

## 低海拔区 2 种光照强度对猴头杜鹃光合特性的影响

杨 华, 宋绪忠

(浙江省林业科学研究院, 浙江 杭州 310023)

**摘要:** 利用 LI-6400 便携式光合作用仪对 10%光照和全光照下低海拔生长的猴头杜鹃 *Rhododendron simiarum* 的光合特性进行测定。光响应曲线分析结果显示, 净光合速率表现为 10%光照 > 全光照, 夏季在低海拔环境下猴头杜鹃适应遮荫的环境; 10%光照下生长的猴头杜鹃蒸腾速率明显低于全光照下生长的猴头杜鹃, 水分利用效率明显高于全光照下生长的猴头杜鹃; 10%光照下生长的猴头杜鹃有利于干物质的积累; 2 种光照强度下的猴头杜鹃净光合速率、蒸腾速率、气孔导度日变化均表现为“单峰”型; 气孔限制值与胞间  $\text{CO}_2$  浓度的日变化表现为“双峰”型。

**关键词:** 猴头杜鹃; 遮荫; 光合特性; 光照

中图分类号: S718.5

文献标识码: A

文章编号: 1001-3776(2018)03-0024-06

## Effects of Different Illumination Intensity on Photosynthetic Properties of *Rhododendron simiarum* at Low Altitude

YANG Hua, SONG Xu-zhong

(Zhejiang Academy of Forestry, Hangzhou 310023, China)

**Abstract:** In March of 2015, 10 young *Rhododendron simiarum* trees were transplanted as potted culture from Songyang (altitude: 1 000 m) of Zhejiang province to Zhejiang Academy of Forestry (altitude: 24 m). In May of 2016, treatments of 10% of illumination and full exposure were carried out on 5 trees each. In July of 2016, determinations were implemented on their photosynthetic properties by LI-6400. The results showed that net photosynthetic rate ( $P_n$ ) of *R. simiarum* trees under 10% illumination was higher than that under full exposure, indicating more adaptive to low light intensity at low altitude in the summer. Transpiration rate ( $T_r$ ) of trees under 10% illumination was lower than that under full exposure, but water use efficiency (WUE) was the opposite. *R. simiarum* under 10% light had more accumulation of dry matter. The diurnal variation of  $P_n$ ,  $T_r$  and  $G_s$  was single-peak curve, but  $L_s$  and  $C_i$  had double-peak curve.

**Key words:** *Rhododendron simiarum*; shade; photosynthesis; illumination

猴头杜鹃 *Rhododendron simiarum* 为杜鹃花科 Ericaceae 杜鹃属 *Rhododendron* 常绿灌木, 分布范围十分广泛, 基本与亚热带常绿阔叶林区域、东部湿润常绿阔叶林亚区域的区划线相一致, 中亚热带和南亚热带地域较为普遍<sup>[1-2]</sup>。在我国广东、广西、福建、浙江、湖南、江西等省区均有分布, 常以猴头杜鹃为建群种形成矮林, 多以零星的小面积群落形式存在。

光合作用是植物最重要的生理过程, 是评价植物生长及环境适应性的可靠依据。它是植物生长发育的基础, 同时又是一个复杂的生物物理化学过程, 受到诸多因素的影响。自然条件下, 研究影响植物光合作用的主导生

收稿日期: 2017-12-26; 修回日期: 2018-04-23

基金项目: 浙江省林木新品种选育重大科技专项“特色优势木本花卉资源保育与种质创新”(2016C02056-12)

作者简介: 杨华, 副研究员, 博士, 从事植物遗传育种研究; E-mail: ynpsta@126.com。

态因子, 植物的光合特性及其与环境光合有效辐射、空气相对湿度等生态因子的关系显得十分重要。光合有效辐射过强时植物容易受到伤害, 过弱时植物不能发挥最大光合潜力。为此, 众多学者研究了不同植物的需光性及对需光性较为敏感的一些栽培植物的遮光处理措施<sup>[3-7]</sup>。猴头杜鹃多生长在高山地区, 喜在散生光下生长, 忌烈日直射曝晒, 一般认为强光照、高温和低湿是影响猴头杜鹃下山种植的最主要限制因子。因此, 猴头杜鹃极少引种到低海拔栽培, 也尚未有人工繁殖栽培的报道。遮荫是降低光照、降温增湿的重要途径, 是耐荫植物栽培必需采取的措施, 而猴头杜鹃在这方面尚未有研究。本研究以盆栽小苗为研究对象, 在低海拔区域引种, 分析 10%光照和全光照对其光合特性的影响, 以期对猴头杜鹃的光环境生态调控提供理论依据, 也为猴头杜鹃下山引种栽培提供支撑。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料处理

2015 年 3 月, 从浙江省松阳县枫坪乡 (海拔 1 000 m 左右) (28°19'12" N, 119°15'36" E) 将 7~9 年生野生猴头杜鹃小苗 10 株移栽到浙江省林业科学研究院苗圃地 (30°13'09" N, 120°01'26" E, 海拔 24 m, 年平均气温 16.2℃, 年平均降水量 1 500 mm), 苗高 35~50 cm, 地径 0.4~0.6 cm, 冠幅 (25 cm×15 cm)~(20 cm×30 cm)。栽种基质为酸性黄土, 塑料盆大小为 25 cm×30 cm (直径×高)。移栽当年适时遮荫, 保证不缺水, 7~9 月移入无太阳直射的背阴区。盆栽 1 a 后, 苗木全部成活且生长正常。2016 年 5 月, 按苗高情况将 10 株苗平均分成 2 组, 其中一组置于近樟 *Cinnamomum camphora* 树干的树阴下, 此树冠幅为 10 m×8 m, 高 5 m, 生长健康。通过 LX1010B 照度计从树干四周多点多次测定, 树下光照强度约为自然光照下的 10%。另一组置于苗圃空旷地, 为无特殊遮荫设施全光照条件。10%光照和全光照 2 种光照强度处理 2 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 测定方法

1.2.1 光响应曲线 7 月, 在晴天 9:00~11:00, 采用 LI-6400 便携式光合作用测定系统 (美国 LI-COR 公司) 测定光响应曲线, 光强变化范围为 0~2 000  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (0, 50, 100, 150, 200, 500, 800, 1 000, 1 200, 1 500, 2 000  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )。每种处理苗木大小相似, 选择从上而下第 3 至第 5 片全功能叶, 3 株各选 2 片叶各测 3 次。

1.2.2 光合作用日变化 9 月, 在晴天 7:00~17:00, 选择从上而下第 3 至第 5 片全功能叶, 3 株各选 2 片叶各测 3 次, 苗大小相近, 利用自然光照, 采用透明叶室, 测定净光合速率 ( $P_n/\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )、气孔导度 ( $G_s/\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )、蒸腾速率 ( $T_r/\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )、胞间  $\text{CO}_2$  浓度 ( $C_i/\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ), 同时记录光合有效辐射 ( $PAR/\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )、空气温度 ( $T_a/^\circ\text{C}$ )、大气  $\text{CO}_2$  浓度 ( $C_a/\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )、相对湿度 ( $RH/\%$ ) 等指标的日变化, 每隔 2 h 测定 1 次。

1.2.3 数据分析 所有数据取平均值进行计算, 使用统计软件 Excel 2003 绘制各曲线图。

光量子通量密度 ( $PFD$ ) 在 0~200  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  通过线性回归求得表观量子效率 ( $AQY$ )。采用 SPSS 10.0 统计软件, 利用其中的非线性统计分析模块, 求得光饱和点 ( $LSP$ )、光补偿点 ( $LCP$ )、最大净光合速率 ( $P_{n\max}$ )。模型的理论公式为<sup>[8]</sup>:

$$P_n = \{ \text{light} \times Q + P_{n\max} - \text{SQRT}[(Q \times \text{light} + P_{n\max})^2 - 4 \times Q \times P_{n\max} \times \text{light}] \} / (2 \times k) - R_d$$

式中,  $P_{n\max}$  是最大净光合速率,  $Q$  是表观量子效率,  $k$  为光响应曲线曲角,  $R_d$  是暗呼吸速率。

水分利用效率  $WUE$  根据下式计算:

$$WUE = A/E$$

式中,  $E$  即  $T_r$ 。

气孔限制值  $L_s$  根据下式计算:

$$L_s = (C_a - C_i) / C_a$$

2 结果与分析

2.1  $P_n$ 对2种光照强度的响应

光辐射强度直接影响光合作用,在一定范围内光合速率随着 $PAR$ 的增加而增加,当 $PAR$ 增加到一定值时, $P_n$ 达到最大,超过这一值,则 $P_n$ 不再增大。从图1中可以看出, $PAR$ 大于 $100\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 以后,猴头杜鹃 $P_n$ 表现为 $10\%$ 光照 $>$ 全光照。研究表明遮荫会使荫生植物的光合速率升高和阳生植物的光合速率下降<sup>[9]</sup>,说明夏季在低海拔环境下猴头杜鹃适应遮荫的环境。利用非线性回归对光响应曲线进行拟合,得到表1中各指标值。

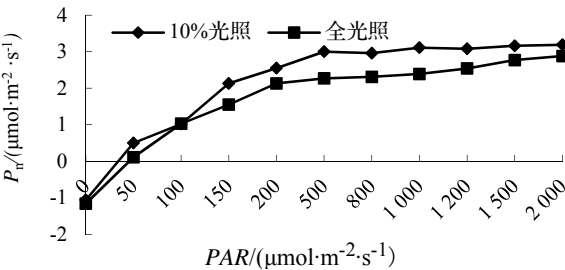


图1 猴头杜鹃 $P_n$ 对 $PAR$ 的响应曲线

Figure 1 Response curve of  $P_n$  to  $PAR$  of *R. simiarum*

表1 2种光照强度对猴头杜鹃光合参数的影响

Table 1 Effects of different illumination intensity on photosynthetic parameters of *R. simiarum*

处理	$LCP/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	$LSP/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	$P_n\text{ max}/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	$R_d/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	$AQY$	$R^2$
10%光照	41.33	269.89	4.11	0.95	0.02	0.99
全光照	55.63	295.88	3.84	1.17	0.03	0.98

$LSP$ 与 $LCP$ 可以作为植物需光特性的主要指标,用来衡量其需光量<sup>[10,11]</sup>,是植物耐荫性评价的重要指标。 $LCP$ 代表了植物对弱光的适应能力, $LCP$ 值越低,表明植物对弱光的利用能力越强<sup>[12,13]</sup>。从表1中可以看出,全光照下生长的猴头杜鹃 $LSP$ , $LCP$ , $AQY$ 比 $10\%$ 光照生长的要大, $P_{n\text{ max}}$ 比 $10\%$ 光照下生长的猴头杜鹃小。说明全光照下猴头杜鹃对光利用率较低。

2.2  $T_r$ 和 $WUE$ 对2种光照强度的响应

从图2可以看出,2种光照的猴头杜鹃 $T_r$ 随着 $PAR$ 的增加不断加强。在 $10\%$ 光照下生长的猴头杜鹃 $T_r$ 明显低于全光照下生长的猴头杜鹃。从图3中可以看出,在 $100\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上的 $PAR$ 下,相同的 $PAR$ 时,在 $10\%$ 光照下生长的猴头杜鹃 $WUE$ 明显高于全光照下生长的猴头杜鹃。 $10\%$ 光照和全光照下的猴头杜鹃 $WUE$ 平均值为 $1.431\ \mu\text{mol}\ \text{CO}_2\cdot\mu\text{mol}^{-1}\text{H}_2\text{O}$ 和 $0.502\ \mu\text{mol}\ \text{CO}_2\cdot\mu\text{mol}^{-1}\text{H}_2\text{O}$ , $10\%$ 光照在 $500\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时达最大值 $2.23\ \mu\text{mol}\ \text{CO}_2\cdot\mu\text{mol}^{-1}\text{H}_2\text{O}$ ,全光照在 $1\ 500\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时达最大值 $0.810\ \mu\text{mol}\ \text{CO}_2\cdot\mu\text{mol}^{-1}\text{H}_2\text{O}$ 。

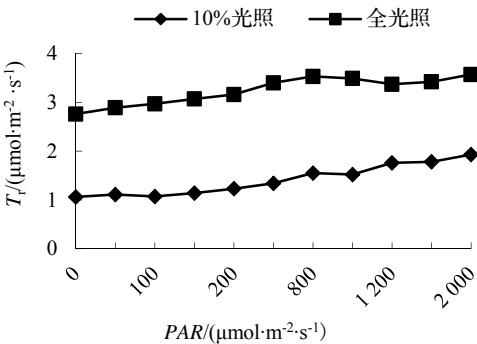


图2 猴头杜鹃 $T_r$ 对 $PAR$ 的响应曲线

Figure 2 Response curve of  $T_r$  to  $PAR$  of *R. simiarum*

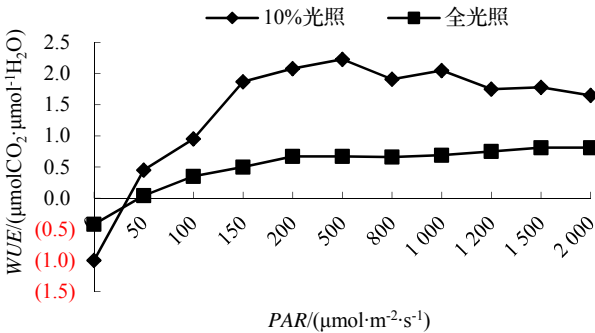


图3 猴头杜鹃 $WUE$ 对 $PAR$ 的响应曲线

Figure 3 Response curve of  $WUE$  to  $PAR$  of *R. simiarum*

2.3 2种光照强度下的环境因子日变化

从表2可以看出,测量时 $PAR$ 日变化成“单峰”型。全光照下生长的猴头杜鹃在14:00达到最高点, $10\%$ 光照下猴头杜鹃的 $PAR$ 在中午12:00达到最高点。全光照下的猴头杜鹃 $PAR$ 明显大于 $10\%$ 光照下的猴头杜鹃。测量时 $T_a$ 日变化成“单峰”型。随着时间的推移, $T_a$ 不断上升,空气湿度不断降低,到12:00–14:00时,2种

光照下在测量时  $T_a$  分别达到最高点, 空气湿度都达到最低点, 随后温度降低, 湿度升高。

表 2 环境因子的日变化  
Table 2 Daily variation of environmental factors

指标	处理	时间						
		6:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00
$PAR/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	全光照	210.78	597.08	582.88	824.16	877.93	319.89	56.80
	10%光照	13.52	18.62	22.35	42.53	26.56	6.14	3.79
$C_a/(\mu\text{molCO}_2\cdot\text{mol}^{-1})$	全光照	456	428	389	360	369	405	398
	10%光照	443	419	386	379	388	418	393
$T_a/^{\circ}\text{C}$	全光照	34.04	34.73	36.89	40.41	40.90	39.67	34.61
	10%光照	34.95	36.69	38.58	41.17	41.06	39.51	35.72
RH/%	全光照	70.65	64.35	56.83	47.04	43.59	55.18	59.48
	10%光照	71.24	58.88	50.16	45.73	44.05	54.37	58.05

2.4 2 种光照强度下  $P_n$  和  $T_r$  的日变化

从图 4 可以看出, 2 种光照强度下的猴头杜鹃  $P_n$  日变化表现为“单峰”型。全光照下的猴头杜鹃在 8:00 时  $P_n$  达到最高点, 为  $6.16 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 10%光照下的猴头杜鹃在 10:00 时  $P_n$  达到最高点, 为  $1.03 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。全光照下的猴头杜鹃  $P_n$  明显大于 10%光照下的猴头杜鹃。2 种光照强度下的猴头杜鹃  $T_r$  日变化也表现为“单峰”型, 且都在 12:00 时达到最高点。全光照下的猴头杜鹃最高值为  $4.73 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 10%光照下的猴头杜鹃最高值为  $3.4 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

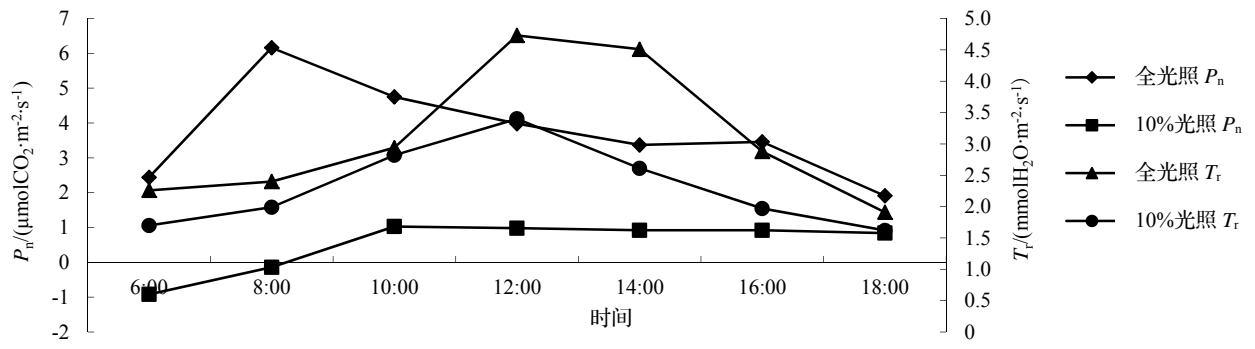


图 4  $P_n$  和  $T_r$  日变化

Figure 4 Daily variation of  $P_n$  and  $T_r$

2.5 2 种光照强度下  $G_s$  和  $C_i$  的日变化

从图 5 可以看出, 猴头杜鹃在 2 种光照强度下,  $G_s$  变化比较平稳, 先略有升高, 在 12:00 时达到最高点, 随后略有下降, 总体呈不明显的“单峰”型。2 种光照强度下的猴头杜鹃  $C_i$  日变化表现为“双峰”型, 在 6:00 和 16:00 时到达两个高峰。这与  $T_a$  日变化相一致。 $C_i$  的日进程基本与  $P_n$  相反, 因为当  $P_n$  较大时, 固定的  $\text{CO}_2$  较多, 引起  $C_i$  降低。

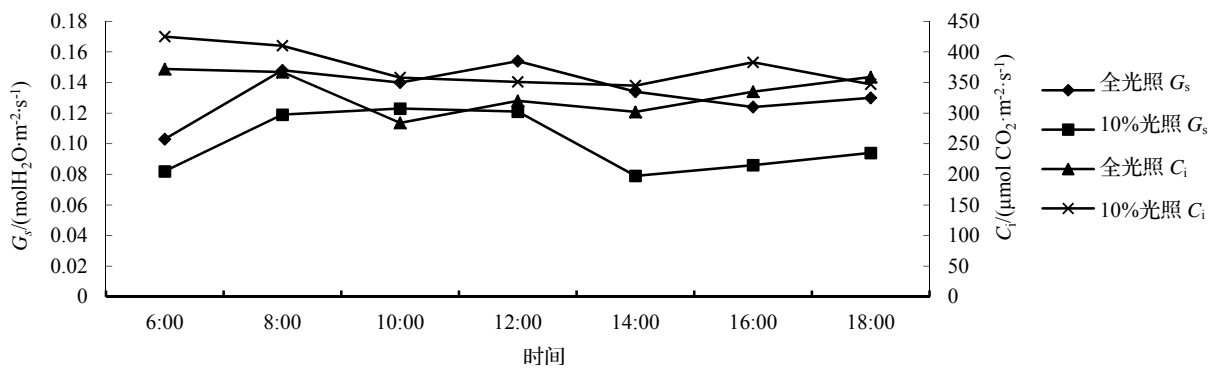


图 5  $G_s$  和  $C_i$  日变化

Figure 5 Daily variation of  $G_s$  and  $C_i$

## 2.6 2 种光照强度下 $L_s$ 的日变化

根据公式计算全天的  $L_s$ , 变化规律如图 6。  $L_s$  的日变化与  $C_i$  的日变化曲线相反, 2 种光照强度下的猴头杜鹃日变化表现为“双峰”型, 全光照下猴头杜鹃的  $L_s$  变化明显, 在 10:00 和 14:00 时到达 2 个高峰。10%光照下猴头杜鹃的  $L_s$  变化不明显, 但在 14:00 和 18:00 时到达 2 个高峰。

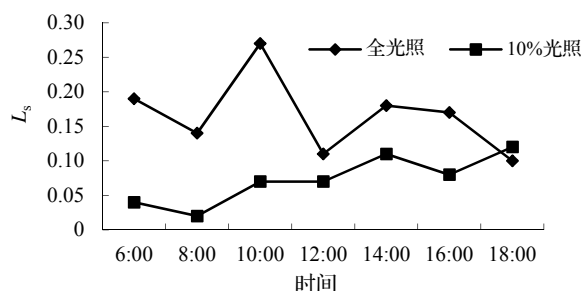


图 6  $L_s$  日变化

Figure 6 Daily variation of of  $L_s$

## 3 结论

光合作用是植物十分复杂的生理过程, 叶片光合效率与自身因素如叶绿素、叶片厚度、叶片成熟程度密切相关, 又受光照强度、气温、空气相对湿度、空气  $CO_2$  浓度、土壤含水量等外界因子的影响。只有在最佳的条件下, 植物才能获得最高的光合作用能力。本研究对 10%光照和全文照 2 种光照强度下的猴头杜鹃进行光合特性的研究, 得到以下结论。

(1) 据郑凌峰报道, 猴头杜鹃林郁闭度在 0.9 以上时, 林下更新幼苗数量极少, 而郁闭度在 0.5 时, 林下更新幼苗数量增加, 说明猴头杜鹃是中等耐荫性树种<sup>[14]</sup>, 一定的光照下促进幼苗生长。分析  $P_n$  对光的响应可以看出, 10%光照 > 全光照, 全光照下的猴头杜鹃对光利用率较低, 说明在低海拔环境下猴头杜鹃小苗更适应夏季低光照的生长环境。因此, 在低海拔引种猴头杜鹃小苗时, 夏季更应注意遮荫, 减少强光照射, 自然更新苗的生长条件与低海拔环境生长的苗并不相同。

(2) 10%光照下的猴头杜鹃  $T_r$  明显低于全光照下的。  $T_r$  日变化并未出现明显的峰型, 而是随着  $PAR$  的增加而不断的增加。10%光照下生长的猴头杜鹃水份利用效率明显高于全光照下生长的猴头杜鹃。10%光照下的猴头杜鹃,  $T_r$  低,  $WUE$  高, 有利于其干物质的积累。

(3) 对 2 种光照强度下的猴头杜鹃进行日变化分析, 发现  $P_n$  和  $T_r$  日变化表现为“单峰”型。植物在高温强光天气下常出现“午休”现象, 并且日变化为“双峰”型<sup>[15-16]</sup>, 本研究与之不同, 早上出现一次高峰后, 基本呈减少的趋势, “午休”现象和次高峰不明显。全光照环境下的猴头杜鹃  $P_n$  在 8:00 就出现了最高峰, 此时气温已维持在  $34.5^\circ C$  以上, 说明一定的高温会影响猴头杜鹃的  $P_n$ , 这也可能是光响应曲线拟合得到的最大净光合速率比日变化中最大净光合速率低的原因。夏季光照强, 气温高, 猴头杜鹃较早出现  $P_n$  高峰, 其他季节的情况仍需进一步试验进行比较。

全光照下的猴头杜鹃  $P_n$  明显大于 10%光照下的猴头杜鹃, 因为全光照下的猴头杜鹃  $PAR$  明显大于 10%光照下的猴头杜鹃, 在 10%光照条件下, 不能很好地满足猴头杜鹃需要的光强, 也进一步说明猴头杜鹃是中等耐荫性树种, 更多的遮荫条件比较才能确定在低海拔区域引种。

## 参考文献:

- [1] 叶居新. 中国的猴头杜鹃矮林[J]. 武汉植物学研究, 1994, 12 (2): 170-174.
- [2] 何东进, 何小娟, 洪伟, 等. 天宝岩猴头杜鹃林粗死木质残体数量特征[J]. 福建林学院学报, 2008, 28 (4): 293-298.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 刘涛, 杨生超, 李玛, 等. 不同遮荫处理对南重楼光合参数的影响[J]. 分子植物育种, 2015, 13 (6): 1383-1387.
- [7] 宋洋, 廖亮, 刘涛, 等. 不同遮荫水平下香榧苗期光合作用及氮分配的响应机制[J]. 林业科学, 2016, 52 (5): 55-63.
- [8] 刘宇峰, 萧浪涛, 童建华, 等. 非直线双曲线模型在光合光响应曲线数据分析中的应用[J]. 中国农学通报, 2005, 21 (8): 76-79.
- [9] 刘广林, 刘瑛, 王策. 不同遮荫处理对几种扶芳藤光合特性影响的研究[J]. 北方园艺, 2010 (19): 78-81.
- [10] 滕建国, 高长启, 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.

- 
- [11] 吕洪飞, 皮二旭, 王岚岚, 等. 遮荫处理的白英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.
- [12] 蔡建国, 任君霞, 姜朝阳, 等. 芒属 5 种观赏草的耐荫性研究[J]. 福建林学院学报, 2012, 32(3): 246-251.
- [13] 喇燕菲, 张启翔, 潘会堂, 等. 弱光条件下东方百合的生长发育及光合特性研究[J]. 北京林业大学学报, 2010, 32(4): 213-217.
- [14] 郑凌峰. 天然猴头杜鹃生长特性研究[J]. 江西农业大学学报, 2000, 22(3): 425-427.
- [15] 叶功富, 高伟, 王亨, 等. 木麻黄光合生理特性对海岸线距离梯度的响应[J]. 福建林学院学报, 2013, 33(4): 291-297.
- [16] 姜霞, 张喜, 谢涛. 檫木苗期光合特性及水分利用效率研究[J]. 贵州林业科技, 2016, 44(3): 19-23, 30.