

# 陕北黄土高原丘陵沟壑区沙棘的光合特性研究

李文华<sup>1,2</sup>, 朱清科<sup>1</sup>, 赖亚飞<sup>1</sup>, 李宏生<sup>2</sup>, 徐怀同<sup>2</sup>, 刘广全<sup>3</sup>

(1. 北京林业大学水保学院, 北京 100083; 2. 西北农林科技大学林学院, 陕西 杨凌 712100;

3. 中国水利水电科学研究院, 北京 100044)

**摘 要:** 利用便携式光合作用测定系统测定了陕北吴旗县沙棘年生长季内叶片净光合速率随光照强度和 CO<sub>2</sub> 浓度的变化规律, 并测定了沙棘叶片的蒸腾速率 (*T<sub>r</sub>*) 和水分利用率 (WUE)。结果表明: 沙棘叶片光补偿点 (LCP) 在年生长季内的变化范围为 15.66~112.31 μmol/(m<sup>2</sup>·s), 光饱和点 (LSP) 变化范围为 1 327.39~1 638.89 μmol/(m<sup>2</sup>·s), 表观光量子效率 (Φ) 的变化范围为 0.0052~0.0122 μmol/mol; 沙棘叶片的 CO<sub>2</sub> 补偿点 (CCP) 在年生长季内的变化范围为 120.83~278.29 μmol/mol, CO<sub>2</sub> 饱和点 (CSP) 的变化范围为 192.24~775.59 μmol/mol。表明沙棘为 C<sub>3</sub> 植物, 不耐荫, 宜栽植在阳光充足的地方。沙棘在年生长季内 *T<sub>r</sub>* 的变化为: 8 月、9 月高于 6 月、7 月、5 月; 8 月份的蒸腾速率最高, 5 月份的蒸腾速率最低; WUE 高低排序为: 9 月>5 月>8 月>7 月>6 月。

**关键词:** 沙棘; CO<sub>2</sub> 补偿点; CO<sub>2</sub> 饱和点; 光补偿点; 光饱和点

**中图分类号:** S793.6      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-7601(2007)01-0135-05

沙棘 (*Hippophae rhamnoides* L.) 为胡颓子科沙棘属落叶灌木, 耐干旱、贫瘠及盐碱土壤; 其枝、叶、果实营养丰富, 燃烧值高; 同时, 沙棘又是具有内生菌根真菌的优良固 N 树种。是少有的优良水土保持和薪炭林树种<sup>[1~4]</sup>; 具有较高的生态、经济和社会价值。多年来沙棘作为水土保持小流域治理、生态自然修复、退耕还林还草工程及三北防护林工程等水保、林业建设的主要先锋树种, 在生产实践中取得了较好的效果<sup>[5]</sup>。但目前营造沙棘林仍存在育苗成活率低、保存率低、成林后的沙棘林生产力较低等问题。而生产力是光合作用积累的直接或间接产物, 光合作用与环境因子、植物因子关系密切。光是影响光合作用最重要的因素, 光环境的优劣对光能利用效率和作物生产力起着决定性作用。植物叶片对环境的光合响应提供了植物在不同光条件下生存和生长的能力以及对不断变化的环境条件适应能力的信息<sup>[6~8]</sup>。目前有关沙棘光合作用的研究多集中在自然状态或水分胁迫条件下, 光合作用变化规律及其影响因子研究, 而对沙棘的光响应和 CO<sub>2</sub> 响应的规律研究未见报道。本文对陕北黄土高原丘陵沟壑区沙棘, 在年生长季内光合作用的光响应和 CO<sub>2</sub> 响应进行了探讨, 以期深入了解沙棘对生境变化的响应和适应性, 为分析沙棘光合作用对环境的响应和耐干旱程度, 提高沙棘生产力提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地设在陕西省吴旗县境内。该县位于陕西省延安市的西北部, 地处东经 107°38'57"~108°32'49", 北纬 36°33'33"~37°24'27"。全县地貌属黄土高原梁状丘陵沟壑区, 海拔为 1 233~1 809 m。吴旗属半干旱温带大陆性季风气候, 春季干旱多风, 夏季旱涝相间, 秋季温凉湿润, 冬季寒冷干燥, 年平均气温 7.8℃, 极端最高气温 37.1℃, 极端最低气温 -25.1℃。年平均降雨量 483.4 mm, 年平均无霜期 146 d。雨热同季, 常有大风、暴雨、冰雹等灾害天气发生。土壤为淡灰绵土, 质地为砂质壤土, 石灰反应强烈, 碳酸钙含量 13% 左右, 土壤 pH 8.5 左右。

### 1.2 沙棘样株选择

在试验地设置 100 m<sup>2</sup> 样地, 调查样地内沙棘的树高、冠幅、地经等指标并计算平均值。根据上述指标平均值选出生长健康、无病虫害的沙棘样株 3 个, 再在每样株中选择 3 个叶片, 用作各项光合参数的测定。光合参数测定完后剪下叶片带回实验室, 用称重法计算叶面积<sup>[9]</sup>, 再用 Li-6400 光合仪的自带程序, 输入实际的叶面积值, 重新计算各项光合指标。

### 1.3 测定项目与方法

1.3.1 光响应曲线的测定 用 Li-6400 便携式光

收稿日期: 2006-05-08

基金项目: 国际泥沙培训中心专项“吴旗县生态建设综合效益评价”; 西北农林科技大学校长专项

作者简介: 李文华 (1968—), 男, 新疆库尔勒人, 副研究员, 在读博士, 主要从事植物生态和经济林栽培与利用研究。

通讯作者: 刘广全 (1964—), 男, 陕西南南人, 教授, 博士生导师, 主要从事森林生态学 research。

合系统分析仪配置的红蓝光源, 设定光照强度 (PAR) 分别为 0、20、50、100、200、400、600、800、1 000、1 200、1 500 和 2 000  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 测定不同光强梯度下沙棘叶片的净光合速率 ( $P_n$ ) 和蒸腾速率 ( $Tr$ )。测定时温度控制在  $25\text{ }^\circ\text{C}$  左右,  $\text{CO}_2$  浓度为观测时大气浓度, 自动取值的时间间隔设为 3 min。测定时间为 2004 年 5~9 月, 于每月中旬选择典型的晴朗天气进行测定。测定部位为沙棘植株冠层上部初生新叶下方的叶片。

1.3.2  $\text{CO}_2$  响应曲线的测定 用 Li-6400 便携式光合系统分析仪配置的  $\text{CO}_2$  钢瓶, 设定  $\text{CO}_2$  浓度 ( $C_i$ ) 分别为 50、80、100、200、300、380、500、800、1 000、1 200、1 500 和 2 000  $\mu\text{mol}/\text{mol}$ , 测定不同  $\text{CO}_2$  浓度梯度下沙棘叶片的净光合速率 ( $P_n$ )。测定时温度控制在  $25\text{ }^\circ\text{C}$  左右, 光强为  $1\,000\, \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 自动取值的时间间隔设为 3 min。测定时间为 2004 年 7~9 月, 每月中旬选择典型的晴朗天气进行测定, 测定部位同上。

1.4 计算与分析方法

1.4.1 光饱和点(LSP)与光补偿点(LCP)的计算

以 PAR 为横轴、 $P_n$  为纵轴绘制沙棘光合作用的光响应曲线 ( $P_n$ -PAR 曲线)。用 SPSS 软件对该曲线进行回归拟和, 按文献<sup>[6,10,11]</sup>的方法求取 LSP 和 LCP。

1.4.2  $\text{CO}_2$  饱和点(CSP)与  $\text{CO}_2$  补偿点(CCP)的计算 以  $\text{CO}_2$  浓度 ( $C_i$ ) 为横轴、 $P_n$  为纵轴绘制沙棘光合作用的  $\text{CO}_2$  响应曲线 ( $P_n$ - $C_i$  曲线)。用 SPSS 软件建立  $P_n$ - $C_i$  的回归方程, 按文献<sup>[12,13]</sup>的方法求取 CSP 与 CCP。

1.4.3 表观量子效率 ( $\Phi$ ) 与羧化效率 (CE) 的计算及暗呼吸速率 按文献<sup>[11~13]</sup>的方法计算  $P_n$ -PAR 曲线直线部分的初始斜率, 求得  $\Phi$ ; 对低  $\text{CO}_2$  浓度时光合速率数据进行线性回归分析, 计算 CE。

1.4.4 叶片水分利用率(WUE)的计算 WUE 用  $P_n/Tr$  表示<sup>[6~10]</sup>。

2 结果与分析

2.1 光照强度(PAR)对沙棘叶片净光合速率( $P_n$ )的影响

不同生态型植物其光合速率变化在强光和弱光下有差异<sup>[14]</sup>。由图 1 可知, 当光强在  $200\, \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  以下时, 各月份  $P_n$  随 PAR 的增高几乎呈直线上升; 高于  $200\, \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  以后, 8 月份

呈缓慢上升趋势, 当 PAR 达到  $800\, \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  以后, 变化更加缓慢; 9 月份呈缓慢上升趋势, 当 PAR 达到  $1\,600\, \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  时, 变化更加缓慢; 5、7 月份, 当 PAR 在  $200\sim600\, \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  时,  $P_n$  随 PAR 的增加而缓慢增加,  $600\sim800\, \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  时, 有所下降, 而后又随 PAR 的增加而缓慢上升; 6 月份, 当 PAR 在  $200\sim800\, \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  时,  $P_n$  随 PAR 的增加而缓慢增加, 当 PAR 在  $800\sim1200\, \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  时,  $P_n$  随 PAR 的增加而下降, 而后  $P_n$  随 PAR 的增加而缓慢增加。在相同的 PAR 下, 8、9 月份的  $P_n$  明显比 5、6、7 月份的高。

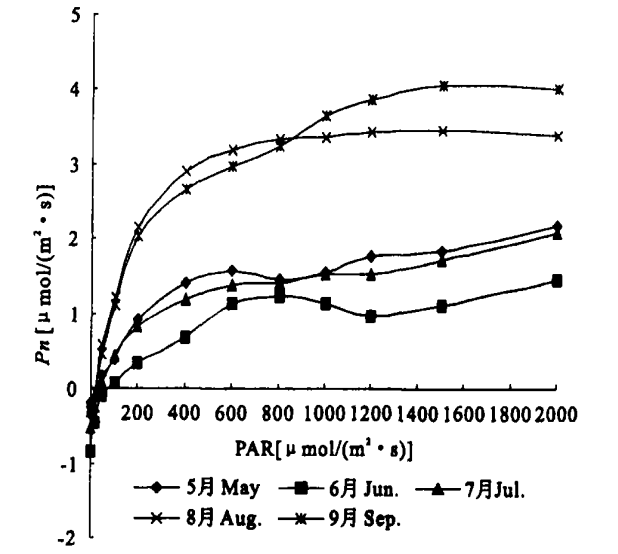


图 1 不同生长月份沙棘叶片的光响应曲线

Fig.1 The  $P_n$ -PAR responsive curve of *Hippophae rhamnoides* in different month plantation

根据叶片光响应曲线的数学模型  $P_n = a PAR^2 + b PAR + c$ , 对不同生长月份沙棘的光响应曲线进行拟合, 分别计算出沙棘在不同月份叶片的光补偿点(LCP)、光饱和点(LSP)、饱和光合速率  $P_{nmax}$  (光饱和时的光合速率) 和表观量子利用效率 ( $\Phi$ ), 结果见表 1。

LCP, LSP 和  $\Phi$  是指示植物光响应特征的重要指标<sup>[15]</sup>。沙棘的 LCP 在 8、9 月较低, 6 月最高; LSP 各月份均比较高, 由大到小的排列顺序为: 7 月、5 月、9 月、6 月、8 月;  $\Phi$  基本为随叶片的生长逐渐增大, 说明对光的利用能力逐渐加强。

最大净光合速率为最大光合速率与呼吸速率的净值, 它反映了植物的光合作用能力<sup>[15]</sup>。表 1 表明: 在沙棘生长的中后期, 8、9 月份的最大光合速率 ( $P_{nmax}$ ) 最大, 生长初期 5 月次之, 而中期 6、7 月份最低, 具体排序为 9 月 > 8 月 > 5 月 > 7 月 > 6 月。

表 1 不同生长时期沙棘叶片的光响应特征值

Table 1 *P<sub>n</sub>*—PAR responsive characteristics in different growth period

| 月份<br>Month | 拟和方程参数<br>The fitted parameter |          |          | 显著水平<br>Significant | LCP<br>[ $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ] | LSP<br>[ $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ] | $\Phi$<br>( $\mu\text{mol}/\text{mol}$ ) | $Pn_{\text{max}}$<br>[ $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ] |
|-------------|--------------------------------|----------|----------|---------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
|             | <i>a</i>                       | <i>b</i> | <i>c</i> |                     |                                                      |                                                      |                                          |                                                                    |
| 5           | $-7.33\times10^{-7}$           | 0.0024   | 0.110    | 0.0001              | 32.50                                                | 1636.72                                              | 0.0056                                   | 2.07                                                               |
| 6           | $-8.11\times10^{-7}$           | 0.0024   | -0.326   | 0.0002              | 112.31                                               | 1466.09                                              | 0.0052                                   | 1.42                                                               |
| 7           | $-7.38\times10^{-7}$           | 0.0024   | -0.026   | 0.0001              | 56.77                                                | 1638.89                                              | 0.0065                                   | 1.95                                                               |
| 8           | $-1.99\times10^{-6}$           | 0.0053   | 0.404    | 0.0001              | 15.66                                                | 1327.39                                              | 0.0122                                   | 3.90                                                               |
| 9           | $-1.80\times10^{-6}$           | 0.0053   | 0.287    | 0.0001              | 18.55                                                | 1483.33                                              | 0.0117                                   | 4.26                                                               |

2.2 CO<sub>2</sub> 浓度(*C<sub>i</sub>*)对沙棘叶片净光合速率(*P<sub>n</sub>*)的影响

CO<sub>2</sub> 浓度的高低直接影响植物的光合作用, CO<sub>2</sub> 浓度升高,一方面增加了 CO<sub>2</sub> 对 Rubisco 酶结合位点的竞争,从而提高羧化效率;另一方面通过抑制光呼吸提高光合效率<sup>[15]</sup>。由图 2 沙棘 CO<sub>2</sub> 响应曲线可知,7 月份,沙棘叶片 *P<sub>n</sub>* 随 CO<sub>2</sub> 浓度的升高而缓慢升高,变化幅度不大;8 月份,沙棘叶片 *P<sub>n</sub>* 随 CO<sub>2</sub> 浓度的升高几乎呈直线增加;9 月份,CO<sub>2</sub> 浓度在 0~300  $\mu\text{mol}/\text{mol}$  左右范围内,随 CO<sub>2</sub> 浓度的升高增加较慢,300~600  $\mu\text{mol}/\text{mol}$  时, *P<sub>n</sub>* 快速增加,而后缓慢增加;相同的 CO<sub>2</sub> 浓度下,9 月的 *P<sub>n</sub>* 最大,7 月的最小,8 月居中。

用回归方程  $P_n = a C_i^2 + b C_i + c$  对沙棘叶片的 CO<sub>2</sub> 响应曲线进行拟合, *a*、*b*、*c* 参数值见表 2。

表 2 不同生长时期沙棘叶片的 CO<sub>2</sub> 响应特征值

Table 2 *P<sub>n</sub>*—CO<sub>2</sub> responsive characteristics in different growth period

| 月份<br>Month | 拟和方程参数 The fitted parameter |          |          | CCP<br>( $\mu\text{mol}/\text{mol}$ ) | CSP<br>( $\mu\text{mol}/\text{mol}$ ) | CE      | 判定系数 <i>R</i> <sup>2</sup><br>Adjusted <i>R</i> square | 显著水平<br>Significant |
|-------------|-----------------------------|----------|----------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------|--------------------------------------------------------|---------------------|
|             | <i>a</i>                    | <i>b</i> | <i>c</i> |                                       |                                       |         |                                                        |                     |
| 7           | $-1.122\times10^{-6}$       | 0.00106  | -0.304   | 278.29                                | 474.10                                | 0.00129 | 0.97                                                   | <0.0001             |
| 8           | $-1.143\times10^{-5}$       | 0.00177  | -0.154   | 136.58                                | 775.59                                | 0.00374 | 0.98                                                   | <0.0001             |
| 9           | $-2.71\times10^{-6}$        | 0.0104   | -1.134   | 120.83                                | 192.24                                | 0.00965 | 0.98                                                   | <0.0001             |

2.3 光照强度(PAR)对沙棘叶片蒸腾速率(*T<sub>r</sub>*)的影响

由图 3 可知,沙棘叶片的 *T<sub>r</sub>* 随 PAR 的增加,变化趋势与 *P<sub>n</sub>* 相似。当 PAR 小于 200  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 时,除 6 月外,沙棘在其它月份的 *T<sub>r</sub>* 均随着 PAR 的升高而迅速增加;当 PAR 高于 200  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 时,5、8 月份的 *T<sub>r</sub>* 随着 PAR 的升高上升速度较平缓,变化幅度不大,9 月份缓慢上升,7 月份基本与 8 月相同。6 月份比较特别,当 PAR 在 0~600  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 时, *T<sub>r</sub>* 随着 PAR 的升高迅速增加;当 PAR 在 600~1 200  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 范围内, *T<sub>r</sub>* 随着 PAR 的升高而下降;PAR 高于 1 200

由表 2 可知,沙棘叶片的 CCP,随植物的生长而减小,CE 却相反;CSP 的排序为 8 月>7 月>9 月。

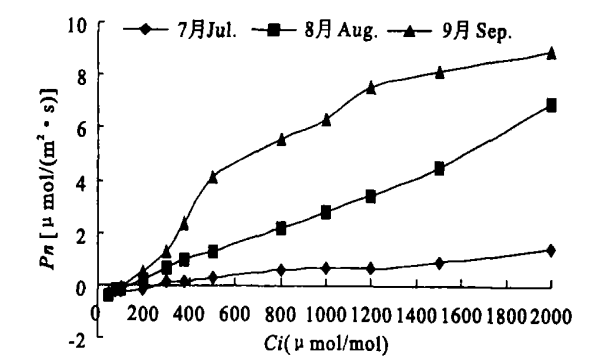


图 2 不同生长月份沙棘叶片的 CO<sub>2</sub> 响应曲线  
Fig.2 The *P<sub>n</sub>*—PAR responsive curve of *Hippophae rhamnoides* L. in different month

$\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 以上,又迅速上升。在相同的 PAR 下,沙棘叶片 *T<sub>r</sub>* 总的表现为 8 月、9 月高于 6 月、7 月、5 月;8 月份的蒸腾速率最高,5 月份的蒸腾速率最低。

2.4 光照强度(PAR)对沙棘叶片水分利用率(WUE)的影响

水分利用效率(WUE)是植物光合与蒸腾特性的综合反映。从图 4 可以看出,沙棘叶片的 WUE 在各月份均随 PAR 的增强呈明显的抛物线状变化趋势。5、7、8 月在 PAR 为 600  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 时,6 月在 PAR 为 800  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 时,9 月在 PAR 为 400  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 时,WUE 出现高峰值,之后下降。在

相同的 PAR 下,沙棘叶片在各月份的 WUE 水分利用率高低排序为 9 月>5 月>8 月>7 月>6 月。

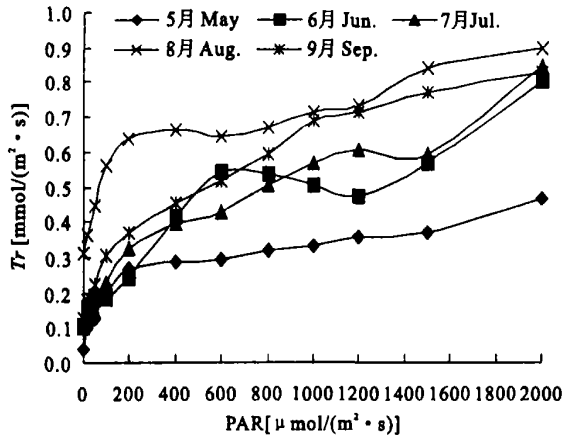


图 3 光合有效辐射(PAR)对沙棘叶片蒸腾速率(Tr)的影响  
Fig. 3 Variation of transpiration rate(Tr) in different PAR

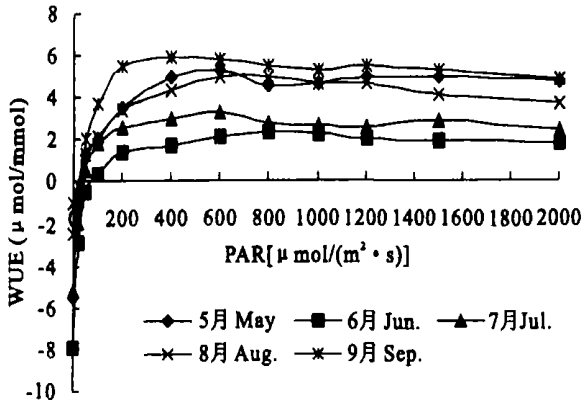


图 4 光合有效辐射(PAR)对沙棘叶片水分利用率(WUE)的影响  
Fig. 4 Variation of water use efficiency in different PAR

3 结 论

植物的光饱和点和光补偿点反映了植物对光照条件的要求,分别体现了对强光和弱光的利用能力,一般光补偿点和光饱和点均较低是典型的阴性植物,反之是典型的阳性植物。光补偿点较低、光饱和点较高的植物对光环境的适应性较强,而光补偿点较高、光饱和点较低的植物对光照的适应性较窄<sup>[14]</sup>。沙棘的 LCP $[15.66\sim112.31\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})]$ ,与典型阳生植物 LCP $[9\sim27\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})]$ <sup>[6]</sup>相比,8、9 月相近,而 5~7 月高于阳生植物;LSP $[1\,327.39\sim1\,638.89\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})]$ 与典型阳生植物 LSP $[360\sim900\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})]$ <sup>[6]</sup>相比,各月份均高于阳生植物,表明沙棘为典型的阳性树种,具有较强的强光利用能力和较宽的光环境适应性。

表观量子效率是指植物每接收单位量的光所能同化 CO<sub>2</sub> 的量,在一定程度上反映了植物的光合机

构或称光合器官在测定条件下利用环境光能同化 CO<sub>2</sub> 的能力,即光合能力<sup>[18,20]</sup>。表观量子效率有不同的计算方法,此处的表观量子效率依据的是光—光合速率曲线的初始斜率<sup>[20]</sup>,即反映的主要是沙棘光合作用对弱光的反应能力。沙棘的  $\Phi$  在  $0.0052\sim0.0122\mu\text{mol}/\text{mol}$ ,比胡杨( $0.0637\mu\text{mol}/\text{mol}$ )、疏叶骆驼刺( $0.0366\mu\text{mol}/\text{mol}$ )、多枝怪柳( $0.0345\mu\text{mol}/\text{mol}$ )和头状沙拐枣( $0.0411\mu\text{mol}/\text{mol}$ )<sup>[17]</sup>这 4 种荒漠植物都低,也比自然条件下一般植物的  $\Phi$  ( $0.03\sim0.05\mu\text{mol}/\text{mol}$ )<sup>[6]</sup>低,表明沙棘对弱光的利用能力较弱。

CO<sub>2</sub> 补偿点(CCP)是植物利用 CO<sub>2</sub> 进行光合作用的临界浓度<sup>[14]</sup>。一般来说,C<sub>4</sub> 植物的 CO<sub>2</sub> 补偿点比较低( $<10\mu\text{mol}/\text{mol}$ ),而 C<sub>3</sub> 植物的 CO<sub>2</sub> 补偿点比较高( $50\sim150\mu\text{mol}/\text{mol}$ )<sup>[14,21]</sup>。沙棘叶片的 CCP 为  $120.83\sim278.29\mu\text{mol}/\text{mol}$ ,CSP 为  $192.24\sim775.59\mu\text{mol}/\text{mol}$ ,均高于 C<sub>4</sub> 植物,可见沙棘为 C<sub>3</sub> 型植物,具有较大的光合作用潜力。

水分利用率(WUE)是植物光合和蒸腾特性的综合反映。在相同的光照强度下,不同月份沙棘叶片的 WUE 高低排序为 9 月>5 月>8 月>7 月>6 月,这可能是由于土壤水分条件变化引起的。吴旗县在 5、6 月份一般少雨干旱,一年的降雨量主要集中在 7、8、9 三个月,而且雨热同季。据作者观测,试验地在 2004 年 8 月份降雨量较大,土壤水分条件也较好,而 5、9 降雨少,土壤处于中度干旱,6、7 月份土壤水分处于严重干旱。本试验的研究结果表明沙棘各月份的单叶水分利用率表现为:中度干旱>适宜水分>严重干旱,与杨建伟等研究结论相一致<sup>[19]</sup>。

综上所述,沙棘的光照适应范围较宽,光补偿点低、饱和点高,适应强光照,对弱光的利用率较低。因此,沙棘宜栽植在阳光充足的地方。

参 考 文 献:

[1] 阮成江,李代琼.半干旱黄土丘陵区沙棘的光合特性及其影响因素[J].植物资源与环境学报,2000,9(1):16-21.  
[2] 刘瑞香,杨吉力,高丽.不同土壤水分条件对中国沙棘和俄罗斯沙棘的光合和蒸腾作用的影响[J].内蒙古大学学报(自然科学版),2006,37(2):163-180.  
[3] 杨吉力,曹云,李国强.皇甫川流域百里香草原和人工沙棘灌木林的水分利用特征[J].地球科学进展,2002,17(2):241-247.  
[4] 何兴元,吴清风,韩桂云,等.沙棘与微生物联合共生体的初步研究[J].应用生态学报,2001,12(6):876-878.  
[5] 胡建忠.“三北”地区沙棘属植物的区域化种植开发探讨[J].水

土保持研究, 2006, 13(1): 4—8.

[6] 刘锦春, 钟章成, 何跃军, 等. 重庆石灰岩地区十大功劳 (*Mahonia fortunei*) 的光合响应研究[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2005, 30(2): 316—321.

[7] Ueda Y, Nishihara S, Tomita H, et al. Photosynthetic response of Japanese rose species *Rosa bracteata* and *Rosa rugosa* to temperature and light[J]. *Scientia Horticulturae*, 2000, 84: 365—371.

[8] Boardman N K. Comparative photosynthesis of sun and shade plants[J]. *Ann Rev Plant Physiol*, 1977, 28: 355—377.

[9] 吴玉德; 张 鹏. 基于 Mapinfo 的树木叶面积测定方法[J]. 林业调查规划, 2005, 30(6): 23—24.

[10] 张小全, 徐德应. 18 年生杉木不同部位和叶龄针叶光响应研究[J]. 生态学报, 21(3): 399—404.

[11] 付为国, 李萍萍, 陈 歆, 等. 北固山湿地鹧鸪草光合日变化的研究[J]. 武汉植物学研究, 2005, 23(6): 555—559.

[12] 师生波, 李惠梅, 王学英, 等. 青藏高原几种典型高山植物的光合特性比较[J]. 植物生态学报, 2006, 30(1): 40—46.

[13] 骆土寿, 李意德, 陈德祥, 等. 热带雨林恢复演替中优势树种黄桐气体交换对环境的响应[J]. 生态学报, 2003, 23(9): 1765—1773.

[14] 蒋高明, 林光辉. 几种荒漠植物与热带雨林植物在不同 CO<sub>2</sub> 浓度下光合作用对光照强度的反应[J]. 植物学报, 1996, 38(12): 972—981.

[15] 朱万泽, 王金锡, 薛建辉, 等. 四川桉木光合生理特性研究[J]. 西南林学院学报, 21(4): 196—205.

[16] 柯世省, 金则新, 林恒琴, 等. 天台山东南石栎光合生理生态特性[J]. 生态学杂志, 2004, 23(3): 1—5.

[17] 邓 雄, 李小明, 张希明, 等. 四种荒漠植物的光合响应[J]. 生态学报, 2003, 23(3): 598—606.

[18] 王博钦, 冯玉龙. 生长环境光强对两种热带雨林树种幼苗光合作用的影响[J]. 生态学报, 2005, 25(1): 23—31.

[19] 杨建伟, 梁宗锁, 韩蕊莲. 黄土高原常用造林树种水分利用特征[J]. 生态学报, 2006, 26(2): 558—566.

[20] 阎秀峰, 王玉杰, 王 洋, 等. 长白山高山红景天的气体交换特性[J]. 植物研究, 1999, 19(3): 273—281.

[21] Ishii R. Effect of light on the CO<sub>2</sub> evolution of C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> plant in relation to the kook effect[J]. *Japan Jour Crop Sci*, 1979, 48(1): 52—57.

# The photosynthetic characteristics and water use efficiency in leaves of *Hippophae rhamnoides* L. in Northern Shaanxi

LI Wen-hua<sup>1,2</sup>, ZHU Qing-ke<sup>1</sup>, LAI Ya-fei<sup>1</sup>, LI Hong-sheng<sup>2</sup>, XU Huai-tong<sup>2</sup>, LIU Guang-quan<sup>3</sup>  
(1. *Beijing Forestry University, Beijing 100083, China*; 2. *College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling, Shannxi 712100, China*; 3. *China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China*)

**Abstract:** With the Li-6400 portable photosynthesis system the photosynthetic characteristics in leaves of *Hippophae rhamnoides* L. during different period was determined. The main results were as follows: the light compensation points(LCP) in leaves of *Hippophae rhamnoides* L. changed from 15.66 to 112.31  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  in different period, the light saturation points(LSP) varied from 1 327.39 to 1 638.89  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  and the apparent photon utilization efficiency varied from 0.0052 to 0.0122  $\mu\text{mol}/\text{mol}$ ; the CO<sub>2</sub> compensation point(CCP) of photosynthesis varied from 120.83 to 278.29  $\mu\text{mol}/\text{mol}$ ; the CO<sub>2</sub> saturation points(CSP) varied from 192.24 to 775.59  $\mu\text{mol}/\text{mol}$ . The Tr of *Hippophae rhamnoides* L. is in Sept. and Aug. higher than in Jun., Jul. and May, and is at the highest in Aug., at the lowest in May; the WUE shows Sept. > May. > Aug. > Jun. > Jul..

**Keywords:** *Hippophae rhamnoides* L.; CO<sub>2</sub> compensation point; CO<sub>2</sub> saturation point; light compensation point; light saturation point