

引文格式: 靳超, 马天晓, 李成哲, 等. 早花流苏品种春雪的光合特性研究[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2022, 37(4): 648–654. DOI: 10.12101/j.issn.1004-390X(n).202201036

早花流苏品种春雪的光合特性研究*

靳超¹, 马天晓², 李成哲³, 朱秀征¹, 李鹏程¹, 王艳梅^{1**}

(1. 河南农业大学 林学院, 河南 郑州 450002; 2. 信阳农林学院 林学院, 河南 信阳 464000;

3. 铁岭市自然资源事务服务中心, 辽宁 铁岭 112000)

摘要:【目的】研究早花流苏品种春雪与普通流苏的光合特性, 为良种栽培以及推广利用提供理论依据。

【方法】以早花流苏春雪为研究对象, 并以相同条件下生长的普通流苏为对照, 利用 LCpro-SD 便携式光合仪分别测定两者在 5—10 月的净光合速率(P_n)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)以及光响应曲线。【结果】早花流苏春雪和普通流苏的 P_n 分别于 5 月和 7 月达到最大值, 分别为 22.11 和 20.30 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$; 5—10 月中, 早花流苏春雪的 P_n 整体高于普通流苏; 早花流苏春雪 8 月和普通流苏 7、8 月的 P_n 均呈双峰型曲线, 并伴随有光合午休现象, 其余月份均为单峰型曲线。2 种流苏的 C_i 日变化均呈先下降再上升的趋势; G_s 日变化整体呈降低的趋势; T_r 日变化均表现为先下降后上升再下降的趋势。5—10 月早花流苏春雪与普通流苏的最低光补偿点分别为 21.87 和 24.95 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$, 最大光饱和点分别为 1531.22 和 1450.77 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。

【结论】在相同环境条件下, 早花流苏春雪对光强的适应性比普通流苏更强, 更适合在光照强的地区栽植。

关键词: 早花流苏春雪; 普通流苏; 光合特性; 光响应曲线

中图分类号: Q949.776.2

文献标志码: A

文章编号: 1004-390X (2022) 04-0648-07

Study on the Photosynthetic Characteristics of Early Flowering *Chionanthus retusus* Variety ‘Chunxue’

JIN Chao¹, MA Tianxiao², LI Chengzhe³, ZHU Xiuzheng¹, LI Pengcheng¹, WANG Yanmei¹

(1. College of Forestry of Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China;

2. College of Forestry of Xinyang Agricultural and Forestry University, Xinyang 464000, China;

3. Tieling Natural Resources Affairs Service Center, Tieling 112000, China)

Abstract: [Purpose] To study the photosynthetic characteristics of early flowering *Chionanthus retusus* ‘Chunxue’ and common *C. retusus*, providing a theoretical basis for improving variety cultivation and utilization. [Method] Taking the early flowering *C. retusus* ‘Chunxue’ as the research object, and the common *C. retusus* growing under the same conditions as the control. The net photosynthetic rate (P_n), intercellular CO_2 concentration (C_i), stomatal conductance (G_s), transpiration rate (T_r) and light response curve of the two *C. retusus* from May to October were measured by LCpro-SD portable photosynthetic instrument. [Results] The P_n of early flowering *C. retusus* ‘Chunxue’ and common *C. retusus* reached the maximum value in May and July, with the value of 22.11 and 20.30 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$, respectively. From May to October, the P_n of early flowering *C. retusus* ‘Chun-

收稿日期: 2022-01-29

修回日期: 2022-06-11

网络首发日期: 2022-07-06

*基金项目: 国家林业与草原局林业科技发展项目(KJZXSA2019044)。

作者简介: 靳超(1995—), 男, 河南周口人, 在读硕士研究生, 主要从事树木生理研究。

E-mail: jin3980666@163.com

**通信作者 Corresponding author: 王艳梅(1978—), 女, 河南信阳人, 博士, 副教授, 主要从事森林培育、树木生理生态学和林业剩余物资源的开发利用研究。E-mail: wym3554710@163.com

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/53.1044.S.20220704.1834.008.html>



xue' was larger than that of common *C. retusus*, the P_n of early flowering *C. retusus* 'Chunxue' in August and common *C. retusus* in July and August showed a bimodal curve, accompanied by photosynthetic lunch break; and the other months were single peak curve. The diurnal variation of C_i of the two *C. retusus* decreased first and then increased, the diurnal variation of G_s decreased in general, and the diurnal variation of T_r decreased first and then increased and decreased again. The minimum light compensation of early flowering *C. retusus* 'Chunxue' and common *C. retusus* from May to October were 21.87 and 24.95 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$, the maximum light saturation points were 1531.22 and 1450.77 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$, respectively. [Conclusion] Under the same environmental conditions, early flowering *C. retusus* 'Chunxue' has stronger adaptability to light intensity than common *C. retusus*, and it is more suitable for planting in areas with strong light.

Keywords: early flowering *Chionanthus retusus* 'Chunxue'; common *Chionanthus retusus*; photosynthetic characteristics; light response curve

流苏树 (*Chionanthus retusus*) 是木犀科 (Oleaceae) 流苏树属 (*Chionanthus*) 落叶乔木或灌木, 树形优美, 枝叶茂盛, 聚伞状圆锥花序, 花期 4—5 月, 盛花期时, 满树白花, 如覆霜盖雪, 故称“四月雪”^[1]; 流苏树的小花含苞待放时, 其外形、大小和颜色与糯米相似, 故也称作糯米花、糯米茶^[2-4]。流苏树的花和嫩叶含有圣草酚、熊果酸和木犀草素等多种黄酮和三萜类化合物, 作为茶饮有一定的抗氧化和抗衰老效果^[5-6], 是良好的药用经济树种^[7]。流苏树是中国重要的乡土树种之一^[8], 也是中国珍稀名贵树种、国家二级保护植物^[9], 其分布于热带、亚热带和温带 3 个气候带^[10], 在中国主要分布于华北、西南及台湾等地区^[11]。此外, 流苏树还具有寿命长和适应性强的特点^[12], 在园林景观中有很高的观赏价值^[13]。

流苏树虽分布广泛, 但没有得到良好的保护, 野生种质资源更是遭受严重破坏, 天然分布范围逐渐缩小^[14], 且流苏种子的天然萌发率较低, 已趋于濒危^[15-16]。普通野生流苏从播种到开花需要 6~7 年, 其较长的童期大大限制了流苏的产业化和规模化发展^[17], 而经过人工选育的优良早花流苏品种春雪则可以有效解决这一问题。与普通流苏相比, 早花流苏春雪童期短, 实生苗 2 年就能开花, 嫁接苗翌年开花, 且花期可提前约 10 d^[17-18], 极大地提高了流苏的观赏价值。

光合作用是植物生长发育以及进行物质积累的基础生理活动, 也是其他代谢活动的基石^[19], 其强弱反映了不同植物对光能的利用情况以及对环境的适应能力^[20]。光合能力的强弱并不仅仅指净光合速率的大小^[21], 而是由多种指标共同参

与, 是评价植物对环境适应性的重要指标^[22]。目前人们对流苏树的研究多集中于其化学组成^[23]、繁育技术和形态解剖等方面^[24], 对其光合特性的研究较少。本研究从早花流苏春雪的光合生理特性入手, 分析其与普通流苏在相同生境的光合差异, 探究其对光照的利用能力以及对光强的适应范围, 以期为优良流苏品种的高效栽培和推广提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料取自河南省黄河科技学院试验地内种植的多年生早花流苏春雪 (人工培育) 和普通流苏 (于太行山脉天然流苏群体采种, 播种于试验地), 两者同一时间栽种, 且采用相同的田间管理方式。

1.2 试验地概况

试验地位于河南省郑州市管城回族区的黄河科技学院 (N34°41', E113°40', 海拔 116 m), 属暖温带大陆性气候, 四季变化明显, 年平均气温 14.2 °C, 最高气温 43 °C, 最低气温 -17.9 °C, 10 °C 以上积温达 4717 °C, 年平均降水量 650.1 mm, 全年日照时间约为 2400 h。试验田土壤为沙壤土, pH 值约为 7.0。

1.3 试验方法

每种流苏选取 3 株长势相同且没有病虫害的待测木, 每株待测木选取位于冠层中部向阳位置的 3 片叶片进行测定, 测定时间为 2021 年 5—10 月, 每月选择晴朗无风的 1 d 进行测定, 每次测定从 8:00—18:00, 每间隔 2 h 测定 1 次。使用

LCpro-SD 便携式光合仪测定净光合速率 (P_n)、胞间 CO_2 浓度 (C_i)、气孔导度 (G_s) 和蒸腾速率 (T_r)；使用便携式光合仪自带的红蓝光源调节光合有效辐射为 0、200、400、600、800、1000、1200、1400 和 1600 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ，分别测定不同光合有效辐射下 2 种流苏的净光合速率。

1.4 数据处理

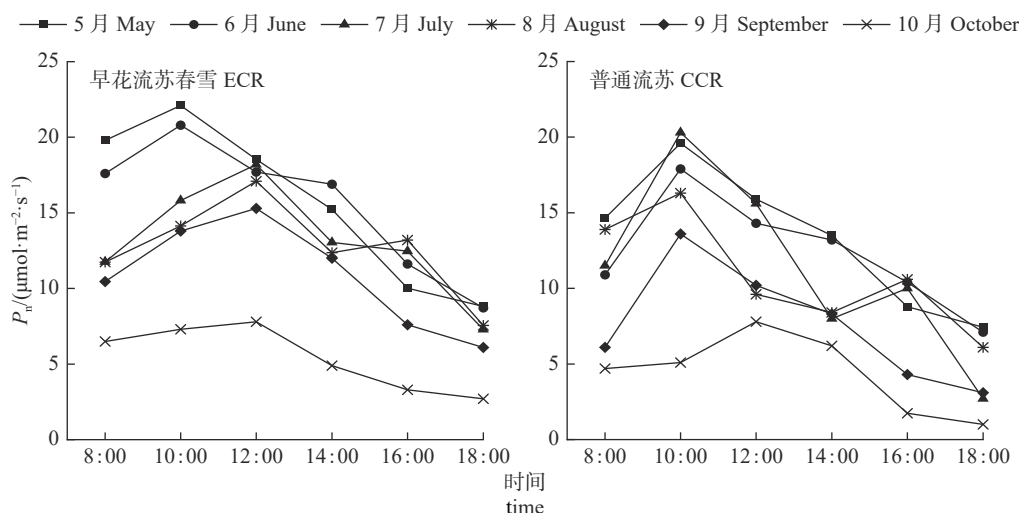
采用叶子飘等^[25]的模型对光响应曲线进行拟合，利用 OriginPro 9.0 进行绘图。

2 结果与分析

2.1 净光合速率 (P_n) 分析

由图 1 可知：早花流苏春雪的 P_n 日变化总

体呈先升后降的趋势，且 8 月的 P_n 为双峰型，分别于 12:00 和 16:00 达到峰值，其他月的 P_n 均为单峰型；普通流苏的 P_n 则在 7、8 月出现双峰型。此外，2 种流苏 P_n 出现双峰型的月份均有明显的光合午休现象。早花流苏春雪 5、6 月的 P_n 日变化在 10:00 达到最高值，其余月份均在 12:00 达到最高值；普通流苏 10 月的 P_n 最高值出现在 12:00，其余月份均在 10:00 达到最高值；在除 7 月外的其他月份，早花流苏春雪的 P_n 均高于普通流苏。早花流苏春雪和普通流苏的 P_n 最高值分别出现在 5 月和 7 月，而两者的 P_n 均在 10 月最低。



注/Note: ECR. early flowering *C. retusus* 'Chunxue'; CCR. common *C. retusus*; 下同/the same as below.

图 1 2 种流苏的净光合速率 (P_n) 日变化

Fig. 1 Diurnal variation of net photosynthetic rate (P_n) of two species of *Chionanthus retusus*

2.2 胞间 CO_2 浓度 (C_i) 分析

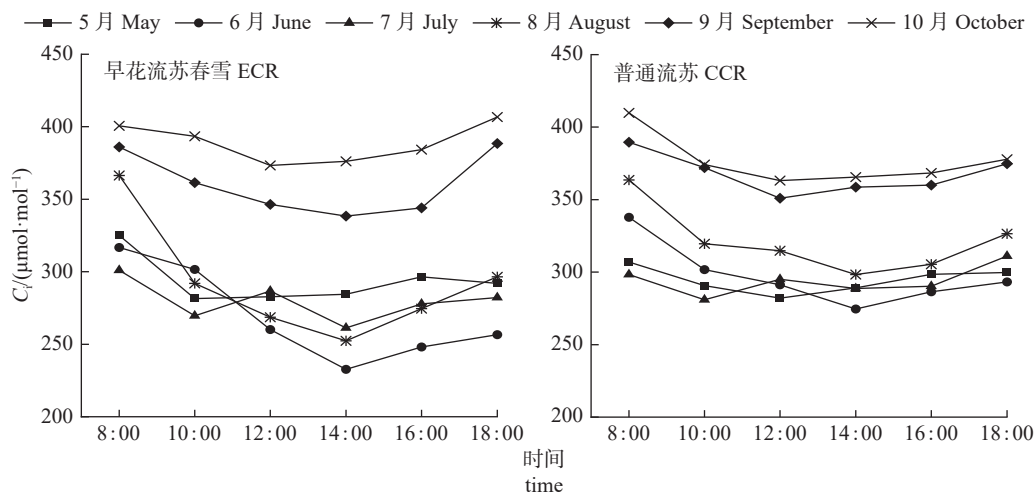
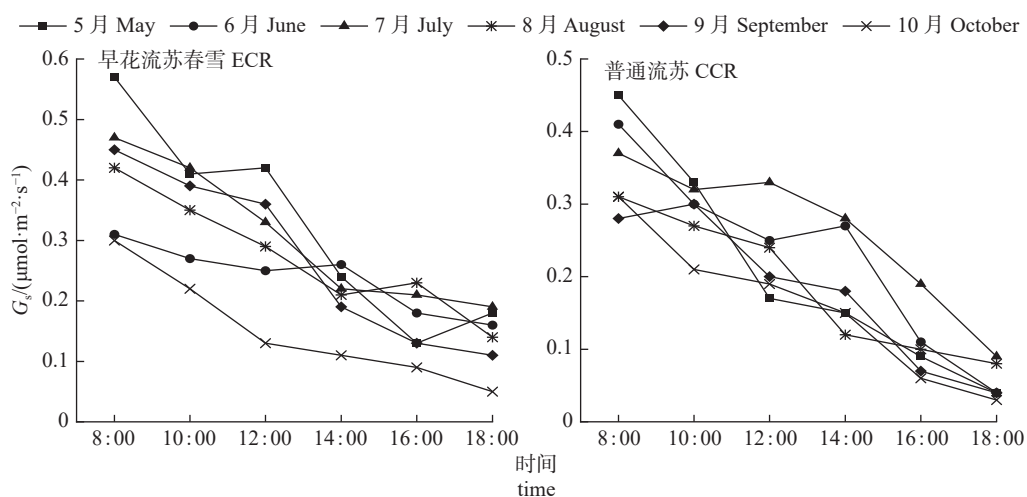
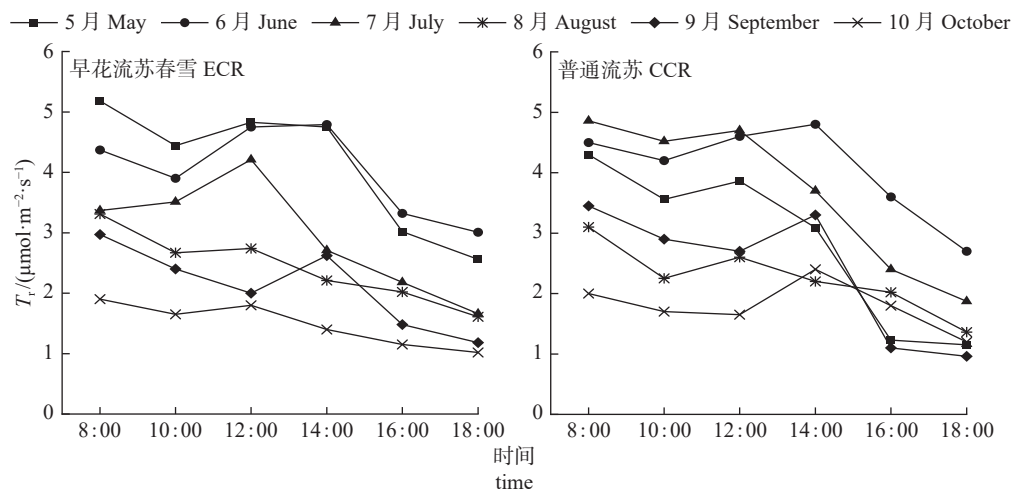
由图 2 可知：2 种流苏的 C_i 日变化均呈先下降再上升的趋势。8:00 时，早花流苏春雪和普通流苏的 C_i 均处于较高水平，随着时间的推移，光合作用程度不断加深， C_i 逐步下降至最低点，之后开始缓慢回升。5 月和 7—9 月，早花流苏春雪的 C_i 在 8:00—10:00 下降最快，6 和 10 月则是在 10:00—12:00 下降最快；普通流苏的 C_i 除 9 月在 10:00—12:00 下降最快外，其他月份均在 8:00—10:00 下降最快。9 和 10 月，2 种流苏的 C_i 高于其他月份，从 CO_2 起始浓度至最低浓度的变化过程可以看出，其 CO_2 日消耗量较其他月份少。

2.3 气孔导度 (G_s) 分析

由图 3 可知：早花流苏春雪和普通流苏的 G_s 日变化整体呈现降低的趋势，均于 5 月出现最大值，分别为 0.57 和 0.45 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ；两者的 G_s 分别在 5、6 和 8 月以及 6 和 7 月的下降过程中有小幅回升，且都发生在 10:00 以后。除 4 月外，早花流苏春雪的 G_s 最大值均高于普通流苏。

2.4 蒸腾速率 (T_r) 分析

由图 4 可知：早花流苏春雪和普通流苏的 T_r 日变化均表现为先下降后上升再下降的趋势，且 8:00 以后的 T_r 均在 12:00 或 14:00 达到峰值，之后快速下降，并在 18:00 降至最低点。

图2 2种流苏的胞间CO₂浓度(C_i)日变化Fig. 2 Diurnal variation of intercellular CO₂ concentration (C_i) of two species of *C. retusus*图3 2种流苏的气孔导度(G_s)日变化Fig. 3 Diurnal variation of stomatal conductance (G_s) of two species of *C. retusus*图4 2种流苏的蒸腾速率(T_r)日变化Fig. 4 Diurnal variation of transpiration rate (T_r) of two species of *C. retusus*

早花流苏春雪的 T_r 表现为 5—6 月明显高于其他月份, 而普通流苏的 T_r 则是 6—7 月较大; 两者 T_r 的最大值分别为 5 月的 $5.18 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 和 7 月的 $4.86 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

2.5 光响应特征分析

由图 5 可知: 2 种流苏的光响应曲线变化规律基本相同, 但不同月份之间差异较大, 主要表现为光补偿点和光饱和点的变化。当光合有效辐射为 0 时, 净光合速率 (P_n) 为负值, 说明植株在进行呼吸作用; 当光合有效辐射为 0~1000 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时, P_n 随光合有效辐射的增加

而快速增加; 当光合有效辐射 >1000~1400 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时, P_n 的增加趋于平缓; 当光合有效辐射 >1400~1600 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时, 2 种流苏均逐渐达到光饱和点, P_n 随着光合有效辐射的增加而基本不再增加。早花流苏春雪和普通流苏的光补偿点均在 10 月最低, 分别为 21.87 和 24.95 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 说明弱光照条件下早花流苏春雪的适应力更好; 两者分别在 7 和 8 月出现最高光饱和点, 分别为 1531.22 和 1450.77 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, P_n 在达到光饱和点后维持在较高水平, 且早花流苏春雪的光饱和点高于普通流苏。

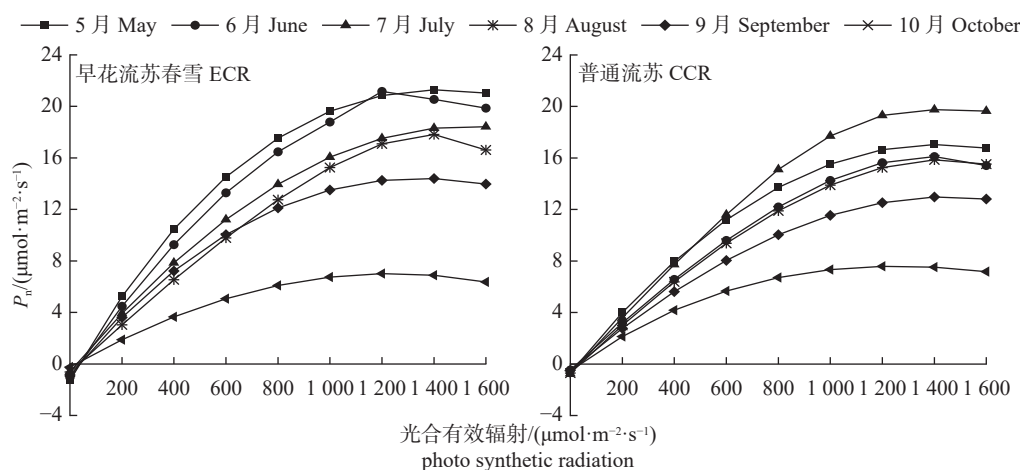


图 5 2 种流苏的光响应曲线

Fig. 5 Light response curve of two species of *C. retusus*

3 讨论

光合日变化可以反映一天内营养物质的积累与生理代谢的持续能力, 为植物的高效栽培提供指导, 也是良种选育的重要指标^[26-27]。早花流苏春雪和普通流苏的各项光合指标均存在一定差异, 两者对光强的适应能力也不相同, 流苏的光合特性除受周围环境与气候条件影响外, 还由自身生理特点决定^[28]。2 种流苏的净光合速率 (P_n) 曲线大多数月份为单峰型, 个别月份为双峰型并出现光合午休现象, 这与党远等^[28]对不同类型流苏光合特性的研究一致。早花流苏春雪 5—10 月的 P_n 整体大于普通流苏, 5 月是流苏的花期, 此时, 早花流苏春雪的 P_n 最大值为 $22.11 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 而普通流苏仅为 $19.60 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 且在 P_n 达到最大值的过程中, 早花流苏春雪的 CO_2 消耗量高于普通流苏, 可见, 早花流苏春雪花期的光合作

用强度高于普通流苏。花期的营养物质合成量多, 代谢更加旺盛, 有利于其生殖生长, 这也是早花流苏春雪花期早的原因之一。

植物净光合作用是其积累有机物的过程, P_n 越大说明植物积累有机物越快, P_n 下降存在气孔因素和非气孔因素。非气孔因素主要是指叶片中的一些酶导致光合活性降低从而影响光合速率, 此时往往伴随着胞间 CO_2 浓度 (C_i) 升高; 气孔因素则是由于气孔关闭导致 P_n 下降, 此时 C_i 逐渐降低^[29]。本研究结果显示: 2 种流苏 P_n 下降过程中气孔逐渐关闭, 推断存在气孔因素的影响, 这与徐自恒等^[22]对不同种源山桐子光合特性的研究结果相似。蒸腾速率 (T_r) 与气孔导度 (G_s) 直接相关^[30], G_s 越大会使叶片蒸腾更快, 有研究表明 90% 的蒸腾发生于气孔^[31]。对早花流苏春雪和普通流苏的研究发现: 一日之中, 随着温度的推移, 温度逐渐升高, 其 G_s 和 T_r 均逐渐减小, 但

早花流苏春雪的蒸腾仍相对较大,加速了水分的流失,也导致 P_n 下降,这与于晓燕等^[32]对2个杨树品种光合特性的研究结论相似。与普通流苏相比,早花流苏春雪双峰型 P_n 的月份更少,因此,高温时应适当喷灌补水以间接提高光合效率^[33-36]。

光补偿点和光饱和点是评价植物叶片对光能利用能力的重要指标^[37]。光饱和点越高,说明植物利用强光照的能力越强;光补偿点越低,说明植物在弱光下就能进行光合物质积累^[22]。5—10月,早花流苏春雪与普通流苏的光饱和点范围分别为1235.26~1531.22和1257.68~1450.77 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,而光补偿点范围则分别为21.87~45.67和24.95~37.26 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,早花流苏春雪的光饱和点最大值高于普通流苏,且光补偿点最小值低于普通流苏,说明早花流苏春雪对光强的适应范围更大。此外,还需进一步研究不同气候条件对早花流苏春雪光合以及生长发育的影响,以期在实际生产和推广中提供更全面的指导。

4 结论

相比于普通流苏,早花流苏春雪花期的光合作用强度更大,对光强的适应范围更大,开始进行光合作用所需的光强较小,并对强光环境有更好的适应性。早花流苏春雪的净光合速率在5月达到最大值,且在5—10月的净光合速率变化曲线多呈单峰型,在夏季高温的月份表现出双峰型变化,并伴随有光合午休现象。

[参考文献]

- [1] 高根据. 流苏树的应用及绿化价值探讨[J]. 现代园艺, 2018(20): 132. DOI: 10.14051/j.cnki.xddy.2018.20.110.
- [2] 胡喜兰, 姜琴, 尹福军, 等. 花果山“糯米茶”和“糯米花茶”中有效成分提取与测定[J]. 食品科学, 2010, 31(18): 112.
- [3] 邓瑞雪, 张创峰, 刘普, 等. 流苏花黄酮类化学成分的分离鉴定[J]. 食品科学, 2014, 35(1): 74. DOI: 10.7506/spkx1002-6630-201401014.
- [4] 胡喜兰, 姜琴, 尹福军, 等. 花果山“糯米茶”中黄酮化合物的分离纯化及活性研究[J]. 食品科学, 2012, 33(5): 106.
- [5] LEE Y G, LEE H, JUNG J W, et al. Flavonoids from *Chionanthus retusus* (Oleaceae) flowers and their protective effects against glutamate-induced cell toxicity in HT22 cells[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2019, 20(14): 3517. DOI: 10.3390/ijms20143517.
- [6] 孙鲜明, 李小方, 邓瑞雪, 等. 流苏花总黄酮超声提取工艺及抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(16): 266. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.16.046.
- [7] CHUNG H C. Effects of fertilizer treatment on the growth performance of 1-year-old containerized seedlings in *Chionanthus retusus*[J]. Korean Journal of Plant Resources, 2020, 33(6): 586. DOI: 10.7732/kjpr.2020.33.6.586.
- [8] 方丽. 流苏树的综合利用价值及栽培管理技术[J]. 现代农业科技, 2017(18): 123. DOI: 10.3969/j.issn.1007-5739.2017.18.086.
- [9] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [10] ARIAS R S, TECHEN N, RINEHART T A, et al. Development of simple sequence repeat markers for *Chionanthus retusus* (Oleaceae) and effective discrimination of closely related taxa[J]. Hortscience, 2011, 46(1): 23. DOI: 10.21273/HORTSCI.46.1.23.
- [11] 陈弯. 华北地区14个类型流苏树叶的形态结构研究及遗传多样性分析[D]. 郑州: 河南农业大学, 2017.
- [12] 党远. 不同类型流苏光合生理及叶绿素荧光特征[D]. 郑州: 河南农业大学, 2016.
- [13] 荣海涛. 山东地区流苏苗木管理技术解析[J]. 现代园艺, 2020, 43(16): 26. DOI: 10.14051/j.cnki.xddy.2020.16.009.
- [14] 周文玲, 李际红, 曲凯, 等. 珍稀树种流苏树繁殖技术的研究进展[J]. 农学学报, 2020, 10(4): 36. DOI: 10.11923/j.issn.2095-4050.cjas20190900187.
- [15] 樊莉丽, 党远, 樊巍, 等. 珍稀树种流苏研究进展与保护利用策略[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(6): 20. DOI: 10.15889/j.issn.1002-1302.2016.06.005.
- [16] 曲凯, 李际红, 国浩平, 等. 山东省流苏古树资源及其保护对策[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2020, 51(5): 818. DOI: 10.3969/j.issn.1000-2324.2020.05.007.
- [17] 马天晓, 刘晓, 王艳梅. 早花流苏树新品种“春雪”[J]. 园艺学报, 2017, 44(11): 2241. DOI: 10.16420/j.issn.0513-353x.2017-0324.
- [18] 严林浩, 段晓慧, 王晓, 等. 2年生“春雪”流苏年生长发育分析[J]. 安徽林业科技, 2019, 45(5): 22. DOI: 10.3969/j.issn.2095-0152.2019.05.00.
- [19] 由佳辉, 褚佳瑶, 冯琳骄, 等. 基于光合特性的17个葡萄砧木品种抗旱性比较[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2021(6): 42. DOI: 10.13414/j.cnki.zwpp.2021.06.006.
- [20] 葛新新, 吴静妍, 李海英, 等. 玉簪属植物光合作用研究进展[J]. 北方园艺, 2021(21): 130. DOI: 10.11937/bfy.20210703.
- [21] 吕忠全, 沈泉. 光合性能选种法研究[J]. 生物数学学报, 2005, 20(3): 127. DOI: 10.3969/j.issn.1001-9626.2005.03.020.
- [22] 徐自恒, 房丽莎, 刘震, 等. 不同种源山桐子光合特性分析[J]. 河南农业大学学报, 2021, 55(1): 44. DOI: 10.16445/j.cnki.1000-2340.20210122.011.
- [23] 刘佳庚, 李际红, 郭海丽, 等. 流苏树根尖染色体制片技术优化及核型分析[J]. 分子植物育种, 2020, 18(24): 8223.

- DOI: [10.13271/j.mpb.018.008223](https://doi.org/10.13271/j.mpb.018.008223).
- [24] 郭海丽. 流苏树不同花香成分及转录组分析[D]. 泰安: 山东农业大学, 2021.
- [25] 叶子飘, 康华靖. 植物光响应修正模型中系数的生物学意义研究[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2012, 33(2): 51. DOI: [10.16872/j.cnki.1671-4652.2012.02.011](https://doi.org/10.16872/j.cnki.1671-4652.2012.02.011).
- [26] 金高明, 姜成英, 赵梦炯, 等. 意大利引进不同品种油橄榄的生长和光合性状评价[J]. 经济林研究, 2021, 39(4): 33. DOI: [10.14067/j.cnki.1003-8981.2021.04.005](https://doi.org/10.14067/j.cnki.1003-8981.2021.04.005).
- [27] 蒋娟娟, 罗培四, 赵静, 等. 6个品系木奶果光合生理特性分析[J]. 西南农业学报, 2021, 34(10): 2140. DOI: [10.16213/j.cnki.scjas.2021.10.011](https://doi.org/10.16213/j.cnki.scjas.2021.10.011).
- [28] 党远, 樊丽莉, 樊巍, 等. 流苏光合生理日变化及光响应的特征[J]. 西部林业科学, 2016, 45(2): 117. DOI: [10.16473/j.cnki.xblykx1972.2016.02.021](https://doi.org/10.16473/j.cnki.xblykx1972.2016.02.021).
- [29] 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(4): 241. DOI: [10.13592/j.cnki.ppj.1997.04.001](https://doi.org/10.13592/j.cnki.ppj.1997.04.001).
- [30] 张腾. 基于RATP功能结构模型对山地苹果树的蒸腾研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2021.
- [31] 刘文娜. 北京山区侧柏林冠层气孔导度及其对冠层蒸腾调控的研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2019.
- [32] 于晓燕, 秦乃花, 魏娟, 等. 两个杨树新品种(系)光合特性研究[J]. 山东林业科技, 2021, 51(4): 34. DOI: [10.3969/j.issn.1002-2724.2021.04.007](https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-2724.2021.04.007).
- [33] 郭垚, 欧静, 李林盼. 水分及混合接菌对杜鹃光合特性的影响[J]. 中国野生植物资源, 2021, 40(11): 20. DOI: [10.3969/j.issn.1006-9690.2021.11.005](https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-9690.2021.11.005).
- [34] 尤扬, 周秀梅, 李保印, 等. 大叶黄杨秋季光合特性研究[J]. 甘肃农业大学学报, 2014, 49(2): 120. DOI: [10.13432/j.cnki.jgsau.2014.02.022](https://doi.org/10.13432/j.cnki.jgsau.2014.02.022).
- [35] 严毅, 张夸云, 陈金龙, 等. 水肥调控对油橄榄光合特性的影响[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2020, 40(2): 173. DOI: [10.11929/j.swfu.201904011](https://doi.org/10.11929/j.swfu.201904011).
- [36] 韩阳瑞, 单炜, 许大为, 等. 沙地柠条光合特性与水分利用效率对干旱胁迫的响应[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2021, 41(3): 37. DOI: [10.11929/j.swfu.202001031](https://doi.org/10.11929/j.swfu.202001031).
- [37] 柯世省, 金则新, 李钧敏. 浙江天台山茶树光合日变化及光响应[J]. 应用与环境生物学报, 2002, 8(2): 159. DOI: [10.3321/j.issn:1006-687X.2002.02.009](https://doi.org/10.3321/j.issn:1006-687X.2002.02.009).

责任编辑: 何馨成