

鸦胆子雌雄株光合作用日变化特性及影响因素研究*

陈军亮 陈家颖 陈芊芊 许凤玲 李林锋

(广东海洋大学 化学与环境学院, 广东 湛江 524088)

摘要 应用 Li-6400 便携式光合作用测定系统对鸦胆子 *Brucea javanica* 雌雄株净光合速率日变化和光合作用—光响应曲线进行了测定, 以探讨不同性别树种的光合作用特性及主要影响因素。结果表明: (1) 自然条件下, 鸦胆子雌雄株叶片净光合速率 (P_n) 的日变化曲线呈单峰型, 无光合“午休”现象, 其峰值都出现在 12:00 时左右。鸦胆子雌株的日最大同化速率 ($15.2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 大于雄株 ($10.8 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), 但两者 P_n 日均值差异不显著。雄株的水分利用效率日均值显著大于雌株 ($P < 0.05$)。 (2) 通径分析表明, 影响鸦胆子雌雄株叶片 P_n 的主要决策因子都为蒸腾速率 (T_r) 和光合有效辐射 (PAR), 而胞间 CO_2 浓度 (C_i) 是影响鸦胆子雌雄株叶片 P_n 的主要限制因子。 (3) 最大净光合速率雌株 ($21.7 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 显著大于雄株 ($14.6 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)。鸦胆子雌雄株叶片的光补偿点 (LCP) 分别为 40.6 和 $32.3 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 显示了阳生植物的特性。雌雄株叶片表观量子效率 (AQY) 值在 0.040~0.070 之内, 显示出较强的光能利用效率, 尤其是对弱光的利用能力。研究认为, 鸦胆子雌雄株果实的存在可能提高其光合作用, 增加气孔开放度和减少叶片的呼吸消耗; 雄株较强的水分利用效率及对弱光的利用能力, 体现出其对不利环境条件的较强适应能力。

关键词 鸦胆子; 光合日变化; 雌雄异株; 通径分析

中图分类号: Q945.79 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2022) 01-0120-06

Study on the Characteristics of Photosynthesis Diurnal Variation and Influence Factors of Male and Female *Brucea javanica*

CHEN Junliang CHEN Jiaying CHEN Qianqian XU Fengling
LI Linfeng

(College of Chemistry and Environment, Guangdong Ocean University, Zhanjiang, Guangdong 524088, China)

Abstract The photosynthetic characteristics of male and female *Brucea javanica* had been measured by Li-6400 photosynthetic measurement system to explore the photosynthetic characteristics and influence factors of different gender plants. The results showed that: (1) daily variation of net photosynthetic rate in leaves of male and female *B. javanica* presented a single-peak curve, no “midday depression” phenomenon occurred, and the peak values appeared at about 12:00 noon. The daily maximum assimilation rate $15.2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ of female plants was more than male plants $10.8 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, but there are no significant differences between the female and male plants. The means of water use efficiency in male plants was significantly higher than the female ($P < 0.05$). (2) By path analysis, transpiration rate (T_r) and photosynthetic active radiation (PAR) are the main decision factors which affecting the characteristic of net photosynthetic rate (P_n) for both female and male plant of *B. javanica*. However, intercellular CO_2 concentration was the main limiting factors which affecting the P_n of female plant. (3)

基金项目: 广东海洋大学校级重点课程培育项目 (GDOU580420013), 广东海洋大学创新实验项目项目 (GDOU580520031)。

第一作者: 陈军亮 (1999—), 在读本科, 研究方向为环境生态学, E-mail: 1242124790@qq.com。

通信作者: 李林锋 (1972—), 副教授, 主要从事植物生理生态学研究, E-mail: llf801@126.com。

The maximum net photosynthetic rate (P_{\max}) $21.7 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ of female plant was significantly higher than $14.6 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ of male plant. The light compensation point (LCP) values of female and male plant was 40.6 and $32.3 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, respectively, which showed the typical properties of sun plants. The leaf apparent quantum efficiency (AQY) value of male and female plant was within the range of 0.040 to $0.070 \text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$, showing strong light energy use efficiency, especially for the use of weak light. The study suggests that the fruiting may improve the photosynthesis, increase stomatal openness and reduce respiration consumption of leaves in female plant. Moreover, high water use efficiency and strong weak light energy use efficiency in the leaves of male plant indicated its better adaptive ability to adverse environmental conditions.

Key words *Brucea javanica*; diurnal course of photosynthesis; dioecious plants; path analysis

鸦胆子为苦木科鸦胆子属植物鸦胆子 *Brucea javanica* 的干燥成熟果实^[1], 始载于明清时代的《生草药性备要》, 具有清热、燥湿、杀虫、解毒的功效, 可治痢疾、久泻、疟疾、痔疮、疔毒, 外用可治赘疣、鸡眼等^[2]。在临床上对于肺癌、前列腺癌和消化道恶性肿瘤等疾病有显著疗效^[3], 鸦胆子有潜在的开发利用价值和市场前景。鸦胆子是雌雄异株植物, 常绿或落叶小乔木或灌木, 广泛分布于我国的广东、广西、福建、台湾、海南和云南等省区。鸦胆子药材资源一直以野生为主, 随着南方各地农户大面积开荒种植甘蔗等经济作物以及开辟果园种植龙眼 *Dimocarpus longan*、荔枝 *Litchi chinensis* 等亚热带优质水果, 原有的野生鸦胆子被大量砍伐, 造成野生资源的濒危。长期以来, 鸦胆子的研究大多集中在其有效活性成分鉴定^[4]、鸦胆子油提取^[5]、抗癌药物的开发^[6]、药理药效及临床应用机理^[7]等方面, 而忽略了对其植物生物学方面的研究。

光合作用是植物重要的生理生态特性之一, 是植物生长发育的基础^[8]。植物的光合特性主要包括光合速率、光合作用日变化、光饱和点、光补偿点、单位面积最大净光合速率和表观量子效率等^[8-10]。植物叶片的光合生理特性体现了植物的生长策略和资源利用方式, 除了可以直接反映各种植物之间的内在节律差异外, 还能够反映各种植物之间环境适应性的差异, 因此能代表各种植物的生理特性和其它环境因素对它们的综合影响^[11-13]。雌雄异株植物是指雌花和雄花分别位于不同植株上的单性花植物^[14], 其种类数约占被子植物总种数的 4%~10%^[15], 是陆地生态系统的重要组成部分。在长期的演化过程中, 雌雄异株植物在生长特性、资源分配、生殖格局、生理生化特征和基因表达特性等方面具有一定的性别差异,

这些差异是现代雌雄异株植物研究的热点之一^[16]。本试验对鸦胆子雌雄株花果期叶片的光合作用日变化特性进行研究, 分析光合生理参数与环境影响因子之间的关系, 旨在揭示鸦胆子雌雄株光合作用特性差异, 为鸦胆子药材资源的人工栽培奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地设在广东海洋大学北门附近灌木林地 ($21^{\circ}07' 59'' \text{N}$, $110^{\circ} 16' 59'' \text{E}$)。年平均气温 23.2°C , 7月最高, 月均温 28.9°C , 1月最低, 月均温 15.5°C 。年降水量 $1\ 523 \text{mm}$, 年平均日照 $20\ 000 \text{h}$ 以上, 属亚热带季风气候区, 夏长而冬短, 终年无霜雪。

1.2 试验材料

2019年9月26日—29日, 在杂灌林边缘随机选择鸦胆子分布比较集中的一块地段作为样地, 经逐个清点, 共发现鸦胆子植株 34 棵, 其中雌株 11 棵, 雄株 23 棵。结合前期野外调查观察及室内实验, 鸦胆子种子自然状态下萌发率较低。因此, 野外很少有大面积集中连片分布的群落, 且野外发现的斑块状聚集分布的群落多为通过地下根茎克隆生长的植株组合而成。在样地内选择生长良好、无病虫害的鸦胆子雌雄株各 3 株为试验材料。在每株树冠中上部选择 3 个健康复叶, 以每个羽状复叶的顶端第 4 或第 5 片小叶为测定对象, 每叶片每次重复记录 3 个稳定的观测值, 取多次测定的平均值。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 光合和生态指标 采用美国生产的 Li-6400 便携式光合作用测定系统对鸦胆子雌雄株光合生理指标和光响应参数进行测定。从 8:00 至 18:00 时, 每隔 2 h 测定 1 次, 考察其日变化。测定的指标包括:

叶片净光合速率 (P_n , $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、胞间 CO_2 浓度 (C_i , $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)、气孔导度 (G_s , $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、蒸腾速率 (T_r , $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、叶面大气蒸汽压亏缺 (VPD, kPa)、叶温 (T_b , $^{\circ}\text{C}$)、大气相对湿度 (RH, %) 和光合有效辐射 (PAR, $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 等。水分利用效率为光合速率与蒸腾速率之比。

1.3.2 光合作用-光响应曲线及其特征参数 利用 Li-6400 内置 LED 人工光源, 在上午 9:00—11:00 时测定光合-光强响应曲线, 雌雄株各 3 次重复。设定的光强梯度由高到低依次为 2 000、1 600、1 200、1 000、800、600、400、200、150、100、50、20、0 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 由系统每隔 3 min 自动记录每个光强下鸭胆子雌雄株叶片的净光合速率。以光量子通量密度 (PPFD) 为横轴、 P_n 为纵轴绘制光合作用光响应曲线 (P_n -PPFD 曲线)。依据经典的 Farquhar 和 Sharkey^[17] 模型进行 P_n -PPFD 曲线拟合, 求算最大净光合速率 (P_{max} , $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、光补偿点 (LCP, $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、光饱和点 (LSP, $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 和表观量子效率 (AQY, $\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$) 等参数^[18-19]。

1.4 数据处理

用 Excel 预处理数据, 用 SPSS 20.0 统计软件进行统计分析, 用 Sigma plot 10.0 绘图软件绘图。

2 结果与分析

2.1 鸭胆子雌雄株叶片光合作用日变化

晴朗天气下, 鸭胆子雌雄株叶片 P_n 日变化都为单峰曲线 (图 1)。其峰值均出现在 12:00 时左右, 此后 P_n 随光强的减弱而逐渐降低。虽然雌株叶片 P_n 日均值大于雄株, 但两者差异不显著。雌雄株叶片 G_s 、 C_i 、 T_r 和 VPD 的日变化大体与 P_n 的变化趋势相同, 也都为单峰曲线 (图 1), 尽管雌株各指标的日平均值都较雄株大, 但除 C_i 的日均值在雌雄株叶片之间存在显著差异外, VPD、 G_s 和 T_r 的日均值都差异不显著。与 P_n 的日变化趋势相反, 雄株的 WUE 较雌株高, 且两者日均值之间存在显著差异 (图 1)。

2.2 鸭胆子雌雄株叶片净光合速率与相关生理生态因子的关系

植物叶片净光合速率的变化是植物自身的生

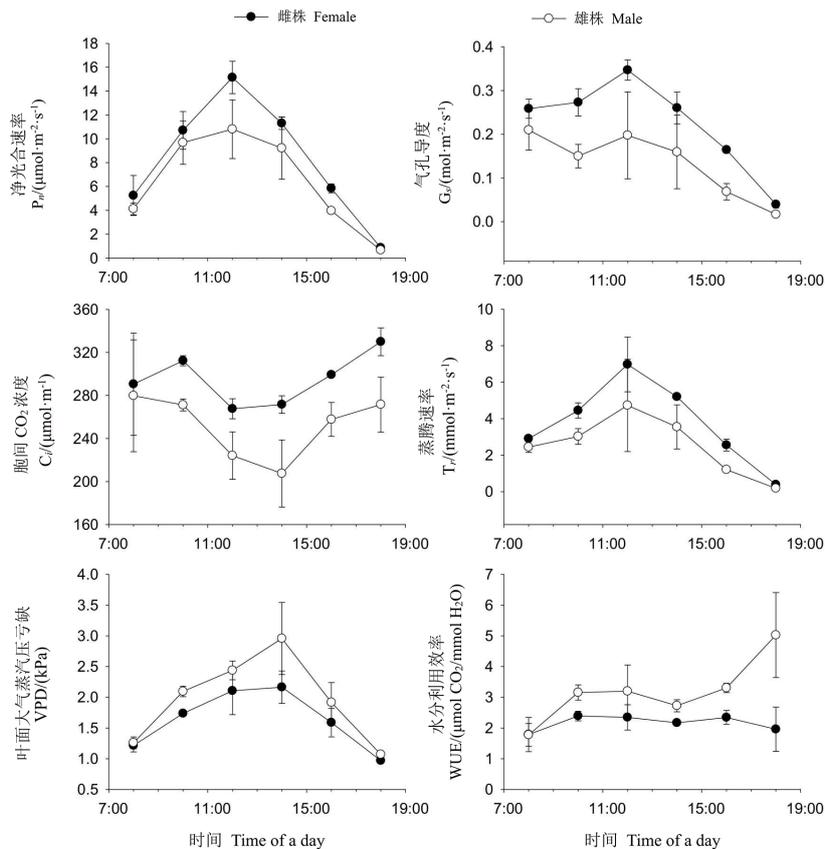


图 1 鸭胆子雌雄株叶片净光合速率及其生理生态因子的日变化

Fig. 1 Daily courses of net photosynthetic rate and ecological and physiological factors in leaves of male and female *Brucea javanica* plant

理因子和外界环境因子综合作用的结果。通过对鸦胆子雌雄株叶片净光合速率与相关生理生态因子的简单相关分析得知：鸦胆子雌株叶片 P_n 与 G_s 、 T_r 、VPD、 T_l 和 PAR 极显著正相关，与 C_i 和 RH 负相关。鸦胆子雄株叶片 P_n 与 G_s 、 T_r 、 T_l 和 PAR 极显著正相关，与 C_i 和 RH 负相关（表 1）。

由于植物的光合作用受多个因子的综合影响，以二元变量计算的简单相关系数，显然不能准确地解释各因子间的相互关系，而逐步多元回归分析方法能有效地从众多影响因素中挑选出对 P_n 贡献大的因子^[20]。本研究中鸦胆子雌雄株叶片 P_n 与相关生理生态因子的逐步回归方程分别为雌株： $P_n(\text{♀}) = -8.273 + 0.026 C_i + 1.486 T_r + 0.005 \text{ PAR}$ ($R=0.968^{**}$)，雄株： $P_n(\text{♂}) = 0.948 + 1.089 T_r + 0.004 \text{ PAR}$ ($R=0.942^{**}$)。由上述方程可以看出，树种性别不同，影响其净光合作用的主要生理生态因子也不同。表 2 通径分析结果表明，影响鸦胆子雌雄株叶片 P_n 的 C_i 、 T_r 和 PAR，其直接通径系数大小依次为 $T_r > \text{PAR} > C_i$ 。在 3 个因子中，虽然 C_i 对 P_n 的直接作用为正值（0.179），但被通过 T_r （-0.405）和 PAR（-0.204）等的负间接作用所掩盖而使其与 P_n 呈不显著负相关（表 1）。影响鸦胆子雄株叶片 P_n 的主要生理生态因子仅为 T_r 和 PAR，其直接通径系数大小为 $T_r > \text{PAR}$ 。与雌株叶片 C_i 对 P_n 的作用情况不同，雄株叶片 T_r 对 P_n 的直接作用为正值

（0.708），且被通过 PAR（0.198）的正间接作用所增强而使其与 P_n 呈极显著正相关（表 1）。此外，在通径分析中决策系数是其决策指标，用以把各自变量对因变量的综合作用进行排序，最终确定主要决策变量和限制变量。一般而言，决策系数最大的为主要决策变量，而决策系数小且为负值的为主要限制变量^[21]。鸦胆子雌雄株叶片 P_n 的生理生态因子的决策系数顺序为 $R^2_{(T_r)} > R^2_{(\text{PAR})} > R^2_{(C_i)}$ ，其中， $R^2_{(C_i)}$ 值小于 0。所以，影响鸦胆子雌雄株叶片 P_n 日变化的决策因子为 T_r 和 PAR，限制因子为 C_i 。其中 T_r 为主要决策因子， C_i 为主要限制因子。同理，鸦胆子雄株生理生态因子的决策系数顺序为 $R^2_{(T_r)} > R^2_{(\text{PAR})}$ 。其中， $R^2_{(T_r)}$ 和 $R^2_{(\text{PAR})}$ 值均大于 0，因此都为决策变量，不存在限制变量，且 T_r 为主要决策因子。鸦胆子雌雄株叶片 P_n 的主要决策因子都为 T_r ，这说明鸦胆子植株生长环境的土壤水分状况对其光合作用影响较大。

2.3 鸦胆子雌雄株叶片净光合速率对光照强度的响应

由图 2 可以看出，在低光强（ $< 200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ）光照梯度下，鸦胆子雌雄株叶片的 P_n 均随光照强度的增强而迅速增加，当超过 $600 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 光强后， P_n 随光强增加逐渐变缓。鸦胆子雌雄株叶片光响应拟合参数结果见表 3。从表 3 可以看出，鸦胆子雌株的最大净光合速率和光饱和点显

表 1 鸦胆子雌雄株叶片净光合速率与生理生态因子的相关系数

Table 1 Correlation coefficients of net photosynthetic rate and ecological and physiological factors in leaves of male and female *Brucea javanica* plant

植物性别 Plant sex	气孔导度 G_s	胞间 CO_2 C_i	蒸腾速率 T_r	大气蒸汽压亏缺 VPD	叶面温度 T_l	相对湿度 RH	光合有效辐射 PAR
雌株 Female plant	0.853**	-0.429	0.938**	0.821**	0.853**	-0.701**	0.884**
雄株 Male plant	0.786**	-0.030	0.906**	0.513*	0.723**	-0.443	0.758**

注：* 和 ** 表示在 0.05 和 0.01 水平上显著。

Note: * and ** means significant differences at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

表 2 鸦胆子雌雄株叶片净光合速率主要影响因子间的通径分析

Table 2 Path analysis on the net photosynthetic rate and its affecting factors of male and female *Brucea javanica* plant

植物性别 Plant sex	影响因子 Affecting factors	直接系数 Direct coefficient	间接系数 Indirect coefficient			决策系数 $R^2_{(i)}$ Decision coefficient
			C_i	T_r	PAR	
雌株 Female plant	C_i	0.179		-0.405	-0.204	-0.184
	T_r	0.719	-0.101		0.320	0.831
	PAR	0.398	-0.092	0.578		0.545
雄株 Male plant	T_r	0.708			0.198	0.782
	PAR	0.324		0.433		0.387

著高于雄株。但表观量子效率和暗呼吸速率均小于雄株。虽如此,但两者 T 检验差异不显著。雌株的有效光利用范围较大,为 $459.4 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 雄株的有效光利用范围较小,仅为 $268.7 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

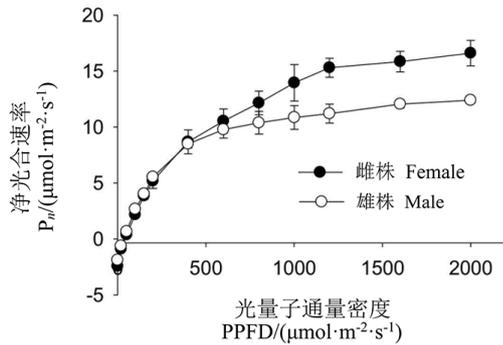


图2 鸦胆子雌雄株叶片净光合速率对光强的响应

Fig. 2 Responses of net photosynthetic rate to photosynthetic photo flux density (PPFD) in leaves of male and female *Brucea javanica* plant

3 讨论与结论

自然条件下,鸦胆子雌雄株叶片 P_n 日变化呈单峰曲线,无光合“午休”现象。多元逐步回归分析表明,雌雄株树种不同,影响其叶片光合作用日变化的主要生理生态因子也不同。虽然鸦胆子雌雄株叶片 P_n 变化与 PAR、 G_s 、 C_i 、 T_r 、VPD、RH 和 T_l 都有关,但 T_r 是鸦胆子雌雄株叶片 P_n 变化的主要决策因子, C_i 为雌株叶片 P_n 变化的主要限制因子。 T_r 的变化虽然与 PAR 和 T_l 有很大关系,但更多的是受制于植物生长环境的水分供应条件。本研究中鸦胆子都为野生植株,生长在向阳的野生杂灌林中,土壤水分条件可能是其生长发育的主要限制因子。

在试验设置的光强下,鸦胆子雌雄株叶片 P_n 均随光量子通量密度的增强而增加,只

是当光强超过 $600 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 后,其变化趋势才稍有不同。雌雄株的最大净光合速率和光饱和点有显著差异 ($P < 0.01$),且雌株高于雄株,而光补偿点、表观量子效率和暗呼吸速率差异不显著。植物叶片 LSP 和 LCP 是植物光合能力的重要体现,LSP 和 LCP 及其两者的差值反映了植物对光照条件的要求及其适应性^[22],有研究认为 LCP 值在 $0 \sim 10 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 之间为阴生植物,在 $10 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上则为阳生植物^[23]。本研究中,鸦胆子雌雄株的 LCP 大于 $30 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,显示了阳生植物的特性。这和野外观察到的鸦胆子多分布于旷野、路边、灌丛中或疏林生境中的实际情况一致。表观量子效率(AQY)能够反应植物叶片对弱光的利用能力。AQY 越大,表明该植物吸收与转换光能的色素蛋白复合体可能越多,利用弱光的能力越强^[24-25]。对于长势良好的植物,AQY 值一般在 $0.040 \sim 0.070$ 之间^[26]。本研究中,鸦胆子雌雄株的 AQY 值都在上述区间之内,这说明鸦胆子雌雄株叶片的光能利用效率都较大,尤其是雄株对弱光的利用能力更强。

雌雄异株植物不同性别间往往在存活率、形态特征、生理生化特性、物候期和资源分配模式等方面有差异^[27],但鸦胆子雌雄株在营养生长期从形态特征上看不出有任何差异,只有等到开花结果时才能辨别出雌雄。柳跃^[28]2013年跟踪测定了鸦胆子雌雄株叶片4月到9月的可溶性糖、可溶性蛋白,叶绿素、丙二醛含量及 POD 和 CAT 活性的变化,但上述指标6个月的平均值 T 检验结果都表明雌雄株之间差异不显著。本研究结果表明,鸦胆子雌株的日最大同化速率 ($15.2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 大于雄株 ($10.8 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$),尽管两者 P_n 日均值差异不显著,但还是雌株大于雄株,这可能与鸦胆子雌株果实的库效应有关。果实的存在可提高

表3 鸦胆子雌雄株叶片光响应参数比较

Table 3 The comparison of light response parameters in leaves of male and female *Brucea javanica* plant

植物性别 Plant sex	最大净光合速率/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) P_{max}	光补偿点 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)LCP	光饱和点 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)LSP	表观量子效率 ($\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)AQY	暗呼吸速率 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) R_{day}
雌株 Female plant	$21.7 \pm 1.40\text{a}$	$40.6 \pm 0.80\text{a}$	$500.0 \pm 33.0\text{a}$	$0.0467 \pm 0.005\text{a}$	$-2.01 \pm 0.11\text{a}$
雄株 Male plant	$14.6 \pm 0.65\text{b}$	$32.3 \pm 6.00\text{a}$	$301.5 \pm 28.5\text{b}$	$0.0503 \pm 0.007\text{a}$	$-1.63 \pm 0.23\text{a}$

注:数据为平均值 \pm 标准误;同列不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: data were means \pm SE; values followed by different letters in the same column are significant difference at $P < 0.05$.

光合作用, 增加气孔开放度和减少叶片的呼吸消耗^[29], 这和本文的研究结果一致。鸦胆子雄株的水分利用效率较雌株高, 且两者日均值之间存在显著差异 ($P < 0.05$)。这和文献报道的在相同的田间条件下, 酒神菊树 *Baccharis dracunculifolia* 雌株受到的水分胁迫较轻, 但在干旱条件下雄株的水分利用效率更高^[30]的情况相似。

综上所述, 鸦胆子雌雄株叶片光合作用日变化趋势基本一致, 都为单峰曲线, 没有光合“午休”现象。作为喜光阳性树种, 鸦胆子对水分胁迫比较敏感, 且雄株较雌株的水分和光能利用效率较高。有关水分、养分胁迫条件下鸦胆子雌雄株的适应性差异今后将做进一步的研究。

参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[M]. 2010版. 北京: 化学工业出版社, 2010: 236.
- [2] 邹婧, 庞玉新, 杨全, 等. 鸦胆子的本草考证 [J]. 广东药学院学报, 2014, 30(5): 663-666.
- [3] ZHANG H P, PAN J B, ZHANG C, et al. Network understanding of herb medicine via rapid identification of ingredient-target interactions [J]. Scientific reports, 2014, 4: 3719-3726.
- [4] 何博. 鸦胆子属植物化学成分及抑菌活性研究进展[J]. 现代农业科技, 2021(1): 143-1455.
- [5] 黄敏桃, 梁梅华, 温中林, 等. 鸦胆子粗油提取工艺优化研究[J]. 广西林业科学, 2020, 49(2): 281-284.
- [6] 刘维海, 贾永军, 王洁, 等. 鸦胆子油乳注射液在治疗肝癌中的价值与安全性问题[J]. 中国处方药, 2020(8): 12-15.
- [7] 黄志汉, 黎文杰, 郑景辉. 基于系统药理学鸦胆子治疗肺癌作用机制的研究[J]. 广西医学, 2020, 42(23): 3079-3084.
- [8] 张青青, 周再知, 王西洋, 等. 施肥对柚木光合生理和叶绿素荧光特性的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2021, 41(4): 31-38.
- [9] 黄伟燕, 冯志坚. 光照强度对赧桐生长及光合特性的影响[J]. 林业与环境科学, 2020, 36(4): 96-101.
- [10] 冯建文, 吴亚维, 宋莎, 等. 西南高海拔区域苹果光合作用与光和CO₂响应模型的筛选 [J]. 经济林研究, 2020, 38(1): 106-116; 141.
- [11] 付豪, 朱宁华, 段润梅, 等. 温度与光照强度对红心杉幼苗光合特性的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2020, 40(7): 73-78.
- [12] 刘熙, 宋荣, 马英姿, 等. 七种黄精属植物的光合特性[J]. 经济林研究, 2021, 39(2): 181-187.
- [13] 李玉凤, 黄婧, 马姜明. 桂林喀斯特石山 50 种常见植物叶片光合特性[J]. 生态学报, 2020, 40(23): 8649-8659.
- [14] 胥晓, 杨帆, 尹春英, 等. 雌雄异株植物对环境胁迫响应的性别差异研究进展 [J]. 应用生态学报, 2007, 18(11): 2626-2631.
- [15] LLOYD D G. Selection of combined versus separate sexes in seed plants [J]. The American Naturalist, 1982, 120: 571-585.
- [16] 何梅, 孟明, 施大伟, 等. 雌雄异株植物对干旱胁迫响应的性别差异 [J]. 植物资源与环境学报, 2015, 24(1): 99-106.
- [17] FARQUHAR G D, SHARKEY T D. Stomatal conductance and photosynthesis [J]. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 1982, 33 (1): 317-345.
- [18] 李林锋. 4种湿地植物光合作用特性的比较研究 [J]. 西北植物学报, 2008, 28 (10): 2094-2102.
- [19] 张娇, 施拥军, 朱月清, 等. 浙北地区常见绿化树种光合固碳特征 [J]. 生态学报, 2013, 33(6): 1740-1750.
- [20] 吴瑞云. 欧美杨杂交种‘中嘉8’净光合速率与若干生态因子的相关分析 [J]. 亚热带植物科学, 2007, 36(4): 16-19.
- [21] 靳甜甜, 傅伯杰, 刘国华, 等. 不同坡位沙棘光合日变化及其主要环境因子 [J]. 生态学报, 2011, 31(7): 1783-1793.
- [22] 黄丽, 王德炉, 谭芳林, 等. 4种红树净光合速率对光和CO₂浓度的响应特征 [J]. 防护林科技, 2013(9): 1-3; 6.
- [23] 柯世省, 金则新, 林恒琴, 等. 天台山东南石砾光合生理生态特性 [J]. 生态学杂志, 2004, 23(3): 1-5.
- [24] 刘建锋, 杨文娟, 史胜青, 等. 崖柏与侧柏光合特性和叶绿素荧光参数的比较研究[J]. 西北植物学报, 2011, 31(10): 2071-2077.
- [25] 曾昭佳, 周祥斌. 5个香椿种源的光合响应研究[J]. 林业与环境科学, 2016, 32(3): 24-29.
- [26] LONG S P, HUMPHRIES S, FALKOWSKI P G. Photo-inhibition of photosynthesis in nature [J]. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 1994, 45(1): 633-662.
- [27] 尹春英, 李春阳. 雌雄异株植物与性别比例有关的性别差异研究现状与展望 [J]. 应用与环境生物学报, 2007, 13(3): 419 - 425.
- [28] 柳跃. 鸦胆子雌雄株的性别差异研究[D]. 广州: 广州中医药大学, 2014.
- [29] 刘魁英. 园艺植物的生长发育与调控[M]. 北京: 中国林业出版社, 2013: 90.
- [30] OBESO J R, RETUERTO R. Sexual dimorphism in holly ilex aquifolium: cost of reproduction, sexual selection or physiological differentiation?[J]. Rev Chil Hist Nat, 2002, 75: 67 -77.