

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2018.09.009

不同生境条件下凤丹生长及光合特性比较^①

戴前莉¹, 黄小辉¹, 黄馨¹, 唐龙波², 朱恒星¹

1. 重庆市林业科学研究院, 重庆 400036; 2. 重庆市垫江县林木种苗管理站, 重庆 垫江 408300

摘要: 设置林下(郁闭度 0.6)和空旷地两种生境, 比较不同生境下凤丹生长及光合特性, 探讨凤丹优化栽培的合适生境。结果表明: 林下生境的凤丹冠幅面积、一级分枝数、单株挂果量及单位冠幅面积挂果量均优于空旷生境, 而前者树高略低于后者。林下生境的凤丹叶绿素 a 和叶绿素 b 分别高出空旷生境的 103.53% 和 122.86%, 差异具有统计学意义($p < 0.05$)。在光合日变化规律方面, 林下生境的凤丹净光合速率呈现明显的“单峰”曲线, 而空旷生境下的呈不明显“双峰”曲线, 总体上前者高于后者; 前者胞间 CO_2 浓度和蒸腾速率低于后者而气孔导度无明显变化趋势; 林下生境的光能利用效率和水分利用效率普遍显著高于空旷生境。林下生境因存在一定程度的遮荫, 阻挡了夏季强光对凤丹的不良影响, 同时也减少了林下的光合有效辐射, 但凤丹自身的特性或适应性使得光能和水分利用率高, 净光合速率高, 有机物合成多, 分枝多, 植物长势好。

关键词: 凤丹; 生境; 生长; 光合特性

中图分类号: Q945.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2018)09-0053-06

环境因子在时空上具有高度异质性, 植物在不同生境条件下因光照、温度、湿度等的差异而表现出不同的生长和生理响应^[1]。凤丹, 又名铜陵牡丹、铜陵凤丹, 属江南品种群, 其根皮有镇痛、解热、抗过敏、消炎、免疫等药用, 具有根粗、肉厚、粉足、木心细、亮星多、久贮不变质等特色。由于种子油用的开发和推广, 凤丹(*Paeonia ostii*)因植株高大, 耐湿热、花量大、结实多、生态适应性强、病虫害少等优点成为当前油用牡丹的主栽品种^[2-3]。但是, 目前对其研究主要集中在引种驯化、品种选育等方面, 缺少生境微气候条件下对其生长、生理及光合特性的研究, 丰产栽培技术缺乏理论支持和方向指引。

植株的生长性状是其对栽植地环境适应性的直观反映, 光合作用是植物响应环境因子的重要方面。光照强度、温度和湿度等因子的变化对光合作用器官的形成及其功能存在显著影响, 进而影响植物的净光合效率。已有的研究表明, 在适度遮荫条件下牡丹净光合速率提高, 植株成花率高^[4]。重庆地区栽植的凤丹多处于林下和空旷地两种不同的生境条件, 但栽植效果尚无定论。开展上述两种生境条件下凤丹生长、功能叶叶绿素质量分数及光合日变化比较研究, 可以对探索重庆地区凤丹栽植的适宜生境和优化栽培提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验方法

试验地位于重庆市巫山县两坪乡花梨坪(N 31°7'31", E 109°58'35"), 海拔 825~850 m, 坡度小于 5°, 属亚热带季风性湿润气候, 年平均气温 15.3 °C, 年平均降水量 1 040 mm。设置巫山脆李(树龄为 11 年, 平

① 收稿日期: 2017-08-30

基金项目: 中央财政林业科技推广示范项目(渝林科推[2016-07]号); 重庆市科技兴林攻关项目(渝林科研 2015-3)。

作者简介: 戴前莉(1988-), 女, 硕士研究生, 工程师, 主要从事植物育种及栽培研究。

通信作者: 朱恒星, 高级工程师。

均株高 4.5 m, 郁闭度 0.6, 种植密度为 630 株/hm²)下和空旷地两种生境. 两块试验地相邻, 土壤均为中性偏碱紫色土, 土层厚度 60 cm; 凤丹均为同一时间栽植, 树龄 8 年, 管护条件一致. 于 2017 年 6 月初分别于该两种生境中设置 5 个 5 m×5 m 样地, 进行不同生境条件下凤丹生长情况和光合特性测定.

1.2 生长指标测定

不同生境条件下每块样地中随机选择 6 株, 测定其株高、冠幅、一级分枝数及挂果量, 计算单位冠幅面积挂果量.

1.3 光合作用相关指标测定

叶片光合色素质量分数测定采用丙酮-乙醇提取法($V_{\text{丙酮}}:V_{\text{乙醇}}=1:1$). 称取 0.1 g 叶置于小容量瓶中, 加入 10 mL 丙酮乙醇混合液, 黑暗条件下浸提 24 h. 浸提液采用 Spectrumlab 22 可见光分光光度计分别在波长 470 nm, 645 nm 和 663 nm 处比色, 计算出叶绿素 a(Chla)、叶绿素 b(Chlb)和类胡萝卜素(Car)的质量分数^[5].

叶片光合参数日变化的测定采用 Li-6400 便携式光合作用测量系统(LI-COR, USA), 在晴朗无风的天气自然条件下进行测定. 两种生境条件下每块样地各选择 2 株, 每株选取相同部分、生长健壮、无病斑的成熟叶测量. 从 6:00 至 18:00 每 2 h 测定 1 次, 每次测定记录 6 组数值, 测定参数主要包括净光合速率(P_n), 蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)、胞间 CO₂ 浓度(C_i)及环境因子, 包括光合有效辐射量(PAR)、大气 CO₂ 浓度、大气温度(T_a)、空气相对湿度(RH), 试验期间的环境因子日变化见图 1. 光能利用效率(LUE)为叶片吸收的每摩尔光合有效辐射总碳的固定量, 即净光合速率与光合有效辐射(PAR)的比值. 水分利用效率(WUE)为植物叶片每折腾一定量的水分所同化的 CO₂ 量, 即净光合速率与蒸腾速率的比值.

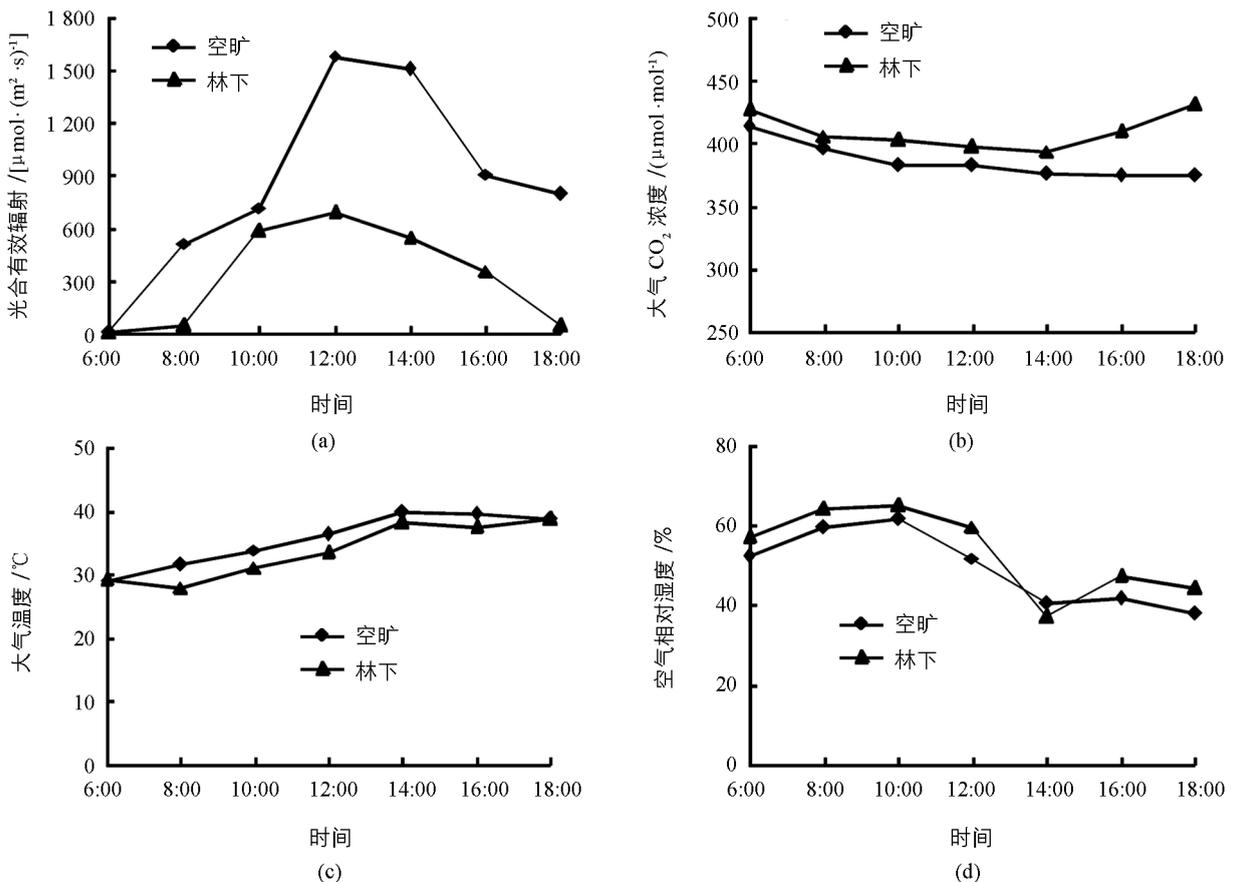


图 1 环境因子的日变化

1.4 数据统计与分析

试验数据用 Microsoft Excel 2007 软件进行录入、统计并作图, SPSS 19.0 进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同生境条件下凤丹生长情况

如表 1 所示, 林下生境中的一级分枝数较空旷地高 51.07%, 差异具有统计学意义 ($p < 0.05$); 前者冠幅面积和单位冠幅面积挂果量分别较后者高 2.0% 和 21.57%, 差异不具有统计学意义。空旷生境下树高较林下高 4.40%, 但差异不具有统计学意义。

表 1 不同生境条件下凤丹生长相关性状比较

生境	树高/ cm	冠幅面积/ m ²	一级分枝数/ 个	单株挂果量/ 个	单位冠幅面积挂果量/ (果·m ⁻²)
空旷	142.33±17.16a	0.98±0.43a	2.80±0.96a	6.70±3.86a	6.86±3.31a
林下	136.33±20.92a	1.00±0.38a	4.23±2.73b	8.43±5.84a	8.34±4.49a

注: 不同小写字母表示两种生境下差异具有统计学意义 ($p < 0.05$)。

2.2 不同生境条件下凤丹叶的光合色素质量分数

如表 2 所示, 林下生境中凤丹植株功能叶的叶绿素 a 和叶绿素 b 质量分数较空旷生境下的差异具有统计学意义 ($p < 0.05$), 前者在两项指标上分别高出后者 103.53% 和 122.86%; 而类胡萝卜素质量分数高 40.0%, 但差异不具有统计学意义。

表 2 不同生境条件下凤丹光合色素质量分数比较

生境	叶绿素 a	叶绿素 b	类胡萝卜素
空旷	0.85±0.17a	0.35±0.07a	0.15±0.03a
林下	1.73±0.23b	0.78±0.16b	0.21±0.03a

注: 不同小写字母表示两种生境下差异具有统计学意义 ($p < 0.05$)。

2.3 不同生境条件下凤丹光合日变化情况

如图 2(a) 所示, 两种生境条件下的凤丹净光合速率 (P_n) 日变化趋势不同, 林下生境中呈现明显的“单峰”曲线, 在 12:00 时出现明显峰值, 较其他时间段的差异具有统计学意义 ($p < 0.05$); 而空旷生境下则呈现不明显的“双峰”, 在上午 8:00 时出现第 1 个峰值后开始下降, 下午 14:00 出现第 2 个峰值, 比第 1 个峰值低 25.78%, 分析表明二者之间差异不具有统计学意义。就各时间段而言, 林下生境的凤丹 P_n 普遍高于空旷生境, 前者 10:00 至 14:00 之间的 P_n 显著高于后者 ($p < 0.05$)。图 2(b) 和 2(d) 分别显示凤丹气孔导度 (G_s) 和蒸腾速率 (T_r) 的日变化特征。从趋势上看, 林下生境的凤丹 G_s 日变化在 12:00 时出现峰值的“单峰”现象明显, 而 T_r 在 12:00 时虽处于全天的最高点, 但相较 10:00 时的差异不具有统计学意义; 空旷生境下 G_s 和 T_r 变化趋势基本一致, 均在 12:00 时出现全天最高值后逐渐下降, 但峰值并不突出。各时间段内, 空旷生境下凤丹的 G_s 和 T_r 总体高于林下生境, 这可能与外界较强的光强和温度有关。图 2(c) 显示出林下生境凤丹叶片胞间 CO_2 浓度 (C_i) 日变化均呈现明显的“单谷”曲线, 在 14:00 时呈现最低值, 总体上林下生境下的 C_i 低于空旷生境。

2.4 不同生境条件下凤丹光能利用效率和水分利用效率日变化情况

如图 3 所示, 两种生境条件下凤丹的光能利用效率和水分利用效率变化趋势均不同, 但相同生境下二者的变化趋势基本一致。两种生境的凤丹光能利用效率和水分利用效率均在 8:00 时出现最高值, 林下生境凤丹的全天变化趋势波动较大, 而空旷生境的自最高值后呈平稳下降趋势。总体上看, 各时段林下生境凤丹的光能利用效率和水分利用效率均高于空旷生境, 除 6:00 和 10:00 外, 林下生境与空旷生境差异具有统计学意义 ($p < 0.05$)。

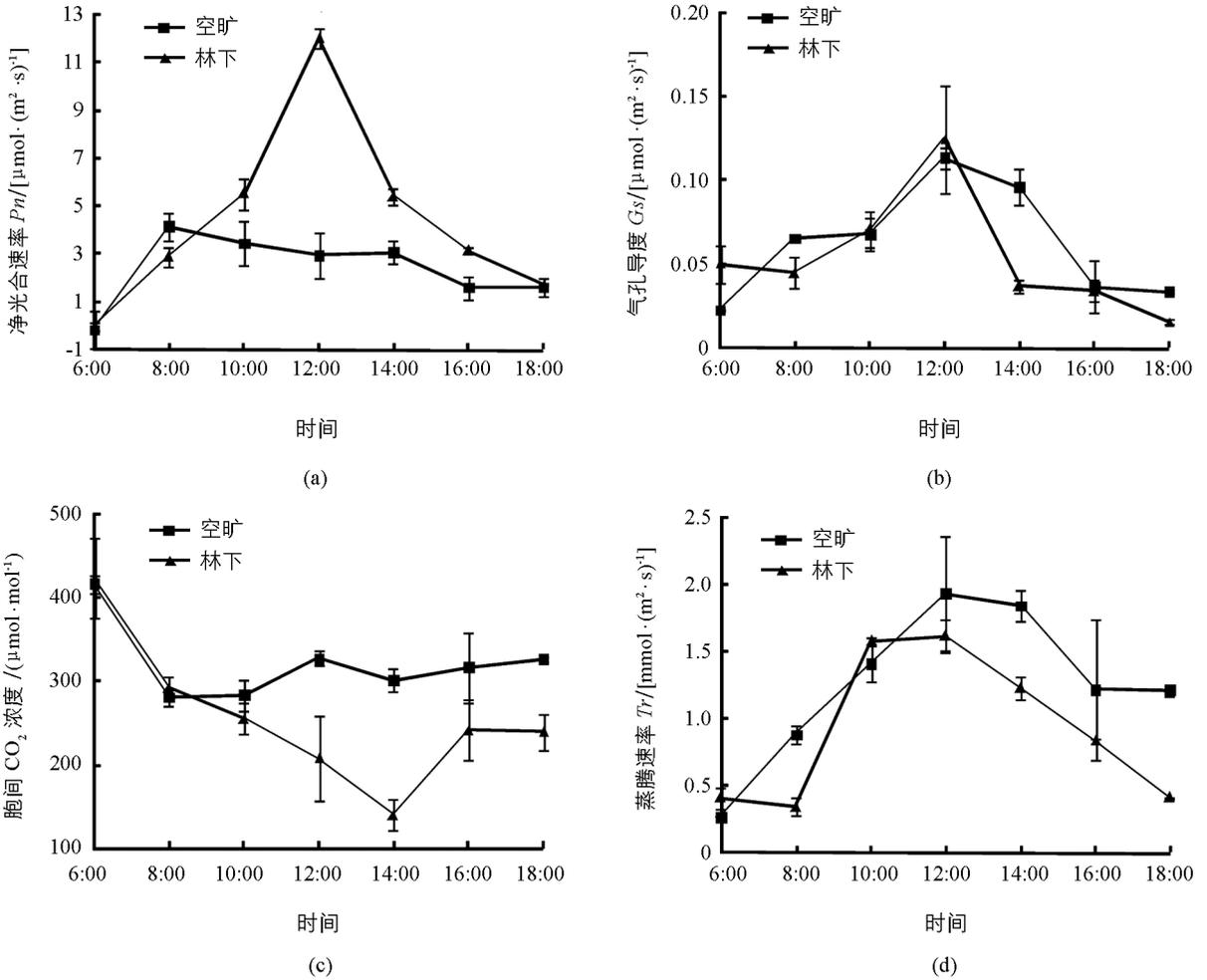


图 2 不同生境条件下凤丹光合参数日变化特征

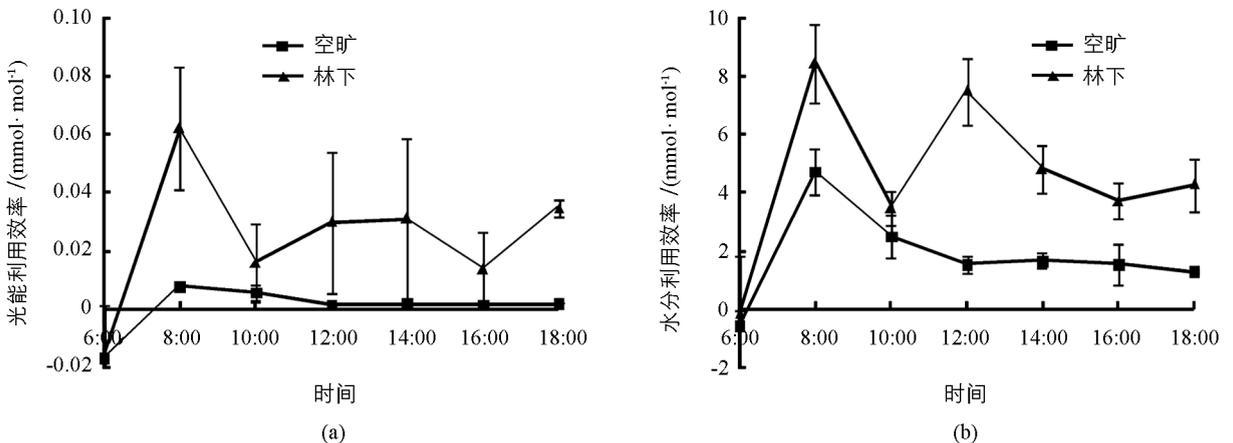


图 3 不同生境条件下凤丹光能利用效率和水利用效率日变化特征

3 结论与讨论

研究结果显示, 相较长时间裸露在自然光照下, 适当的林下生境(遮荫)条件能够降低夏季光强对凤丹的照射, 减少光抑制现象发生. 虽然这在一定程度上会使林下生境中的光合有效辐射减少, 但凤丹长期的环境适应和自身的生理调节反而提高了其光能利用效率和净光合速率, 保证了光合作用的正常进行. 因此, 合适的林下生境(适当遮荫)可能更有利于凤丹生长.

有研究指出,风丹单株坐果量和单位冠幅面积产量较高的植株丰产性较好.田间选优标准以单株坐果量、单株籽粒数、籽粒千粒质量3个产量决定因素为主,宜选择树势旺盛、分枝多、无病虫害的单株建立种子园或母树林^[6-7].本研究林下生境风丹一级分枝数、单株挂果量、冠幅面积和单位冠幅面积挂果量均优于空旷生境,更具丰产性.

叶绿体色素是植物进行光合作用的物质基础,其质量分数高低直接决定了植物光合作用的强弱^[8].野外试验中仅凭肉眼就能直观感受到林下生境下的风丹叶片叶色浓绿,叶片偏大;而空旷生境下的叶片相对翠绿,叶片较小.试验结果显示林下生境风丹功能叶叶绿素a和叶绿素b质量分数均显著高于空旷生境,而类胡萝卜素低于后者,这也验证了感官观察的结果.在光合作用中叶绿素a和叶绿素b主要起吸收光能的作用^[9],虽然林下生境的光合有效辐射低于空旷生境,但也促使植株本身合成更多的叶绿体色素应对这一相对环境劣势.同时林下生境因遮荫,在一定程度上也缓解了水分亏缺和强烈太阳辐射因子胁迫的副作用,这也有利于叶绿体色素合成.

光合作用是植物生长发育的基础,为植物生长提供所需的物质和能量,而光合日变化直接反应了植物光合日生产能力,没有“午休”现象更能较大地提高植物光合日同化量^[10-13].在本研究中,林下生境下风丹净光合速率日变化在12:00时呈现明显的单峰曲线,而空旷生境下在这段时间可能存在轻微的“午休”.引起净光合速率变化的原因主要分为气孔因素和非气孔因素,前者是因气孔导度下降阻止了CO₂的供应,只有气孔导度和胞间CO₂浓度以相同的方式变化时,才能确定光合速率变化是由气孔因素引起的;而后者是因叶肉细胞光合能力下降使得CO₂同化能力减弱,从而使胞间CO₂浓度升高^[14-15].本研究的空旷生境下正午时分气孔导度和胞间CO₂浓度虽然变化趋势一致,但前者和蒸腾速率也是一致的,说明此时气孔开放程度较高,并不完全满足气孔关闭导致净光合速率下降的“午休”特点,可能还存在非气孔因素的原因.高温、强光照及干旱使得植株呼吸作用过强,消耗物质较多,导致细胞原生质结构破坏^[16]可能是其中一个原因,但仍待进一步研究确定.林下生境下风丹的净光合速率、光能利用效率和水分利用效率总体均高于空旷生境,这可能是遮荫条件下植物自身的生理适应抑或是其本身的特性使得光能和水分被更好地利用,光合效率较高,有机物合成多,分枝多,植物长势好,这与在茶花幼苗、西番茄中的研究结果一致^[17-18],同时验证了林下生境下风丹生长相关性状优于空旷生境.此外,本研究仅验证了林下生境(适当遮荫)对于风丹栽植有利,但何种遮光程度最为合适及需光特性还需进一步研究和探索.

致谢:在试验和论文撰写过程中得到冯大兰博士给予的无私帮助,特此致谢.

参考文献:

- [1] 张衷华,唐中华,杨逢建,等.两种主要油用牡丹光合特性及其微环境影响因子分析[J].植物研究,2014,34(6):770-775.
- [2] 周琳,王雁.我国油用牡丹开发利用现状及产业化发展对策[J].世界林业研究,2014,7(1):68-71.
- [3] 董兆磊.风丹(*Paeonia ostii*)生殖生物学的初步研究[D].北京:北京林业大学,2010.
- [4] 朱,宋华,赵世伟,等.遮荫对牡丹光合特性及观赏品质的影响[J].西北植物学报,2012,32(4):731-738.
- [5] 黄小辉,冯大兰,刘芸,等.模拟石漠化异质生境中桑树的生长和叶绿素荧光特性[J].北京林业大学学报,2016,38(10):50-58.
- [6] 任利益,张延龙,牛立新,等.‘风丹’油用牡丹实生优株选择及评判标准研究[J].西北林学院学报,2016,31(6):162-168.
- [7] 齐国辉,李保国,郭素萍,等.黄连木优株果实品质及结实特性研究[J].西北林学院学报,2012,27(2):70-74.
- [8] HUANG X H, LIU Y, LI J, et al. The Response of Mulberry Trees After Seedling Hardening to Summer Drought in the Hydro-Fluctuation Belt of The Gorges Reservoir Areas [J]. Environment Science and Pollution Research, 2013, 20(10): 7103-7111.
- [9] 冯大兰,黄小辉,耿养会.三峡库区柏木林下半夏的光合特性研究[J].西南大学学报(自然科学版),2016,38(10):1-7.
- [10] 朱文旭,张会慧,许楠.玉米间作对桑树和谷子生长和光合日变化的影响[J].应用生态学报,2012,23(7):1817-1824.

- [11] 陈健妙, 郑青松, 刘兆普. 麻风树(*Jatropha curcas* L.) 幼苗生长和光合作用对盐胁迫的响应 [J]. 生态学报, 2009, 29(3): 1356–1365.
- [12] 张 弥, 吴家兵, 关德新. 长白山阔叶红松林主要树种光合作用的光响应曲线 [J]. 应用生态学报, 2006, 17(9): 1575–1578.
- [13] 黄小辉, 刘 芸, 李佳杏, 等. 模拟三峡库区消落带土壤干旱对桑树生理特性的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2013, 35(9): 127–132.
- [14] 许大全. 光合作用气孔限制分析中的一些问题 [J]. 植物生理学通讯, 1997, 33(4): 241–244.
- [15] FARQUAR G D, SHARKEY T D. Stomatal Conductance and Photosynthesis [J]. Annual Review of Plant Physiology, 1982, 33(1): 317–345.
- [16] 薛建平, 王 兴, 张爱民, 等. 遮荫对半夏光合特性的影响 [J]. 中国中药杂志, 2008, 33(24): 2896–2900.
- [17] 翟玫瑰, 李纪元, 徐迎春, 等. 遮荫对茶花幼苗生长及生理特性的影响 [J]. 林业科学研究, 2009, 22(4): 533–537.
- [18] MENZEL C M, SIMPSON D R. Effect of Continuous Shading on Growth, Flowering and Nutrition Uptake of Passion Fruit [J]. Scientia Horticulture, 1988, 35(1): 77–88.

Comparison of Growth and Photosynthesis-Related Characteristics of *Paeonia ostii* in Different Habitat Conditions

DAI Qian-li¹, HUAN Xiao-hui¹, HUANG Xin¹,
TANG Long-bo², ZHU Heng-xing¹

1. Chongqing Academy of Forestry, Chongqing 400036, China;

2. Dianjiang Forest Seedling Management Station of Chongqing, Dianjiang Chongqing 408300, China

Abstract: In order to explore the suitable habitat for optimized cultivation of *Paeonia ostii*, this plant species was grown under forest with a canopy density of 0.6 and in an open land, and its growth and photosynthetic characteristics under the two habitat conditions were compared. The results showed that the crown-area, primary branch number, fruit yield per plant and fruit yield per crown-area of *P. ostii* in the under-forest habitat were better than those in the open land, while its plant height was slightly less than in the open land. The contents of chlorophyll a and chlorophyll b of its functional leaves were significantly different between these habitats, being 103.53% and 122.86% higher in the under-forest habitat than in the open land, respectively. Daily variation of net photosynthetic rate of *P. ostii* presented a typical one-peak curve in the under-forest habitat and an atypical double-peak curve in the open-land habitat. In general, net photosynthetic rate, light use efficiency and water use efficiency were higher and intercellular CO₂ concentration and transpiration rate were lower in the under-forest habitat than those in the open-land habitat, while no significant difference was detected in stomatal conductance between the two habitats. In conclusion, in the under-forest habitat, appropriately shading prevented *P. ostii* from irradiation of strong light in summer by reducing photosynthetically active radiation, however, the characteristics of *P. ostii* or its physiological adjustment resulted in higher light and water use efficiency and net photosynthetic rate, better synthesis of organics, more branches and greater growth vigour.

Key words: *Paeonia ostii*; habitat; growth; photosynthetic characteristics