

## 两种光环境下泰顺杜鹃和鹿角杜鹃光合特性的日变化

宋绪忠<sup>1</sup>, 杨华<sup>1</sup>, 余海珍<sup>2</sup>

(1. 浙江省林业科学研究院, 浙江 杭州 310023; 2. 丽水职业技术学院, 浙江 丽水 323000)

**摘要:**以5年生盆栽泰顺杜鹃 *Rhododendron taishunense* 和鹿角杜鹃 *Rhododendron latoucheae* 为材料,使用LI-6400便携式光合仪,于2021年8月下旬晴天6:00—18:00测定85%遮荫和全光照下泰顺杜鹃和鹿角杜鹃的光合特性并对其进行研究。结果表明:(1)在两种光环境下的泰顺杜鹃和鹿角杜鹃的  $P_n$  日变化均表现为“单峰”型。6:00—10:00时,泰顺杜鹃全光照下的净光合速率( $P_n$ )大于遮荫下的,到了12:00—16:00时则相反,全光照下的  $P_n$  比遮荫下的小,18:00时遮荫的泰顺杜鹃接受到的光合有效辐射( $PAR$ )只有  $3.8 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $P_n$  降为  $-0.4 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $PAR$  大于  $1154 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  后泰顺杜鹃需要适当的遮荫;除了18:00时,鹿角杜鹃全光照的  $P_n$  都大于遮荫下的,也比全光照泰顺杜鹃的  $P_n$  大。(2)在两种光环境下,泰顺杜鹃和鹿角杜鹃的蒸腾速率( $Tr$ )日变化也表现为“单峰”型,并且泰顺杜鹃的  $Tr$  都小于鹿角杜鹃的  $Tr$ ,遮荫弱光造成2种杜鹃的  $Tr$  下降。(3)在两种光环境下,泰顺杜鹃的气孔导度( $G_s$ )均为先逐渐升高后下降的趋势,呈“单峰”型。(4)在两种光环境下,泰顺杜鹃和鹿角杜鹃的胞间  $\text{CO}_2$  浓度( $C_i$ )日变化表现基本上均呈先逐渐下降然后再升高的趋势,但总体变化比较平缓,除了全光照下的泰顺杜鹃,其它的处理均在18:00时达到最高值。(5)泰顺杜鹃的气孔限制值( $L_s$ )在全光照下呈“单峰”型,在遮荫下呈“双峰”型;鹿角杜鹃全光照下呈“双峰”型,在遮荫下呈“单峰”型。(6)泰顺杜鹃和鹿角杜鹃的叶绿素相对含量均表现为遮荫下的叶绿素相对含量高于全光照下的鹿角杜鹃,并且在两种光环境下鹿角杜鹃的叶绿素相对含量都高于泰顺杜鹃的;在全光照下泰顺杜鹃和鹿角杜鹃的叶片均表现为发黄,叶绿素含量降低,为了维持其生长健康,夏季应当适当遮荫,秋季及时撤除遮荫网。

**关键词:** 泰顺杜鹃; 鹿角杜鹃; 遮荫; 全光照; 光合特性

中图分类号: S685.21; S718.45 文献标识码: A 文章编号: 1001-3776(2023)02-0017-05

## Daily Change of Photosynthetic Properties of *Rhododendron taishunense* and *R. latoucheae* under Different Light Condition

SONG Xu-zhong<sup>1</sup>, YANG Hua<sup>1</sup>, YU Hai-zhen<sup>2</sup>

(1. Zhejiang Academy of Forestry, Hangzhou 310023, China; 2. Lishui Vocational & Technical College, Lishui 323000, China)

**Abstract:** In May 2021, five-year potted *Rhododendron taishunense* and *R. latoucheae* were treated under 85% shade and full light in nursery of Zhejiang Academy of Forestry, Hangzhou, and photosynthetic properties were measured by LI-6400 portable photosynthesis during 6:00-18:00 in late August 2021. The results showed that daily variation of  $P_n$  of two species showed a "single peak" under two light conditions. The  $P_n$  of *R. taishunense* under full light between 6:00 and 10:00 was greater than that under shade, but smaller than that under shade at 12:00-16:00. At 18:00, the  $PAR$  of *R. taishunense* received only  $3.8 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ , and  $P_n$  decreased to  $-0.4 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ . It showed that *R. taishunense* needed proper shade when  $PAR$  was more than  $1154 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ . Except at 18:00,  $P_n$  of *R. latoucheae* under full light was larger than that under shade, and also larger

收稿日期: 2022-10-10; 修回日期: 2023-01-23

基金项目: 浙江省农业新品种重大专项(2021C02071-2); 安吉县科技计划项目(2020); 浙江省科技厅院所专项项目(2021F1065-1); 丽水市本级公益性技术应用研究项目(2023GYX12)

作者简介: 宋绪忠, 博士, 研究员, 从事生态学研究; E-mail: popsong@163.com。

than that of *R. taishunense* under full light. The daily variation of  $Tr$  of two species also showed a "single peak" under the two light conditions.  $Tr$  of *R. taishunense* was smaller than that of *R. latoucheae* under two light conditions. Shading caused  $Tr$  decline of 2 species. Under the two light conditions,  $G_s$  of *R. taishunense* gradually increased and then decreased, showing a "single peak". Under the two light conditions, the daily variation of  $C_i$  of two species showed a trend of gradual decline and then increase, but the overall change was relatively gentle, except for *R. taishunense* under full light, other treatments all reached the maximum value at 18:00.  $L_s$  of *R. taishunense* showed "single peak" under full light and "double peak" under shade. *R. latoucheae* show a "double peak" under full light and a "single peak" under shade. The relative content of chlorophyll of 2 species showed that the relative content of chlorophyll under shade was higher than that under full light, and the relative content of chlorophyll of *R. latoucheae* was higher than that of *R. taishunense* under both light environments. Leaves of two species showed yellow and chlorophyll contents decreased.

**Key words:** *Rhododendron taishunense*; *R. latoucheae*; shade; full illumination; photosynthesis property

光合作用包含着一系列复杂的代谢反应, 为植物提供生存基础, 也是评价植物生长和对环境适应情况的重要依据。植物利用叶绿素等光合色素在可见光的照射下, 将二氧化碳和水转化为有机物, 完成植物的生长发育。光合有效辐射是进行光合作用不可少的因素, 但光照过强时植物会受到损伤, 过弱时植物无法发挥光合潜力<sup>[1]</sup>。许多学者对多种植物<sup>[2-6]</sup>进行了遮荫处理对比研究, 以指导栽培, 如李晨晨等<sup>[2]</sup>研究了遮荫 30%、50%、70% 和 0 (对照) 4 种条件下 2 年生裸花紫珠 *Callicarpa nudiflora* 苗的光合气体交换参数, 最后认为裸花紫珠幼苗最适宜生长在无遮荫条件下; 殷东生等<sup>[3]</sup>研究认为风箱果 *Physocarpus amurensis* 幼苗期对于光照的需求较高, 对遮荫环境的适应和调节能力较差。

泰顺杜鹃 *Rhododendron taishunense* 和鹿角杜鹃 *R. latoucheae* 同属杜鹃花科 Ericaceae 杜鹃属 *Rhododendron* 马银花亚属 Subgen. *Azaleastrum*, 为常绿灌木, 花冠 3 ~ 4 cm, 花淡粉色至淡紫色或白色<sup>[7]</sup>, 具有淡淡的香味, 园艺观赏性优良, 具有很好的开发利用价值。泰顺杜鹃是浙江珍稀濒危杜鹃种类, 分布于浙江南部海拔 400 ~ 600 m 山区<sup>[8]</sup>, 鹿角杜鹃相对分布较广泛<sup>[8]</sup>, 但人们对它们的了解甚少, 缺乏对其栽培技术的研究。一些学者在群落学<sup>[9]</sup>、生理学<sup>[10-11]</sup>、繁殖技术<sup>[12-14]</sup>等方面对鹿角杜鹃进行了研究, 对泰顺杜鹃只进行了繁殖技术<sup>[15]</sup>研究。本文开展了在两种光环境下泰顺杜鹃和鹿角杜鹃的光合特性的日变化研究, 以期为人工种植条件下泰顺杜鹃和鹿角杜鹃夏季的适应性提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

2021 年 5 月, 将 5 年生盆栽泰顺杜鹃和鹿角杜鹃, 苗高 35 ~ 40 cm, 冠幅 35 ~ 40 cm, 置于浙江省林业科学研究院苗圃遮阳网下, 露天放置。通过 LX1010B 照度计多点测定, 遮阳网下光照强度约为自然光照下的 15%。85% 遮荫 (以下简称遮荫) 和全光照两种光环境中处理 3 个月后进行光合特性等生理指标的测定。根据水分亏缺情况适时浇水。

### 1.2 光合特性日变化测定

2021 年 8 月下旬, 在晴天的 6:00—18:00, 每株从上而下数 3 片最佳叶片使用 LI-6400 便携式光合作用仪各测 3 次, 两种杜鹃在 2 种环境下各选择长势相似的 3 株, 选用透明叶室, 测定净光合速率 ( $P_n$ , 单位  $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )、气孔导度 ( $G_s$ , 单位  $\text{mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )、蒸腾速率 ( $Tr$ , 单位  $\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )、胞间  $\text{CO}_2$  浓度 ( $C_i$ , 单位  $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$ ), 同时记录光合有效辐射 ( $PAR$ , 单位  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )、空气温度 ( $T_a$ , 单位  $^{\circ}\text{C}$ )、大气  $\text{CO}_2$  浓度 ( $C_a$ , 单位  $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$ )、相对湿度 ( $RH$ , 单位%) 等光合指标的日变化情况, 测定间隔时间为 2 h。

### 1.3 叶绿素含量测定

采用 SPAD502DL 叶绿素仪进行叶绿素相对含量测定, 测定叶片与光合特性测定的叶片相一致。

### 1.4 数据分析

所有数据取平均值后计算, 利用统计软件 Excel 2007 绘制各图。

气孔限制值  $L_s$  (单位  $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$ ) 为:  $L_s = (Ca - Ci) / Ca$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 环境因子的日变化

从环境因子值来看(图1和图2),  $PAR$ 、 $T_a$  的日变化均呈“单峰”型。在遮荫和全光照下,  $PAR$  在 12:00 时均达到最高点, 全光照下的  $PAR$  大于遮荫下的  $PAR$ ;  $T_a$  在 14:00 时均达到最高点, 在遮荫条件下为  $47.3^\circ\text{C}$ , 在全光照条件下为  $46.3^\circ\text{C}$ , 可能是因为在全光照条件下相对通风, 温度更低,  $40^\circ\text{C}$  以上的高温从 12:00 持续到了 16:00。在 16:00 时环境  $RH$  达到最低点。在 2 种光照下, 除了  $PAR$  差异比较大, 其它环境因子情况相近。

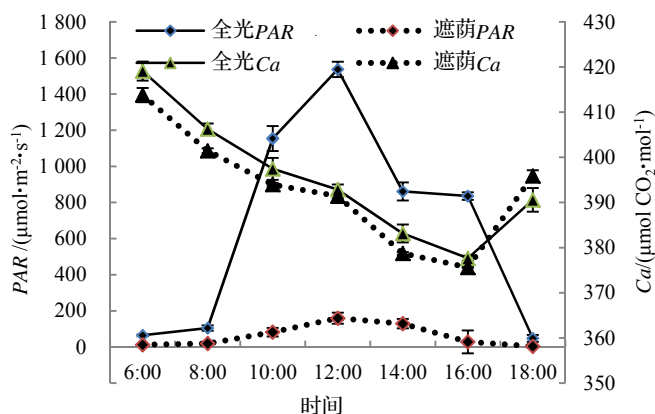


图1  $PAR$  和  $Ca$  的日变化

Fig. 1 Daily variation of  $PAR$  and  $Ca$  under different light condition

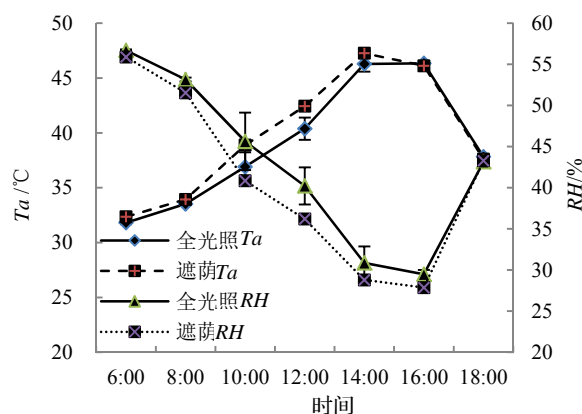


图2  $T_a$  和  $RH$  的日变化

Fig. 2 Daily variation of  $T_a$  and  $RH$  under different light condition

### 2.2 两种光照强度下泰顺杜鹃和鹿角杜鹃的 $P_n$ 和 $Tr$ 日变化

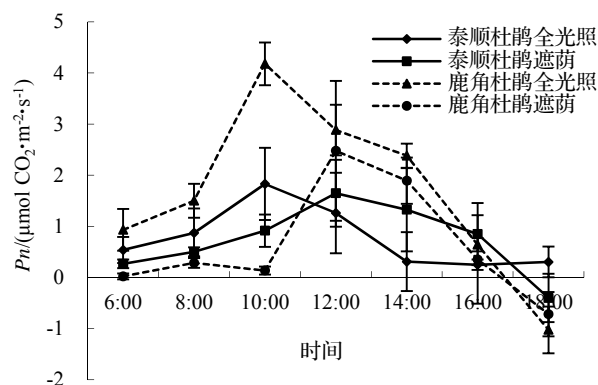


图3 两种光环境下泰顺杜鹃和鹿角杜鹃的  $P_n$  日变化情况

Fig. 3 Daily variation of  $P_n$  of *R. taishunense* and *R. latoucheae* under different light condition

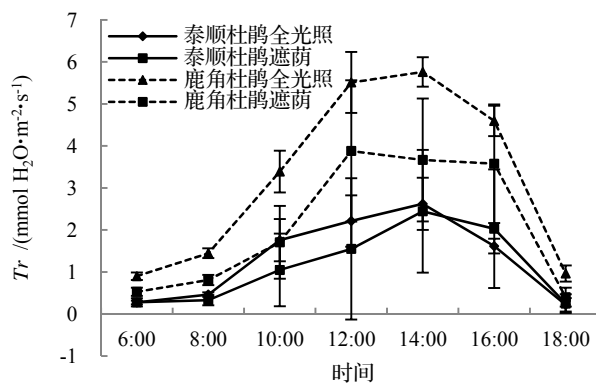


图4 两种光环境下泰顺杜鹃和鹿角杜鹃的  $Tr$  日变化情况

Fig. 4 Daily variation of  $Tr$  of *R. taishunense* and *R. latoucheae* under different light condition

从图3中可看出, 在两种光环境下的泰顺杜鹃和鹿角杜鹃的  $P_n$  日变化均表现为“单峰”型。全光照下, 在 10:00 时  $P_n$  均达到最高点, 泰顺杜鹃为  $1.83 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 鹿角杜鹃为  $4.18 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。在 12:00 时,  $P_n$  在遮荫下均达到最高点, 泰顺杜鹃为  $1.64 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 鹿角杜鹃为  $2.48 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。6:00—10:00, 全光照的泰顺杜鹃的  $P_n$  值大于遮荫下的, 到了 12:00—16:00 时则相反, 全光照下的  $P_n$  比遮荫下的  $P_n$  值

小, 18:00 时, 遮荫下的泰顺杜鹃接受到的光合有效辐射只有  $3.8 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $P_n$  降为  $-0.4 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。6:00—16:00, 全光照下鹿角杜鹃的  $P_n$  比遮荫下的值大, 也比全光照下的泰顺杜鹃的  $P_n$  大, 到了 18:00 时全光照下鹿角杜鹃的  $P_n$  降为  $-1.02 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 全光照下的  $P_n$  比遮荫下的小, 也比遮荫下的泰顺杜鹃的  $P_n$  值小。

从图 4 中可看出, 两种光环境下的泰顺杜鹃和鹿角杜鹃的  $Tr$  日变化也表现为“单峰”型, 泰顺杜鹃在 2 种光照下都在 14:00 时达到最高点, 鹿角杜鹃则略有不同, 相差 2 h。全光照下泰顺杜鹃的  $Tr$  最高值为  $2.62 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 只是全光照下鹿角杜鹃的 0.45 倍; 遮荫下泰顺杜鹃的  $Tr$  最高值为  $2.44 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 只是遮荫下鹿角杜鹃的 0.63 倍。6:00—16:00, 全光照下泰顺杜鹃的  $Tr$  大于遮荫下的  $Tr$  值, 全光照下鹿角杜鹃的  $Tr$  一直大于遮荫下的  $Tr$  值。在两种光环境下, 泰顺杜鹃的  $Tr$  小于鹿角杜鹃的  $Tr$ 。

### 2.3 不同光照强度下泰顺杜鹃和鹿角杜鹃的 $G_s$ 和 $C_i$ 日变化

从图 5 中可看出, 在两种光环境下, 泰顺杜鹃和鹿角杜鹃的  $C_i$  日变化表现基本上均呈先逐渐下降然后再升高的趋势, 但总体变化比较平缓, 除了全光照下的泰顺杜鹃, 其它的处理均在 18:00 时达到最高值, 遮荫下, 泰顺杜鹃的  $C_i$  为  $478.07 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$ 、鹿角杜鹃的  $C_i$  为  $524.87 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$ , 全光照下, 鹿角杜鹃的  $C_i$  为  $440.20 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$ 。 $C_i$  的日变化与  $P_n$  基本相反, 因为当  $P_n$  较大时, 固定的  $\text{CO}_2$  较多, 引起  $C_i$  降低。从图 6 中可以看出, 在两种光环境下, 泰顺杜鹃的  $G_s$  均呈现先逐渐升高后下降的趋势, 呈“单峰”型。全光照下, 泰顺杜鹃的  $G_s$  在 10:00 时达到最高点  $0.058 \text{ mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 随后下降; 遮荫下, 在 14:00 时达到最高点  $0.038 \text{ mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。在两种光环境下, 鹿角杜鹃的  $G_s$  均在 12:00 时达到最高点, 随后略有下降, 遮荫条件下 16:00 时再次出现一个小高峰, 呈“双峰”型。

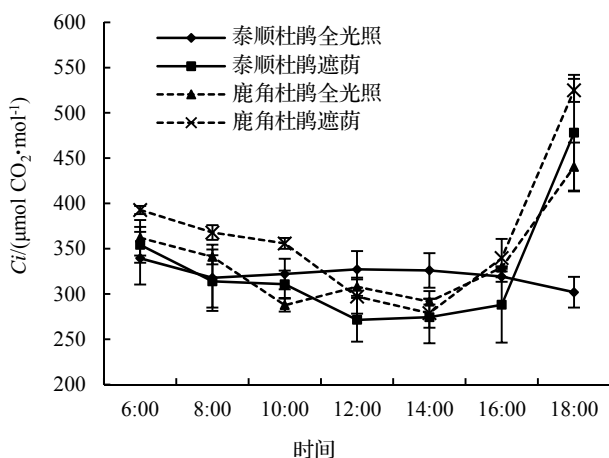


图 5 两种光环境下泰顺杜鹃和鹿角杜鹃的  $G_i$  日变化情况

Fig. 5 Daily variation of  $G_i$  of *R. taishunense* and *R. latoucheae* under different light condition

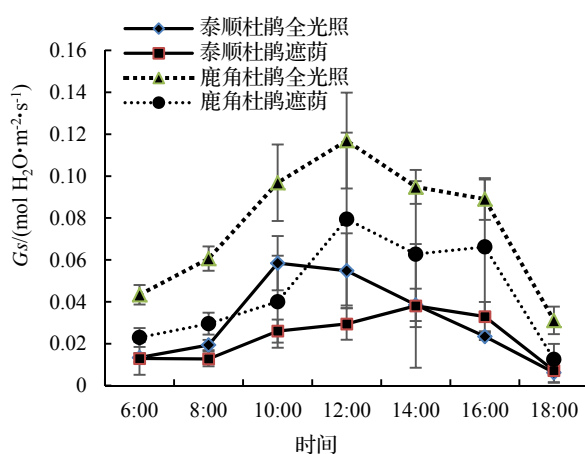


图 6 两种光环境下泰顺杜鹃和鹿角杜鹃的  $G_s$  日变化情况

Fig. 6 Daily variation of  $G_s$  of *R. taishunense* and *R. latoucheae* under different light condition

### 2.4 不同光环境下泰顺杜鹃和鹿角杜鹃的 $L_s$ 日变化

从图 7 中可以看出, 泰顺杜鹃在两种光环境下,  $L_s$  先逐渐升高, 全光照下在 8:00 时出现一个峰值, 达  $0.218 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$ , 呈“单峰”型; 遮荫下的泰顺杜鹃在 8:00 和 12:00 时出现两个峰值, 呈“双峰”型, 其中 12:00 时  $L_s$  最高, 达  $0.307 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$ 。鹿角杜鹃全光照下在 10:00 和 14:00 时出现两个峰值, 呈“双峰”型, 其中 10:00 时最高, 达  $0.269 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$ ; 遮荫下的鹿角杜鹃在 14:00 时出现一个峰值, 呈“单峰”型, 最高达  $0.261 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

## 2.5 不同光环境下泰顺杜鹃和鹿角杜鹃的叶绿素相对含量

在两种光环境下栽培, 两种杜鹃的叶绿素相对含量有所不同, 泰顺杜鹃在全光照下测定的平均值为 43.9, 遮荫下测定的平均值为 63.7, 遮荫下的叶绿素相对含量是全光照下的 1.45 倍; 鹿角杜鹃全光照下测定的平均值为 48.45, 遮荫下测定的平均值为 67.10, 遮荫下的叶绿素相对含量是全光照下的 1.38 倍。鹿角杜鹃在两种光环境下的叶绿素相对含量都高于泰顺杜鹃。

## 3 结论与讨论

泰顺杜鹃和鹿角杜鹃在植物分类上属于亲缘关系较近的 2 个杜鹃花种类, 在相同的栽培条件下, 对 2 种杜鹃进行光合特性的测定, 比较它们的光合能力及适应环境的情况, 对指导 2 种杜鹃的人工栽培具有重要意义。8 月中旬, 是夏季高温期间, 测定时全光照与遮荫 2 种条件下, 环境因子除了  $PAR$  有差异, 其它几种因子基本相同。在这种情况下, 泰顺杜鹃在 6:00—10:00 全光照的  $P_n$  比遮荫的值大, 10:00 时全光照的  $PAR$  为  $1\ 154\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 随后不断升高, 12:00 时达到最高  $1\ 537\ \mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 到了 12:00—16:00, 全光照的  $P_n$  比遮荫的小, 18:00 时遮荫的泰顺杜鹃接受到的  $PAR$  只有  $3.8\ \mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $P_n$  降为  $-0.4\ \mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 说明 6:00—18:00  $PAR$  开始过高 (大于  $1\ 154\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) 后, 泰顺杜鹃需要适当的遮荫;  $PAR$  过低时,  $P_n$  小于  $Tr$ , 光合作用停止。与泰顺杜鹃不同, 6:00—16:00, 全光照鹿角杜鹃的  $P_n$  和  $Tr$  比遮荫的  $P_n$  和  $Tr$  大, 且全光照鹿角杜鹃的  $P_n$  大于全光照泰顺杜鹃的  $P_n$ , 说明鹿角杜鹃在全光照下的光合能力大于泰顺杜鹃, 也大于遮荫的鹿角杜鹃, 鹿角杜鹃更适应露天栽培条件。两种光环境下的泰顺杜鹃和鹿角杜鹃的  $P_n$  和  $Tr$  日变化表现均为“单峰”型, 在夏季烈日照射下, 当叶片温度高于光合作用的最适温度时,  $P_n$  表现出随温度上升而下降的趋势, 这是因为催化暗反应的有关酶在高温情况下会钝化、变性甚至遭到破坏, 使当天的  $P_n$  无法回到一个较高值。廖菊阳<sup>[11]</sup>等在 7 月中旬对露天栽培的成年鹿角杜鹃的  $P_n$  进行日变化测定, 结果表现为“双峰”型, 最大值  $P_n$  出现约在 11:00 和 15:00, 约在 13:00 出现光合“午休”现象, 与本研究结果不同, 可能是因为测量环境不同, 其测量时日最高温为  $30.3\ ^\circ\text{C}$ , 比本研究利用 LI-6400 测量时的日最高温  $47\ ^\circ\text{C}$  低近  $17\ ^\circ\text{C}$ , 或者是植株年龄不同的原因造成的, 其试验材料为成年鹿角杜鹃, 本研究的材料为 5 年生植株。从叶绿素相对含量测定结果来看, 全光照下的泰顺杜鹃和鹿角杜鹃叶绿素相对含量较遮荫下的低。12:00—16:00 时全光照泰顺杜鹃的  $P_n$  比遮荫下的值小, 而全光照下的鹿角杜鹃保持相对较高的  $P_n$ , 说明  $PAR$  对鹿角杜鹃  $P_n$  的影响大于对叶绿素相对含量的影响。夏季高温可能是破坏叶绿体的因素。泰顺杜鹃和鹿角杜鹃一般分布在海拔 400~600 m 的杂木林内, 在低海拔的杭州市栽培, 受到高温的影响, 2 种杜鹃叶片均表现出发黄的症状, 叶绿素含量降低, 影响其健康生长, 夏季高温时期适当遮荫, 对植株进行保护, 秋季及时撤除遮荫网, 更能促进这 2 种杜鹃的生长。

## 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 李晨晨, 周再知, 周树平, 等. 遮荫对裸花紫珠苗期光合特性及总黄酮含量的影响[J]. 热带亚热带植物学报, 2017, 25 (6): 569–578.
- [3] 殷东生, 沈海龙, 魏晓慧. 遮荫对风箱果幼苗光合能力和碳水化合物积累的影响[J]. 植物研究, 2017, 37 (6): 841–847.
- [4] 汤正辉, 沈植国, 罗颖, 等. 遮荫对凤丹白百合光合特性的影响[J]. 西北林学院学报, 2017, 32 (5): 46–51.
- [5] 刘嘉翔, 史宝胜, 李芸, 等. 遮荫对北京山梅花光合特性和快速叶绿素荧光参数的影响[J]. 河北农业大学学报, 2017, 40 (6): 33–38.
- [6] 刘泽彬, 程瑞梅, 肖文发, 等. 遮荫对中华蚊母树苗期生长及光合特性的影响[J]. 林业科学, 2015, 51 (2): 129–136.
- [7] 中国科学院中国植物志编委会. 中国植物志: 第 57 卷, 第二册[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 358, 351–352.
- [8] 浙江植物志编委会. 浙江省植物志: 第五卷[M]. 杭州: 浙江科学出版社, 1992, 12: 334.
- [9] 向琳, 陈芳清, 官守鹏, 等. 井冈山鹿角杜鹃群落灌木层功能多样性及其随海拔梯度的变化[J]. 生态学报, 2019, 39 (21): 8144–8155.
- [10] 李畅, 苏家乐, 刘晓青, 等. 干旱胁迫对鹿角杜鹃种子萌发和幼苗生理特性的影响[J]. 西北植物学报, 2015, 35 (7): 1421–1427.
- [11] 廖菊阳, 闫文德, 王光军, 等. 鹿角杜鹃光合日变化特性分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2011, 31 (5): 117–120.
- [12] 张乐华, 王书胜, 单文, 等. 基质、激素种类及其浓度对鹿角杜鹃扦插育苗的影响[J]. 林业科学, 2014, 50 (3): 45–54.
- [13] 王书胜, 李晓花, 张乐华, 等. 激素种类与浓度对鹿角杜鹃扦插繁殖的影响及其评价[J]. 广西植物, 2014 (2): 227–234.
- [14] 杨丽娟, 顾地周, 王秋爽, 等. 鹿角杜鹃嫩叶离体培养和高效植株再生[J]. 东北林业大学学报, 2012, 40 (12): 51–55.
- [15] 雷祖培, 章书声. 泰顺杜鹃扦插繁殖试验研究[J]. 中国野生植物资源, 2015, 34 (1): 64–67.

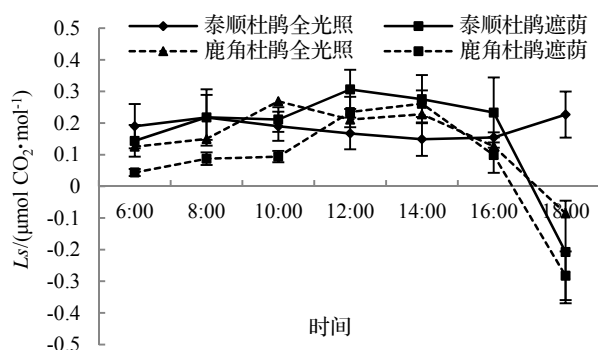


图 7 两种光环境下泰顺杜鹃和鹿角杜鹃的  $L_s$  日变化情况

Fig. 7 Daily variation of  $L_s$  of *R. taishunense* and *R. latoucheae* under different light condition