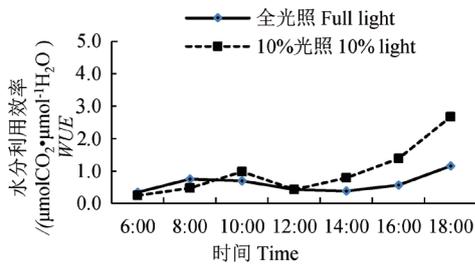


图6 水分利用效率的日变化  
Fig. 6 Diurnal variation of WUE

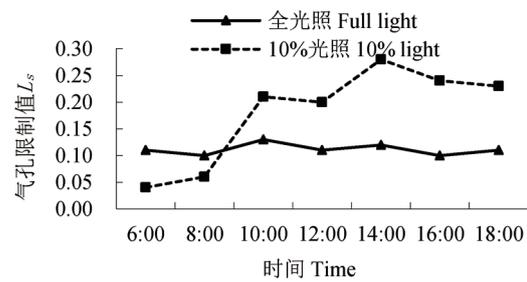


图7 气孔限制值的日变化  
Fig. 7 Diurnal variation of  $L_s$

率达到最高点, 为  $2.24 \text{ mmolH}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ; 全光照下的云锦杜鹃在 14:00 时蒸腾速率达到最高点, 为  $5.83 \text{ mmolH}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 是 10% 光照时的 2.60 倍。经 T 检验, 两种处理下净光合速率、蒸腾速率差异极显著。

### 2.3 气孔导度、胞间 $\text{CO}_2$ 浓度的日变化

从图 4、5 可以看出, 云锦杜鹃在全光照下气孔导度日变化呈现“单峰”型, 10:00 时达到高峰, 为  $0.209 \text{ } \mu\text{molH}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。10% 光照下气孔导度日变化呈现“双峰”型, 8:00 和 12:00 时达到高峰, 但都比全光照下的气孔导度小。两种光照下的胞间  $\text{CO}_2$  浓度日变化呈现“双峰”型, 6:00 和 16:00 时达到高峰。这与大气  $\text{CO}_2$  浓度日变化相一致。胞间  $\text{CO}_2$  浓度的日变化基本与净光合速率相反, 因为当净光合速率较大时, 固定的  $\text{CO}_2$  较多, 引起了胞间  $\text{CO}_2$  浓度降低。经 T 检验, 两种处理下气孔导度差异极显著, 胞间  $\text{CO}_2$  浓度不存在显著差异。

### 2.4 水分利用效率、气孔限制值的日变化

两种光照下的云锦杜鹃水分利用效率日变化呈现“双峰”型(图 6), 全光照条件下在 8:00 和 18:00 时达到高峰, 10% 光照条件下在 10:00 和 18:00 时达到高峰, 其中 18:00 都为最大值, 全光照和 10% 光照条件下分别为  $1.16$  和  $2.67 \text{ } \mu\text{molCO}_2 \cdot \mu\text{mol}^{-1}\text{H}_2\text{O}$ 。

与胞间  $\text{CO}_2$  浓度的日变化曲线相反, 两种光照下的云锦杜鹃气孔限制值日变化呈现“双峰”型(图 7), 10:00 和 14:00 时达到高峰。10% 光照下的气孔限制值变化呈逐渐上升趋势。经 T 检验, 两种处理下水分利用效率和气孔限制值不存在显著差异。

## 3 结论与讨论

云锦杜鹃是喜阳植物, 需阳光却不耐高温, 因此常在平均温度比较低的湿润高山环境下生长<sup>[16]</sup>。通过光合作用日变化分析, 研究结果与之相符合, 全光照下云锦杜鹃的净光合速率更高。虽然种植在低海拔环境, 但其喜光的特性并不因为温度高而改变。但夏季, 光合有效辐射高, 会受到光抑制, 城市气温又偏高, 通过遮荫可以降低温度, 提高土壤湿度, 减少光合有效辐射, 保证云锦杜鹃安全渡夏。午后, 10% 光照条件下云锦杜鹃水分利用效率高于全光照条件的 60.18%, 全天蒸腾速率低于全光照条件下的蒸腾速率。这与分布在海拔较高的猴头杜鹃引种到低海拔地区时的表现相似<sup>[17]</sup>。

两种光照下的云锦杜鹃净光合速率和蒸腾速率日变化都显现“单峰”型。亚热带地区森林植物在高温强光下常有“午休”现象, 且日变化为“双峰”型<sup>[18]</sup>, 本研究与之不同, 净光合速率和蒸腾速率“午休”现象和次高峰不明显。金则新等人<sup>[19]</sup>曾对自然分布在高山生长的云锦杜鹃进行日变化分析, 结果阳叶呈现“双峰”型, 其阴叶却呈现“单峰”型, 说明叶片光合“午休”由叶片所处的环境因素决定, 并非其固有的生理现象。本研究云锦杜鹃引种到低海拔环境后, 到夏季需要适应  $39^\circ\text{C}$  以上的高温, 其生长受到一定的影响, 改变了原有的光合特性。同时温度可以通过许多酶促反应制约植物光合生产力, 高温引起的  $\text{CO}_2$  溶解度、Rubisco 对  $\text{CO}_2$  的亲合力以及光合机构关键成分的热稳定性的降低<sup>[20]</sup>, 都可能引起光合速率的降低。

全光照下净光合速率在 10:00 时达到最大值后就下降, 而胞间 CO<sub>2</sub> 浓度却转为上升, 表明全光照下净光合速率午后降低不是由于气孔关闭引起胞间 CO<sub>2</sub> 亏缺 (气孔限制) 造成的, 而是非气孔限制引起的。这在多种植物的研究中都有相似的结果<sup>[21-22]</sup>。10% 光照下净光合速率在 10:00 时达到最大值后下降一段时间后还有一定的上升, 胞间 CO<sub>2</sub> 浓度的变化也是降低后增加, 表明 10% 光照下净光合速率午后降低是气孔限制的, 说明夏季遮荫措施还是有必要的。

### 参考文献

- [1] 浙江省植物志编辑委员会. 浙江植物志(第5卷)[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1989: 9-10.
- [2] 丁炳扬, 方云亿. 浙江杜鹃花属的研究[J]. 杭州大学学报, 1989, 16(2): 194-200.
- [3] 丁炳扬, 吴欢笑, 张慧明, 等. 浙江杜鹃花属植物种子形态及其分类学意义[J]. 西北植物学报, 1995, 15(6): 36-42.
- [4] 方瑞征, 闵天禄. 杜鹃属植物区系的研究[J]. 云南植物研究, 1995, 17(4): 359-379.
- [5] 柯世省, 卢棉, 郑尚球. 云锦杜鹃幼树光合特性及其与生态因子的关系[J]. 台州学院学报, 2004, 26(6): 51-56.
- [6] 余泽平, 王国兵, 方平福, 等. 江西官山云锦杜鹃生长规律及群落特征[J]. 生物灾害科学, 2018, 41(2): 113-117.
- [7] 黄川腾, 唐光大, 刘乐, 等. 广东天井山云锦杜鹃种群及其所处群落特征[J]. 西南林学院学报, 2010, 30(6): 15-19.
- [8] 袁军辉, 任继文. 甘肃高山杜鹃花引种驯化及栽培技术研究初探[J]. 甘肃林业科技, 2005(2): 14-17; 39.
- [9] 李芳华, 苏正荣, 梁东成, 等. 云锦杜鹃等3种野生杜鹃花属植物在广东天井山苗期生长特性研究[J]. 林业与环境科学, 2016, 32(1): 71-74.
- [10] 柯世省, 张云生. 光照增强对林下云锦杜鹃树苗光合作用的影响[J]. 浙江林业科技, 2014, 34(3): 44-50.
- [11] 郑国生, 何秀丽. 夏季遮荫改善大田牡丹叶片光合功能的研究[J]. 林业科学, 2006, 42(4): 27-32.
- [12] 潘远智, 江明艳. 遮荫对盆栽一品红光合特性及生长的影响[J]. 园艺学报, 2006, 33(1): 95-100.
- [13] 赵世伟, 刘东焕, 张佐双, 等. 夏季温室遮荫对榕树和三雄蕊槟榔光合作用的影响[J]. 林业科学, 2004, 40(6): 50-55.
- [14] 滕建国, 高长启, 林玉梅, 等. 加拿大黄桦幼苗光合特性的研究[J]. 吉林林业科技, 2006, 35(2): 527.
- [15] 吕洪飞, 皮二旭, 王岚岚, 等. 遮荫处理的白莢光合作用和叶绿素荧光特性研究[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版), 2009, 32(1): 1-6.
- [16] 管康林, 吴家森, 范义荣, 等. 华顶山云锦杜鹃林衰退原因及对策[J]. 浙江林学院学报, 2001, 18(2): 195-197.
- [17] 杨华, 宋绪忠. 低海拔区2种光照强度对猴头杜鹃光合特性的影响[J]. 浙江林业科技, 2018, 38(3): 24-29.
- [18] 郭志华, 张宏达, 李志安, 等. 鹅掌楸(*Liriodendron chinense*)苗期光合特性的研究[J]. 生态学报, 1999, 19(2): 164-169.
- [19] 金则新, 柯世省. 云锦杜鹃叶片光合作用日变化特征[J]. 植物研究, 2004, 24(4): 447-452.
- [20] 余叔文, 汤章城. 植物生理学和分子生物学[M]. 2版. 北京: 科学出版社, 1999: 262-276.
- [21] 刘玉玲, 刘信凯, 谌光晖, 等. 杜鹃红山茶与3个山茶栽培品种光合日变化特性研究[J]. 广东林业科技, 2011, 27(1): 17-22.
- [22] 李彪, 黄永韬, 黄永芳, 等. 遮阴对烈香茶花光合作用参数日变化的影响[J]. 广东林业科技, 2013, 29(3): 49-52.