

油茶无性系果实生长期光合特性研究

彭邵锋,王 瑞,陈永忠,王湘南,杨小胡,王玉娟,杨 杨

(湖南省林业科学院,湖南 长沙 410004)

**摘 要:**在油茶果实快速生长期 7 月,对 XL67、XL1 和 CK 3 个产量不同的油茶无性系的叶片净光合速率( $P_n$ )、蒸腾速率( $T_r$ )、水分利用效率( $WUE$ )等日变化及光合—光响应曲线进行了测定。结果表明:XL67 和 CK 的  $P_n$  日变化曲线呈“单峰型”,而 XL1 为“双峰型”,不同无性系峰值的出现时间及峰值的大小不同,XL67 和 CK 存在光合“午休”现象。XL67、XL1 和 CK 的  $P_n$  分别为 6.97、6.30 和 5.72  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,3 个无性系之间叶片的  $P_n$  差异显著。3 个无性系叶片的  $T_r$  的日变化曲线均为“单峰型”, $WUE$  的日变化曲线均为“U”型;3 个无性系的最大净光合速率为 9.79~14.20  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,光饱和点为 409~540  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,光补偿点为 58~82  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ;采用逐步回归分析方法,筛选出了影响 3 个无性系叶片  $P_n$  的主导因子。

**关键词:**油茶;产量;无性系;光合特性;果实生长期

**中图分类号:**S794.4      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2012)01-0028-07

Photosynthetic Characteristics in Fruit-growing Stage  
of *Camellia oleifera* Clones

PENG Shao-feng, WANG Rui, CHEN Yong-zhong, WANG Xiang-nan,  
YANG Xiao-hu, WANG Yu-juan, YANG Yang  
(Hunan Academy of Forestry, Changsha, Hunan 410004, China)

**Abstract:** In July, during the rapid-growth period of fruit of oil-tea camellia (*Camellia oleifera*), diurnal changes of net photosynthetic rate ( $P_n$ ), transpiration ( $T_r$ ), water use efficiency ( $WUE$ ) of three clones (XL67, XL1 and CK) were measured comparatively with LI-6400P portable photosynthetic system. The results showed that the diurnal changes of  $P_n$  of XL67 and CK were in unimodal curves, but that of XL1 was in a bimodal curve. Different peak value and occurring time were different among the clones tested. “Midday depression” phenomenon of photosynthesis was observed in all clones. The values of  $P_n$  of XL67, XL1, and CK were 6.97, 6.30 and 5.72  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , respectively, and there were significant differences between them. Diurnal changes of  $T_r$  presented as unimodal curve while diurnal changes of  $WUE$  presented as a “U” curve. The maximum net photosynthetic rates of three clones were 9.79 to 14.20  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , the light saturations of three clones were 409 to 540  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , and the light compensation points of three clones were 58 to 82  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . Main factors which influenced  $P_n$  were analysed by multivariate stepwise regression.

**Key words:** *Camellia oleifera*; yield; clones; photosynthetic characteristic; fruit-growing stage

油茶(*Camellia oleifera*)属于山茶科(Theaceae)山茶属(*camellia*)植物,为我国所特有,与油棕

(*Elaeis guineensis*)、油橄榄(*Olea europaea*)和椰子(*Cocos nucifera*)并称为世界四大木本油料植物<sup>[1]</sup>。油茶的主要产品-茶油不饱和脂肪酸含量高达 90%以上,优于橄榄油,国际粮农组织已将其作为重点推广的健康型高级食用植物油<sup>[2]</sup>。油茶适生范围广、经济价值高、生态功能强,是我国特有的经济效益和生态效益俱佳的优良乡土树种,在主产区经济林产业中占有十分重要的社会经济地位<sup>[3]</sup>。

光合作用是制约植物生长发育的最重要的生理过程,同时又是一个对环境条件变化很敏感的生理过程<sup>[4-6]</sup>,被认为是植物生理的主攻方向之一。光合作用是植物干物质积累和产量的基础<sup>[7]</sup>,植物的生长以及产量与其光合作用密切相关<sup>[8]</sup>。研究植物光合作用的日变化规律,不仅可以掌握植物与环境因子之间的关系,而且也为栽培、育种提供理论依据<sup>[9]</sup>。近年来,油茶高光效育种越来越受到研究者的重视,在研究影响光合作用的主要因子以及如何提高油茶光合速率等方面取得了一些进展。研究表明,不同品种、叶龄、叶位和不同生长期,油茶的光合生理特性表现出明显差异。邹天才等研究了贵州山茶属 5 种野生植物的光合生理特性,发现 5 种野生植物的光合速率、光饱和点等光合生理特性存在明显差异<sup>[10]</sup>。黄义松等对幼龄期的 3 个油茶无性品系长林 4 号、长林 166 号和长林 53 号光合作用进行测定和分析,发现长林 4 号在幼龄期光合特性上具有比较优良的种质优势<sup>[11]</sup>。王瑞等研究了不同叶龄、叶位的光合特性,发现 1 a 生叶片的平均净光合速率与最大净光合速率峰值出现时间与 2 a 生叶片

不同;上午上部叶片的净光合速率值高于下部叶片,下午下部叶片的净光合速率值高于上部叶片<sup>[12]</sup>。关于配方施肥、药剂处理、密度调控等栽培技术对油茶光合特性的影响也有少量报道<sup>[13-16]</sup>。

本文深入研究了不同产量的油茶无性系在果实生长期的净光合速率、蒸腾速率、水分利用效率、光合光响应曲线以及净光合速率的影响因子,旨在为研究出油茶生产最关键时期相应的栽培技术,促进果实生长,提高单位面积产量提供理论依据。

## 1 研究区自然状况

试验林位于湖南省浏阳市沙市镇,属于国家级油茶标准化示范区,是我国油茶的主要产区之一。试验区属于中亚热带季风性湿润气候,光照充足,雨量充沛,无霜期长,年平均气温为 16.7~17.6℃,年日照时数 1 490~1 850 h,年降水量 1 562 mm,无霜期 235~293 d;地貌为丘岗缓坡与山地交错分布,土壤多为红壤和水稻土,土质为第四纪红壤,养分含量较丰富,pH 值 5.0~5.5。

## 2 材料与方法

### 2.1 材料

供试材料选自位于浏阳市沙市镇的油茶品比示范林,该试验林由湖南省林业科学院 1997 年春季营建。选择产量不同的 3 个油茶无性系,高产无性系(XL67)、中产无性系(XL1)和低产无性系(CK),其中 XL67 和 XL1 是湖南省林业科学院选育出来的优良无性系,相关特性列表 1。

表 1 3 个参试无性系的基本特征  
Table 1 Basic characteristics of three clones

无性系	树形	树高/m	冠幅/m <sup>2</sup>	果形果色	鲜出籽率/%	鲜果含油率/%	3 a 平均产油量/(kg·hm <sup>-2</sup> )
XL67	紧凑	3.0	2.5×2.3	球形、青黄或黄红	47	9.1	1 044.5
XL1	紧凑	2.9	2.7×2.7	橄榄形、红黄	47	8.9	722.4
CK	开张	2.4	2.3×2.2	球形或桔形、青黄色	45	7.5	217.5

### 2.2 方法

2.2.1 测定仪器 采用美国拉哥公司(LI-COR)生产的开放式气体交换 LI-6400p 便携式光合测定系统,可以控制叶片周围的 CO<sub>2</sub> 浓度、H<sub>2</sub>O 浓度、温度、相对湿度、光照强度和叶室温度等相关的环境条件。

2.2.2 测定 油茶光合作用日变化的测定:测定时间:2007 年 7 月 7 日—9 日连续 3 d 进行,天气晴朗。测定具体时间为 7:00—18:00,2 h 观测 1 次,其中 11:00—14:00 1 h 时观测 1 次。

测定方法:各无性系选择 3 棵生长状况基本一致的健康植株,在树冠外围选择向阳的、健康成熟

的、当年春梢的第三位叶进行测定,每棵树选取上部 and 下部各测定 3 个叶样,取平均值。

2.2.2 油茶叶片光合-光响应曲线的测定 采用 LI-6400p 光合-光响应自动测定程序,叶室为红蓝光源叶室,空气 CO<sub>2</sub> 浓度设定为恒值 400 μmol·mol<sup>-1</sup>,温度为 22℃。人工光源控制光合有效辐射(PAR),设定值为:0、20、40、60、100、150、200、300、400、600、800、1 000、1 200、1 400、1 600、1 800、2 000、2 400 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>。利用非直角双曲线拟合,根据拟合曲线计算光饱和点(LSP)和光补偿点(LCP)。非直角双曲线公式为:

$$Pn=(uQ+A-SQRT((uQ+A)(uQ+A)-4kuQA))/(2k)-R$$

(1)

式中  $Pn$  为净光合速率,  $Q$  为光强,  $R$  为暗呼吸速率,  $A$  为最大净光合速率,  $u$  为表观量子效率,  $k$  为曲角。

2.2.3 测定参数 净光合速率 ( $Pn$ )、气孔导度 ( $Cond$ )、蒸腾速率 ( $Tr$ )、胞间  $CO_2$  浓度 ( $Ci$ )、气温 ( $Tair$ )、相对空气湿度 ( $RH$ )。

2.3 数据处理

水分利用效率 ( $WUE$ ) = 净光合速率 ( $Pn$ ) / 蒸腾速率 ( $Tr$ )。利用非直角双曲线模型拟合, 计算最大净光合速率 ( $P_{max}$ )、光补偿点 ( $LCP$ )、光饱和点 ( $LSP$ )。所有测定参数值取 3 天的平均值作为最终值。方差分析应用软件 SPSS V13.0 完成, 多重比较采用 Duncan 新复极差法, 影响叶片净光合速率的主要环境因子筛选采用逐步回归分析方法。

3 结果分析

3.1 环境因子的日变化

对 7 月 7 日—9 日连续 3 d 的光合有效辐射 ( $PAR$ )、大气温度 ( $Tair$ ) 和相对湿度 ( $RH$ ) 的日变

化进行了测定, 结果如图 1 所示。光合有效辐射和大气温度日变化都呈“单峰型”, 大气相对湿度变化趋势与大气温度相反, 清晨与傍晚高, 中午相对较低, 为“U”型。从 7:00 开始, 随着太阳辐射增强,  $PAR$  随之升高, 13:00 左右达到最大值  $1\,875\,\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 随后持续下降, 至 18:00 降至一天中最低水平; 大气温度在  $34.0^{\circ}\text{C}\sim42.3^{\circ}\text{C}$  之间变化, 最低值出现在早上 7:00, 最高值出现在 12:00; 环境相对湿度在  $48.0\%\sim64.6\%$  之间变化, 最高值出现在早上 7:00, 最低值出现在 12:00 (图 1)。

3.2 不同产量油茶无性系光合作用的日变化

3.2.1 净光合速率的日变化 在 7:00—18:00, XL67 上部叶片  $Pn$  最高峰出现在 7:00, 为  $9.57\,\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 随着光合有效辐射的增强和温度的升高,  $Pn$  逐渐下降, 并在 13:00 出现第一个低谷, 谷值为  $6.49\,\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 随后又开始升高, 16:00 出现次高峰, 为  $6.84\,\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 峰值为 7:00 时的 71.20%。可见 XL67 的  $Pn$  全天保持较高水平, 有效光合时间较长, “午休”现象不明显 (图 2)。

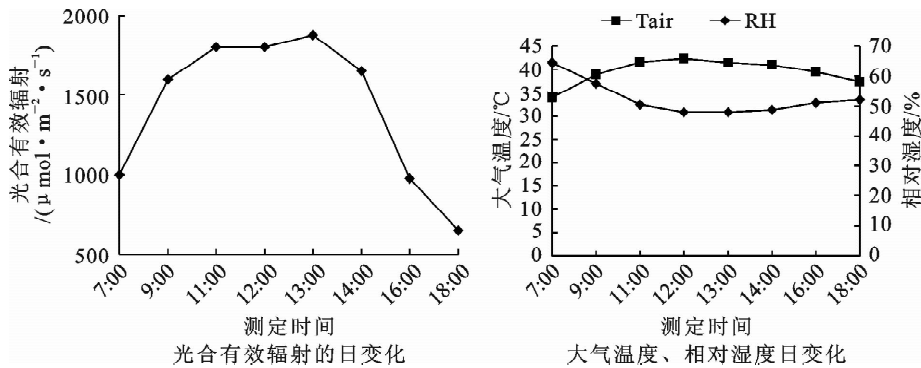


图 1 光合有效辐射、大气温度和相对湿度的日变化  
Fig. 1 Diurnal changes of PAR, Tair and RH

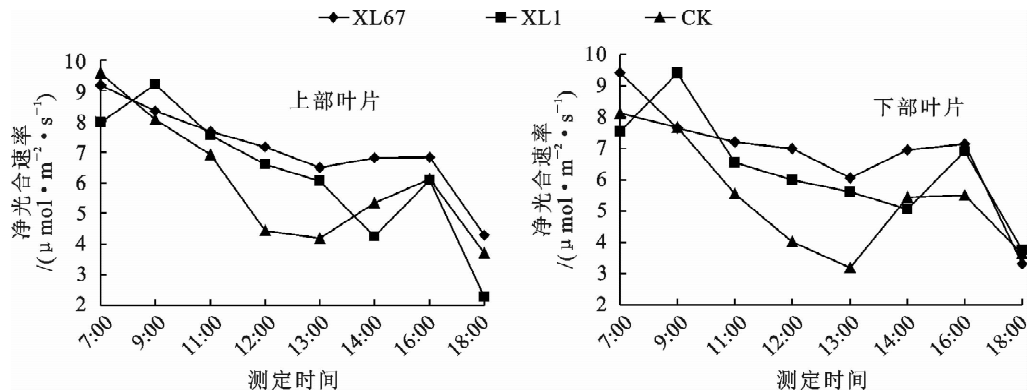


图 2 油茶无性系上、下部叶片净光合速率的日变化曲线

Fig. 2 Diurnal changes of  $Pn$  of upper and lower leaves of *Camellia oleifera* clones

XL1 上部叶片  $Pn$  日变化曲线为典型的“双峰型”, 分别在 9:00 和 16:00 各出现一个高峰, 其峰值分别为  $9.21\,\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  和  $6.11\,\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}$

$\cdot\text{s}^{-1}$ , 下午的峰值约为上午峰值的 66.34%。在 14:00 时, 出现明显的光合“午休”现象, 达到第一个低谷, 谷值为  $4.26\,\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (图 2)。

CK 上部叶片  $P_n$  全天最高值出现在 7:00, 为  $9.57 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 其后随光合有效辐射的增强和气温的持续升高, 叶片  $P_n$  急剧下降, 在 13:00 时出现第一个低谷, 谷值为  $4.19 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。叶片  $P_n$  在 16:00 左右又出现一个次高峰, 峰值为  $6.11 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 是 7:00 时的 63.85%, 16:00 以后  $P_n$  又显著下降。

综合来看, 在 7:00—18:00, 3 个无性系上部叶片  $P_n$  日变化曲线不一致, XL67 和 CK 呈“单峰型”, XL1 呈“双峰型”, 且  $P_n$  均在 18:00 达到最低值, 但 XL67 和 CK 的  $P_n$  最高值出现在 7:00, 而 XL1 出现在 9:00。XL67 上部叶片  $P_n$  值全天变化平稳, 在一天中一直保持较高的净光合速率, 且明显高于 XL1 和 CK, 光合午休不明显, 说明其可以利用中午的强光进行光合作用, 有效光合时间长, 有利于光合产物产生和积累, 促进果实生长发育, 因此产量较高。CK 在 7:00—13:00 的  $P_n$  一直下降, 且在 12:00—13:00 出现一个较宽的谷底, 光合午休现象十分明显, 在一天中一直保持较低水平, 光合有效辐射对其光合作用产生抑制作用, 利用强光的能力差, 光合有效产物积累少, 由此推测光合“午休”可能是造成其产量低的原因之一。XL1 全天  $P_n$  基本介于 XL67 和 CK 之间, 可能由于无性系自身特性和对环境长期适应的结果。

从图 2 还可以看出, 3 个无性系下部叶片的  $P_n$  日变化曲线变化趋势与上部叶片基本一致, 出现峰值的时间也一致, 但 14:00 以后各无性系下部叶片的  $P_n$  高于其上部叶片。上午, 光照强度不大, 上部叶片接受光照完全,  $P_n$  相对较高, 而下部叶片由于位置偏低, 加上油茶林分郁闭度较大, 株型比较紧凑, 下部叶片接受光照较少, 因此光合速率低; 下午,

随着温度的升高及光照强度的增大, 下部叶片达到光饱和, 而上部叶片由于接受过强的光照而达到光抑制, 致使下部叶片下午的净光合速率值高于上部叶片。因此, 可以通过修剪和整形等园艺化技术措施, 培养良好的树体结构, 使整个树体叶片能均匀接受光照, 从而提高树体  $P_n$  值, 最终提高单株产量。

叶片净光合速率均值比较: 将上、下部叶片  $P_n$  全天平均值作为该无性系当天的  $P_n$ , 通过对 3 个无性系间净光合速率均值进行方差分析和多重比较, 结果可以看出, 3 个无性系  $P_n$  两两之间均存在显著差异。不同无性系间  $P_n$  差异性的存在, 说明以  $P_n$  为指标选育高光效无性系是可行的, 为高光效育种提供了理论依据。3 个无性系  $P_n$  大小顺序为: XL67>XL1>CK, XL67 的  $P_n$  值明显高于其他两个无性系, 是油茶高光效育种的优质材料(表 2)。

表 2 叶片净光合速率均值多重比较  
Table 2 Multiple comparison of  $P_n$

无性系	$P_n$ 均值/ $(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$
XL67	6.97a
XL1	6.30b
CK	5.72c

\* 不同字母表示显著性  $p<0.05$ 。

3.2.2 蒸腾速率的日变化 3 个无性系  $Tr$  的日变化曲线多为“单峰型”, 峰值出现在中午 11:00—12:00,  $Tr$  的这种变化规律与气温、光照强度趋势相一致。上午光照弱、气温低、环境湿度较大、气孔导度较低, 因此  $Tr$  较低; 中午气温最高、光强最大, 高温和强光导致叶温迅速升高, 叶片内外蒸气压梯度增加,  $Tr$  加快; 下午随着温度和光强的逐渐降低, 气孔的开度减小, 气孔阻力增大, 叶肉细胞内的  $\text{CO}_2$  浓度下降, 致使  $Tr$  逐渐减慢, 至 18:00 降至最低(图 3)。

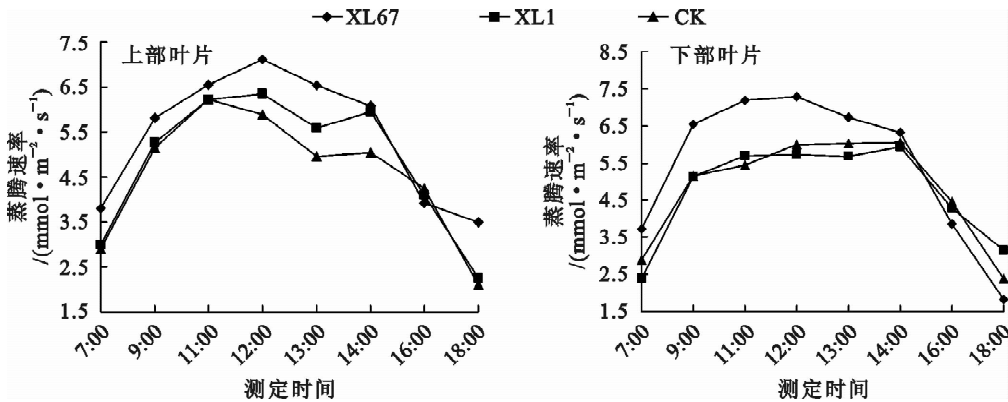


图 3 油茶无性系上、下部叶片蒸腾速率的日变化曲线

Fig. 3 Diurnal changes of  $Tr$  in upper and lower leaves of *C. oleifera* clones

XL67、XL1 与 CK 上部叶片的  $Tr$  峰值分别出现在 12:00、12:00 和 11:00, 分别为  $7.11$ 、 $6.35$  和  $6.23 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。XL67、XL1 与 CK 下部叶

片  $Tr$  的峰值分别出现在 12:00、14:00 和 14:00, 分别为  $7.30$ 、 $5.93$  和  $6.06 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。下部叶片  $Tr$  出现峰值的时间相同或晚于上部叶片, 这可

能与下部叶片由于位置低而空气湿度大、温度低、接受的光照强度小有关。从整体来看,XL67 的叶片  $Tr$  明显高于 XL1 和 CK,高蒸腾速率使叶片温度不会因为强光和高温而受到灼伤,使叶片的光合作用在高温下维持进行,所以 XL67 一直保持高的  $P_n$ 。

3.2.3 水分利用效率的日变化 图 4 显示 3 个无性系上、下部叶片  $WUE$  的日变化趋势基本一致,均呈“U”型。XL67、XL1、CK3 个无性系上部叶片  $WUE$  最大值均出现在 7:00,分别为 2.41、2.65、3.30  $\mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ ,下部叶片  $WUE$  最大值也出现在 7:00,分别为 2.53、3.18、2.80  $\mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ 。说明上午光合有效辐射逐渐增强,气孔开度逐渐增大, $P_n$  增加较快,而空气相对湿度较大,

$Tr$  处于较低的水平,所以  $WUE$  较高。随着光照强度继续增强,气温上升,空气的相对湿度明显下降,叶内外水蒸气压差的上升,引起气孔部分关闭而限制了  $\text{CO}_2$  由气孔外向气孔内的扩散, $P_n$  开始下降,而  $Tr$  持续上升,导致  $WUE$  明显下降,12:00—14:00 达到一天中最低值;XL67 上、下部叶片  $WUE$  最低值同时在 13:00 出现,XL1 上、下部叶片  $WUE$  最低值同时在 14:00 出现,而 CK 上部叶片  $WUE$  最低值在 12:00 出现,下部叶片在 13:00 出现。此后随着 PAR 的减弱和温度的降低, $P_n$  缓慢回升, $Tr$  逐渐降低,14:00 以后  $WUE$  有所回升,在 16:00~18:00 又重新达到上午 9:00 左右的水平。

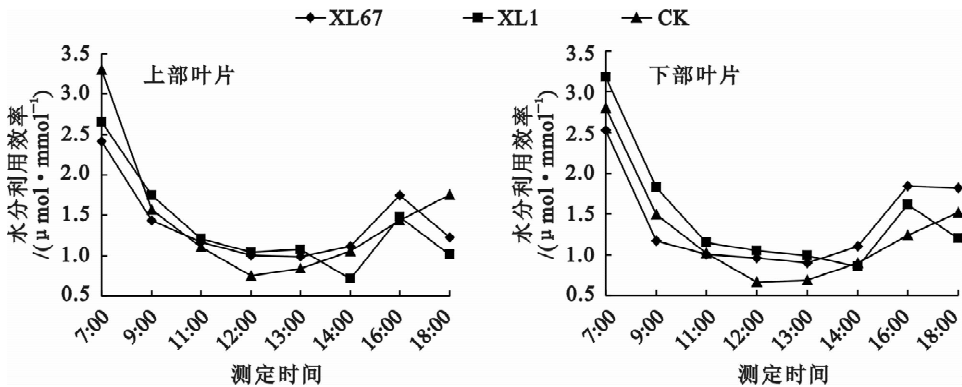


图 4 油茶无性系上、下部叶片水分利用效率的日变化曲线

Fig. 4 Diurnal changes of  $WUE$  in upper and lower leaves of *C. oleifera* clones

3 个无性系的水分利用率相差不大,上午 XL1 上、下部叶片水分利用效率整体水平稍高于 XL67 和 CK;下午 XL67 上、下部叶片水分利用效率整体水平稍高于 XL1 和 CK。说明 XL1 在高温低湿的环境中利用水分的能力强,而 XL67 在温湿度适宜的环境中利用水分的能力强,两个无性系均能够较好地利用有限的水分,在干旱条件下能更好地适应环境,而 CK 耐旱能力较差。

3.3 油茶无性系光合作用的光响应曲线

图 5 显示在气温、空气相对湿度、 $\text{CO}_2$  浓度等条件相对稳定的情况下,3 个无性系的光合—光响应曲线变化趋势较为相似,特别是 PAR 在 0~500  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  时,三者曲线几乎重合, $P_n$  增加迅速;随着 PAR 继续增大, $P_n$  继续增大,但增加速度减缓,XL67 的  $P_n$  明显高于 XL1 和 CK,而 XL1 和 CK 的  $P_n$  一直较接近。可见,PAR 是影响叶片光合作用的最主要因子之一,随着 PAR 的增加, $P_n$  逐渐增加,但当 PAR 增加到一定程度时, $P_n$  增加速度逐渐减缓,甚至产生光抑制。

根据测定数据,利用双曲线拟合计算出 3 个无性系的最大净光合速率( $P_{\text{max}}$ )、光补偿点( $LCP$ )、光

饱和点( $LSP$ )、表观量子效率( $u$ ),结果见表 3。

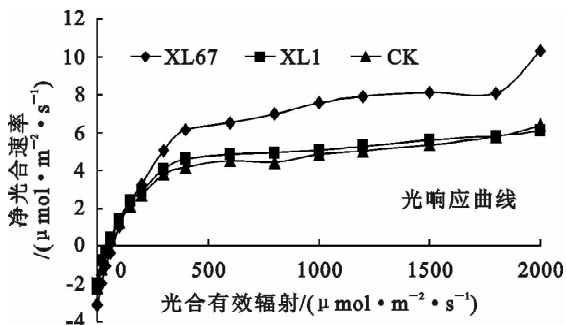


图 5 3 个油茶无性系的光响应曲线

Fig. 5  $P_n$ -light curve of 3 clones of *C. oleifera*

从表 3 可以看出,不同无性系  $P_{\text{max}}$  不同,XL67 的  $P_{\text{max}}$  为 14.20  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,XL1 的  $P_{\text{max}}$  为 8.42  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,CK 的  $P_{\text{max}}$  为 9.79  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,说明 3 个无性系中,XL67 具有最强的光合作用能力,可以作为高光效种质进行选择育种。

$LCP$  是植物利用弱光能力的重要指标,值越小说明利用弱光的能力越强。XL67 的  $LCP$  为 82  $\mu \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,XL1 的  $LCP$  为 58  $\mu \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,CK 的  $LCP$  为 64  $\mu \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,说明 XL1 利用弱光的能力较强,可以在弱光条件下进行光合作用。

XL67、XL1 和 CK 的  $LSP$  分别为 540、409 和  $430\ \mu\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。这说明 XL67 利用强光的能力强,在强光下光合能力不易受到抑制,这也是 XL67 不存在明显光合“午休”现象的原因之一。

表 3 油茶无性系叶片光合特征值

Table 3 Photosynthetic eigenvalue of 3 *C. oleifera* clones

无性系	回归方程	$R^2$	$P_{\max}$ $/(\mu\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	$LCP$ $/(\mu\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	$LSP$ $(\mu\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$
XL67	$y=0.031x-2.546$	0.973	14.20	82	540
XL1	$y=0.024x-1.396$	0.948	8.42	58	409
CK	$y=0.024x-1.538$	0.938	9.79	64	430

3.4 净光合速率日变化与影响因子的回归分析

利用逐步回归分析方法对  $Pn$  与各环境因子的关系进行分析,建立了回归方程(表 4)。试验选择了  $x_1$ -气孔导度( $Cond$ )、 $x_2$ -胞间  $\text{CO}_2$  浓度( $Ci$ )、 $x_3$ -空气温度( $Tair$ )、 $x_4$ -叶面温度( $Tleaf$ )、 $x_5$ -参比室  $\text{CO}_2$  浓度( $Ca$ )、 $x_6$ -光照强度( $PAR$ )、 $x_7$ -相对湿度( $RH$ )共 7 个因子参与分析,用  $y$  代表净光合速率( $Pn$ )。

表 4 油茶无性系净光合速率与环境因子的多元逐步回归分析

Table 4 Multivariate stepwise regression analysis of environmental factor versus photosynthesis rate in *C. oleifera* clones

无性系	回归方程	决定系数 $R^2$
XL67	$y=14.776+38.459x_1-0.0797x_2+0.133x_7$	0.996**
XL1	$y=-1.008+47.259x_1$	0.846**
CK	$y=-40.836+0.17x_5+34.661x_1-0.076x_2$	0.994**

从表 4 可以看出,影响 3 个油茶无性系  $Pn$  的主要因子存在差异。XL67 的  $Pn$  与  $Cond$ 、 $RH$  呈正相关,与  $Ci$  呈负相关,且受  $Cond$  的影响最大;影响 XL1 的  $Pn$  的主要因子为  $Cond$ ;影响 CK 的  $Pn$  的主要因子为  $Ca$ 、 $Cond$ 、 $Ci$ ,其中与  $Ca$ 、 $Cond$  正相关,与  $Ci$  负相关,且受  $Cond$  的影响最大。各因子对各无性系  $Pn$  的影响作用大小次序为:(1)XL67:  $Cond>Ci>RH$ ; (2)XL1:  $Cond$ ; (3)CK:  $Cond>Ca>Ci$ 。可见,  $Cond$  是影响 3 个油茶无性系  $Pn$  的主要因子。XL67 受  $Cond$  和  $RH$  的影响较大,因此注意适当灌溉,有利于提高其  $Pn$ 。

4 结论与讨论

(1)在 7:00—18:00,3 个无性系  $Pn$  日变化曲线呈“单峰型”和“双峰型”两种类型,XL67 与 CK 为“单峰型”,XL1 为“双峰型”。XL67 上、下部叶片  $Pn$  值最大值分别为  $9.17$ 、 $8.12\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , XL1 上、下部叶片  $Pn$  值最大值分别为  $9.21$ 、 $9.40\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , CK 上、下部叶片  $Pn$  值最大值分别为  $9.57$ 、 $8.12\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。3 个无性系叶

片的  $Pn$  存在显著差异。并且高产无性系的  $Pn$  明显高于中产无性系和低产无性系,说明  $Pn$  可作为选育油茶高产无性系的一个参考指标,为油茶的高光效育种提供了理论依据。

(2)3 个无性系上、下部叶片  $Tr$  的日变化曲线整体上呈“单峰型”,XL67、XL1、CK 上部叶片  $Tr$  最大值分别为  $7.11$ 、 $6.35$ 、 $6.23\ \text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ; 下部叶片  $Tr$  最大值分别为  $7.30$ 、 $5.93$ 、 $6.06\ \text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

$Tr$  的大小在一定程度上反映了植物调节水分损失的能力及适应逆境的能力,在整个测定过程中,3 个无性系  $Tr$  大小顺序为:XL67>XL1>CK,说明高产无性系调节水分损失的能力及抗逆性较强,在果实生长关键期 7 月,正值干旱少雨季节,高产无性系可较好利用有限的水分,维持果实正常生长。

(3)水分利用效率的日变化曲线均为“U”型。XL67、XL1、CK 的上部叶片  $WUE$  最大值均出现在 7:00,分别为  $2.41$ 、 $2.65$ 、 $3.30\ \mu\text{mol}\cdot\text{mmol}^{-1}$ ;下部叶片  $WUE$  最大值也出现在 7:00,分别为  $2.53$ 、 $3.18$ 、 $2.80\ \mu\text{mol}\cdot\text{mmol}^{-1}$ 。

(4)3 个无性系的  $P_{\max}$  分别为  $14.203\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $8.419\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $9.789\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,光饱和点在  $409\sim540\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  之间,光补偿点在  $58\sim82\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  之间。

(5)逐步回归分析表明,  $Cond$  是影响 3 个油茶无性系叶片  $Pn$  的最主要因子,其中 XL67 叶片  $Pn$  还受  $Ci$  和  $RH$  的影响较大,CK 叶片  $Pn$  还受  $Ca$  和  $Ci$  的影响较大。因此在生产中,适当灌溉以增加林间空气湿度,有利于提高其  $Pn$ ,从而促进果实生长发育,提高产量。

参考文献:

[1] 庄瑞林. 中国油茶[M]. 北京:中国林业出版社,1988.  
[2] 黎先胜. 我国油茶资源的开发利用研究[J]. 湖南科技学院学报,2005,26(11):127-129.  
[3] 国家油茶科学中心. 油茶高效实用栽培技术[M]. 北京:科学出版社,2010.  
[4] 许大全,张玉忠,张荣桢. 植物光合作用的光抑制[J]. 植物生理学通讯,1992,28(4):237-243.

XU D Q, ZHANG Y Z, ZHANG R X. Photoinhibition of photosynthesis in plants[J]. Plant Physiology Communications, 1992, 28(4): 237-243.

[5] DAY W, CHALABI Z S. Use of models to investigate the link between the modification of photosynthesis characteristics and improved crop yields[J]. Plant Physiol Biochem, 1998, 26: 511-517.

[6] FRANKS P J, FARQUHAR G D. A relationship between humidity response, growth form and photosynthetic operating point in C3 plants[J]. Plant Cell Envir, 1999, 1347-1349.

[7] 许大全. 光合速率、光合效率与作物产量[J]. 生物学通报, 1999, 34(8): 8-10.

[8] 蔡楚雄, 邓雄, 刘世平, 等. 六种芒果的叶绿素荧光日变化研究简报[J]. 广东农业科学, 2003(2): 17-19.

[9] 李六林, 季兰. 杂种榛子不同方位叶片光合作用的日变化[J]. 林业科学, 2006, 42(12): 47-53.

LI L L, JI L. Diurnal variation in photosynthesis of differently directional leaves in hybrid hazels (*Corylus heterophylla* × *Corylus avellana*) [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2006, 42(12): 47-53.

[10] 邹天才, 张著林, 周洪英, 等. 贵州山茶属五种野生植物的光合特性研究[J]. 园艺学报, 1994, 21(4): 366-370.

ZOU T C, ZHANG Z L, ZHOU H Y, et al. Studies on photosynthetic properties of five wild species from *Camellia* in Guizhou[J]. Acta Horticulturariae Sinica, 1994, 21(4): 366-370.

[11] 黄义松, 牛德奎, 赵中华, 等. 3个油茶优良无性系光合作用及生理特性研究[J]. 江西农业大学学报, 2007, 29(2): 51-53.

HUANG Y S, NIU D K, ZHAO Z H, et al. A study on photosynthesis and physiological characteristics of *Camellia oleifera* Abel clones[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis 2007, 29(2): 51-53.

[12] 王瑞, 陈永忠, 王湘南, 等. 油茶优良无性系光合特性的影响因素—叶龄、叶位[J]. 中国农学通报, 2009, 25(17): 113-118.

WANG R, CHEN Y Z, WANG X N, et al. Influencing factors on photosynthetic characteristic of superior clones of *Camellia oleifera*——leaf age and leaf position[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(17): 113-118.

[13] 赵中华, 郭晓敏, 李发凯, 等. 不同施肥处理对油茶光合生理特性的影响[J]. 江西农业大学学报, 2007, 29(4): 576-581.

ZHAO Z H, GUO X M, LI F K, et al. Effects of different fertilizing treatment on the photo-biological characters in oil-tea[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2007, 29(4): 576-581.

[14] 梁根桃, 阮建云, 章晶晶. 硫代硫酸银等四种试剂对油茶光合性能影响的初步研究[J]. 经济林研究, 1987, 5(1): 59-65.

LIANG G T, YUAN J Y, ZHANG J J. A preliminary study of the influences of sts and four other reagents on the photosynthesis of *Camellia oleifera* Abel. [J]. Economic Forest Researches, 1987, 5(1): 59-65.

[15] 胡玉玲, 胡冬南, 袁生贵, 等. 不同肥料与芸苔素内酯处理对5年生油茶光合和品质的影响[J]. 浙江农林大学学报, 2011, 28(2): 194-199.

HU Y L, HU D N, YUAN S G, et al. Photosynthesis and seed characteristics of five-year-old *Camellia oleifera* with fertilizer and brassinolides (BRs) applications[J]. Journal of Zhejiang A & F University, 2011, 28(2): 194-199.

[16] 何一明, 吕芳德. 不同密度条件下油茶光合作用的研究[J]. 现代农业科学, 2008, 15(3): 25-27.

HE Y M, LU F D. Study on the photosynthesis of the different density of *Camellia oleifera* [J]. Modern Agricultural Sciences, 2008, 15(3): 25-27.

[17] 韩蕊莲, 梁宗锁, 侯庆春, 等. 黄土高原适生树种的耗水特性[J]. 应用生态学报, 1994, 5(2): 210-215.

HAN R L, LIANG Z S, HOU Q C, et al. Water consumption properties of adaptable nursery stocks on Loess plateau [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1994, 5(2): 210-215.