

文章编号: 1000-5692(2007)03-0302-06

金沙江干热河谷希蒙得木的光合特性

李晓清^{1,2}, 高捍东¹, 曹小军², 李荣伟², 王 准², 王晓玲³

(1. 南京林业大学 森林资源与环境学院 江苏 南京 210037; 2. 四川省林业科学研究院, 四川 成都 610081; 3. 林业西昌技工学校, 四川 西昌 615000)

摘要: 在四川省会东县可河乡, 采用 Li-6400 光合测定系统, 对希蒙得木 *Simmondsia chinensis* 2 个种源 4 年生人工林的光合特性进行野外测定。结果表明, 希蒙得木的二氧化碳补偿点为 56~62 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$, 羧化效率 0.081 4~0.094 6, 暗呼吸速率 1.15~1.18 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 光补偿点 31~35 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 光饱和点 1 308~1 592 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 表观量子效率 0.033~0.037, 属典型阳性的 C₃ 植物。叶片净光合速率日变化呈单峰曲线, 光能利用效率平均 5.641~5.999 $\text{nmol}\cdot\text{mol}^{-1}$, 水分利用效率 1.0 $\text{mmol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。图 8 表 2 参 24

关键词: 植物学; 希蒙得木; 光合特性; 干热河谷
中图分类号: S718.4 文献标志码: A

希蒙得木 *Simmondsia chinensis*, 又名霍霍巴, 是一种重要的生态经济型常绿灌木树种, 原产美国和墨西哥间的沙漠地区, 已被世界多个国家和地区引种和发展^[1-3]。希蒙得木种子含油 450~640 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 且其组成结构是植物中唯一的, 动物界仅有抹香鲸鱼油结构与其相似, 具有广泛的用途。我国南方 10 多个省从 20 世纪 80 年代后期开始引种和推广, 国内学者主要集中研究希蒙得木在我国的引种适生区域、育苗、栽培技术以及无性繁殖技术等^[4-9], 但该树种光合特性的研究却未见报道。笔者研究了希蒙得木引种到金沙江干热河谷地区的光合特性, 为希蒙得木进一步引种造林提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验区位于四川省会东县可河乡大坪村, 处于阳坡中部, 坡度为 25°, 属于典型的金沙江干热河谷气候类型, 海拔为 950 m, 年平均气温 21.3 °C, 极端最高温 39.5 °C, 降水量为 760.0 mm, 蒸发量为 2 424.3 mm, 日照时数 2 686.1 h, 空气相对湿度 55%。试验地土壤为紫红色砂岩发育的沙壤, 土层 100 cm 以上, pH 8.64, 碱解氮为 28.86 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 速效磷 8.38 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 速效钾 323.13 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 有机质 7.48 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 大于 0.002 mm 粒级含量达到 42.16%。林地水土流失严重, 表层土壤几乎流失殆尽。主要植被为扭黄茅 *Heteropogon contortus*, 车桑子 *Dodonaea viscosa*, 木棉 *Bambax malabaricum* 等。

1.2 试验材料

试验所用希蒙得木植株在四川省林业科学研究院希蒙得木种源收集区选取, 种子来源于美国亚利桑那州 Hyder Valley 和以色列 Vacaville。采用种子育苗造林, 株行距为 2 m×1 m。植株为 4 年生幼树,

收稿日期: 2006-10-16; 修回日期: 2007-01-08
基金项目: 国家林业局引进国际先进农业科学技术计划(948 计划)项目(20000404)
作者简介: 李晓清, 副研究员, 博士研究生, 从事森林培育研究。E-mail: Lixq_forestry@sina.com.cn
?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

生长正常，雄株，树高为 1.0~1.1 m，冠幅为 60 cm×80 cm。

1.3 研究方法

在 8 月中旬，采用 Li-6400 光合测定系统测定不同种源希蒙得木光合作用。选定 3 株与林分平均木大小相近，生长良好且无病虫害的植株作为样木，测定时采用树冠中部外围着生于枝条顶端的 4~6 对对叶片。在晴朗无云天气，于 8:00~18:00 每隔 2 h 测定光合速率，重复 6 次，并同步测定光合有效辐射强度、气温、空气相对湿度和气孔导度等。测试时尽可能保持叶片在植株上的自然受光态势。在控制光强的条件下，连续测定不同摩尔分数二氧化碳处理时叶片的光合速率，以及在控制二氧化碳摩尔分数的条件下，测定不同光强下叶片的光合速率。用 Li-6400-01 液化二氧化碳钢瓶提供不同的二氧化碳摩尔分数，Li-6400-02B 红蓝光光源提供不同的光合有效辐射强度。每一条件组合均在树冠不同方位重复测定。测定光合作用的同时，利用 Li-COR 棒状光照计在测点测定光照强度。

1.4 数据处理

1.4.1 光饱和点与补偿点 利用统计分析软件 SPSS10.0 分析光响应曲线，计算公式参考文献 [11]。

1.4.2 二氧化碳饱和点与补偿点 统计分析二氧化碳响应曲线时参考文献 [12]。

2 结果与分析

2.1 希蒙得木光合作用的日变化规律

在叶片发育成熟且处于生长旺季的 8 月中旬，选择晴好天气，对当地气温、光照强度、二氧化碳摩尔分数和空气湿度的日变化进行测定(图 1)。测定时间为 2006 年 8 月 17 日。由图 1 可以看出气温在 14:00~16:00 达到最大值；相对湿度呈现出早晚高，中午 12:00 最低；光合有效辐射在 14:00 达到最大值；二氧化碳摩尔分数在 8:00~18:00 总体为下降趋势。

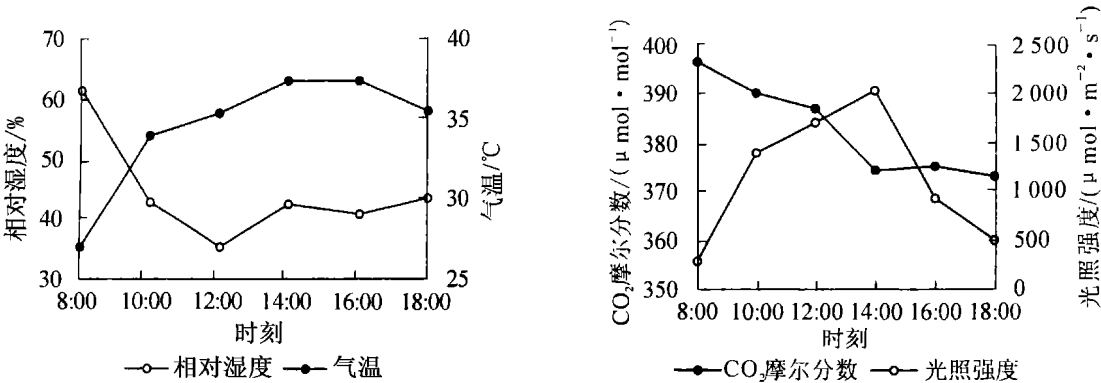


图 1 气温、二氧化碳摩尔分数、相对湿度和光照强度的日变化
Figure 1 Diurnal variation of air temperature, CO₂ concentration, relative humidity and PAR

于同一天内测定 2 个希蒙得木种源(Hyder 和 Vacaville)的日光合速率、蒸腾速率和气孔导度(图 2~4)。从图 2 中可以看出，2 个希蒙得木种源净光合速率的日变化规律相似，呈单峰曲线，光合日变化较为平稳，无光合“午休”现象发生，一天中净光合速率峰值出现在 10:00 左右。蒸腾速率(图 3)与光合速率间存在相似的变化趋势，峰值出现在 10:00~12:00，峰形接近，这一结果与蒸腾速率同样受叶片气孔调节有关。Vacaville 种源净光合速率和蒸腾速率均略高于 Hyder 种源。图 4 显示的是希蒙得木叶片气孔导度的日变化曲线，与图 2 对照可看出叶片气孔导度与叶片光合速率的日变化趋势有很强的正相关关系，呈平行变化趋势。这与许大全^[3]提出的光合速率对气孔导度具有反馈调节作用，在有利于叶肉细胞的光合时气孔导度增大，不利于光合时，气孔导度减小的看法一致。进一步对光合速率、蒸腾速率与环境因子进行相关分析(表 1)，影响 2 个种源的光合速率和蒸腾速率均表现出相似规律，即气孔导度是希蒙得木光合速率最大影响因子，其次为光照强度和空气温度，影响蒸腾速度最大的影响因子是光照强度，其次为气孔导度。

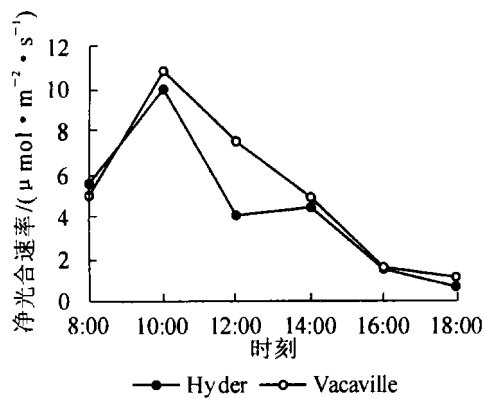


图 2 希蒙得木净光合速率日变化
Figure 2 Diurnal variation of net photosynthesis rate
in *Simmondsia chinensis*

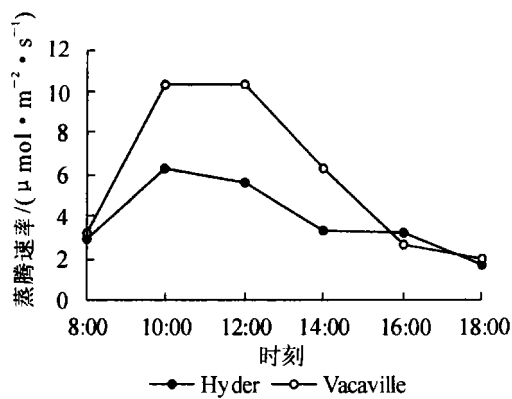


图 3 希蒙得木蒸腾速率日变化
Figure 3 Diurnal variation of transpiration rate
in *Simmondsia chinensis*

通常，用净光合速率与蒸腾速率的比值来表示水分利用效率^[4]。图 5 是 Hyder 和 Vacaville 这 2 个种源水分利用效率。从图 5 可知，Hyder 种源和 Vacaville 种源幼树叶片的日平均水分利用效率为 1.06 mmol·mmol⁻¹ 和 0.88 mmol·mol⁻¹。水分利用效率日变化均以早上 8:00 最高，然后逐渐下降，到 14:00 时略有所回升，最后再下降。Vacaville 种源水分利用效率低于 Hyder 种源。

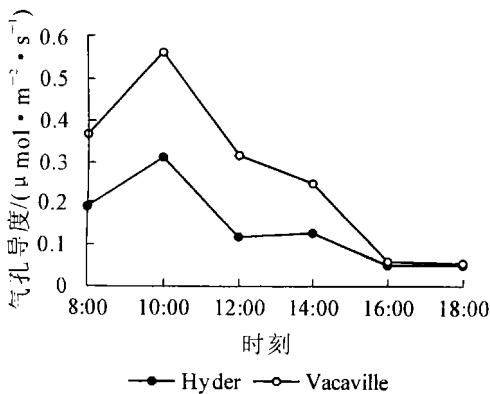


图 4 希蒙得木叶片气孔导度日变化
Figure 4 Diurnal variation of stomatal conductance
in *Simmondsia chinensis*

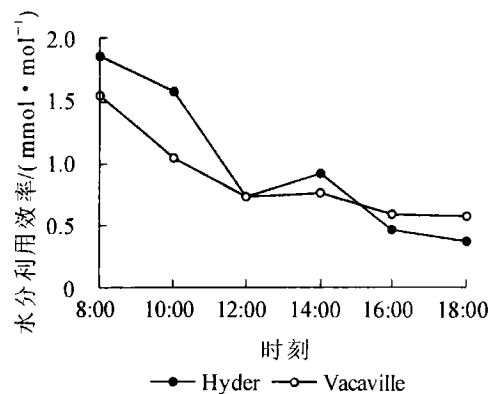


图 5 希蒙得木水分利用效率日变化
Figure 5 Diurnal variation of water use efficiency
in *Simmondsia chinensis*

表 1 希蒙得木净光合速率、蒸腾速率及环境因子的相关分析

Table 1 Correlation coefficients between net photosynthetic rate, transpiration rate and environmental factors in <i>Simmondsia chinensis</i>					
测定项目	气孔导度	空气湿度	空气温度	二氧化碳摩尔分数	光强强度
净光合速率(Hyder)	0.988 *	-0.119	-0.558	0.307	0.744
净光合速率(Vacaville)	0.951 *	-0.097	-0.539	0.359	0.728
蒸腾速率(Hyder)	0.687	-0.135	0.267	0.160	0.889 *
蒸腾速率(Vacaville)	0.745	-0.460	0.233	0.109	0.936 *

说明：*表示在 0.05 水平上显著相关。

2.2 希蒙得木光响应曲线

光照强度对植物的光合作用有显著的影响，不同生态型植物对光照的响应也不相同，其光合速率变化在强光和弱光下均有差异^[5]。2006 年 8 月 19 日对希蒙得木叶片光响应和二氧化碳响应进行测定(图 6 和图 7)。从图 6 中可以看出，希蒙得木 2 个种源光合速率变化趋势一致，Vacaville 种源的最大净光合速率略高于 Hyder 种源。根据叶片光响应曲线的数学模型，分别计算了不同种源希蒙得木叶片的光补偿点、光饱和点、表观量子效率和暗呼吸速率(表 2)。表 2 结果表明，2 个种源间仅光饱和点

差异达到显著水平。2 个种源的光补偿点相近，为 $31 \sim 35 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，光饱和点均高于 $1\,300 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，表观量子效率为 0.035 左右，表明希蒙得木是一种典型阳性的 C_3 植物。

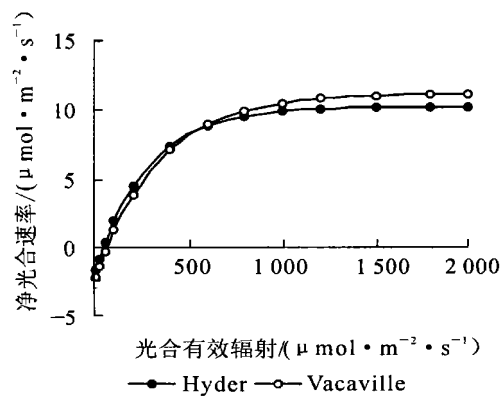


图 6 希蒙得木叶片光响应曲线

Figure 6 The light response curves of *Simmondsia chinensis*

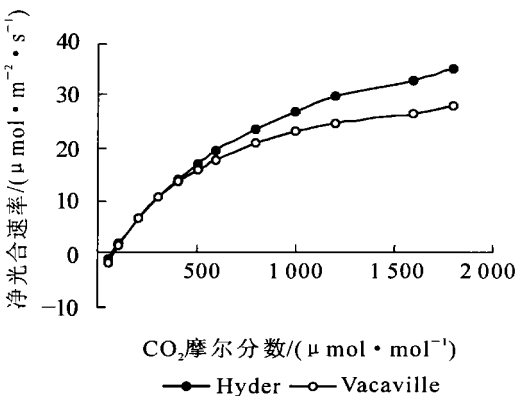


图 7 希蒙得木叶片二氧化碳响应曲线

Figure 7 Response of net photosynthetic rate of *Simmondsia chinensis* to different CO_2 concentrations

表 2 希蒙得木叶片光响应曲线模拟参数

Table 2 The fitted parameters for light response curves of *Simmondsia chinensis*

种源	最大净光合速率/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	表观量子 效率	光饱和点/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	光补偿点/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	暗呼吸速率/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
Hyder	$10.276\pm0.073\text{ a}$	$0.0373\pm0.032\text{ a}$	$1\,308.00\pm4\,21\text{ a}$	$31.00\pm2.81\text{ a}$	$1.152\pm0.14\text{ a}$
Vacaville	$11.206\pm0.367\text{ a}$	$0.0336\pm0.058\text{ a}$	$1\,592.00\pm2\,68\text{ b}$	$35.00\pm2.53\text{ a}$	$1.185\pm0.22\text{ a}$

说明：不同字母表示在 0.05 水平差异显著。

2 3 希蒙得木二氧化碳响应曲线

二氧化碳摩尔分数为 $0 \sim 1\,000 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ ，希蒙得木叶片净光合速率与二氧化碳摩尔分数呈线性相关；随着二氧化碳摩尔分数的升高，净光合速率趋于饱和；当超过二氧化碳饱和点后，净光合速率呈下降趋势(图 7)。根据二氧化碳摩尔分数部分测定的净光合速率数据，建立直线回归方程，计算 Hyder 种源和 Vacaville 种源的二氧化碳补偿点分别为 56 和 $62 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ ；Hyder 种源和 Vacaville 种源的二氧化碳饱和点分别为 725 和 $514 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ ，呼吸速率分别为 $4.616\,5$ 和 $5.946\,3 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，羧化效率分别为 0.081 4 和 0.094 6。蒋高明等^[19]研究表明，植物光合作用对二氧化碳的响应是在较低二氧化碳水平上最显著，而在二氧化碳较高的条件下，其光合作用很大程度上受到环境条件(如水分、养分、光照、植物生长空间)的影响。笔者的研究结果与此结论一致。

2 4 希蒙得木光能利用效率

光能利用效率是植物通过光合作用固定太阳能的效率，表现为一定光能下植物通过叶片光合组织固定的碳量，常常用植物对照在地面上的太阳能量的利用情况表示，即净光合速率与光照强度的比值。Hyder 种源和 Vacaville 种源的光能利用效率如图 8。从图 8 可知，希蒙得木向阳叶片的光能利用效率以早上 8:00 左右为最高。Hyder 和 Vacaville 2 个种源分别为 17.1 和 $18.9 \text{ mmol}\cdot\text{mol}^{-1}$ ，较鹅掌楸 *Liriodendron chinensis* 光能利用效率低^[19]。在 12:00~18:00 的光能利用效率比较低，因为此时光合速率下降，光照很强(图 1 和图 2)。从全天来看，Hyder 和 Vacaville 2 个种源幼树向阳叶片的光能利用效率平均为 5.641 和 $5.999 \text{ mmol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。

3 结论与讨论

在自然条件下，植物光合作用的日变化曲线大体上有 2 种类型：一种是单峰型，中午光合速率最高，另一种是双峰型，上午和下午各有一个高峰^[17]。光合作用日变化类型主要取决于光照、气温和

空气湿度等环境因子的综合作用,也与树种有关。希蒙得木在金沙江干热河谷地区夏季晴天光合速率日变化是单峰型。在测定环境因子日变化规律时,气孔导度的日变化曲线与净光合速率和蒸腾速率均表现为相似的规律,表明希蒙得木光合速率和蒸腾速率在很大程度上决定于气孔的活动状态。这一结论与前人对辽东栎 *Quercus liaotungensis*^[18], 红松 *Pinus koraiensis*^[19] 的光合特性研究结论一致。气孔作为气体交换的调节机构,其导度的变化可以影响光合作用,调节蒸腾作用^[20]。气孔的部分关闭可以提高植物的水分利用效率,使植物以有限的水分损耗换取尽可能大的二氧化碳同化量。气孔调节能力的有效程度是植物适应干旱逆境的重要方式,可作为评价植物抗旱性的重要指标^[21]。希蒙得木叶片气孔导度与叶片光合速率和蒸腾速率的日变化趋势有很强的正相关关系,呈平行变化趋势,气孔导度减小是引起叶片净光合速率下降的主要原因。同时在金沙江干热河谷地区 8 月中旬 10:00~16:00,希蒙得木叶片处于光抑制状态即光强大于光饱和点,持续的强光,使温度和蒸腾强度上升,造成水分代谢失调,相对湿度和气孔导度下降,抑制了参与光合过程的 Rubisco 酶的活性,导致光合速率下降^[22]。希蒙得木叶片具有通过调节气孔导度来降低光合速率和蒸腾速率的特性,这是对金沙江干热河谷地区气候的适应。

希蒙得木光合作用特性的野外测定(2006 年 8 月)结果表明,4 年生希蒙得木植株的二氧化碳补偿点为 $56 \sim 62 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$, 羧化效率为 $0.0814 \sim 0.0946$, 表明希蒙得木叶片内部的羧化酶活性较高。另外,希蒙得木的光补偿点为 $31 \sim 35 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 暗呼吸速率为 $1.15 \sim 1.18 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 光饱和点为 $1308 \sim 1592 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 这反映了希蒙得木喜光的光合特性。由于金沙江干热河谷地区夏季晴天的辐射很强,一天中光照强度大于 $1300 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 的时间长达 5~6 h,而希蒙得木幼树叶片的补偿点较低,因此,在希蒙得木苗期栽培和幼树管理过程中,可适当遮荫或间作,以减小水分蒸腾和提高光能利用效率。

长期生长在金沙江干热河谷的希蒙得木对所处的生态环境具有一定的适应性。在光合作用日变化中,随着光照强度的增强,气温升高,二氧化碳摩尔分数和空气湿度的降低,在 10:00 希蒙得木叶片净光合速率达到最高,然后逐渐降低。同时,叶片呼吸速率为 $4.6165 \sim 5.9463 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 不利于干物质积累。希蒙得木叶片净光合速率在 10:00 后也几乎呈直线下降。希蒙得木叶片最大净光合速率较高,但由于光呼吸也较高,表现出生长较慢的特性。植物初级生产力的高低基本上取决于光合生产力和呼吸消耗的大小,而光合生产力的大小又以光合器官的光合速率高低、光合面积和光合功能期的长短为转移^[23],以光能利用效率来评价森林的群落结构、功能比用生产力更为确切和合理^[24]。在 12:00 以前,Hyder 种源的水分利用效率高于 Vacaville 种源,而且在 10:00 前,Hyder 种源的光能利用效率也略高于 Vacaville 种源,表明 Hyder 种源较 Vacaville 种源适应性强。

致谢:得到四川农业大学林学院园艺学院研 2005 级刘闯和研 2006 级李仁洪同学的帮助,特此感谢。

参考文献:

- [1] PAUL H T. *Jjoba Handbook* [M]. 3rd. Bonsall: Bonsall Publications, 1982.
- [2] JAIME W. *The Chemistry and Technology of Jjoba Oil* [M]. Champaign: American Oil Chemists' Society, 1987.
- [3] NAQVI H H, GOLDSTEIN G, RATNAYAKA C. Jjoba breeding and agronomic investigations at uc riverside [C] // BALDWIN A R. *Seventh International Conference on Jjoba and Its Uses*. Champaign: American Oil Chemists' Society, 1988: 395-410.
- [4] 曹兵,高捍东.希蒙得木的扦插繁殖技术[J].南京林业大学学报:自然科学版,2003,27(4):62-66.
- [5] 杨其昌,王季勋.希蒙得木栽引种培研究[J].四川林业科技,1989,10(4):5-13.
- [6] 张根发,高晓光,梁前进.“好好芭”种子实生苗茎节无性系建立及其遗传差异[J].北京师范大学学报:自然科学版,2000,36(1):101-105.

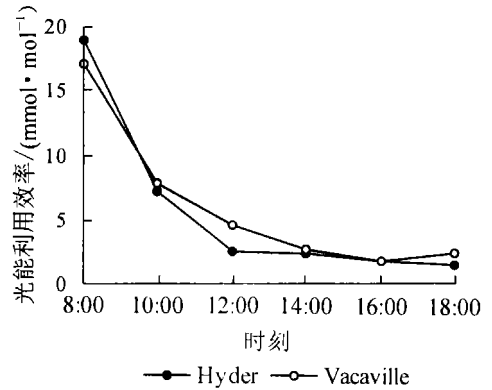


图 8 希蒙得木光能利用效率

Figure 8 Diurnal variation of the solar energy utilization efficiency (SUE) in *Simmondsia chinensis*

[7] 朱大业, 雷瑞英. 用模糊原理确定浩浩巴引种布局的探讨[J]. 中南林学院学报, 1990, 10 (2): 171—178.

[8] 徐进, 王玉珍, 罗景兰. 硝酸镧对霍霍巴多芽苗生长的促进作用及植株再生[J]. 天然产物研究与开发, 2004, 16 (6): 565—568.

[9] 朱大业, 雷瑞英, 杨百荣, 等. 浩浩巴引种试验研究[J]. 中南林学院学报, 1991, 11 (2): 142—148.

[10] 李纯, 黄立铨, 江新能, 等. 浩浩巴生物学特性的研究初报[J]. 广西植物, 1994, 14 (2): 160—162.

[11] GRAHAM D F. Models of photosynthesis[J]. *Plant Physiol.*, 2001, 125: 42—45.

[12] OLSSON T, LEVERENZ J W. Non-uniform stomatal closure and the apparent convexity of the photosynthetic photon flux density response curve[J]. *Plant Cell Environ.*, 1994, 17: 701—710.

[13] 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.

[14] 郭志华, 王伯荪, 张宏达. 银杏的蒸腾特性及其对遮荫的响应[J]. 植物学报, 1998, 40 (6): 567—572.

[15] 蒋高明, 渠春梅. 北京山区辽东栎林中几种木本植物光合作用对 CO₂ 浓度升高的响应[J]. 植物生态学报, 2000, 24 (2): 204—208.

[16] 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.

[17] 许大全. 光合作用“午睡”现象的生态、生理与生化[J]. 植物生理学通讯, 1990, 26 (6): 5—10.

[18] 蔺琛, 马钦彦, 韩海荣, 等. 山西太岳山辽东栎的光合特性[J]. 生态学报, 2002, 22 (9): 1 399—1 406.

[19] 杨金艳, 范晶. 红松光合特性对 CO₂ 浓度升高的响应[J]. 东北林业大学学报, 2004, 32 (6): 16—18.

[20] 应叶青, 吴家胜, 戴文圣, 等. 桧木苗期光合特性研究[J]. 浙江林学院学报, 2004, 21 (4): 366—370.

[21] 马焕成, 吴延熊, MCCONCHIE J A. 元谋干热河谷几种外来树种在旱季的光合特点[J]. 浙江林学院学报, 2001, 18 (1): 46—49.

[22] 郑炳松, 郑勇平, 余有祥, 等. 仙客来叶片光合特性及其与环境因子的关系[J]. 浙江林学院学报, 2001, 18 (4): 366—370.

[23] 许大全. 光合作用效率[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2002: 163—170.

[24] 蚁伟民, 张祝平, 丁明懋, 等. 鼎湖山格木群落的生物量和光能利用效率[J]. 生态学报, 2000, 20 (2): 397—403.

Photosynthetic characteristics of *Simmondsia chinensis* in
the arid-hot valley of the Jinsha River

LI Xiao-qing^{1,2}, GAO Han-dong¹, CAO Xiao-jun², LI Rong-wei², WANG Zhun², WANG Xiao-ling³

(1. College of Forestry and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China;
2. Sichuan Academy of Forestry, Chengdu 610081, Sichuan, China; 3. Xichang Technology School of Forestry,
Xichang 615000, Sichuan, China)

Abstract: The photosynthetic characteristics of leaves from two provenances (Hyder Valley of America and Vacaville of Israel) of four-year-old *Simmondsia chinensis* (jojoba) plantations in the arid-hot valley of the Jinsha River in Huidong County of Sichuan Province were studied using the Li-6400 portable photosynthesis system. Results showed that the CO₂ compensation point was 56—62 μmol m⁻¹, carboxylation efficiency was 0.081 4—0.094 6, dark respiration was 1.15—1.18 μmol °m⁻² °s⁻¹, the light compensation point was 31—35 μmol °m⁻² °s⁻¹, the light saturation point was 1 308—1 592 μmol °m⁻² °s⁻¹, and the apparent quantum efficiency was between 0.033 and 0.037 indicating that *S. chinensis* was a C₃ plant. The diurnal variation of the net photosynthetic rate on sunny days in August was one smooth-peaked curve. In addition, the solar energy utilization efficiency was 5.641—5.999 mmol °mol⁻¹, and water use efficiency was about 1.0 mol °mmol⁻¹. [Ch, 8 fig, 2 tab, 24 ref.]

Key words: botany; *Simmondsia chinensis* (jojoba); photosynthetic characteristics; arid-hot valley