

红麻和白麻光合特性研究

张永霞¹, 李国旗^{2*}, 闫伟兄³, 谢亚军¹, 朱莉¹, 万海霞¹, 张浩¹

(1. 宁夏大学 生命科学学院, 宁夏 银川 750021; 2. 宁夏大学西北退化生态系统恢复与重建省部共建教育部重点实验室, 宁夏 银川 750021; 3. 内蒙古生态与农业气象中心, 内蒙古 呼和浩特 010051)

摘要: 用 CIRAS-1 便携式光合测定仪分别测定红麻和白麻的光合参数。结果表明: 红麻和白麻的光合日变化均为典型双峰曲线, 主峰值出现在上午 10:00 左右, 次峰出现在下午 14:00, 具有明显的光合“午休”现象。红麻和白麻的净光合速率(P_n)随光合有效辐射(PAR)的增加而迅速升高, 光补偿点(LCP)分别为 $84.9 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 和 $85.8 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 光饱和点(LSP)分别为 $1860 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 和 $1618 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。红麻和白麻 CO_2 补偿点分别为 $74.8 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 和 $49.3 \mu\text{mol}/\text{mol}$; CO_2 饱和点分别为 $1597 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 和 $1737 \mu\text{mol}/\text{mol}$, 这表明白麻对高浓度的 CO_2 适应能力和利用能力比红麻强。

关键词: 红麻; 白麻; 光合特性; 净光合速率; 日变化

中图分类号: S563.01 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)02-0102-04

红麻和白麻通称为罗布麻(dogbane), 多年生半灌木植物, 属于夹竹桃科(*Apocynaceae*), 是我国北方分布较广的一种野生资源植物^[1]。近年来罗布麻的开发利用价值越来越受到人们的重视, 目前对罗布麻的研究主要集中在药用价值和化学成分、纺织价值、人工栽培技术等方面^[2]。而专门对罗布麻光合生理方面的研究尚未见报道, 为了进一步开发利用野生植物资源并了解罗布麻生理特性, 有必要对罗布麻的光合特性进行研究。本文着重研究在自然条件下红麻和白麻光合生理特性, 以探讨光合有效辐射、蒸腾速率、气孔导度等生理生态因子对其光合作用的影响, 旨在为今后罗布麻人工栽培提供理论指导。

1 材料与方 法

供试材料为野生红麻(*A. Venetum L*)和白麻(*P. pictum Baill*), 测定地点位于宁夏银川市新市区。于 2006 年 9 月中旬, 用英国 PP-systems 公司生产的 CIRAS-1 便携式光合测定仪分别测定红麻和白麻光合参数。

选取红麻和白麻长势均一的成熟叶片, 在晴朗天气从 8:00~18:00, 每隔 2 h 测定 1 次光合参数, 由测定仪自动输出数据, 分别取 3 株, 每株重复 5 次, 取平均值。测定过程中, 在每个光强下稳定 3 min 后开始采集数据。

光合速率为零时的光强为光补偿点, 光合速率最大时的光强为光饱和点。在 CO_2 浓度为 $380 \sim$

$400 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 、温度在 $25^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$ 条件下, 光响应曲线用 CIRAS-1 型光合测定系统的自动可调光源, 在光强(PAR) $0 \sim 2000 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 范围内, 制作 P_n -PAR 响应曲线, 拟合出 P_n -PAR 回归方程, 根据方程求出各品种的光补偿点(LCP)和光饱和点(LSP)。光合速率为零时的 CO_2 浓度为 CO_2 补偿点, 光合速率最大时的 CO_2 浓度为 CO_2 饱和点。

光强控制在 $1200 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 温度在 $25^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$, CO_2 浓度在 $0 \sim 1800 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 条件下制作 P_n - CO_2 响应曲线, 拟合出 P_n - CO_2 回归方程, 根据方程求出红麻和白麻的 CO_2 补偿点(CCP)和 CO_2 饱和点(CSP)。求得 P_n - CO_2 响应曲线的初始斜率下的羧化效率(CE)。

2 结果与分析

2.1 红麻和白麻光合速率的日变化规律

2.1.1 光合速率(P_n)日变化 如图 1 所示, 红麻和白麻的光合速率(P_n)日变化呈典型的双峰型曲线, 有明显的光合“午休”现象。在 10:00 和 14:00 分别出现一高峰, 白麻 P_n 值分别为 $11.69 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 和 $11.38 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 红麻 P_n 值分别为 $10.89 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 和 $3.45 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 且下午比上午的峰值略低。上午 10:00 达到最高峰, 此时光合有效辐射(PAR)在 $1200 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 左右; 随着光合有效辐射的增强, 净光合速率开始下降, 于 12:00 下降到最低值, 此时的光合有效辐射在 1500

收稿日期: 2007-06-20

基金项目: 教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-05-0896); 国家林业局“948”项目(2004-04-10)

作者简介: 张永霞(1979-), 女, 宁夏隆德人, 硕士研究生, 从事植物生理生态研究工作。E-mail: zhyxia1202@163.com.

* 通讯作者: 李国旗(1965-), 男, 副研究员, 在职博士后, 主要从事植物生态学研究。E-mail: guoqilee@sohu.com.

$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 左右;14:00 出现第二次高峰,之后随时间推移及光合有效辐射的下降, P_n 呈下降趋势,18:00 为全天最低值。总体上看,白麻全天的 P_n 明显大于红麻。

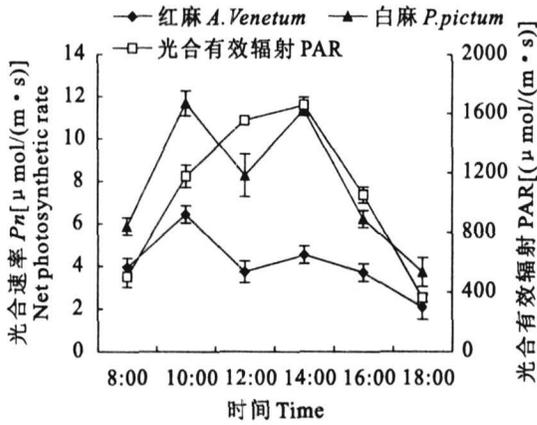


图 1 红麻和白麻光合速率与光合有效辐射日变化
Fig.1 The diurnal changes of P_n and PAR of *A. Venetum* and *P. pictum*

2.1.2 胞间 CO_2 浓度 (C_i) 日变化 如图 2 所示,胞间 CO_2 浓度 (C_i) 日变化呈单谷型曲线,从 8:00~10:00 开始迅速下降,10:00 以后缓慢下降,至 14:00 降到最低,白麻于 14:00 的最低值为 $222 \mu\text{mol}/\text{mol}$,红麻最低值为 $204 \mu\text{mol}/\text{mol}$,以后 C_i 呈逐渐上升趋势。全天胞间 CO_2 浓度变化范围在 $200 \sim 350 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 之间。从图 2 可以看出,中午前后红麻和白麻胞间 CO_2 浓度均低于早上和下午的,说明红麻和白麻 P_n 的“午休”现象可能是由于胞间 CO_2 浓度降低而引起的。红麻和白麻胞间 CO_2 浓度变化趋势相似,12:00 的 C_i 白麻明显大于红麻的,总体上白麻 C_i 高于红麻的。

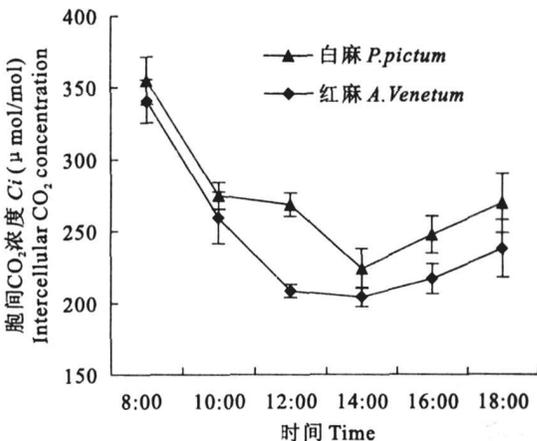


图 2 红麻和白麻胞间 CO_2 浓度日变化
Fig.2 The diurnal changes of intercellular CO_2 concentration (C_i) of *A. Venetum* and *P. pictum*

2.1.3 蒸腾速率 (T_r) 日变化 从图 3 可以看出,红麻和白麻蒸腾速率 (Transpiration rate, T_r) 均为单峰型曲线。8:00 以后,光照和温度逐渐增强,叶内外气压梯度增加,蒸腾速率逐渐增大,于 12:00 达到全天最高峰,此时,白麻最大值为 $7.87 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,红麻最大值为 $2.40 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,12:00 以后 T_r 缓慢下降,14:00 以后白麻 T_r 迅速降低,而红麻的降幅仍然缓慢,18:00 降至全天的最低值,白麻 T_r 为 $1.40 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,红麻 T_r 值为 $0.43 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。全天中白麻 T_r 值明显高于红麻的,全天白麻蒸腾速率 (T_r) 的均值比红麻高 68%。

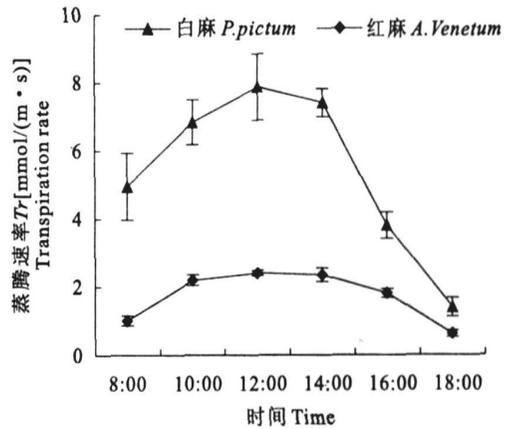


图 3 红麻和白麻蒸腾速率日变化
Fig.3 The diurnal changes of transpiration rate of *A. Venetum* and *P. pictum*

2.1.4 气孔导度 (G_s) 日变化 如图 4 所示,红麻和白麻气孔导度 (G_s) 在一日中总体呈下降趋势,10:00 出现一高峰。红麻峰值为 $139.5 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,白麻峰值为 $365.6 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,10:00 以后开始逐渐下降。全天的气孔导度值白麻高于红麻。其变化规律与高温、强光等环境因素影响有关。中午高温和光强导致叶温迅速增高,叶片内外蒸气压梯度增加,蒸腾速率加快,迫使整个叶片水势下降,叶片中的脱落酸含量增加,从而引起气孔的关闭,气孔导度下降,进入叶片的 CO_2 减少。

2.2 光合—光响应曲线

在温度 $25^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$, 大气 CO_2 浓度为 $380 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 的条件下的光响应曲线如图 5 所示,在一定的光强范围内,红麻和白麻的光合速率均随着光强的增加而增加,光强在 $200 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 以下,光合速率 (P_n) 呈线性上升, $200 \sim 1000 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 之间仍上升较快,达到 1000 后缓慢上升。当光强达到一定值时(光饱和点),净光合速率 (P_n) 不再增加而呈饱和状态;光强过高时红麻和白麻净光合速

率都有不同程度的降低,这种变化趋势呈二次曲线关系,二次回归方程分别为红麻 $Y = -0.000007x^2 + 0.026041x - 2.0009$, $R^2 = 0.9928$; 白麻为 $Y = -0.000006x^2 + 0.019424x - 0.274452$, $R^2 = 0.9819$ 。由二次拟合方程计算得到红麻和白麻光饱和点(LSP)分别为 $1860 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 和 $1618 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 红麻光饱和点明显高于白麻的。由直线回归得到光补偿点(LCP)分别为 $84.9 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 和 $85.8 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 红麻的光补偿点略低。

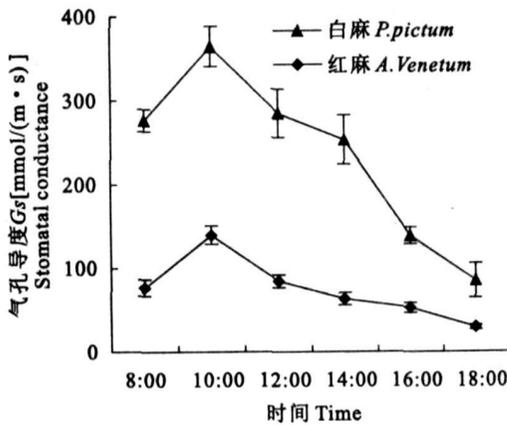


图 4 红麻和白麻气孔导度日变化

Fig. 4 The diurnal changes of stomatal conductance of *A. Venetum* and *P. pictum*

CO_2 变化趋势也呈二次曲线,红麻和白麻的拟合方程分别为: $y = -0.000008x^2 + 0.031874x - 2.2040$, $R^2 = 0.9981$; $y = -0.000012x^2 + 0.041676x - 0.801357$, $R^2 = 0.9933$ 。红麻和白麻 CO_2 补偿点(CCP)分别为 $74.8 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 和 $49.3 \mu\text{mol}/\text{mol}$; CO_2 饱和点(CSP)分别为 $1597 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 和 $1737 \mu\text{mol}/\text{mol}$; 羧化效率分别为 0.033 和 0.049 ; 白麻的 CO_2 利用范围大于红麻的利用范围,白麻具有较高的 CO_2 饱和点,说明其对高浓度 CO_2 适应能力和利用能力比红麻强。

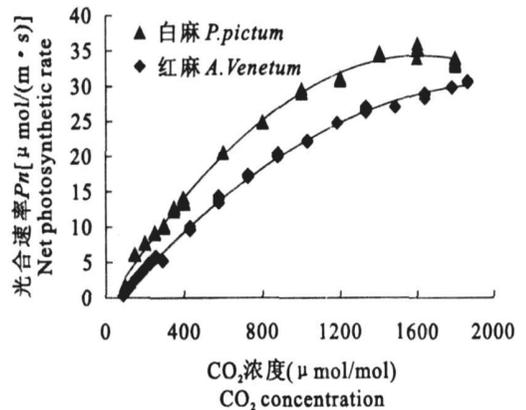


图 6 红麻和白麻光合- CO_2 响应曲线

Fig. 6 The effect of CO_2 concentration and photosynthetic rate of *A. Venetum* and *P. pictum*

3 讨论

光照、温度、 CO_2 浓度等任何一个环境因子的变化,可通过 Rubisco 活力和气孔导度等内部因子的作用,使光合速率也随之改变^[4]。由于影响植物光合特性的主要生态因子光照强度、湿度和大气 CO_2 浓度等在一天中呈明显的日变化规律,植物的光合速率、蒸腾速率等生理生态特性也呈现出不同的日变化规律,这种变化因植物种类、生物学特性和生态因子的不同而异^[5]。红麻和白麻光合速率日变化呈明显的双峰曲线,中午出现光合午休现象,且午休时间较长。关于产生光合“午休”的原因,有研究者认为,“午休”现象的产生与环境因子、生理生化因子等多方面因素有密切关系^[6,7],而且在不同的环境条件下,引起光合作用午间降低的原因也不同^[8]。也有人认为^[9],在中午时分,气温高、蒸腾速率强,叶片水分减少,气孔关闭,造成光合作用原料即胞间 CO_2 浓度降低,净光合速率下降。本文的研究结果证实:罗布麻的光合“午休”主要有以下两个原因引起:第一,午间气孔开度减小而引起光合“午休”;第二,胞间 CO_2 浓度午间较低导致其净光合速率出现

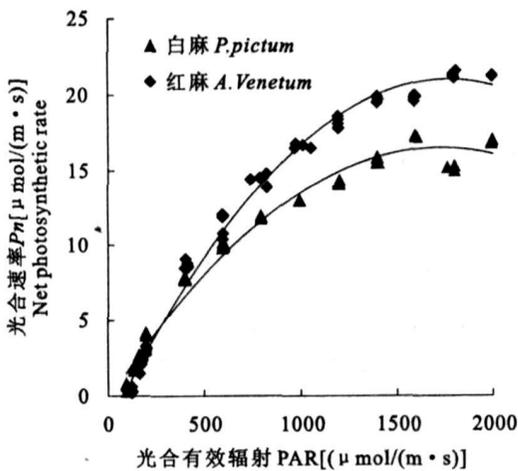


图 5 红麻和白麻光合-光响应曲线

Fig. 5 The effects of light intensities on net photosynthetic rate of *A. Venetum* and *P. pictum*

2.3 光合- CO_2 响应曲线

如图 6 所示, $P_n - \text{CO}_2$ 响应曲线与 $P_n - \text{PAR}$ 响应曲线变化相似,光合速率随 CO_2 浓度的升高而增加;当达到饱和点时,光合速率达到最大值。 P_n

光合“午休”现象。

一般野生草本植物的光饱和点(LSP)为 $1\ 000 \sim 1\ 500 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 光补偿点(LCP)为 $10 \sim 40 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ^[10]。红麻和白麻的LSP分别为 $1\ 860 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 和 $1\ 618 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, LCP分别为 $84.9 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 和 $85.8 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。红麻和白麻的LSP和LCP比一般野生植物高,说明其对强光的耐受能力强。相比而言,红麻利用强光的能力比白麻强,能够利用很高的光强。红麻的CO₂补偿点(CCP)和饱和点(CSP)均比白麻的低,这表明红麻比白麻适合低CO₂浓度环境条件。过高的CO₂浓度对红麻和白麻的光合作用的抑制作用也很大。P_n的下降可能是叶片中同化物来不及运输从而积累,反馈抑制光合作用^[11]。

参考文献:

- [1] 胡瑞林,钱学射,王 李. 罗布麻在陕西关中引种适应性的研究[J]. 西北植物学报, 2002, 22(7): 57-67.
- [2] 赵秀芳,赵彦杰. 罗布麻的开发利用价值及栽植技术[J]. 中国水土保持, 2005, 10: 42-43.
- [3] 郑 佳,王 尧. 银川平原水资源承载力的初步研究[J]. 宁夏大学学报(自然科学版), 2006, 27(1): 80-83.

- [4] Lan Y, Woodrow I E, Mott K A. Light-dependent changes in bulose bisphosphate carboxylase activase activity in eaves [J]. Plant Physiology, 1992, 99: 304-309.
- [5] 任 军,范丽颖,郭继勋,等. 花椒幼苗光合特性及影响因子分析[J]. 东北师大学报(自然科学版), 2006, 38(2): 96-100.
- [6] 何文兴,易 津,李洪海. 根茎禾草乳熟期净光合速率日变化的比较研究[J]. 应用生态学报, 2004, 15(2): 205-209.
- [7] Kuppets M, et al. Carbon fixation in eucalypts in field analysis of diurnal variations in photosynthetic capacity [J]. Oecologia, 1986, 70: 273-282.
- [8] Xu D Q, Shen Y K. Midday depression of photosynthesis [A]. Pessaraki M. Handbook of Photosynthesis [C]. New York: Marce Dekker, 1997. 451.
- [9] 蒋高明. 毛乌素沙地若干植物光合作用、蒸腾作用和水分利用效率间及生境间差异 [J]. 植物学报, 1999, 41(10): 1114-1124.
- [10] 王满莲,韦 霄,蒋运生,等. 野生与栽培黄花蒿净光合速率对光强和CO₂浓度的响应 [J]. 热带亚热带植物学报, 2007, 15(1): 45-49.
- [11] Koch K E, Wu Y, Xu J. Sugar and metabolic regulation of genes for sucrose metabolism: potential influence of maize sucrose synthase and soluble invertase responses on carbon partitioning and sugar sensing [J]. J Exp Bot, 1996, 47: 1179-1185.

A study on photosynthetic characteristics of *Apocynum Venetum L* and *Poacynum pictum Baill*

ZHANG Yong-xia¹, LI Guo-qi^{2*}, YAN Wei-xiong³, XIE Ya-jun¹, ZHU Li¹, WAN Hai-xia¹, ZHANG Hao¹

(1. Life Sciences School, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China;

2. Key Laboratory of Degraded Ecosystem Restoration and Rehabilitation in Northwest China, Ministry of Education, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China;

3. Inner Mongolia Ecology and Agrometeorology Centre, Hohhot, Inner Mongolia 010051, China)

Abstract: The photosynthetic parameters of dogbane(including *Apocynum venetum L* and *Poacynum pictum Baill*) were measured with CIRAS-1 portable photosynthesis system in the sunshine days of September. The results showed that the diurnal change of photosynthesis rate(P_n) of dogbane displays a double peak manner thus suffering a noon inhibition. Their first peak occurred at 10:00 AM while the second peak appeared at 14:00 PM. The net photosynthetic rate(P_n) of dogbane increases rapidly with the rising of Photosynthetic Active Radiation(PAR). The light compensation point (LCP) of *A. Venetum* and *P. pictum* are $84.9 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ and $85.8 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ respectively for mature leaves, and the light saturation point (LSP) is $1\ 860 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ and $1\ 618 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ respectively. The CO₂ compensation point (CCP) of *A. Venetum* and *P. pictum* is 74.8 and $49.3 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, respectively, and the CO₂ saturation point (CSP) are $1\ 597 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, and $1\ 737 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, which demonstrates that *P. pictum* is adapted to higher CO₂ concentration than *A. Venetum*.

Key words: *Apocynum Venetum L*; *Poacynum pictum Baill*; photosynthetic characteristics; net photosynthetic rate(P_n); diurnal changes