

修枝截干对二球悬铃木叶片光合特性的影响*

程建峰^{1,2} 姜 鋈² 沈允钢^{1*}

(1. 中国科学院上海生命科学研究院植物生理生态研究所 上海 200032; 2. 江西农业大学农学院 南昌 330045)

摘 要 采用 Li-6400 便携式光合作用测定系统对修枝截干和自然生长的二球悬铃木中部当年向南枝顶的完全展开叶进行单叶光合特性测定。结果表明, 修枝截干和自然生长的二球悬铃木叶片的净光合速率(P_n)日变化均呈双峰曲线, 有明显的“午休”现象, 最高峰发生在 11:00, 次高峰在 15:00, 光强最大时(13:00) P_n 最低, 即两种生长状态下都受到光抑制。修枝截干二球悬铃木 P_n [$\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$] 的最高峰为 12.16, 次高峰为 9.21, 最低谷为 6.47, 分别比自然生长高 27.06%、69.93%和 159.84%, 这暗示修枝截干可促进光合作用, 减轻光抑制。修枝截干的 P_n -光量子通量密度($PPFD$)响应可拟合为 $P_n=12.30(1-1.1353e^{-0.0302PPFD/12.30})$ ($R^2=0.9891^{**}$), 自然生长的为 $P_n=10.92(1-1.1307e^{-0.0305PPFD/10.92})$ ($R^2=0.9849^{**}$), 修枝截干的最大光合速率(P_{\max})、光补偿点、光饱和点及光合幅度的估算值分别为 $12.30 \mu\text{mol}(\text{CO}_2) \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $51.67 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $1927.32 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $1875.65 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 分别比自然生长提高 12.64%、17.33%、13.85%和 13.76%, 这意味着修枝截干可提高单叶对光能的利用。修枝截干的 P_n - CO_2 浓度(C_i)响应可拟合为 $P_n=11.96(1-1.4716e^{-0.0287C_i/11.96})$ ($R^2=0.9824^{**}$), 自然生长的为 $P_n=10.70(1-1.4657e^{-0.0292C_i/10.70})$ ($R^2=0.9810^{**}$), 修枝截干的 P_{\max} 、 CO_2 补偿点、 CO_2 饱和点及 CO_2 幅度估算值分别为 $11.96 \mu\text{mol}(\text{CO}_2) \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $67.54 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 、 $872.02 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 和 $804.48 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$, 分别比自然生长提高 11.78%、-27.44%、0.39%和 3.73%, 说明修枝截干可增强叶片对低浓度 CO_2 的同化能力。

关键词 二球悬铃木 修枝截干 光合特性 净光合速率 P_n -光强响应曲线 P_n - CO_2 浓度响应曲线

中图分类号: S718.3 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2009)03-0469-05

Effect of branch and stem pruning on photosynthetic characteristics of *Platanus acerifolia* L.

CHENG Jian-Feng^{1,2}, JIANG Kun², SHEN Yun-Gang¹

(1. Institute of Plant Physiology and Ecology, Shanghai Institute for Biological Sciences, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200032, China; 2. College of Agronomy, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

Abstract Photosynthetic characteristics of south-facing single full-leaf in one-year branch of *Platanus acerifolia* L. with branch and stem pruning (BSP) or under natural conditions (NG) were determined using Li-6400 portable photo-meter. The results show that diurnal variations in net photosynthetic rate (P_n) of *P. acerifolia* single full-leaf under BSP and NG follows a di-peak curve. The first peak appears at 11:00, the second at 15:00, while the minimum peak occurs at 13:00 (when light intensity is highest). This indicates a remarkable midday depression. The leaves under both conditions suffer from photo-inhibition. P_n [$\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$] of the first peak, second peak and the minimum peak of *P. acerifolia* leaf under BSP are 12.16, 9.21 and 6.47, which are respectively 27.06%, 69.93% and 159.84% higher than those under NG. This implies that BSP improves photosynthesis, while at the same time reduces photo-inhibition. Best-fit response curves for P_n to photosynthetic photon flux density ($PPFD$) in *P. acerifolia* leaf under BSP and NG are expressed as $P_n = 12.30(1-1.1353e^{-0.0302PPFD/12.30})$ ($R^2=0.9891^{**}$) and $P_n = 10.92(1-1.1307e^{-0.0305PPFD/10.92})$ ($R^2=0.9849^{**}$) respectively. The values of max P_n (P_{\max}), light compensate point, light saturation point and $PPFD$ range of *P. acerifolia* leaf under BSP are $12.30 \mu\text{mol}(\text{CO}_2) \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, $51.67 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, $1927.32 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ and $1875.65 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ respectively; which are 12.64%, 17.33%, 13.85% and 13.76% higher than those under NG, respectively. This suggests that BSP

* 中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX2-YW-N-059)和上海市博士后基金(07R214153)资助

** 通讯作者: 沈允钢(1927~), 男, 研究员, 中国科学院院士, 主要从事光合作用研究。E-mail: ygshen@sippe.ac.cn

程建峰(1972~), 男, 副教授, 博士后, 主要从事植物生理生态研究。E-mail: chjfkarl@163.com

收稿日期: 2008-03-18 接受日期: 2008-08-05

treatment could increase utilization of light energy in *P. acerifolia*. The best-fit response curves for P_n to CO_2 concentration (C_i) of *P. acerifolia* leaf under BSP and NG are expressed as $P_n = 11.96(1 - 1.471 6e^{-0.028 7C_i/11.96})$ ($R^2 = 0.982 4^{**}$) and $P_n = 10.70(1 - 1.465 7e^{-0.029 2C_i/10.70})$ ($R^2 = 0.981 0^{**}$) respectively. P_{\max} , CO_2 compensate point, CO_2 saturation point and C_i range under BSP are respectively $11.96 \mu\text{mol}(\text{CO}_2) \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, $67.54 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$, $872.02 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$, and $804.48 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$; which are 11.78%, -27.44%, 0.39% and 3.73% higher than those under NG, respectively. This indicates that BSP treatment increases CO_2 assimilation ability of *P. acerifolia* under low CO_2 concentration condition.

Key words *Platanus acerifolia* L., Branch and stem pruning, Photosynthetic characteristics, Net photosynthetic rate (P_n), Response of P_n to photosynthetic photon flux density, Response of P_n to CO_2 concentration

(Received March 18, 2008; accepted Aug. 5, 2008)

光合作用是植物的重要生理过程和物质生产基础, 是全球碳循环及其他物质循环的最重要环节^[1], 对植物光合特性的研究在解释和预测内外因子如何影响植物生长发育及物质生产过程中能量吸收、固定、分配与转化起到重要作用, 一直是植物生命科学研究的重要领域^[2,3]。由于试验方法和条件限制, 以往研究多集中于农作物、花卉和草本植物, 且主要在实验室和温室进行, 对树木的研究也主要集中于自然森林或人工幼林, 而对城市中生长的观赏树木的研究较少^[4]。

二球悬铃木(*Platanus acerifolia* L.)为悬铃木科悬铃木属植物, 是一种源于北温带及亚热带的归化植物, 是三球悬铃木(*Platanus orientalis* L.)和一球悬铃木(*Platanus occidentalis* L.)的杂交种, 生长迅速, 易于繁殖, 适应性强, 树型优美, 树皮花白, 枝叶茂盛, 冠大荫浓, 且耐整形修剪, 抗烟尘, 能吸收有害气体, 隔音防噪, 为世界著名的行道树和庭荫树, 素有“行道树之王”的美称^[5]。自 1886 年左右引入我国以来, 一直是大、中城市行道绿化的骨干, 在公园、居住区、商业区和工业区均有广泛种植, 为改善城市生态环境和美化人们生活等发挥着重要作用^[6]; 且其生长量可与其他一些速生树种如杨树和桉木媲美^[7]。为了园林绿化的需要, 园林工作者往往要对其进行整形修剪(西欧城市靠机械修剪枝叶及时粉碎, 树型多为几何型或瘤状, 而我国多为杯状型)^[8], 修剪下的枝叶富含粗纤维和木质素等碳水化合物, 可作为加工原料(如食用菌培养基、盆栽花卉基质)和生物质能利用(如发酵沼气)的重要资源, 但关于整形修剪对二球悬铃木生长发育和生理生态特性有何影响却知之甚少。本文采用 Li-6400 便携式光合作用测定系统, 测定和比较了修枝截干(修除原主干顶部部分叉枝和部分下层枝以促进枝干发育和生长)和自然生长的二球悬铃木叶的光合特性, 揭示其光合作用的基本生理生态学特征和规律, 为城市生态效益的量化研究和城市绿化树种的合理配置、栽培养护、规划建设及其开发利用提供重要的科学依据和技术参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本研究于 2007 年 8 月 30 日(晴朗无云, 气温 $25.7 \sim 34.1$)在江西农业大学校园内(东经 $115^{\circ}53'$, 北纬 $28^{\circ}45'$)进行, 挑选直径为 40 cm 左右的修枝截干和自然生长的二球悬铃木, 测定叶片为距地面 3 m 左右的向南伸展当年新生侧枝上完全展开的第 3~5 轮叶片(由枝顶数起)。

1.2 光合特性测定

光合特性测定采用 Li-6400 便携式光合作用测定系统(Licor Inc, Lincoln, USA), 测定时参比室空气流速为 $0.5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$, 叶片温度 30 ± 0.5 , 相对湿度(75 ± 1)%, 每片叶连续读取 5 个稳定数据, 重复 3 次。

1.2.1 净光合速率(P_n)和环境因子的日变化

从 7: 00~19: 00 每隔 1 h 测定 1 次净光合速率(P_n)、叶片光合有效辐射(PAR , $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、大气 CO_2 浓度(C_{air} , $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)、气温(T_{air} ,)和大气相对湿度(RH , %)等环境因子参数。

1.2.2 P_n -光通量密度($PPFD$)响应^[9,10]

先让待测定叶片在饱和光强左右、普通空气中诱导约 60 min, 再进行 P_n -光强响应的观测。测定采用 6400-02B LED 红蓝光源叶室, 利用 Li-6400 自动“fight-curve”曲线测定功能, 将 $PPFD(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$ 梯度设定为 0、10、50、100、200、400、600、800、1 000、1 200、1 400、1 600、1 800、2 000, 在每个光强下停留 2~3 min 后记录 P_n 。参比室 CO_2 浓度为 $375 \pm 1 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$, 测定时间为 9: 00~11: 00。

1.2.3 P_n - CO_2 浓度(C_i)响应^[9-11]

待测叶片在饱和光强下和普通空气中诱导约 60 min 后, 依次在 CO_2 浓度($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)分别为 100、200、300、400、500、600、700、800、900、1 000、1 200、1 400 和 1 600 的条件下测定 P_n 。在整个观测过程中, 每次 CO_2 浓度变化后都需要按照仪器说明书指示的步骤进行 1 次光合仪的匹配操作, 让同一气体样品流经样品室和参比室, 使其重新平衡。然后再停留 3 min 左右后记录这一 CO_2 浓度下的 P_n 。参比室的 $PPFD$ 为 $1600 \pm 1 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 测定时

间为 9:00~11:00。

1.3 曲线拟合和数据分析

P_n -光通量密度响应和 P_n - CO_2 浓度响应采用经验方程 $P_n = P_{\max} (1 - C_0 e^{-\alpha X / P_{\max}})$ 进行拟合, P_{\max} 为最大净光合速率, α 和 C_0 为一度量弱光或低 CO_2 浓度下净光合速率趋近于零的常数, X 为 $PPFD$ 或 C_i , P_n 为特定条件下的净光合速率^[2]。通过适合性检验, 若方程良好(达到 95%显著水平), 分别计算相应的补偿点(CP)= $P_{\max} \ln(C_0) / \alpha$ 、饱和点(SP)= $P_{\max} \ln(100 C_0) / \alpha$ 和幅度(R)= $SP - CP$ ^[12,13]。

测定数值以平均值 \pm 标准差表示, 试验数据统计分析及作图用 SigmaPlot 13.0 (SPSS, Inc. USA)。

2 结果与分析

2.1 测定日的环境因子日变化

强烈的太阳辐射是引起一天中大气温度、空气相对湿度等一系列环境条件变化的根本原因^[14]。早晨 7:00 叶片表面的光合有效辐射为 $100.50 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 以后逐渐增大, 到 13:00 左右达到最大值 $1605.46 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 之后缓慢下降, 呈明显的单峰型(图 1a)。气温的日变化明显受太阳辐射强度的影响, 变化趋势呈单峰型, 与光合有效辐射类似, 早晨 7:00 为 25.7°C , 但最大值 34.1°C 出现时间推迟, 在 16:00 左右(图 1b)。空气相对湿度日变化趋势与光合有效辐射和气温日变化呈负相关, 在日出前后达最大值 89.10% , 随光合有效辐射增强和气温升高而下降, 在 16:00 左右出现最小值 52.8% , 之后逐渐回升(图 1b)。空气 CO_2 浓度在清晨最高, 为 $385.14 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$, 日出后明显下降, 10:00 达到最小值 $363.36 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$, 之后快速回升, 11:00 时达 $371.28 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$, 此后基本上维持在 $369 \sim 373 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ (图 1a)。

2.2 修枝截干对二球悬铃木单叶净光合速率(P_n)日变化的影响

自然条件下环境因子复杂多变, 植物光合机构

只能在复杂多变的环境条件下形成、发展和运转^[15]。本试验条件下, 不论是修枝截干还是自然生长的二球悬铃木叶片的净光合速率(P_n)日变化均呈双峰型。日出后随光合有效辐射逐渐增强, P_n 随之增大, 11:00 左右出现最高峰; 随光合有效辐射进一步增强, P_n 减小, 13:00 左右降至最低, 即出现了较明显的光合“午休”; 之后光合有效辐射下降, P_n 在 15:00 出现次高, 随光合有效辐射进一步减弱, P_n 逐渐减小(图 2)。修枝截干的 P_n [$\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$]最高峰为 12.16, 自然生长为 9.57, 前者比后者高 27.06%; 修枝截干的 P_n 次高峰为 9.21, 自然生长为 5.42, 前者比后者高 69.93%; 光强最大时(13:00)的光合速率最低, 修枝截干的 P_n 为 6.47, 自然生长为 2.49, 前者比后者高 159.84%(图 2)。说明两种生长状态下的二球悬铃木均不同程度地受到光抑制, 但自然生长所受抑制较重, 可能是由于自然生长下的叶片过多水分散失较快和营养不丰。对比还发现, P_n 日变化与大气 CO_2 浓度的日变化刚好相反(图 1 和图 2)。

2.3 修枝截干对二球悬铃木单叶 P_n -光通量密度($PPFD$)响应的的影响

用 $P_n = P_{\max} (1 - C_0 e^{-\alpha PPFD / P_{\max}})$ 拟合二球悬铃木叶片 P_n 对光通量密度($PPFD$)响应(图 3)。修枝截干处理的拟合方程为: $P_n = 12.30 (1 - 1.135 3 e^{-0.030 2 PPFD / 12.30})$ ($R^2 = 0.989 1^{**}$), 自然生长为: $P_n = 10.92 (1 - 1.130 7 e^{-0.030 5 PPFD / 10.92})$ ($R^2 = 0.984 9^{**}$)。依据方程估算, 修枝截干处理的最大光合速率(P_{\max})为 $12.30 \mu\text{mol}(\text{CO}_2) \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 光补偿点(LCP)为 $51.67 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 光饱和点(LSP)为 $1927.32 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 光合幅度为 $1875.65 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 分别比自然生长提高 12.64%、17.33%、13.85%和 13.76% (表 1)。造成这一现象的原因可能是修枝截干增强了树体的透光性, 导致叶片对弱光的适应性减弱, 对强光适应增强。

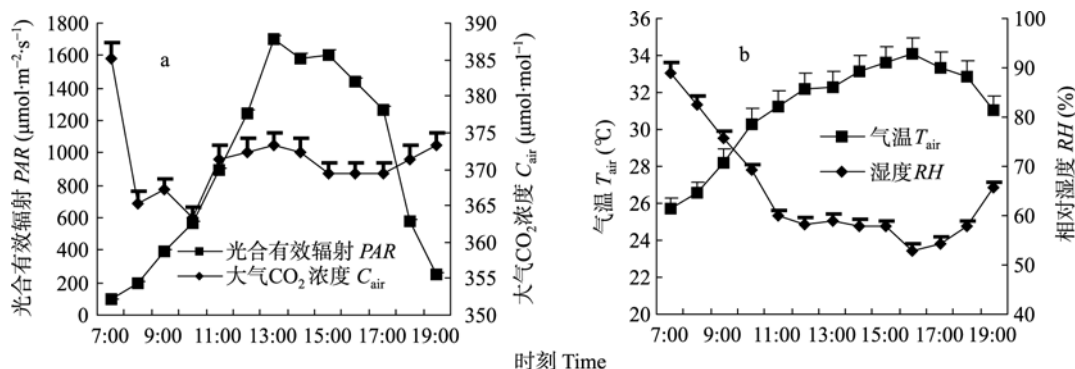


图 1 光合有效辐射、大气 CO_2 浓度(a)和气温、空气相对湿度(b)的日变化

Fig. 1 Diurnal changes of photosynthetic active radiation (PAR) and CO_2 concentration (C_{air})(a), as well as air temperature (T_{air}) and relative humidity (RH)(b)

表 1 修枝截干与自然生长的二球悬铃木叶片的 P_n -光通量密度响应参数

Tab.1 Response parameters of P_n to PPFD in leaves of *P. acerifolia* under branch and stem pruning as well as natural condition

处理 Treatment	最大净光合速率(P_{\max}) Max P_n [$\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$]	光补偿点(LCP) Light compensate point ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	光饱和点(LSP) Light saturation point ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	光合幅度(PR) PPFD range ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
修枝截干 Branch and stem pruning	12.30±0.78	51.67±1.13	1 927.32±27.89	1 875.65±21.15
自然生长 Natural condition	10.92±0.34	44.04±0.87	1 692.81±24.44	1 648.77±20.56

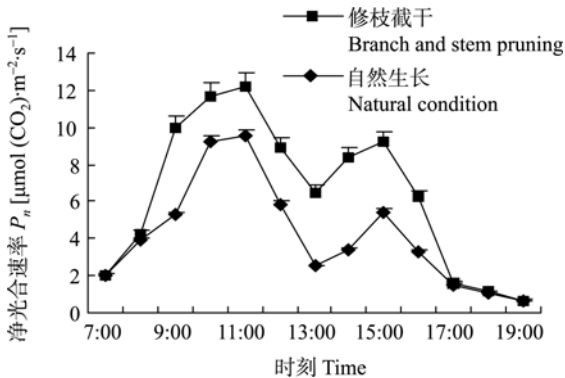


图 2 二球悬铃木叶片净光合速率的日变化
Fig. 2 Diurnal change of net photosynthetic rate (P_n) in leaves of *P. acerifolia*

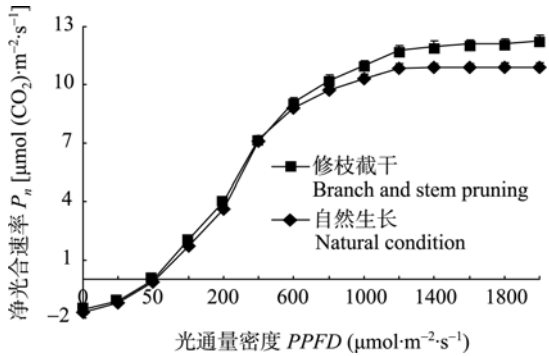


图 3 二球悬铃木叶片 P_n 对光通量密度响应的拟合曲线
Fig. 3 Fitting curves on response of P_n to photosynthetic photon flux density (PPFD) in leaves of *P. acerifolia*

2.4 修枝截干对二球悬铃木单叶 P_n - CO_2 浓度(C_i) 响应的影响

修枝截干二球悬铃木叶片 P_n 对 CO_2 浓度(C_i)响应方程为: $P_n=11.96(1-1.471\ 6\ e^{-0.028\ 7C_i/11.96})$ ($R^2=0.982\ 4^{**}$), 自然生长为: $P_n=10.70(1-1.465\ 7\ e^{-0.029\ 2C_i/10.70})$ ($R^2=0.981\ 0^{**}$)(图 4)。依据方程估算, 修枝截干处理的最大光合速率(P_{\max})为 $11.96\ \mu\text{mol}(\text{CO}_2) \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, CO_2 补偿点(CCP)为 $67.54\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, CO_2 饱和点(CSP)为 $872.02\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, CO_2 幅度(CR)为 804.48

$\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (表 2); 与自然生长相比, 修枝截干的 P_n 和 CR 有所提高, 分别为 11.78%和 3.73%, CSP 基本一致, 而 CCP 明显降低(27.44%)(表 2)。说明修枝截干可提高叶片对低浓度 CO_2 的同化能力, 这可能与修枝截干造成叶片水分充足和营养丰富有关。

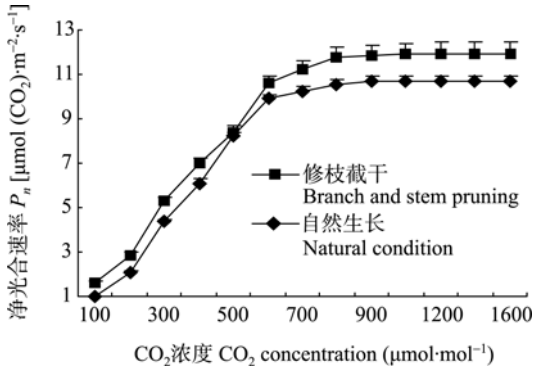


图 4 二球悬铃木叶片 P_n 对 CO_2 浓度响应的拟合曲线
Fig. 4 Fitting curves on response of P_n to CO_2 concentrations (C_i) in leaves of *P. acerifolia*

3 结论与讨论

3.1 二球悬铃木的叶片光合作用日变化及环境影响因子

由于影响光合速率的环境因子(温度、光照、水分等)在一天中发生明显的变化, 因此光合速率也呈现出相应的变化^[14,15]。净光合速率的日变化特征是植物光合生理活性和环境因素的综合体现, 反映了植物遗传特性及其对环境的适应能力, 有助于了解植物的生理生态学特性^[16,17]。在晴朗天气的午间, C_3 植物经常会出现“午休”现象, 原因主要是强光、高温、低湿和土壤干旱等环境条件引起的气孔部分关闭和光暗呼吸加强或光合作用光抑制的发生^[18,19]。本研究表明, 二球悬铃木外围中部叶片 P_n 的日变化呈明显的双峰型, 出现了明显的光合“午休”, 受到了光抑制。具体表现为: 清晨时多种环境因子如大气 CO_2 浓度、空气相对湿度等都处于最佳状态, 而

表 2 修枝截干与自然生长的二球悬铃木叶片的 P_n - C_i 响应参数比较

Tab.2 Response parameters of P_n to CO_2 concentrations in leaves of *P. acerifolia* under branch and stem pruning as well as natural condition

处理 Treatment	最大净光合速率(P_{\max}) Max P_n [$\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$]	CO_2 补偿点(CCP) CO ₂ compensate point ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	CO_2 饱和点(CSP) CO ₂ saturation point ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	CO_2 幅度(CR) CO ₂ range ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
修枝截干 Branch and stem pruning	11.96±0.43	67.54±1.21	872.02±12.46	804.48±11.31
自然生长 Natural condition	10.70±0.29	93.08±2.05	868.59±10.78	775.51±10.57

日出后随光合有效辐射逐渐增强, 叶片捕获的光能逐渐增多, 为光合作用提供同化力形成所需的能量, 活化光合作用关键酶, 促使气孔开放, P_n 随之增大, 11:00 出现最高峰; 随光合有效辐射进一步增强, 叶片吸收的光能出现过剩, 同时伴随着其他环境因子的较大变化(如气温升高和大气湿度的下降), 13:00 出现最低 P_n 。本研究发现, 造成二球悬铃木午间光合速率下降的最主要因素是强光, 随辐射增强、空气相对湿度降低和温度上升, 使原本较适宜的光合环境变恶劣, 叶片捕获的光能逐渐过剩而导致光抑制, P_n 降低^[15,20]; 午间温度的升高可增加 Rubisco 酶的活性, 但降低了与 CO_2 的亲合力, 同时也增加了其作为加氧酶的活性, 而降低 P_n ^[21]。比较修枝截干和自然生长下二球悬铃木叶片的 P_n 日变化发现, 修枝截干的 P_n 最高峰值比自然生长高 27.06%, 次高峰值比自然生长高 69.93%, 最低 P_n 比自然生长高 159.84%, 说明修枝截干能促进单叶光合速率的提高, 减轻光抑制, 这可能是由于自然生长下的叶片过多引起水分散失较快和单叶营养不丰。本文仅研究了晴朗强光高温低湿下二球悬铃木外围中部向南当年生功能叶(单叶)的部分光合特性, 今后应加强不同生长季节、树冠不同位置 and 不同叶龄等叶片的光合生理生态特征及群体光合性能的研究, 以进一步揭示其光合作用的季节动态和空间变异, 为城市观赏林木生态系统的结构与功能规律研究提供基础理论依据和有效技术参考。

3.2 修枝截干对光合生理指标的影响

植物光合特性通常从 P_n -光强响应和 P_n - CO_2 响应两个方面来衡量, 主要指标有 P_{\max} 、 CP 、 SP 和 R ^[22]。 P_{\max} 为植物潜在的最大光合能力, 决定着植物物质积累能力的高低, 在一定程度上也决定着植物生长的快慢^[13]。 LSP 和 CSP 分别表示植物利用强光和高 CO_2 的能力, LCP 和 CCP 分别是植物利用弱光 and 低 CO_2 能力的标志, PR 和 CR 分别衡量植物能有效利用光合有效辐射和 CO_2 浓度的范围^[22]。本研究揭示, 修枝截干的 P_{\max} 、 LCP 、 LSP 和 PR 分别比自然生长提高 12.64%、17.33%、13.85%和 13.76%, 这意味着修枝截干能提高单叶对光能的利用; 修枝截干处理的 P_{\max} 、 CCP 、 CSP 和 CR 分别比自然生长提高 11.78%、-27.44%、0.39%和 3.73%, 说明修枝截干可增强叶片对低浓度 CO_2 的同化。与前人研究结果的差异可能源于自身的遗传特性和所处的生境, 当然还可能是研究方法(离体还是活体)和测定时期等不同, 抑或是测定方法或仪器工作不正常而引起^[10]。另外, 修枝截干对二球悬铃木的影响表现在多个方面, 除光合特性外, 它对于其他生理生态特性及受环境条件影响的规律尚需进一步阐明。

参考文献

- [1] 葛滢, 常杰, 陈增鸿. 青冈净光合作用与环境因子的关系[J]. 生态学报, 1999, 19(5): 683-688
- [2] 陈德祥, 李意德, 骆士寿, 等. 海南岛尖峰岭热带山地雨林下层乔木中华厚壳桂光合生理生态特性的研究[J]. 林业科学研究, 2003, 16(5): 540-547
- [3] 李海梅. 沈阳城市森林主要绿化树种——丁香的光合特性研究[J]. 应用生态学报, 2004, 15(12): 2245-2249
- [4] 刘建平, 韩路, 胡杨. 灰叶胡杨光合、蒸腾作用比较研究[J]. 塔里木农垦大学学报, 2004, 16(3): 2-6
- [5] 吴征镒. 中国植物志图集(第九卷, 中英文)[M]. 北京: 科学出版社, 2004
- [6] 张浩, 王祥荣, 王寿兵. 城市胁迫环境下的二球悬铃木叶片气孔数量特征分析[J]. 复旦学报: 自然科学版, 2004, 43(4): 651-656
- [7] Cannel M. G. R., Smith R. L. Yield of minirotation closely hardwoods in temperate region: Review and appraisal[J]. Forest Science, 1980, 26: 415-428
- [8] 刘若森. 悬铃木整形修剪与存在问题[J]. 安徽林业, 2005(5): 32
- [9] Miranda E. J., Filho N. P. I., Pedro P. C. Maximum leaf photosynthetic light response for three species in a transitional tropical forest in Southern Anazinia[J]. Revista Brmleira de Engenharia Agricola Arambial, 2004, 8: 164-167
- [10] 陈根云, 俞冠路, 陈悦, 等. 光合作用对光和二氧化碳响应的观测方法探讨[J]. 植物生理与分子生物学报, 2006, 32(6): 691-696
- [11] Long S. P., Bemaschi C. J. Gas exchange measurements, what can they tell us about the underlying limitations to photosynthesis?[J]. Journal Experimental Botany, 2003, 54: 2393-2401
- [12] Bassman J. B., Zwier J. C. Gas exchange characteristics of *Populus trichocarpa*, *Populus deltoides* and *Populus trichocarpa* × *Populus deltoides* clone[J]. Tree Physiology, 1991, 8: 145-149
- [13] 王保平, 李吉跃, 乔杰, 等. 修枝促接干对泡桐光合特性影响的研究[J]. 林业科学研究, 2007, 20(1): 119-124
- [14] 谢田玲, 沈禹颖, 邵新庆. 黄土高原 4 种豆科牧草的净光合速率和蒸腾速率日动态及水分利用效应[J]. 生态学报, 2004, 24(8): 1678-1685
- [15] 余叔文, 汤章城. 植物生理与分子生物学(第 2 版) [M]. 北京: 科学出版社, 1998
- [16] 彭晓邦, 蔡靖, 姜在民, 等. 秦岭火地塘林区锐齿栎群落中 6 种植物光合特性研究[J]. 西北植物学报, 2006, 26(10): 2099-2103
- [17] 岳春雷, 刘亚群. 濒危植物南川升麻光合生理生态的初步研究[J]. 植物生态学报, 1999, 23(1): 71-75
- [18] 冯建灿, 张玉洁. 喜树光合速率日变化及其影响因素的研究[J]. 林业科学, 2002, 38(4): 34-39
- [19] 许大全, 沈允钢. 植物光合作用效率的日变化[J]. 植物生理学报, 1997, 23(4): 410-416
- [20] 窦春蕊, 吴万兴, 李文华, 等. 黄土高原地区 3 个大扁杏品种的光合特性日变化研究[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(6): 93-97
- [21] Salvucci M. E. Crafts-Brandner S. J. Inhibition of photosynthesis by heat stress: the activation state of Rubisco as a limiting factor in photosynthesis[J]. Physiologia Plantarum, 2004, 120(2): 179-186
- [22] 董志新, 韩清芳, 贾志宽, 等. 不同苜蓿品种光合速率对光和 CO_2 浓度的响应特征[J]. 生态学报, 2007, 27(6): 2272-2278