

## 光皮树不同无性系开花期光合生理 特性日变化规律研究

宋庆安<sup>1,2,3</sup>, 李志辉<sup>1</sup>, 李昌珠<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>中南林业科技大学, 长沙 410004; <sup>2</sup>湖南省林业科学院, 长沙 410004;

<sup>3</sup>湖南省林木无性系育种重点实验室, 长沙 410004)

**摘要:**为研究光皮树不同无性系光合特性的日变化规律,利用LI-6400光合测定系统对开花期的不同光皮树无性系的光合生理特性日变化进行了研究。结果表明:(1)G-2、G-3、G-8、G-9的 $P_n$ 日变化为“双峰”曲线,G-5、G-6、G-7、G-10、G-11、G-13、G-14、G-15的 $P_n$ 日变化为“单峰”曲线。12个无性系的 $P_n$ 日均值可分为3类,第一类为G-6、G-7、G-8,日平均光合速率值最高,第二类为G-2、G-3、G-9、G-10、G-11、G-13、G-14、G-15,日平均光合速率中等,第三类为G-5,日平均光合速率最低。(2)G-5、G-14、G-15为低耗水型无性系,G-13为中等耗水型无性系,G-2、G-3、G-6、G-7、G-8、G-9、G-10、G-11为高耗水型无性系。(3)G-8、G-14、G-15为高水分利用效率型,G-6、G-7、G-11、G-13为中等水分利用效率型,G-2、G-3、G-5、G-9、G-10为低水分利用效率型。水分利用效率具有一定的波动性,G-5、G-6、G-7、G-8、G-15为波动型无性系;G-9、G-10、G-11、G-13、G-14为稳定型无性系;G-2、G-3为超稳定型无性系。

**关键词:**光皮树;无性系;净光合速率;日变化;蒸腾速率

中图分类号:S718.43 文献标识码:A

### Study on Diurnal Variation of Photosynthetic Physiological Characteristics of *Cornus wilsoniana* Clones during the Flowering Stage

Song Qing'an<sup>1,2,3</sup>, Li Zhihui<sup>1</sup>, Li Changzhu<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004; <sup>2</sup>Hunan Forestry Academy, Changsha 410004;

<sup>3</sup>Trees Clones Breeding Technology Key Laboratory of Hunan Province, Changsha 410004)

**Abstract:** In order to explore the diurnal variation of photosynthetic physiological characteristics, the diurnal variation of photosynthesis of different *Cornus wilsoniana* clones were conducted using the Li-6400 portable photosynthetic system during the flowering stage. The results showed as following: (1) The diurnal variation of net photosynthetic rate ( $P_n$ ) of G-2, G-3, G-8, G-9 showed double-peak curve, while G-4, G-5, G-6, G-7, G-10, G-11, G-13, G-14, G-15 revealed single-peak one. The daily average of  $P_n$  of 12 clones could be divided into 3 categories. It is, G-6, G-7, G-8 for the first category with the maximum daily average of  $P_n$ , G-2, G-3, G-4, G-9, G-10, G-11, G-13, G-14, G-15 for the second category with the medium one, and G-5 for the third category with the minimum. (2) Similarly, based on the daily average of  $Tr$ , all the 12 clones could be divided into 3 types too, namely, G-5, G-14, G-15 for low water consumption types, G-13 for medium one, and G-2, G-3, G-6, G-7, G-8, G-9, G-10, G-11 for the highest one. (3) G-8, G-14, G-15 belonged to high water use efficiency types, G-6, G-7, G-11, G-13 to medium one, and G-2, G-3, G-5, G-9, G-10 to low one. The WUE showed a fluctuating tendency, G-5, G-6, G-7, G-8, G-15 belonged to fluctuating clones, while G-9, G-10, G-11, G-13, G-14 showed more stable, and G-2, G-3 were the most stable ones.

**Key words:** *Cornus wilsoniana*, clone, net photosynthetic rate, diurnal variation, aspiration rate

基金项目: 国家科技部科技支撑项目“薯类燃料乙醇和生物柴油转化关键技术与示范”(2007BAD41B01); 国际科技合作“高产能源植物选育及其资源高效利用”(2006DFA63230)。

第一作者简介: 宋庆安, 男, 1975年出生, 助理研究员, 硕士, 主要从事林木遗传育种、森林培育研究。通信地址: 410004 长沙市韶山南路658号, Tel: 0731-5313036, E-mail: songqingan@163.com。

收稿日期: 2009-02-12, 修回日期: 2009-03-24。

光皮树(*Cornus wilsoniana*)为山茱萸科木犀科落叶灌木或乔木,光皮树广泛分布于黄河以南地区,适应性强,其果实(带果皮)含油率高(33%~36%),所生产的生物柴油理化性质优,是一种理想的多用途高产木本油料树种<sup>[1]</sup>。

光合作用是一个复杂的生物物理化学过程,是植物物质生产的基础,也是全球碳循环及其他物质循环的最重要环节<sup>[2]</sup>。光是植物光合的能量和驱动力,不同光合型或生活型与生态型的植物,其光合作用对光强的要求有明显的差别。生长光强的改变往往导致同种植物叶片形态解剖、超微结构和生理生化特性的相应变化。有关植物光合生理特性日变化研究的文献较多<sup>[3-4]</sup>,但对光皮树的光合生理特性研究报道较少,尤其是光皮树不同无性系光合速率日变化研究,至今未见报道。研究光皮树不同品系光合速率日变化,有助于阐明其冠层光合产物积累与环境的关系,了解其光合日变化的特征规律,以及环境因子与光合特性之间的互作关系,揭示其光合作用的基本生理生态学特征和规律,分析生长的适宜生态条件,为制定光皮树丰产栽培技术措施和扩大栽培提供科学理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

光皮树优良无性系系湖南省林业科学院经过多年努力选育出的高产优良无性系,具有果实大,产量高,含油率高等优点。试验材料为经过嫁接的4年生优良无性系苗木,无性系号12个,分别为G-2、G-3、G-5、G-6、G-7、G-8、G-9、G-10、G-11、G-13、G-14、G-15,其地径4~6 cm,树高150~250 cm,冠径180~250 cm。苗木生长在湖南省林业科学院试验林场(113°00' E, 28°11' N),属亚热带湿润气候,年平均气温16.8℃,平均日照时数1496~1850 h,平均降雨量1400~1900 mm,无霜期274天,雨量主要集中在春、夏两季。试验地土壤为黄棕壤,苗木栽植密度250 cm×300 cm。

### 1.2 试验方法

采用美国LI-COR公司生产的LI-6400便携式光合测定系统,于2008年5月中旬晴好天气,选取具有代表性的植株且生长良好的上部叶片(顶端第5~8片叶),进行叶片瞬时光合速率测定。先测定自然光照强度,然后将红蓝光源设定与自然光相同的光强,同一时间段光强相同,测定时用缓冲瓶控制CO<sub>2</sub>浓度。当系统稳定后进行记录,其直接记录的数据有:气温( $T_a$ ,℃)、叶温( $T_l$ ,℃)、光合有效辐射( $PAR$ , $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ )、空气相对湿度( $RH$ ,%)、大气CO<sub>2</sub>浓度( $C_a$ , $\mu\text{mol}/\text{mol}$ )、胞间CO<sub>2</sub>浓度( $C_i$ , $\mu\text{mol}/\text{mol}$ )、净光合速率( $P_n$ , $\mu$

$\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ )、蒸腾速率( $Tr$ , $\text{mmol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ )、气孔导度( $G_s$ , $\text{mmol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ )和叶片水压亏缺( $V_{pdl}$ ,KPa)等。日变化测定时间从7:30—18:00,每1.5 h测定一次,5次重复,分析数据取平均值。

### 1.3 计算公式和数据处理

所有数据均通过Excel2003进行整理,并绘制图表,聚类分析、标准差以及其他统计分析处理均用SPSS软件。

## 2 结果与分析

### 2.1 无性系光合速率日变化规律

由图1可以看出,在12个光皮树优良无性系中,G-2、G-3、G-8、G-9的 $P_n$ 日变化呈“高一低谷一次高”类型的“双峰型”曲线,有明显的“午休”现象<sup>[5-7]</sup>。无性系不同其出现峰值的时间也不相同,G-8第一个峰出现在9:00,第二个峰出现在13:30,而G-2、G-3、G-9第一个峰出现在10:30,第二个峰分别出现在15:00、15:00和16:30,各无性系的第一个峰值明显高于第二个峰值,分别高出第二个峰值24.2%、13.3%、11.8%和61.3%。G-5、G-6、G-7、G-10、G-11、G-13、G-14、G-15优良无性系的 $P_n$ 日变化呈“单峰型”曲线,中午没有“午休”现象的发生。G-13、G-14、G-15的最高峰值出现在9:00左右,而G-5、G-6、G-7的最高峰出现在10:30,G-10、G-11无性系的最高峰出现在12:00。全部无性系 $P_n$ 日变化过程中,早晨的 $P_n$ 明显高于傍晚,高出28.9%~49.2%。12个无性系全天 $P_n$ 均值各有差异,根据聚类分析(见表1),12个无性系的 $P_n$ 日变化均值可分为3类,第一类为G-6、G-7、G-8,日平均光合速率值最高,称高光合速率型,光合能力最强,积累的营养物质和能量最多,最有利于植物的生长,第二类为G-2、G-3、G-9、G-10、G-11、G-13、G-14、G-15,日平均光合速率中等,称中光合速率型,光合能力一般,第三类为G-5,日平均光合速率最低,称低光合速率型,光合能力最差,不太利于植物的生长。

在1天内,各无性系 $P_n$ 的变化具有波动性,根据不同时间的测定数值可求出各无性系 $P_n$ 日变化的标准差即波动性(见表1)。经聚类分析,12个无性系 $P_n$ 的波动性也可以分成3类,第1类G-5、G-11、G-13无性系 $P_n$ 的波动幅度最小,第2类G-10波动幅度中等,第3类G-2、G-3、G-6、G-7、G-8、G-9、G-14、G-15波动幅度最大。3类无性系 $P_n$ 波动性差异不仅表示了不同无性系的光合作用方式不同,还表示了无性系在光合作用过程中抗外界干扰能力的强弱<sup>[8]</sup>,显然,G-5、G-11、G-13无性系 $P_n$ 的波动性最小,抗外界干扰的能力最强。

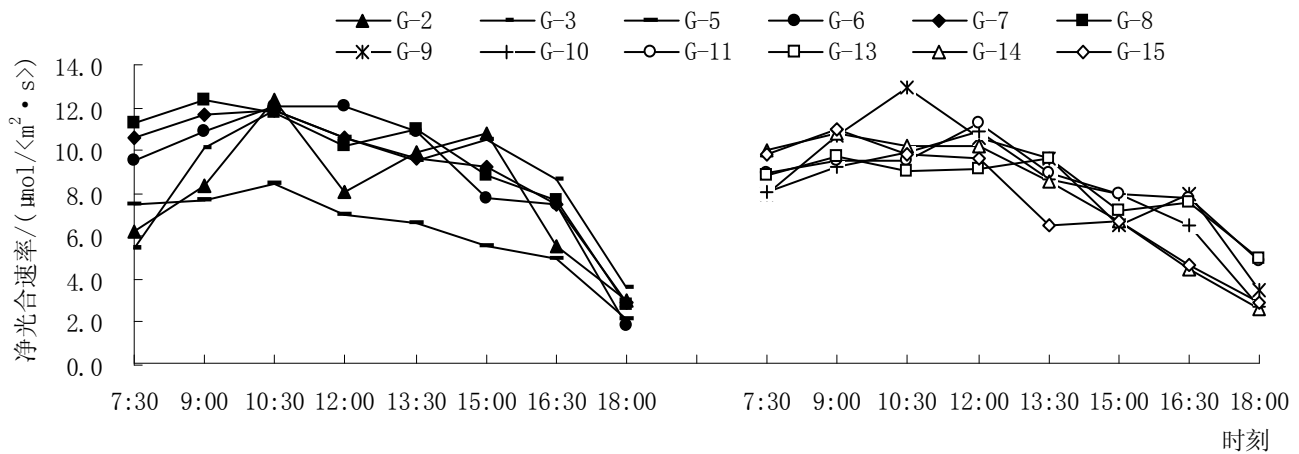


图1 光皮树无性系净光合速率日变化

表1 光皮树无性系净光合速率日平均值聚类分析及标准差

无性系号	G-2	G-3	G-5	G-6	G-7	G-8	G-9	G-10	G-11	G-13	G-14	G-15
<i>P<sub>n</sub></i> 日均值	7.7	8.8	6.2	9.1	9.2	9.5	8.7	8.0	8.6	8.3	8.0	7.6
聚类	2	2	3	1	1	1	2	2	2	2	2	2
标准差	3.15	2.84	1.99	3.43	2.93	3.11	2.90	2.52	1.84	1.59	3.05	2.87

## 2.2 无性系蒸腾速率日变化规律

蒸腾作用是植物吸收和运输水分的主要驱动力, 还能降低植物体和叶片的温度, 防止叶温过高而热害, 蒸腾速率的大小与气孔开放程度有直接关系<sup>[2]</sup>。各无性系蒸腾速率日变化呈两种不同的变化模式(见图2), G-2、G-8、G-9、G-10无性系为“双峰型”曲线, 第一个峰都在10:30出现, 第二个峰G-2、G-8、G-9无性系在13:30出现, 而G-10无性系在15:00出现, G-9的第一个峰值高于第二个峰值, 而G-2、G-8、G-10的第一个峰值低于第二个峰值。G-3、G-5、G-6、G-7、G-11、G-13、G-14、G-15无性系为“单峰型”曲线, 其中G-14、G-15在12:00出现峰值, G-5、G-6、G-7、G-13在13:30出现峰值, 而

G-3、G-11在15:00出现峰值。所有无性系叶片的 *T<sub>r</sub>* 在傍晚时最低。

各无性系 *T<sub>r</sub>* 日平均值有差异, *T<sub>r</sub>* 小, 所消耗的水分就少, *T<sub>r</sub>* 大, 所消耗的水分就多。经聚类分析(见表2), 可将无性系分为三类, G-5、G-14、G-15无性系 *T<sub>r</sub>* 最低, 属低耗水型无性系, G-13无性系 *T<sub>r</sub>* 一般, 属中等耗水型无性系, G-2、G-3、G-6、G-7、G-8、G-9、G-10、G-11无性系 *T<sub>r</sub>* 最高, 属高耗水型无性系。 *T<sub>r</sub>* 越大的无性系水分输导组织越发达, 在干旱胁迫条件下, *T<sub>r</sub>* 大的无性系更容易受到伤害。这种划分具有一定的理论和实践价值, 在比较干旱地区种植光皮树应尽可能选用中耗水或低耗水型无性系。

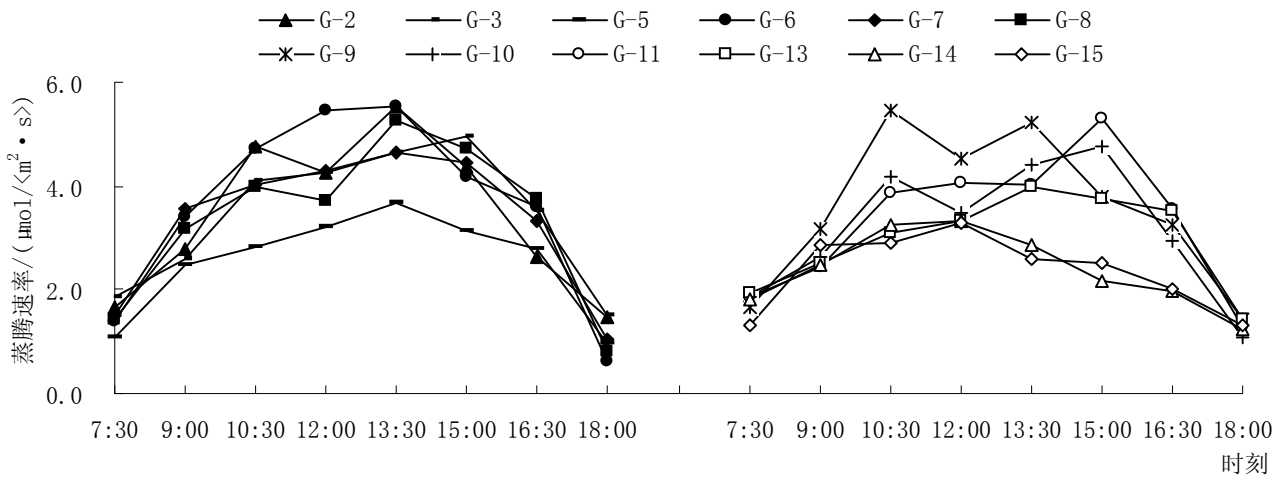


图2 树无性系蒸腾速率日变化

表2 光皮树无性系蒸腾速率日均值和聚类分析

无性系号	G-2	G-3	G-5	G-6	G-7	G-8	G-9	G-10	G-11	G-13	G-14	G-15
<i>Pn</i> 日均值	3.44	3.43	2.52	3.62	3.36	3.36	3.56	3.17	3.30	2.94	2.39	2.36
聚类	1	1	3	1	1	1	1	1	1	2	3	3

2.3 无性系水分利用效率的日变化规律

生产中将植物消耗单位数量的水分所生产的干物质量定义为水分利用效率。生理学意义上的水分利用效率是叶片的净光合速率与蒸腾速率的比值。各无性系的水分利用效率在早晨较高,9:00以后变化不明显(见图3)。经聚类分析(见表3),各无性系的水分利用效率日均值以G-8、G-14、G-15最高,为高水分利用效率型,G-6、G-7、G-11、G-13无性系为中等水分利用效率型,G-2、G-3、G-5、G-9、G-10无性系为低水分利用效

率型。高水分利用效率无性系在消耗等量水时表明能固定更多数量的CO<sub>2</sub>,即能高效利用土壤中的水分。各无性系的水分利用效率也具有一定的波动性,经聚类分析,G-5、G-6、G-7、G-8、G-15无性系的标准差较大,属波动型无性系;G-9、G-10、G-11、G-13、G-14无性系标准差中等,属稳定型无性系;G-2、G-3无性系标准差最小,属超稳定型无性系。波动型无性系对外界环境条件较敏感,稳定型和超稳定型无性系对外界环境反应迟缓、不敏感。

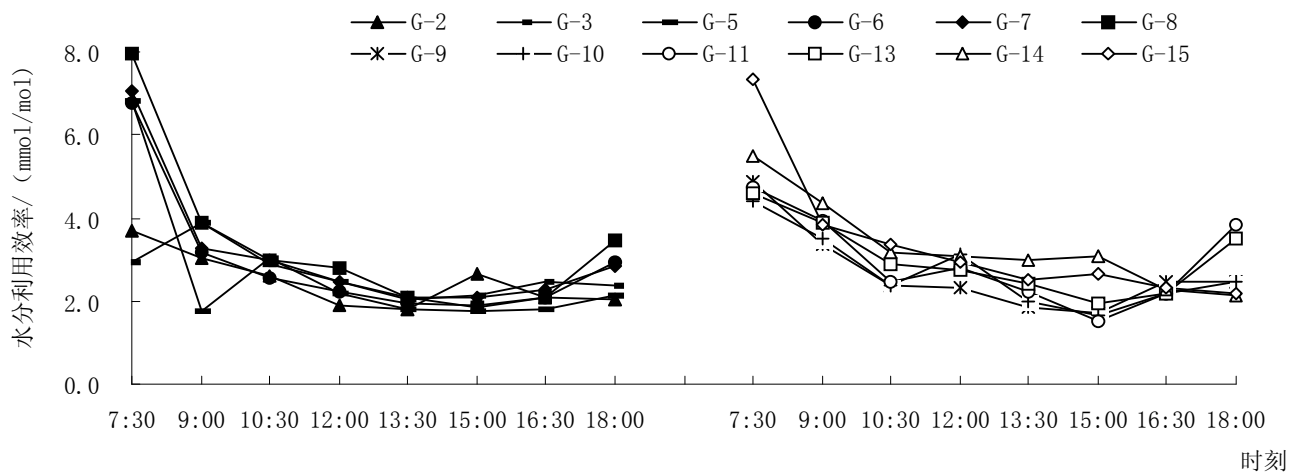


图3 皮树无性系水分利用效率日变化

表3 光皮树无性系水分利用效率日均值、标准差及聚类分析

无性系号	G-2	G-3	G-5	G-6	G-7	G-8	G-9	G-10	G-11	G-13	G-14	G-15
水分效率日均值	2.47	2.65	2.67	2.95	3.12	3.38	2.68	2.72	2.95	3.01	3.32	3.40
日均值聚类	3	3	3	2	2	1	3	3	2	2	1	1
标准差	0.65	0.59	1.74	1.62	1.64	1.98	1.02	0.90	1.09	0.91	1.11	1.68
标准差聚类	3	3	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1

3 结论与讨论

12个光皮树优良无性系在开花期的净光合速率日变化规律为:G-2、G-3、G-8、G-9的*Pn*日变化呈“高一低谷一次高”的“双峰型”曲线,有明显的“午休”现象,无性系不同其出现峰值的时间也不相同,各无性系的第一个峰值明显高于第二个峰值。G-5、G-6、G-7、G-10、G-11、G-13、G-14、G-15的*Pn*日变化呈“单峰型”曲线。各无性系*Pn*日变化过程中,早晨的*Pn*明显高于傍晚。12个无性系的*Pn*日均值可分为3类,第一类为G-6、G-7、G-8,日平均光合速率值最高,称光合速率型,第二类为G-2、G-3、G-9、G-10、G-11、G-13、G-14、

G-15,日平均光合速率中等,称中光合速率型,第三类为G-5,日平均光合速率最低,称低光合速率型。

根据蒸腾速率与消耗水分的多少,可将各无性系划为3种类型,G-5、G-14、G-15为低耗水型无性系,G-13为中等耗水型无性系,G-2、G-3、G-6、G-7、G-8、G-9、G-10、G-11为高耗水型无性系。这种划分具有一定的理论和实践价值,在比较干旱地区种植光皮树应尽可能选用中耗水或低耗水型无性系。

各无性系的水分利用效率具有一定的波动性,G-5、G-6、G-7、G-8、G-15为波动型无性系;G-9、G-10、G-11、G-13、G-14为稳定型无性系;G-2、G-3为超稳定

型无性系。波动型无性系对外界环境条件较敏感,稳定型和超稳定型无性系对外界环境反应迟缓、不敏感,对环境的适应能力强。选择稳定型和超稳定型光皮树无性系,能提高造林成活率,在恶劣的环境条件下能提高保存率。

### 参考文献

- [1] 李昌珠,赵江红.生物油料能源树种光皮树[J].湖南林业,2007,(02):18.
- [2] 李合生.现代植物生理学[M].北京:高等教育出版社,2002.
- [3] 宋庆安,童方平,易霏琴,等.刺槐光合生理生态特性日变化研究[J].中国农学通报,2008,24(9):156-160.
- [4] 童方平,宋庆安,龙应忠,等.不同地理种源翅荚木苗期光合特征的日变化规律[J].中南林业科技大学学报,2007,27(4):1-7.
- [5] 田大伦,罗勇,项文化,等.樟树幼树光合特性及其对CO<sub>2</sub>浓度和温度升高的响应[J].林业科学,2004,40(5):88-92.
- [6] 郭志华,张宏达,李志安,等.鹅掌楸(*Liriodendron chinense*)苗期光合特性的研究[J].生态学报,1999,19(2):164-169.
- [7] 张璐,张纪林,教忠意,等.不同光照条件下3种冬青属植物的光合特征日变化研究[J].西北植物学报,2006,26(3):0490-0495.
- [8] 张江涛,刘友全,赵逢晖,等.欧美杨无性系幼苗的光合生理特性比较[J].中南林业科技大学,2007,27(4):8-11,22.