

岩黄连光合与蒸腾特性及其对光照强度和 CO₂ 浓度的响应

韦记青, 蒋水元, 唐辉, 蒋运生, 漆小雪, 王满莲

(广西壮族自治区 广西植物研究所, 广西 桂林 541006)
中国科学院

摘要: 采用 LI-6400 便携式光合测定系统(Li-Cor Inc., USA)对岩黄连叶片的气体交换进行了测定。结果表明:(1)岩黄连叶片的光饱和点(LSP)为 329.18 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右,光补偿点(LCP)为 12.76 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,最大净光合速率为 2.96 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,暗呼吸速率(Rd)为 0.17 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。光饱和点和光补偿点都比效低,表明岩黄连对光照的要求不高,属于阴生植物。(2)4月份,岩黄连 Pn 随 CO₂ 浓度升高而逐渐增大。当 CO₂ 浓度由 50 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 增加到 600 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$, Pn 几乎呈直线上升,600~1 000 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 范围内逐渐缓和,到 1 000 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 以后 Pn 变化平稳。由曲线估算 CO₂ 饱和点(CSP)大约在 1 000 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 左右。CO₂ 的补偿点为 68.80 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。羧化效率为 0.030 8 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。(3)岩黄连叶片水分利用率(WUE)随有效光辐射强度(PAR)的增强呈抛物线状变化,PAR 在 200 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 内呈直线上升,到 200 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时 WUE 达最大值,大于 200 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 后 WUE 呈逐渐下降趋势。

关键词: 净光合速率; 水分利用效率; 光响应曲线; CO₂ 响应曲线

中图分类号: Q945.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2006)03-0317-04

Photosynthetic and transpiration characteristics of *Corydalis saxicola* and its response to light intensity and concentration of CO₂

WEI Ji-qing, JIANG Shui-yuan, TANG Hui, JIANG Yun-sheng,
QI Xiao-xue, WANG Man-lian

(Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuangzu Autonomous Region and Academia Sinica, Guilin 541006, China)

Abstract: The gas exchange of *Corydalis saxicola* was measured in the field with Li-6400 Portable Photosynthesis (Li-Cor Inc., USA). The results were as follows: The light saturation point, light compensation point, maximum photosynthetic rate, and respiration rate for the leaf of *Corydalis saxicola* were 329.18 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 12.76 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 2.96 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ and 0.17 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, respectively. The light saturation and compensation point were low. This indicated that *C. saxicola* was adapted to weak light, it's a shade plant. The net photosynthetic rate of *C. saxicola* increased with the raising of the concentration of CO₂ in April. The net photosynthetic rate increased linearly when the concentration of CO₂ was in 50 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ to 600 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$, after that, it increased slowly while the concentration of CO₂ increased to 1 000 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$. It could be estimated from the A-Ci curve that the CO₂ saturation and compensation point and the maximum carboxylation rate were 1 000 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$, 68.80 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ and 0.030 8 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ respective-

收稿日期: 2006-01-16 修回日期: 2006-04-11

基金项目: 广西科技攻关项目(桂科攻 0235022-5)[Supported by Key Technologies Research and Development of Guangxi (0235022-5)]

作者简介: 韦记青(1968-),女,广西桂林人,工程师,主要从事植物引种驯化和科研管理工作。

ly. The water use efficiency (WUE) of *C. saxicola* varied with the parabola model while the PAR increased. It increased linearly with the increasing of PAR till the PAR was $200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ and then decreased gradually.

Key words: net photosynthetic rate; water use efficiency; A-PAR curve; A-Ci curve.

光合与蒸腾特性及水分利用率是植物重要的生态生理参数,对药材栽培及管理具有重要的理论指导意义(张劲松,2004)。岩黄连(*Corydalis saxicola* Bunting)又名石生黄堇,为紫堇科紫堇属多年生草本植物。全草含脱氢卡维汀(岩黄连碱)等活性成分;具有显著的抗菌、消炎、镇痛和强安定作用,并有抑制肿瘤细胞作用;主治肝炎、肝硬化、肝癌等症(广西壮族自治区卫生厅,1990)。对于岩黄连的研究主要集中在有效成分(柯珉珉等,1982)、药理作用(陈重阳等,1984)和引种栽培(蒋水元等,2002)上,而对其光合特性方面至今未见报道。为此,作者于2005年4月对广西植物研究所引种栽培的岩黄连进行了气体交换测定,旨在了解岩黄连的光合与蒸腾特性,为岩黄连高产优质栽培提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地自然概况

试验设在广西植物研究所试验地内。位于 $110^{\circ}12' \text{E}$, $25^{\circ}11' \text{N}$,海拔 170 m,属中亚热带季风气候区。据气象观测资料,年平均气温为 19.2°C ,绝对最高气温为 40.0°C ,绝对最低气温为 -6°C ,冬季有霜冻,月平均气温高于 20°C 有 6~7 个月;年均降雨量为 1 865.7 mm,年平均相对湿度 78%。

1.2 试验材料

本试验研究对象是岩黄连一年生植株,大叶岩黄连类型,原种子采自贵州。以 1:1 的火土和肥泥的混合物作基质,2004 年 7 月中旬播种于花盆内,发芽至 2 cm 后,每个花盆保留一株。随后进行正常的肥水管理和病虫害防治。4 月下旬开始测定各个指标。平均株高 40.5 cm,平均冠幅 $60.5 \text{ cm} \times 58.2 \text{ cm}$ 。随机选择 4 盆生长状况良好的植株,并选取植株成熟叶片为测定对象,每株一片,4 次重复。

1.3 测定项目和方法

采用美国 Li-cor 公司生产的 LI-6400 便携式光合作用测定系统进行所有气体交换参数测定。LI-6400 便携式光合作用测定系统是一个开路系统,光合作用和蒸腾作用的测量基于流经叶室的气流中 CO_2 和 H_2O 差异,在实验中可以控制所有相关的环

境条件。该系统带有 CO_2 注射器,可对叶室提供一稳定可调的 CO_2 气源。本研究使用液化 CO_2 钢瓶提供不同 CO_2 浓度;采用 LI-6400-02B 红蓝光源提供不同的光合有效辐射强度。

1.3.1 光响应曲线测定 设定叶温为 25°C , CO_2 浓度为 $360 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$,分别在 $0 \sim 1\,500 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (内置光源)光强范围内测定光合作用光响应动态。在设置最大和最小等待时间后,由仪器自动记录数据。同样随机选择生长良好的健康成熟叶片进行 4 次重复测定。现国际上光强单位都采用 $\mu\text{mol} \cdot \text{Photons} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,而不采用传统的光强单位 lux ($1 \mu\text{mol} \cdot \text{photons} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 大约等于 52 lx)。光合速率的单位采用 $\mu\text{mol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,而不采用 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ($1 \mu\text{mol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} = 1.58 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)。

1.3.2 CO_2 响应曲线测定 设定叶温为 25°C ,有效光辐射强度 (PAR) 控制在为 $600 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,参比室 CO_2 浓度从 $400 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 降到 $0 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$,然后再从 $0 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 升至 $1\,200 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$,共设置 10 个浓度水平。随机选择生长良好的健康成熟叶片进行 4 次重复测定。

1.4 数据分析方法与计算

(1) 光饱和点 (LSP)、最大净光合速率 P_{max} 和光补偿点 (LCP) 的计算:以光量子通量密度 (PFD) 为横轴、 P_n 为纵轴绘制光合作用光响应曲线 (P_n -PFD 曲线),用 Bassman 和 Zwier (1991) 的方法拟合 P_n -PFD 曲线方程: $P_n = P_{\text{max}}(1 - C_0 e^{-\Phi \text{PFD}/P_{\text{max}}})$,求得最大净光合速率 P_{max} 。

P_{max} 为最大净同化速率, Φ 为弱光下光化学量子效率, C_0 为度量弱光下净光合速率趋于 0 的指标。通过适合性检验,拟合效果良好,然后用下式计算光补偿点 (LCP): $\text{LCP} = A_{\text{max}} \ln(C_0) / \Phi$

假定 A 达到 A_{max} 的 99% 的 PFD 为光饱和点 (LSP),则: $\text{LSP} = A_{\text{max}} \ln(100 C_0) / \Phi$

(2) 根据实测参数的平均值作 CO_2 响应曲线,求得的数据求得 CO_2 饱和点 (CSP) 和补偿点 (Γ) 等气体交换参数。

(3) 以净光合速率 (P_n) 与蒸腾速率 (E) 的比值作为水分利用效率 (WUE, $\mu\text{mol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{H}_2\text{O}$) 指标。

2 结果与分析

2.1 光合速率(Pn)对光照强度的响应

从光合作用对不同 PPFD 的光响应动力学(图 1)可看出:在光强低于 100 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, Pn 随光强的增大呈线性上升, 超过该光强以后, Pn 上升的幅度逐渐减小, 直至达到最大光合速率, 即光饱和和光合速率(P_{max})。计算求得岩黄连光饱和点(LSP)为 329.18 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右, 光补偿点(LCP)为 12.76 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 最大净光合速率为 2.96 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 暗呼吸速率(Rd)为 0.17 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

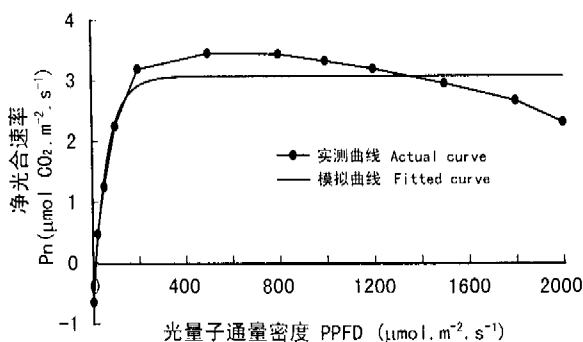


图 1 光强对岩黄连叶片光合速率的影响

Fig. 1 Effect of PAR on net rate of photosynthesis (Pn) of leaves in *Corydalis saxicola*

2.2 净光合速率(Pn)对 CO₂ 浓度的响应

从岩黄连光合作用的 CO₂ 响应曲线可见(图 2), 4 月份岩黄连 Pn 随 CO₂ 浓度升高而逐渐增大。当 CO₂ 浓度由 50 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 增加到 600 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$, Pn 几乎呈直线上升, CO₂ 浓度从 600~1 000 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 范围内, Pn 变化逐渐缓和, CO₂ 浓度到 1 000 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 以后, Pn 变化平稳。由曲线估算 CO₂ 饱和点(CSP)大约在 1 000 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 左右。CO₂ 的补偿点为 68.80 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。羧化效率为 0.030 8 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

2.3 光照强度和 CO₂ 浓度对叶片蒸腾速率的影响

蒸腾作用快慢取决于植物叶内外的蒸汽压差大小, 凡影响叶内外蒸汽压差的外界条件都会影响蒸腾作用。光照和叶外空气湿度是影响蒸腾作用的主要外界条件。从图 3 可见:在 CO₂ 浓度为 360 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 、温度为 25℃ 时, 岩黄连叶片蒸腾速率 Tr 随光照强度的增强, 呈逐渐上升趋势; 光照在 200 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 内, 蒸腾速率 Tr 呈直线上升, 当光照强度大于 200 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 后, 蒸腾速率 Tr 变

化逐渐缓和。与此相反, 温度 27℃ 条件下, 岩黄连叶片蒸腾速率 Tr 随 CO₂ 浓度的增加, 呈逐渐下降趋势(图 4)。

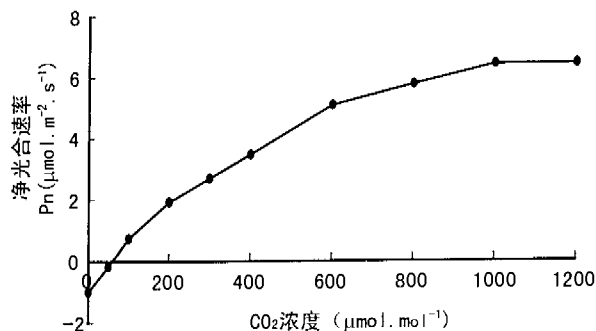


图 2 岩黄连叶片光合速率(Pn)对 CO₂ 浓度的响应
Fig. 2 The response of Pn to CO₂ concentrations in leaves of *C. saxicola*

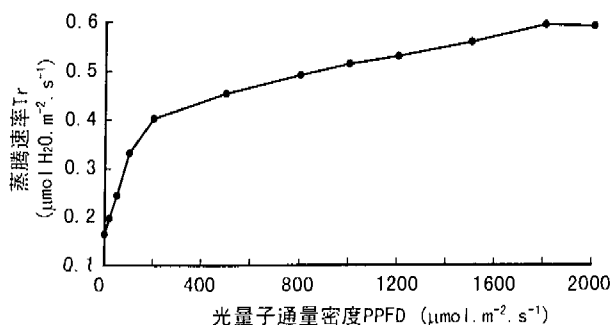


图 3 岩黄连叶片蒸腾速率(Tr)对量子通量密度的响应
Fig. 3 The response of transpiration (Tr) rate to PPFD in *C. saxicola*

2.4 光照强度对叶片水分利用率的影响

从图 5 可以看出, 岩黄连叶片随有效光辐射强度(PAR)的增强呈抛物线状变化。PAR 在 200 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 内呈直线上升, 到 200 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时 WUE 达最大值, 大于 200 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 后 WUE 呈逐渐下降趋势。

3 结论与讨论

(1) 光饱和点和光补偿点反映了植物光照条件的要求, 是判断植物耐阴性的一个重要指标。一般认为, 光补偿点和饱和点均较低的植物是典型的耐荫植物, 能充分地利用弱光进行光合作用(冷平生, 2000)。岩黄连的光饱和点(LSP)、光补偿点(LCP)和暗呼吸速率(Rd)都比效低。表明岩黄连对光照的要求不高, 属于阴生植物。这与岩黄连长期生长的自然环境有关。岩黄连主要生长在岩石峭壁或高

山岩洞口,属于比较阴凉的地方。因此在人工栽培过程中应注意遮荫。

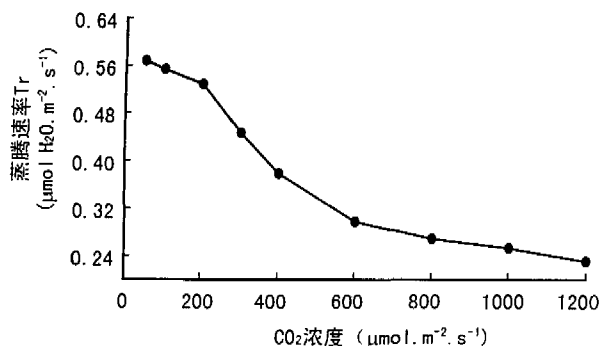


图4 岩黄连叶片蒸腾速率(Tr)对CO₂浓度的响应
Fig. 4 The response of transpiration (Tr) rate to CO₂ concentration in *C. saxicola*

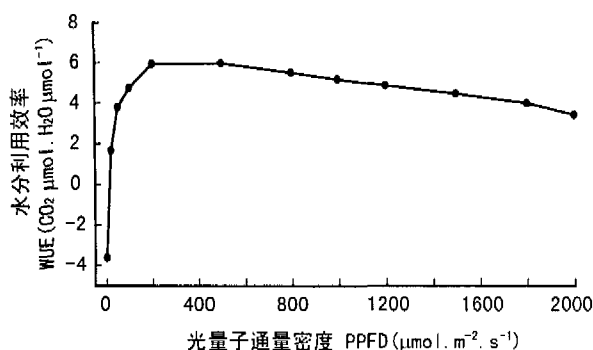


图5 光照强度对叶片水分利用率的影响
Fig. 5 Effects of PPFD on water use efficiency (WUE) of leaves in *C. saxicola*

(2)4月份岩黄连Pn随CO₂浓度升高而逐渐增大。当CO₂浓度由50 μmol·mol⁻¹增加到600 μmol·mol⁻¹阶段,Pn几乎呈直线上升,CO₂浓度从600~1000 μmol·mol⁻¹范围内Pn变化逐渐缓和,CO₂浓度到1000 μmol·mol⁻¹以后Pn变化平稳。由曲线估算CO₂饱和点(CSP)大约在1000 μmol·mol⁻¹左右。CO₂补偿点为68.80 μmol·mol⁻¹。羧

化效率为0.0308 μmol·m⁻²·s⁻¹。一般空气CO₂浓度在390 μmol·mol⁻¹左右,环境CO₂浓度升高对岩黄连Pn的提高有很大的作用。

(3)岩黄连叶片水分利用率(WUE)随有效光辐射强度(PAR)的增强呈抛物线状变化。PAR在200 μmol·m⁻²·s⁻¹内呈直线上升,到200 μmol·m⁻²·s⁻¹时WUE达最大值,大于200 μmol·m⁻²·s⁻¹后WUE呈逐渐下降趋势。高光强降低岩黄连叶片的水分利用率,进一步证明在栽培过程中应遮荫。

参考文献:

- 广西壮族自治区卫生厅. 1990. 广西中药材标准[M]. 南宁: 广西科学技术出版社; 64-65.
- Bassman J, Zwier JC. 1991. Gas exchange characteristics of *Populus trichocarpa*, *Populus deltoids* and *Populus trichocarpa* X *P. deltoids* clone[J]. *Tree Physiol*, 8:145-149.
- Chen CY(陈重阳), Zhao Y(赵一). 1982. Study on pharmacology of Dehydrocavidine from *Corydalis saxicola* Bunting (岩黄连脱氢卡维丁药理研究)[J]. *J Chin Materia Medica* (中药通报), 7(2): 31.
- Jiang XY(蒋水元), Hu XH(胡兴华), Zhao RF(赵瑞锋), et al. 2002. Study on the introduction and cultivation of *Corydalis saxicola* Bunting (岩黄连引种栽培研究)[J]. *Guihaia* (广西植物), 22(5): 469-473.
- Ke MM(柯珉珉), Zhang XD(张宪德), Wu LZ(吴练中), et al. 1982. Studies on the active constituents of *Corydalis saxicola* Bunting (岩黄连有效成分的研究)[J]. *Acta Bot Sin* (植物学报), 24(3): 289-291.
- Leng PS(冷平生), Yang XH(杨晓红), Hu Y(胡月), et al. 2000. Studies on the characteristics of photosynthesis and transpiration of five gardening trees (5种园林树木的光合和蒸腾特性的研究)[J]. *J Beijing Agric Coll* (北京农学院学报), 15(4): 13-18.
- Zhang JS(张劲松), Meng P(孟平), Gao J(高峻). 2004. Characteristics of photosynthesis and water physio-ecology of *Isatis indigotical* (板蓝根光合及水分生理生态特性)[J]. *J Northeast For Univ* (东北林业大学学报), 32(3): 26-28.

《广西植物》被评为第五届 “广西十佳科技期刊”

继2001年12月《广西植物》荣获第四届广西十佳科技期刊以来,于2005年12月,中共广西壮族自治区委员会宣传部、广西壮族自治区新闻出版局、广西壮族自治区科学技术厅联合举办了第五届广西优秀科技报刊评选活动。经评审专家的综合评定,《广西植物》再次被评为第五届广西十佳科技期刊。