

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3142.2013.06.010

王瑛, 余金昌, 曹洪麟, 等. 14 种华南乡土树种对交通尾气污染的光合生理反应[J]. 广西植物, 2013, 33(6):774—779

Wang Y, Yu JC, Cao HL, et al. Photosynthetic responses of 14 native species of south China to auto-exhaust pollution[J]. *Guihaia*, 2013, 33(6): 774—779

14 种华南乡土树种对交通尾气污染的光合生理反应

王 瑛, 余金昌, 曹洪麟, 黄小凤, 韦阳连*

(东莞植物园, 广东 东莞 523086)

摘 要: 为揭示植物对交通尾气污染的光合反应,对 14 种华南乡土树种在植物园和道路绿地中的光合生理指标进行比较。结果表明:交通尾气污染胁迫下,越南山龙眼能通过提升气孔导度(G_s)、叶绿素含量(C_t)和光能转化效率(F_v/F_m)将其光合能力向上调节;假鹰爪、红鳞蒲桃、枫香、华润楠、红叶石楠、樟树和九节等 7 个树种能通过协调 G_s 、 C_t 和 F_v/F_m 三者间的此消彼长,保证其光合能力不明显变化;山杜英、格木、黄果厚壳桂、胡氏青冈、黄栀子和深山含笑等 6 个树种对交通尾气污染较敏感,抗污染能力不强,光合能力向下调节。

关键词: 乡土树种; 光合生理反应; 交通尾气污染

中图分类号: Q948.116 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2013)06-0774-06

Photosynthetic responses of 14 native species of south China to auto-exhaust pollution

WANG Ying, YU Jin-Chang, CAO Hong-Lin,
HUANG Xiao-Feng, WEI Yang-Lian*

(Dongguan Botanical Garden, Dongguan 523086, China)

Abstract: In order to reveal the photosynthetic responses to auto-exhaust pollution, the photosynthetic parameters of 14 native species of south China, planted in botanical garden and road greenland respectively, were tested and contrasted. The results showed that there were three kinds of photosynthetic responses to auto-exhaust pollution of the native species, such as up-regulation of photosynthesis, down-regulation of photosynthesis and non-regulation of photosynthesis. The photosynthesis of *Helicia cochinchinensis* was up-regulated by raising its stomatal conductance, chlorophyll content and optimal PS II efficiency. Seven species of non-regulation of photosynthesis, included *Desmos chinensis*, *Syzygium hancei*, *Liquidambar formosana*, *Machilus chinensis*, *Photinia serrulata*, *Cinnamomum camphora* and *Psychotria asiatica*, had the ability to harmonize the up-regulation and down-regulation among stomatal conductance, chlorophyll content and optimal PS II efficiency. As for species of down-regulation of photosynthesis, included *Elaeocarpus sylvestris*, *Erythrophleum fordii*, *Cryptocarya concinna*, *Cyclobalanopsis hui*, *Gardenia jasminoides* and *Michelia maudiae*, they were sensitive to auto-exhaust pollution, and had no ability to prevent the decline of photosynthesis.

Key words: native species; photosynthetic response; auto-exhaust pollution

城市绿地作为城市生态系统中主要的自然成分和初级生产者,在改善环境质量、维持生态平衡上具

有不可替代的作用(肖荣波等,2004)。随着工业化和城市化进程的加快和城市建设的飞速发展,城市

收稿日期: 2013-06-11 修回日期: 2013-10-25

基金项目: 广东省农业科技攻关项目(2007B020810001); 东莞市科技计划项目(2007108101103, 2011108102039)

作者简介: 王瑛(1981-), 女, 甘肃白银人, 硕士, 工程师, 主要从事园林设计和城市生态研究, (E-mail) wangying8302871@126.com。

* 通讯作者: 韦阳连, 硕士, 农艺师, 主要从事植物种质资源研究及开发利用研究, (E-mail) yangshun1210@aliyun.com。

大气污染日益严重,它通过对城市绿地植物的影响,破坏了城市绿地的生态平衡和动植物类群的自然结构(杜敏华等,2007;冯强等,2007)。交通尾气是城市大气污染的主要来源之一,其成分非常复杂,除了包含有一氧化碳、二氧化碳、氮氧化物、碳氢化合物、硫氧化物、挥发性有机物和臭氧等气体外,还包含有碳黑、焦油和重金属等颗粒物(耿永生,2010),这些物质会影响植物叶表皮的微形态和光合色素含量,如改变其蜡质层、细胞形态、细胞数、气孔密度和大小等,降低叶片中叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素总含量和类胡萝卜素的含量,进而影响植物的光合作用和生长(Pal *et al.*,2002;Avnish,2010;Abdulmoniem & Al-nur,2011)。

在高浓度 CO₂ 胁迫下,植物的光合作用会有 3 种响应方式,即向上调节(up-regulation of photosynthesis)、向下调节(down-regulation of photosynthesis)和没有明显的调节(non-regulation of photosynthesis)(Harley *et al.*,1991;Joseph *et al.*,2006;邹春蕾等,2008)。廖凌娟等(2011)以 4 种华南乡土树种为研究对象,探讨了交通尾气污染对植物气孔、光合生理的影响,结果发现不同种类植物的光合作用在交通尾气胁迫下也会发生向上调节和向下调节的现象,樟树的光合能力向下调节,山杜英、海南蒲桃和小叶榕等 3 个树种的光合能力都表现为向上调节,但这

3 种植物对交通尾气污染的响应程度和方式存在种间差异,各自以不同的方式通过其形态和生理可塑性的改变以适应交通尾气污染环境。

为验证华南乡土树种对交通尾气胁迫的光合响应同廖凌娟等(2011)的研究结果是否一致,探究乡土树种的光合作用对交通尾气污染的适应机理和实际发生模式,为东莞道路绿地绿化树种的选择提供理论依据和科学依据,本研究选择华润楠、深山含笑、假鹰爪和九节等 14 种华南地区具有开发潜力的乡土常绿阔叶树种分别种植于环境相对洁净的东莞植物园和交通尾气污染严重的环城路,半年后对各树种进行光合生理各项参数的测定。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

东莞市位于广东省中南部,地处 22°39'~23°09' N,113°31'~114°15' E,属热带和亚热带季风气候区。东莞是全国制造业名城,物流发达,工业污染和交通尾气污染较严重。据报道,东莞机动车数量占全国的 1.4%,东莞机动车 2010 年总的污染量为 21.43 万吨、一氧化碳 16.17 万吨、碳氢化物 1.94 万吨、氮氧化物 3.02 万吨、颗粒物 0.31 万吨(东莞市环境保护局,未发表数据)。

表 1 植物园和道路绿地大气污染指标监测结果比较

Table 1 Comparison of air monitoring data measured at botanical garden and road greenland

绿地类型 Greenland type	二氧化硫 SO ₂ (mg·m ⁻³)	总悬浮颗粒物 TSP(mg·m ⁻³)	氮氧化物 NO _x (mg·m ⁻³)	臭氧 O ₃ (mg·m ⁻³)	氟化物 Fluoride(μg·m ⁻³)	二氧化碳 CO ₂ (mg·m ⁻³)
植物园 Botanical garden	0.041	0.05	0.032	0.043	<0.5	980
道路绿地 Road greenland	0.097	0.42	0.159	0.032	<0.5	1 176
环境空气质量标准 Ambient air quality standards	一级 ≤0.15	≤0.12	—	≤0.16	≤20	—
	二级 ≤0.50	≤0.30	—	≤0.20	≤20	—
	三级 ≤0.70	≤0.50	—	≤0.20	≤20	—

注:数据为 2011 年 11 月平均值(“—”表示国家未对该污染物浓度进行限值规范)。

Note: Values are expressed as the mean of November,2011(“—”presents that there is no limit standard for the concentration of that pollutant).

本研究在东莞市区范围内选择道路绿地和植物园两种典型绿地类型作为试验点,其中道路绿地选择在东莞市交通主干道五环路,交通繁忙,车速较快,是交通尾气排放最集中的区域;植物园位于东莞市南城区,人为干扰较少,周边为相对洁净的自然生态环境,可作为道路绿地的对照。表 1 为四个试验点的大气环境质量监测结果(其中二氧化硫浓度采用 HJ482-2009 标准规定的甲醛吸收-副玫瑰苯胺分光光度法;总悬浮颗粒物浓度采用 GB/T15432-1995 标准规定的重量法;氮氧化物浓度的测定采用

HJ497-2009 标准规定的盐酸萘乙二胺分光光度法;臭氧浓度的测定采用 HJ504-2009 规定的靛蓝二磺酸钠分光光度法;氟化物浓度的测定采用 GB/T15434-1995 标准规定的滤膜·离子选择电极法;二氧化碳浓度的测定采用 GB/T18204.24-2000 规定的不分光红外线气体分析法)。可以看出,道路绿地的二氧化硫、总悬浮颗粒物、氮氧化物和二氧化碳的浓度分别是植物园的 2.5 倍、8.5 倍、5 倍和 11.5 倍;同时道路绿地的总悬浮颗粒物浓度超过了国家一级标准(0.12 mg·m⁻³)。

1.2 研究植物

选择华润楠、深山含笑、九节等 14 种乡土植物(包括大乔、小乔、灌木、蔓灌)的 2~3 年生健康袋苗,于 2009 年 9 月分别植于上述两个试验点(每个试验点设置一个 200 m²样地,每个样地设三个小样方,每个样方每种植物种 3 株,种植模式模拟森林群落结构。为使 2 个样地的植物在相同的肥力条件下

进行比较,尽可能地避免两个试验样地因土壤肥力差异而影响实验对象的光合生理,本研究在种植时对每株植物都进行同样的施肥处理:施有机肥 7.5 kg(约 10 cm)→覆土 10 cm→种植苗木→施复合肥 300 g→回表土 30 cm。种植后植物均自然生长,不再进行任何水肥管理)。于 2010 年 6 月对各树种生理指标进行监测。被试验植物种类见表 2。

表 2 试验用植物种类
Table 2 Plant species for experiment

树种 Species	学名 Scientific name	科属 Family and genus	特性 Characteristic
假鹰爪	<i>Desmos chinensis</i>	番荔枝科假鹰爪属	直立或攀援灌木,叶薄纸质或膜质,长圆形或椭圆形
越南山龙眼	<i>Helicia cochinchinensis</i>	山龙眼科山龙眼属	乔木,叶薄革质或纸质,长圆形、倒卵状椭圆形
黄果厚壳桂	<i>Cryptocarya concinna</i>	樟科厚壳桂属	常绿乔木,叶互生,椭圆状长圆形或长圆形
山杜英	<i>Elaeocarpus sylvestris</i>	杜英科杜英属	常绿小乔木,叶纸质,倒卵形,边缘钝锯齿或波状钝齿
格木	<i>Erythrophloeum fordii</i>	苏木科格木属	乔木,叶互生,二回羽状复叶,小叶卵形或卵状椭圆形
樟树	<i>Cinnamomum camphora</i>	樟科樟属	常绿大乔木,叶互生,卵状椭圆形,具离基三出脉
华润楠	<i>Machilus chinensis</i>	樟科润楠属	常绿乔木,叶倒卵状长椭圆形至长椭圆状倒披针形
胡氏青冈	<i>Cyclobalanopsis hui</i>	壳斗科青冈属	常绿乔木,叶薄革质,长椭圆形、倒披针形
深山含笑	<i>Michelia maudiae</i>	木兰科含笑属	常绿乔木,叶薄革质,长圆状椭圆形,少卵状椭圆形
红叶石楠	<i>Photinia serrulata</i>	蔷薇科石楠属	常绿灌木或小乔木,叶革质,长椭圆形、长倒卵形
黄栀子	<i>Gardenia jasminoides</i>	茜草科栀子属	常绿灌木,叶对生,长椭圆形,革质,少为 3 枚轮生
九节	<i>Psychotria asiatica</i>	茜草科九节属	灌木或小乔木,纸质或革质,长圆形、椭圆状长圆形
红鳞蒲桃	<i>Syzygium hancei</i>	桃金娘科蒲桃属	灌木或中等乔木,叶片革质,狭椭圆形到长圆形或倒卵形
枫香	<i>Liquidambar formosana</i>	金缕梅科枫香树属	落叶乔木,叶薄革质,阔卵形,掌状 3 裂

1.3 光合指标测定

于 2010 年 6 月选择晴朗天气用 Li-6400 便携式光合测定仪(LI-COR,美国)对两个试验点每种植物的气体交换参数进行测定,设定二氧化碳浓度为 350 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,光强范围为 1 800~200 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。测定时选择树冠上层向阳、生长良好的成熟连体叶片,每种植物每个样方随机测定 8~10 片叶,测定指标包括植物净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)和胞间 CO_2 浓度(C_i)。所有测定均在晴朗天气的 8:00~11:00 完成。

1.4 叶绿素含量测定

用直径为 1 cm 的打孔器分别取 5 个小叶圆片放入小瓶中,用 5 mL 80%丙酮溶液进行叶绿素提取后,置于黑暗条件下 72 h,待其完全脱绿后用 UV-3802 型分光光度计测定波长 663、646 和 470 nm 下的光密度值,计算叶绿素和类胡萝卜素含量(林宏辉等,2003)。每个物种重复 2 次。

1.5 叶绿素荧光参数测定

选择晴朗天气于同一时间段(8:30~11:30)分别在两个试验点选择向阳成熟叶片(每个样地同种植物每个植株采 4 片叶,每种植物采 36 片叶)采摘后立即

用塑料袋放入湿纸巾密封,带回室内黑暗 2 h 后使用 PAM-2100(WALZ,德国)测定其叶绿素荧光参数,包括初始荧光(F_0)和光能转换效率(F_v/F_m)。

1.6 数据分析

采用 SPSS13.0 统计软件分析处理数据,计算每项数据的平均值和标准差,采用 one-way anova 对不同处理间的差异进行方差分析。采用 Excel 计算各项数据的变化量。

2 结果与分析

2.1 净光合速率

与环境相对洁净的植物园样地相比,14 个树种在道路交通尾气胁迫环境中的 P_n 变化各异(表 3)。其中 P_n 升高最明显的是越南山龙眼,上升幅度达 317.14%; P_n 降低最明显的是深山含笑,下降幅度为 43.65%。根据道路交通尾气胁迫中各树种 P_n 的升降及变化显著与否,可将 14 个树种划分为三类:(1)光合能力向上调节的树种:越南山龙眼($P < 0.01$);(2)光合能力向下调节的树种:山杜英、格木、黄果厚壳桂、胡氏青冈、黄栀子和深山含笑($P <$

0.05或 $P < 0.01$); (3) 光合能力不明显调节的树种: 假鹰爪、红鳞蒲桃、枫香、华润楠、红叶石楠、樟树和九节。

表 3 各树种在两个样地的净光合速率比较

Table 3 Comparison of net photosynthesis in leaves of plants in two plots ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

树种 Plant species	净光合速率 P_n ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)		ΔP_n
	植物园	道路绿地	
	Botanical garden	Road greenland	
越南山龙眼 <i>H. cochinchinensis</i>	2.4±0.9	9.9±1.5 * *	317.14%
假鹰爪 <i>D. chinensis</i>	7.4±1.2	8.9±1.7	19.94%
红鳞蒲桃 <i>S. hancei</i>	6.9±1.4	7.2±0.7	5.51%
枫香 <i>L. formosana</i>	6.9±1.6	7.1±1.4	2.93%
华润楠 <i>M. chinensis</i>	6.5±1.2	6.1±1.1	-6.35%
红叶石楠 <i>P. serrulata</i>	11.0±1.8	10.1±1.1	-7.88%
樟树 <i>C. camphora</i>	13.2±2.5	12.1±1.3	-8.34%
九节 <i>P. asiatica</i>	8.2±1.1	7.1±1.4	-13.73%
山杜英 <i>E. sylvestris</i>	8.9±2.4	6.8±0.9 *	-23.34%
格木 <i>E. fordii</i>	7.9±1.9	6.0±1.3 *	-24.35%
黄果厚壳桂 <i>C. concinna</i>	5.7±1.0	4.1±1.1 *	-28.38%
胡氏青冈 <i>C. hui</i>	7.9±0.6	5.2±0.6 * *	-33.73%
黄栀子 <i>G. jasminoides</i>	12.0±0.7	7.2±0.5 * *	-40.44%
深山含笑 <i>M. maudiae</i>	7.1±1.1	4.0±0.7 * *	-43.65%

注: ΔP_n 是根据 $\Delta Y(\%) = (Y_p - Y_c) / Y_c \times 100\%$ 计算得到, 其中 ΔY 代表植物的 P_n 在污染环境(道路绿地)与植物园同种植物的相对百分数, Y_p 和 Y_c 分别代表污染环境和植物园同种植物的 P_n 。* 表示在 0.05 水平差异显著, ** 表示在 0.01 水平差异显著。下同。

Note: ΔP_n is calculated by $\Delta Y(\%) = (Y_p - Y_c) / Y_c \times 100\%$, ΔY represents the relative change of P_n , Y_p and Y_c represents values of P_n from the polluted sites (road greenland) and botanical garden for the same species respectively. * Correlation is significant at the 0.05 level; ** Correlation is significant at the 0.01 level. The same below.

表 4 各树种在两个样地的气孔导度 ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 和胞间 CO_2 浓度比较 ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mol air}^{-1}$)

Table 4 Comparison of stomatal conductance and intercellular CO_2 concentration in leaves of plants in two plots

植物种类 Plant species	植物园 Botanical garden		道路绿地 Road greenland			
	G_s	C_i	G_s	C_i	ΔG_s	ΔC_i
越南山龙眼 <i>H. cochinchinensis</i>	0.06±0.02	299.44±18.06	0.76±0.27 * *	352.88±23.39 * *	1096.64%	17.84%
红鳞蒲桃 <i>S. hancei</i>	0.15±0.03	270.00±14.63	0.28±0.05 * *	307.63±9.49 * *	94.57%	13.94%
黄果厚壳桂 <i>C. concinna</i>	0.15±0.04	289.75±7.42	0.28±0.10 * *	354.33±19.11 * *	81.61%	22.29%
假鹰爪 <i>D. chinensis</i>	0.17±0.03	281.25±17.56	0.29±0.06 * *	307.00±17.21 * *	71.27%	9.16%
华润楠 <i>M. chinensis</i>	0.19±0.03	309.00±9.47	0.28±0.06 * *	325.90±7.61 * *	51.49%	5.47%
九节 <i>P. asiatica</i>	0.21±0.08	278.71±19.39	0.32±0.04 * *	325.25±6.02 * *	47.35%	16.70%
枫香 <i>L. formosana</i>	0.21±0.08	290.83±16.99	0.29±0.07	311.63±7.84 * *	39.56%	7.15%
红叶石楠 <i>P. serrulata</i>	0.28±0.03	276.80±8.01	0.38±0.05 * *	314.56±7.59 * *	36.92%	13.64%
格木 <i>E. fordii</i>	0.16±0.06	263.57±21.99	0.20±0.06	321.13±18.19 * *	25.89%	21.84%
深山含笑 <i>M. maudiae</i>	0.14±0.04	260.38±16.82	0.16±0.04	321.30±8.21 * *	15.54%	23.40%
胡氏青冈 <i>C. hui</i>	0.22±0.03	278.83±10.05	0.25±0.03	316.00±6.63 * *	13.89%	13.33%
山杜英 <i>E. sylvestris</i>	0.27±0.11	287.89±16.74	0.27±0.05	315.00±9.58 * *	0.65%	9.42%
樟树 <i>C. camphora</i>	0.37±0.08	274.63±7.43	0.37±0.04	306.44±10.48 * *	0.25%	11.59%
黄栀子 <i>G. jasminoides</i>	0.64±0.10	304.67±6.91	0.45±0.04 * *	335.75±7.89 * *	-29.42%	10.20%

微提升或降低, 变化幅度在 -7.75%~7.50% 之间。

类胡萝卜素是反应中心的叶绿素结合蛋白和天线系统的重要组成部分, 除了可吸收光能用于光合

2.2 气孔导度和胞间 CO_2 浓度

由表 4 可以看出, 在交通尾气胁迫的道路绿地中, 14 种华南乡土树种中除了黄栀子的 G_s 显著下降 ($P < 0.01$)、降幅达 29.42% 外, 其余树种的 G_s 都有不同程度的增大, 其中 G_s 极显著提升的树种有: 越南山龙眼、红鳞蒲桃、黄果厚壳桂、假鹰爪、华润楠、九节和红叶石楠等 7 种。14 个试验树种的胞间 CO_2 浓度在汽车尾气胁迫下, 都有不同程度地增大, 涨幅在 5.47%~22.29% 之间, 且与植物园样地中的同种植物相比, 其 C_i 变化值都达到极显著水平 ($P < 0.01$)。

2.3 叶绿素与类胡萝卜素 (Cc) 含量

叶绿素是绿色植物进行光合作用所必需的色素, 它的含量是衡量植物光合能力的一项重要生理指标。14 个华南乡土树种在交通尾气胁迫下其光合色素含量的变化趋势不一 (表 5), 其中胡氏青冈与深山含笑叶绿素总含量提升程度分别达到了显著水平 ($P < 0.05$) 和极显著水平 ($P < 0.01$), 表明这 2 个树种在交通尾气污染环境中能提高自身叶绿素含量以提高其光合能力, 而事实上, 它们的光合能力不仅没提升反而向下调节, 这可能是影响光合能力的其它因素所致; 华润楠的叶绿素含量降低且达到极显著水平 ($P < 0.01$), 表明该树种在交通尾气污染环境中无法通过提高叶绿素含量的方法来提升其光合能力; 其余树种的叶绿素含量变化不显著, 仅轻

作用外, 还可以清除逆境或衰老过程中积累的自由基和活性氧, 保护叶绿素 (韩利军等, 2002)。本研究的 14 个树种中除了越南山龙眼和假鹰爪外, 其余

表 5 各树种在两个样地的叶绿素含量和类胡萝卜素含量比较

Table 5 Comparison of chlorophyll and carotenoid contents in leaves of plants in two plots

植物种类 Plant species	植物园 Botanical garden		道路绿地 Road greenland			
	$C_T(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$	$C_c(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$	$C_T(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$	$C_c(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$	ΔC_T	ΔC_c
胡氏青冈 <i>C. hui</i>	1.11±0.08	0.25±0.02	1.52±0.34 *	0.32±0.05 * *	36.94%	28.00%
深山含笑 <i>M. maudiae</i>	0.93±0.10	0.19±0.04	1.25±0.18 * *	0.27±0.03 * *	34.41%	42.11%
红鳞蒲桃 <i>S. hancei</i>	1.20±0.23	0.23±0.04	1.29±0.24	0.25±0.23	7.50%	8.70%
黄栀子 <i>G. jasminoides</i>	1.52±0.19	0.28±0.03	1.61±0.19	0.28±0.03	5.92%	0.00%
格木 <i>E. fordii</i>	1.53±0.27	0.48±0.08	1.60±0.14	0.48±0.03	4.58%	0.00%
山杜英 <i>E. sylvestris</i>	1.39±0.20	0.29±0.03	1.44±0.08	0.29±0.01	3.60%	0.00%
越南山龙眼 <i>H. cochinchinensis</i>	1.34±0.27	0.32±0.06	1.37±0.10	0.26±0.01 *	2.24%	-18.75%
黄果厚壳桂 <i>C. concinna</i>	0.71±0.10	0.18±0.01	0.72±0.15	0.18±0.04	1.41%	0.00%
枫香 <i>L. formosana</i>	1.78±0.35	0.26±0.01	1.75±0.31	0.24±0.05	-1.69%	-7.69%
红叶石楠 <i>P. serrulata</i>	1.16±0.10	0.25±0.02	1.13±0.27	0.25±0.05	-2.59%	0.00%
樟树 <i>C. camphora</i>	1.92±0.32	0.41±0.05	1.84±0.27	0.38±0.05	-4.17%	-7.32%
九节 <i>P. asiatica</i>	1.27±0.16	0.24±0.02	1.19±0.31	0.22±0.05	-6.30%	-8.33%
假鹰爪 <i>D. chinensis</i>	1.29±0.17	0.27±0.03	1.19±0.15	0.22±0.02 *	-7.75%	-18.52%
华润楠 <i>M. chinensis</i>	1.44±0.34	0.12±0.03	0.90±0.16 * *	0.07±0.02 * *	-37.50%	-41.67%

12 个树种在交通污染胁迫下的类胡萝卜素含量与叶绿素含量协同变化,成正相关关系:胡氏青冈与深山含笑的类胡萝卜素含量显著提升;华润楠的类胡萝卜素含量显著降低;其余 10 个树种的类胡萝卜素含量变化不明显。

2.4 初始荧光 (F_0) 与光能转化效率

光能转化效率是度量 PS II 光化学效率的一项

指标,大气中 SO_2 、 NO_x 和氟化物等污染物的大量存在,会影响叶绿体中光系统的电子传递,降低植物叶片光化学效率。从表 6 可知,在交通尾气污染环境,14 个华南乡土树种中仅红鳞蒲桃、华润楠和胡氏青冈的光能转化效率降低,表明大多数乡土树种对交通污染胁迫不敏感,抗污染能力较强。经比较分析发现,14 个树种的 F_v/F_m 与 F_0 成反相关关

表 6 各植物在道路绿地与植物园的初始荧光与光能转化效率比较

Table 6 Comparison of minimal fluorescence and optimal PS II efficiency of plants in two plots

植物种类 Plant species	植物园 Botanical garden		道路绿地 Road greenland			
	F_0	F_v/F_m	F_0	F_v/F_m	ΔF_0	$\Delta F_v/F_m$
黄栀子 <i>G. jasminoides</i>	0.14±0.03	0.74±0.02	0.12±0.02 * *	0.81±0.01 * *	-14.29%	9.46%
越南山龙眼 <i>H. cochinchinensis</i>	0.13±0.02	0.79±0.01	0.11±0.01 * *	0.82±0.01 * *	-15.38%	3.80%
山杜英 <i>E. sylvestris</i>	0.14±0.02	0.79±0.02	0.12±0.02 * *	0.81±0.01 * *	-14.29%	2.53%
樟树 <i>C. camphora</i>	0.13±0.03	0.79±0.02	0.11±0.01 * *	0.81±0.01 * *	-15.38%	2.53%
黄果厚壳桂 <i>C. concinna</i>	0.16±0.04	0.74±0.02	0.15±0.02	0.75±0.03	-6.25%	1.35%
九节 <i>P. asiatica</i>	0.16±0.02	0.77±0.02	0.15±0.02	0.78±0.02	-6.25%	1.30%
红叶石楠 <i>P. serrulata</i>	0.12±0.04	0.80±0.03	0.11±0.01	0.81±0.02	-8.33%	1.25%
枫香 <i>L. formosana</i>	0.13±0.02	0.81±0.01	0.11±0.01 * *	0.82±0.02 *	-15.38%	1.23%
假鹰爪 <i>D. chinensis</i>	0.15±0.02	0.75±0.02	0.14±0.02	0.75±0.03	-6.67%	0.00%
格木 <i>E. fordii</i>	0.13±0.03	0.78±0.02	0.13±0.02	0.78±0.03	0.00%	0.00%
深山含笑 <i>M. maudiae</i>	0.12±0.01	0.82±0.02	0.12±0.02	0.82±0.01	0.00%	0.00%
红鳞蒲桃 <i>S. hancei</i>	0.10±0.02	0.77±0.02	0.10±0.02	0.76±0.03	0.00%	-1.30%
华润楠 <i>M. chinensis</i>	0.13±0.02	0.78±0.02	0.15±0.02 * *	0.76±0.03 * *	15.38%	-2.56%
胡氏青冈 <i>C. hui</i>	0.12±0.02	0.78±0.02	0.13±0.02	0.76±0.05	8.33%	-2.56%

系:如黄栀子、越南山龙眼、山杜英、樟树和枫香的 F_0 极显著降低 ($P < 0.01$),其 F_v/F_m 则相应地显著增高 ($P < 0.05$) 或极显著增高 ($P < 0.01$),表明 5 个树种能通过降低 F_0 、提高 F_v/F_m 来提高光合能力,以应对交通尾气污染;华润楠的 F_0 极显著增高 ($P < 0.01$),其 F_v/F_m 则极显著降低;其余 8 个树种的 F_0 变化不明显,其对应的 F_v/F_m 变化也不明显。

3 讨论

(1) 植物 C_i 的大小取决于 4 个可能变化的因素:叶片周围空气的 CO_2 浓度、气孔导度、叶肉导度和叶肉细胞的光合活性。空气的 CO_2 浓度增高、气孔导度与叶肉导度增大和叶肉细胞的光合活性降低

都可以导致 C_i 的增高。本研究中,交通尾气污染区内 14 个树种不论其净光合速率、气孔导度和光能转化效率升高或是降低,其 C_i 都比对照区(植物园样地)的极显著升高,其主要原因可能是道路绿地空气中的 CO_2 浓度比植物园的高。

(2)植物通过改变气孔的开度等方式来控制与外界 CO_2 和水汽的交换,从而调节植物的光合作用和蒸腾作用,以适应不同的环境条件。理论上,植物叶片 G_s 的变化是 P_n 变化的决定性因素, G_s 增大有利于提高植物的净光合速率。叶绿素是绿色植物进行光合作用所必需的色素,叶绿素含量(C_t)高有利于植物进行光合作用(潘瑞炽,2001)。光能转化效率(F_v/F_m)高,说明植物对光的利用率高,光合能力强。因此在理论上,植物的 P_n 与其 G_s 、 C_t 和 F_v/F_m 成正相关关系。本研究中,交通污染胁迫下光合能力向上调节的越南山龙眼的 G_s 和 F_v/F_m 显著提升, C_t 也有一定程度的提升, P_n 与其 G_s 、 C_t 和 F_v/F_m 素成正相关关系,与理论研究相符。光合能力无明显调节的树种中,假鹰爪、红鳞蒲桃、华润楠、红叶石楠和九节在其 C_t 和 F_v/F_m 无明显变化或显著降低的情况下,能通过提高 G_s 来维持 P_n 不下降;枫香和樟树在 G_s 和 C_t 无明显变化的情况下,会通过提高 F_v/F_m 来维持 P_n 不下降,以适应环境胁迫;表明这 7 个树种在交通尾气胁迫时能通过协调 G_s 、 C_t 和 F_v/F_m 三者之间的此消彼长,保证植株的正常生长。受交通尾气污染光合能力向下调节的 6 个树种中,除了黄栀子的 G_s 显著下降外,其余 5 个树种的 G_s 都有不同程度的提升,其中黄果厚壳桂的 G_s 提升水平达到了极显著水平,而且它们的 C_t 和 F_v/F_m 不是显著升高就是无明显变化,从理论上讲,这 5 个树种的 P_n 应该向上调节或无明显调节,然而事实确是其 P_n 向下调节。究其原因,是因为植物光合速率不仅受到气孔因素影响还受到非气孔因素的影响:如强光会破坏类囊体膜、PSII 颗粒或放氧颗粒等光合器管,改变叶片叶绿体的活性(陶宗娅等);长期的大气污染会对叶绿素造成破坏,同时影响 1,5-二磷酸核酮糖羧化酶/加氧酶(Rubisco)的活性,甚至会对植物造成永久性的损伤,特别是植物叶片光系统的损伤(黎明等,2005),这些非气孔因素都会造成植物叶片光合速率的降低。山杜英、格木、黄果厚壳桂、胡氏青冈和深山含笑 5 个树种的 P_n 向下调节,可能是因为长期的交通尾气污染对其光合系统造成了永久性的损伤所

致。至于黄栀子,其 G_s 和 F_v/F_m ,一个极显著下降,一个极显著升高, C_t 轻微升高,其最终的光合能力表现为向下调节,其原因是否因 G_s 比 F_v/F_m 和 C_t 对光合速率的影响大有待进一步研究。

4 结论

本实验研究了 14 种华南乡土树种在交通尾气污染中的光合生理反应,结果表明植物在交通尾气胁迫下与其它环境胁迫(如高浓度 CO_2)下的反应一致,都会出现光合能力向上调节、向下调节和无明显调节等三种表现。

越南山龙眼是一种抗交通污染能力很强的树种,它通过提升 G_s 、 C_t 和 F_v/F_m 来提升其光合能力,是一种值得在道路绿地大力推广的乡土树种;假鹰爪、红鳞蒲桃、枫香、华润楠、红叶石楠、樟树和九节等 7 个树种抗交通尾气污染的能力也不错,能通过协调 G_s 、 C_t 和 F_v/F_m 三者之间的平衡,维持光合能力基本不变,保证植株正常生长,也适合在道路绿地种植;山杜英、格木、黄果厚壳桂、胡氏青冈、黄栀子和深山含笑等 6 个树种对交通尾气污染较敏感,在汽车尾气胁迫下光合能力会下降,抗污染能力不强,不适宜在道路绿地种植。

参考文献:

- 林宏辉,赵云,王茂林,等. 2003. 现代生物学基础实验指导[M]. 成都:四川大学出版社:15—18
- 潘瑞炽. 2001. 植物生理学[M]. 北京:高等教育出版社:218—266
- Abdulmoniem MA, Saadabi, Al-Nur El-Amin. 2011. Effects of environmental pollution (auto-exhaust) on the micro-morphology of some ornamental Plants from Sudan[J]. *Environ Res J*, 5(2): 38—41
- Avnish Chauhan. 2010. Photosynthetic pigment changes in some selected trees induced by automobile exhaust in Dehradun, Uttarakhand[J]. *New York Sci J*, 3(2):45—51
- Du MH(杜敏华), Zhang NQ(张乃群), Li YY(李玉英), et al. 2007. Effect of atmosphere pollution on chlorophyll content in greening plant leaves(大气污染对城市绿化植物叶片叶绿素含量的影响)[J]. *Environ Mon Chin*(中国环境监测), 23(2):86—88
- Feng Q(冯强), Hu D(胡聘), Wang SB(王绍斌). 2007. Study on the impacts of urban environment on urban plant(城市环境对城市植物影响的研究)[J]. *J Anhui Agric Sci*(安徽农业科学), 35(35):11 562—11 565
- Geng YS(耿永生). 2010. Tail gas pollution from the vehicles and its control technology(汽车尾气污染及其控制技术)[J]. *Environ Sci Surv*(环境科学导刊), 29(6):62—69
- Han LJ(韩利军), Yang CW(阳成伟), Ou ZY(欧志英). 2002. (下转第 750 页 Continue on page 750)