

3 种冬青属植物气体交换参数及叶绿素荧光特性

王利英¹, 楼炉焕², 王超³, 黄奇², 顾敏²

(1. 浙江林学院 园林学院, 浙江 临安 311300; 2. 浙江林学院 林业与生物技术学院, 浙江 临安 311300;
3. 上海市政工程设计研究总院 浙江分院, 浙江 杭州 310004)

摘要: 选择绿冬青 *Ilex viridis*, 浙江冬青 *I. zhejiangensis* 和构骨 *I. cornuta* 等 3 种植物, 对其光合作用特性进行了研究。结果表明, 绿冬青、浙江冬青和构骨等的光补偿点分别为 20.94, 29.91 和 24.02 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 无显著差异 ($P>0.05$); 光饱和点分别为 1 204.29, 1 305.10 和 1 516.67 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 存在显著差异 ($P<0.05$), 其中构骨明显高于其他 2 个种; 最大净光合速率分别为 3.33, 5.53 和 8.43 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 均存在显著性差异 ($P<0.05$)。此外, 构骨的表现电子传递速率 (ETR) 为 60.520, 显著高于绿冬青 (40.217) 和浙江冬青 (19.900) ($P<0.05$), 分别是绿冬青和浙江冬青的 1.51 和 3.04 倍; 构骨的非光化学猝灭 (qN) 为 0.947, 分别是绿冬青 (0.859) 和浙江冬青 (0.733) 的 1.10 和 1.29 倍, 其差异性达显著水平 ($P<0.05$), 说明构骨具有较高的电子传递活性和防御光抑制破坏的能力。图 4 表 2 参 12

关键词: 植物学; 气体交换; 叶绿素荧光; 浙江冬青; 绿冬青; 构骨

中图分类号: S718.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5692(2009)01-0027-05

Leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence parameters in three species of *Ilex*

WANG Li-ying¹, LOU Lu-huan², WANG Chao³, HUANG Qi², GU Min²

(1. School of Landscape Architecture, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 3. Zhejiang Branch Institute, Shanghai Municipal Engineering Design General Institute, Hangzhou 310004, Zhejiang, China)

Abstract: The gas exchange and chlorophyll fluorescence parameters in leaves of three broadleaf tree species: *Ilex viridis*, *I. zhejiangensis*, and *I. cornuta*, were determined under field conditions. Results showed that there were no significant differences ($P>0.05$) for light compensation point: (20.94 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ in *I. viridis*, 29.91 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ in *I. zhejiangensis*, and 24.02 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ in *I. cornuta*). The light saturation point of *I. cornuta* was significantly greater ($P<0.05$) (1 516.67 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) than *I. viridis* (1 204.29 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) and *I. zhejiangensis* (1 305.10 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Also, the maximum net photosynthetic rate in *I. cornuta* was significantly greater ($P<0.05$) for CO_2 (8.43 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) than *I. viridis* (3.33 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) and *I. zhejiangensis* (5.53 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Finally, electron transport rate (ETR), photosystem (PS) II efficiency (Yield), and non-photochemical quenching (qN) in the leaf were much higher ($P<0.05$) in *I. cornuta* than in *I. zhejiangensis* and *I. viridis*. Thus, *I. cornuta* had a higher photosynthetic capacity and stronger utilization ability for light energy, and its quantum yield of PS II electron transport and the potential capacity of heat dissipation were greater ($P<0.05$). [Ch, 4 fig. 2 tab. 12 ref.]

Key words: botany; gas exchange; chlorophyll fluorescence; *Ilex zhejiangensis*; *Ilex viridis*; *Ilex cornuta*

收稿日期: 2008-03-03; 修回日期: 2008-05-16

基金项目: 浙江省科学技术攻关项目 (2004C32009)

作者简介: 王利英, 从事冬青属植物的园林应用研究。E-mail: yaruite@163.com。通信作者: 楼炉焕, 教授, 从事观赏植物开发利用研究。E-mail: louluhuan@zjfc.edu.cn

冬青属 *Ilex* 植物, 隶属于冬青科 Aquifoliaceae, 我国 200 余种, 分布于秦岭南坡、长江流域及其以南广大地区, 而以西南和华南最多^[1]。该属植物多为常绿树种, 其树冠优美, 果大多红色光亮, 长期宿存, 为良好的庭园观赏和城市绿化植物^[2]。冬青属植物具有很大的开发利用潜力, 特别是在园林观赏上潜力更大, 但迄今为止, 该属植物广为人们所利用的种类为数不多^[3]。随着园林绿化事业的发展, 运用冬青属植物来丰富园林景观和提高景观质量将越来越重要。树木光合作用对碳的同化积累是树木生长和生产力形成的基础, 由于不同植物具有不同的光合特征, 因此, 在应用时, 应根据立地条件选择适宜树种和合理的配置模式^[4]。前人已对冬青属植物大叶冬青 *Ilex latifolia*, 冬青 *I. purpurea* 和无刺构骨 *Ilex cornuta* var. *fortunei* 等少数几个常见种进行了光合特性研究^[5-6]。笔者测定了 3 个极具观赏价值的冬青属植物的叶片气体交换特征和叶绿素荧光特性, 探讨不同植物光合生理特性的差异性, 旨在为其引种、栽培生产和园林应用提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

取栽植于浙江林学院东湖校区的构骨 *Ilex cornuta*, 栽植于杭州植物园的绿冬青 *I. viridis* 和浙江冬青 *I. zhejiangensis* 作为试验材料, 体量均符合园林应用标准。

1.2 气体交换参数测定

于 2007 年 6 月 19 日和 6 月 20 日上午 9:30 - 11:00, 对上述 3 种冬青属植物进行光合特性测定。测定叶片为生长完好, 无病虫害, 叶面积相近的第 4 ~ 5 片完全展开叶。光响应曲线利用 Li-6400(美国, LI-Cor 公司)红蓝光源 6400-02 测定, 测量时的叶室温度设置为 28 °C, 二氧化碳浓度 370 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, 光照强度梯度设置为 2 000, 1 500, 1 000, 800, 500, 300, 100, 50, 0 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 测定的指标有光合速率(P_n), 蒸腾速率(T_r), 胞间二氧化碳浓度(C_i), 气孔导度(G_s)等。每种植物重复测定 3 株, 每株测定 3 张叶片。

1.3 叶绿素荧光参数测定

用脉冲调制荧光仪 PAM-2100(WALZ, 德国)测定。选用的叶片与重复同 P_n 测定。获取的主要参数为: F_0 (初始荧光), F_m (最大荧光), $F_v = F_m - F_0$ (可变荧光), F_v/F_m (PS II 的最大光化学活性), ETR(表观电子传递速率), Yield(PS II 总的光化学量子产额), qP(光化学猝灭), qN(非光化学猝灭), F_v'/F_m' (PS II 原初光能转化效率), 其中 F_0 , F_m , F_v/F_m 测定前将叶片暗适应 20 min。

1.4 数据分析

采用 Excel 和 DPS 等数据分析软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 3 种冬青气体交换特性的比较

光响应曲线反映了植物光合速率随光照强度的变化而变化的规律^[7]。从图 1 可以看出, 随着光量子通量的增大, 测定的 3 种冬青属植物净光合速率几乎呈直线上升; 当光量子通量达到一定值后, 净光合速率增加的幅度就逐渐减慢, 最后达到一定限度, 不再随光量子通量的增加而增加, 即达到光饱和。图 1 表明, 在相同条件下, 构骨的光合速率最大。

通过光响应曲线可以计算出光补偿点、光饱和点及最大净光合速率。3 种冬青属植物的计算结果见表 1。由于植物在低于光补偿点时不能积累干物质, 因此, 光补偿点的高低可以作为判断植物在低光照强度条件下能否生长的标志。光补偿点越小表明植物利用弱光的能力越强, 绿冬青、浙江冬青和构骨的光补偿点分别为 20.94, 29.91, 24.02 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 无显著差异。植物在光饱和点时光合速率最大, 因此, 光饱和点反映了植物利用强光的能力, 值越高说明植物在受到强光时不易发生抑制, 植物的耐阴性越强。构骨光饱和点为 1 516.67 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 显著高于绿冬青(1 204.29 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)和浙江冬青(1 305.10 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)。绿冬青、浙江冬青和构骨的最大净光合速率为 3.33, 5.53 和 8.43 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

从图 2 ~ 4 中可看出，随着光照强度的增加，气孔受光照的影响而张开，绿冬青和枸骨表现出气孔导度不断增大，从而引起植物蒸腾速率也不断升高，但胞间二氧化碳浓度却由于气孔的张开和光合速率的增大而迅速下降，浙江冬青气孔导度和蒸腾速率有所增大但变化不显著。在相同的光照条件下，气孔导度大小表现为枸骨>浙江冬青>绿冬青，蒸腾速率大小表现为枸骨>绿冬青>浙江冬青，而胞间二氧化碳浓度则无明显差异。

表 1 3 个冬青属植物光补偿点、光饱和点和光饱和点时净光合速率

Table 1 Light compensation point, light saturation point and maximum net photosynthetic rate in three species of *Ilex*

植物种类	光补偿点/($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	光饱和点/($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	最大净光合速率/($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
枸骨	24.02 ± 2.354 a	1 516.67 ± 15.105 a	8.43 ± 0.813 a
浙江冬青	29.91 ± 2.875 a	1 305.10 ± 12.536 b	5.53 ± 0.502 b
绿冬青	20.94 ± 2.089 a	1 204.29 ± 19.980 b	3.33 ± 0.275 c

说明：同列中平均数后不同小写字母表示在 5%水平上差异显著($P<0.05$)

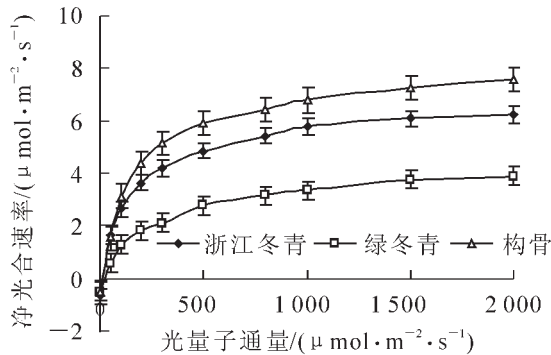


图 1 不同冬青的光响应曲线

Figure 1 Effect of PAR on net photosynthetic rate (Pn) in three species of *Ilex*

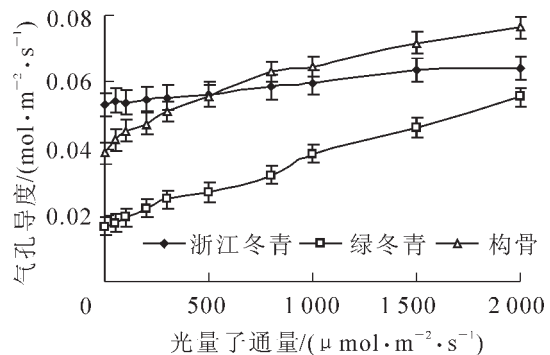


图 2 不同冬青的气孔导度对光强的响应

Figure 2 Effect of PAR on stomatal conductance (Gs) in three species of *Ilex*

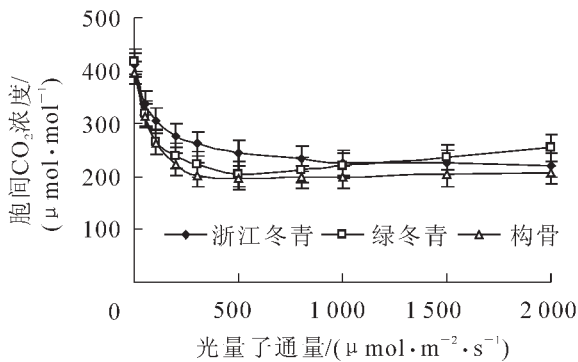


图 3 不同冬青胞间二氧化碳浓度对光强的响应

Figure 3 Effect of PAR on intercellular CO₂ concentration (Ci) in three species of *Ilex*

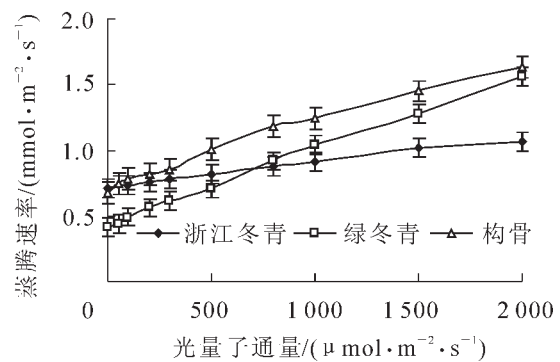


图 4 不同冬青蒸腾速率对光强的响应

Figure 4 Effect of PAR on transpiration rate (Tr) in three species of *Ilex*

2.2 3 种冬青属植物叶绿素荧光参数比较

3 种冬青属植物叶绿素荧光参数详见表 2。从表 2 中可知，3 种冬青之间的 F_0 , F_v 和 F_m 差异均不显著，其中 F_0 的排列顺序是枸骨>绿冬青>浙江冬青， F_v 和 F_m 均表现为绿冬青>枸骨>浙江冬青。3 种冬青属植物之间的 F_v/F_m , F_v'/F_m' , Yield 和 qP 差异未达显著水平，但 qN 和 ETR 差异显著，均表现为枸骨>绿冬青>浙江冬青。

ETR 是反映实际光强条件下的表观电子传递效率。三者之间存在显著差异，枸骨的 ETR 为

表2 3种冬青属植物叶片叶绿素荧光参数比较

Table 2 Comparison of leaf chlorophyll II fluorescence parameters in three species of *Ilex*

植物种类	叶绿素荧光参数								
	F_0	F_v	F_m	F_v/F_m	F'_v/F'_m	Yield	qP	qN	ETR
枸骨	0.134 ± 0.012 a	0.608 ± 0.057 a	0.742 ± 0.075 a	0.819 ± 0.072 a	0.691 ± 0.054 a	0.680 ± 0.060 a	0.981 ± 0.083 a	0.947 ± 0.069 a	60.520 ± 5.967 a
绿冬青	0.128 ± 0.013 a	0.645 ± 0.059 a	0.773 ± 0.073 a	0.835 ± 0.069 a	0.653 ± 0.066 a	0.558 ± 0.052 a	0.876 ± 0.063 a	0.859 ± 0.078 ab	40.217 ± 4.118 b
浙江冬青	0.125 ± 0.015 a	0.538 ± 0.042 a	0.663 ± 0.057 a	0.811 ± 0.068 a	0.708 ± 0.072 a	0.702 ± 0.069 a	0.985 ± 0.085 a	0.733 ± 0.075 b	19.900 ± 1.983 c

说明：同列中平均数后不同小写字母表示在 5%水平上差异显著($P < 0.05$)。

60.520, 显著高于绿冬青(40.217)和浙江冬青(19.900), 分别是绿冬青和浙江冬青的 1.51 和 3.04 倍。

qN 指非光化学猝灭, 也称非辐射能量耗散, 反映了耗散过剩光能(有害)为热(无害)的能力, 热耗散可以防御光抑制的破坏, 对光合机构起自我保护作用^[8]。枸骨的 qN 为 0.947, 分别是绿冬青(0.859)和浙江冬青(0.733)的 1.10 和 1.29 倍, 其差异性达显著水平, 说明枸骨防御光抑制破坏的能力最强。

3 讨论

光补偿点的高低可以作为判断植物在低光照强度下能否生长的标志。光补偿点越小表明植物利用弱光的能力越强, 绿冬青、浙江冬青和枸骨的光补偿点分别为 20.94, 29.91 和 24.02 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 说明所测定的 3 种冬青属植物对弱光的利用能力差异不显著。植物在光饱和点时光合速率最大, 因此, 光饱和点反映了植物利用强光的能力, 越高说明植物在受到强光时不易发生抑制, 植物的耐阴性越强, 绿冬青、浙江冬青和枸骨的光饱和点分别为 1 204.29, 1 305.10 和 1 516.67 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 而且枸骨的最大净光合速率分别是浙江冬青和绿冬青的 1.52 和 2.53 倍, 差异显著。这些结果说明, 枸骨对光强的适应范围比绿冬青和浙江冬青宽。引起植物光合能力变化的因素分为气孔因素和非气孔因素, 尽管枸骨的气孔导度明显高于浙江冬青和绿冬青, 但胞间二氧化碳浓度无差异, 说明枸骨较高的光合能力并不是气孔因素引起的。

Yield 是 PS II 的实际光化学效率, 反映叶片用于光合电子传递的能量占所吸收光能的比例, 是 PS II 反应中心部分关闭时的光化学效率, 常用来表示植物光合作用电子传递的量子产额, 可作为植物叶片光合电子传递速率快慢的相对指标。即在光合作用过程中, PS II 每获得一个光子所能引起的总的光化学反应。三者的 Yield 差别不大, 但枸骨的 ETR 显著高于浙江冬青和绿冬青, 这为光合碳同化积累了更多的同化力, 导致枸骨具有相对较高的光合能力。电子传递速率的高低通常取决于光抑制程度、天线光能转化效率和 PS II 反应中心的开放程度。 F_v/F_m 值常用于度量植物叶片 PS II 原初光能转换效率, 表明 PS II 利用光能的能力^[9], 与植物光合作用光抑制程度密切相关^[10]。枸骨的 F_v/F_m 与浙江冬青和绿冬青无明显差异, 3 个树种都没有遭受到明显的光抑制, 因此, 浙江冬青和绿冬青最大光合速率和 ETR 的低下与光抑制无关。 F'_v/F'_m 表示有效光化学量子产量, 它反映光下开放的 PS II 反应中心最大原初光能捕获效率^[11]。本试验表明 3 个树种具有相近的光能捕获效率。qP 值的大小反映的是原初电子受体 QA 的氧化还原状态和 PS II 开放中心的数目^[12], 其值大小可以反映 PS II 反应中心的开放程度, 3 种冬青属植物的 qP 值无显著差异, 说明枸骨较高的 ETR 不是通过增加 PS II 反应中的开放程度, 使进入反应中心的光能更多的用于光化学反应引起的。qN 表示 PSII 天线色素吸收的光能不能用于光合电子传递而以热的形式耗散的部分, 3 种冬青属植物的 qN 之间的差异已达到显著水平, 这就说明了枸骨较高的 ETR 是通过耗散过剩的激发能, 有效地保护光合机构引起的。

参考文献:

- [1] 陈书坤, 俸宇星. 中国植物志: 第 45 卷第 2 分册被子植物门双子叶植物纲冬青科[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 1-3.

- [2] 郑朝宗. 浙江种子植物鉴定检索手册[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 2005: 192 – 195.
- [3] 祁承经, 林亲众. 湖南冬青科植物研究[J]. 中南林学院学报, 1999, **19** (3): 1 – 8.
QI Chenjing, LIN Qingzhong. A study of the family Aquifoliaceae in Hunan [J]. *J Cent South For Univ*, 1999, **19** (3): 1 – 8.
- [4] 岳春雷, 高智慧, 陈顺伟. 湿地松等 3 种树种的光合特性极其与环境因子的关系[J]. 浙江林学院学报, 2002, **19** (3): 247 – 250.
YUE Chunlei, GAO Zhihui, CHEN Shunwei. Photosynthetic characteristics of *Pinus elliottii*, *Elaeocarpus sylvestris* and *Myrica rubra* and their relationship with ecological factors[J]. *J Zhejiang For Coll*, 2002, **19** (3): 247 – 250.
- [5] 张璐. 几种冬青属植物光适应性与抗逆性研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2006: 18 – 40.
ZHANG Lu. *Study on Light Adaptation and Anti-resistance of Several Species in Ilex L.*[D]. Nanjing Agricultural University, 2006: 18 – 40.
- [6] 张纪林, 谢晓金, 教忠意, 等. 几种冬青属植物抗冻能力比较[J]. 园艺学报, 2005, **32** (3): 477 – 481.
ZHANG Jilin, XIE Xiaojin, JIAO Zhongyi, *et al.* The comparison of frozen resistance of several tree species of *Ilex L.* [J]. *Acta Horti Sin*, 2005, **32** (3): 477 – 481.
- [7] 阮成江, 李代琼. 黄土丘陵区沙棘气孔导度及其影响因子[J]. 西北植物学报, 2001, **21** (6): 1078 – 1084.
RUAN Chengjiang, LI Daiqiong. Stomatal conductance and influence factors of seabuckthorn in Loess Hilly Region [J]. *Acta Bot Boreali-Ocident Sin*, 2001, **21** (6): 1078 – 1084.
- [8] KRAUSE G H, WEIS E. Chlorophyll II fluorescence and photosynthesis: the basics [J]. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*, 1991, **43**: 633 – 662.
- [9] DEMMIG-ADAMS B, ADAMS W W, BARKER D H, *et al.* Using chlorophyll fluorescence to assess the fraction of absorbed light allocated to thermal dissipation to of excess excitation[J]. *Physiol Plant*, 1996, **98**: 253 – 264.
- [10] DEMMING-ADAMS B, ADMANS W W. Photoprotection and other response of plants to high light stress[J]. *Annu Rev Plant Physiol*, 1992, **43**: 599 – 622.
- [11] KRAUSE G H, WEIS E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basis[J]. *Annu Rev Plant Mol Boil*, 1991, **42**: 313 – 349.
- [12] CARRASCO R M, RODRIGUEZ J S, PEREZ P. Changes in chlorophyll fluorescence during the course of photoperiod and in response to drought in *Casuarina equisetifolia* Forst. and Forst.[J]. *Photosynthetica*, 2002, **40** (3): 363 – 368.