

三种木本植物对酸雨的敏感性和抗性

余春珠^{1,2}, 温达志^{1*}, 彭长连¹

1.中国科学院华南植物园, 广东 广州 510650; 2.中国科学院研究生院, 北京 100039

摘要: 酸雨污染对生态系统和人类生存环境造成严重影响, 研究植物抗性及其对环境的适应能力是大气污染胁迫退化生态系统恢复中植物种类选择的基础和前提。作者选择陶瓷工业污染区南海西樵山和相对清洁区肇庆鼎湖山自然生长的木本植物鸭脚木(*Schefflera octophylla*)、荷木(*Schima superba*) 当年生叶和一年生叶以及马尾松(*Pinus massoniana*) 一年生针叶进行生理指标的测定和分析。结果表明: 在酸雨污染环境下, 3种植物叶片的细胞膜透性受到损害, 光合色素降解, PSII 最大光化学效率下降; 对酸雨污染的敏感性次序为: 马尾松>鸭脚木 荷木, 马尾松为酸雨敏感种。初步讨论了树木对酸雨污染的部分抗性生理机制, 为酸雨污染地区退化生态系统恢复之植被选择提供理论依据。

关键词: 木本植物; 酸污染; 敏感性; 抗性

中图分类号: Q945.11

文献标识码: A

文章编号: 1672-2175 (2005) 01-0086-05

森林冠层是植物与大气层之间进行能量、C 和水分交换的活动界面, 因此, 树冠特性的研究对评估生态系统质量及其功能状况具有十分重要的作用^[1]。冠层特征与生物和非生物干扰如极端气候条件、大气污染和昆虫侵袭之间的相关关系曾有报道。Waring等^[2]认为冠层叶面积的下降与污染引起的长期胁迫有关, 而Aber等^[3]提出了森林对长期N污染表现出叶生物量先渐渐增加, 但随森林衰退而下降的理论。有研究指出生长效率受环境胁迫和酸污染引起的N和Mg元素的不平衡, 低生长效率增加了森林对昆虫侵袭的敏感性^[4]。可见, 直接暴露在大气中的树冠比其他森林结构组分对干扰更敏感, 反应更加迅速。林木对酸污染的敏感性和抗性在生理上的反应是多方面的, 如光合作用、呼吸作用、气孔运动及蒸腾作用等方面都可能变化, 因此可用生理指标来比较树木对酸污染的敏感性和抗性^[5], 可在形态结构受害症状出现之前就被检测到。

改革开放以来, 珠江三角洲随着陶瓷工业的迅速崛起和生产规模的持续扩大以及自然资源过度开发利用导致环境不断恶化, 已经对自然群落、生态系统服务功能^[6]和周边居民生存环境构成严重威胁, 这些污染主要为酸污染前体物^[7]。据佛山市南海区环保局的统计资料, 2001年全市平均酸雨频率为75.8%, 酸雨总量占总雨量的80.9%, 降水平均pH值为4.48, 酸雨频率高于广东全省的平均水平, 且有上升的趋势^[8]。我们选择西樵山

的乡土木本树种鸭脚木、荷木和马尾松, 通过检测其生理生化指标的变化, 探讨木本植物对酸污染的敏感程度和耐受能力的差别, 分析影响树木对酸污染的敏感性和抗性的内部生理因素, 阐明树木对酸污染的抗性机制, 为城市园林和道路绿化树种的选择提供科学参考。

1 研究地概况

西樵山位于广东省珠江三角洲腹地佛山南海区的西南部, 22°38'~23°34' N, 112°22'~113°23' E, 距广州市 40 km。该区常年受陶瓷工业大量污染物排放的影响, 大气硫酸盐化速率和氟含量远远超过国家排放标准, 周边森林受到不同程度的伤害。鼎湖山位于肇庆市鼎湖区, 23°09'21"~23°11'30" N, 112°30'39"~112°33'41" E, 距广州 86 km。该区周边无污染性工厂, 受污染排放的直接影响较轻, 空气质量良好。

2 材料与方法

2.1 材料

2003年9月, 在2个实验点上以污染源远距离传输方向为南北向, 东、南、西、北方位采集混合植物样品; 选择冠层中部中等大小枝条相对健康、未出现可见伤害症状的鸭脚木(*Schefflera octophylla*)、荷木(*Schima superba*) 当年生和一年生叶片以及马尾松(*Pinus massoniana*)¹⁾一年生针叶, 所选择的叶片在冠层和在枝条上着生的位置尽可能一致。采集后的叶片迅速放入装有液氮的冰壶中保存, 当天带回实验室进行以下指标的测定。

基金项目: 国家自然科学基金项目(30370283); 中国科学院华南植物园领域前沿项目; 佛山市科技研究开发项目

作者简介: 余春珠(1979-), 女, 硕士生, 从事植物环境生理学研究。E-mail: yuchzhg@163.net

*联系人: 温达志, dzwen@scib.ac.cn

收稿日期: 2004-11-15

1) 马尾松对酸雨污染极为敏感, 当年生针叶死亡严重, 所以未采集到。

2.2 细胞膜渗透率测定

用水洗净叶片,擦干,用打孔器取面积为 1 cm^2 的 30 个圆片(针叶平铺好打孔),放入 50 mL 烧杯中,加去离子水 20 mL 搅拌,25 恒温 2.5 h。膜渗透率用 DDS-11A 型电导仪测定浸出液和煮沸后浸出液的电导率的相对比率。

2.3 DPPH 清除率测定

参考 Larrauri 和 Yokozawa 等^[9, 10]的方法及彭长连等进行修改的方法^[11]。利用 1,1-二苯基苦基苯肼溶液的特征紫红色团的吸收峰,以分光光度法测定加抗氧化剂或植物提取液后 $A_{525\text{ nm}}$ 吸收的下降表示其对有机自由基消除能力。

2.4 光合色素测定

参照林植芳等^[12]的方法,以 80%丙酮提取,分光光度法测定叶绿素和类胡萝卜素的含量。

2.5 叶绿素荧光测定

根据彭长连等^[13]的方法,用脉冲调制荧光仪(PAM, Germany)测定叶片叶绿素荧光诱导曲线。在叶片暗适应 15 min 后,在弱调制测量光($0.05\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)诱导下测最小荧光(F_0),在 F_0 之后采用强饱和脉冲($5000\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)激发得最大荧光(F_m)。

3 结果与分析

3.1 酸污染胁迫下植物叶片细胞膜渗透率和 DPPH 清除率的变化

图 1a 可见,酸污染胁迫导致所有树种细胞膜电解质渗透率的增加。西樵山鸭脚木、荷木当年生

和 1 年生叶膜渗透率为 13%~16%,高于相对清洁区鼎湖山(11%~12.5%),马尾松也有类似的结果,表明西樵山的植物较鼎湖山植物受害严重。此外,马尾松针叶膜渗透率(22%~35.5%)明显比鸭脚木(11%~14%)和荷木(11%~16%)高,这可能与不同树种叶表面结构及叶肉组织特征有关,马尾松针叶通常为三棱形,且表面相对阔叶树种粗糙。

酸污染可引起植物的氧化逆境和改变细胞防卫系统的状况。但植物在进化和发育过程中形成了一套有效的自我保护机制,最大限度地降低可能出现的代谢不平衡或细胞损伤,保留其在不良环境中的生存能力^[14]。本研究用 DPPH 清除率表征酸污染对植物总抗氧化能力的影响(图 1b)。可见,西樵山受陶瓷工业污染较严重,3 种植物叶 DPPH 清除率明显低于鼎湖山,且马尾松 DPPH 清除率远低于鸭脚木和荷木。这均表明西樵山生长的植物受酸污染的影响比鼎湖山大,且马尾松受害风险和程度大于其他两个阔叶树种。此外,DPPH 清除率与叶龄密切相关。鸭脚木当年生叶的 DPPH 清除率为 14.77%,大约是 1 年生叶(7.52%)的 2 倍;荷木则相反,其 1 年生叶比当年生叶有较高的 DPPH 清除能力。

3.2 酸污染胁迫下植物叶片色素含量的变化

植物叶片叶绿素含量是反映叶光合作用及其潜力的重要指标,受强光、污染等胁迫因子的影响。图 2a 可见,污染胁迫导致所有树种叶绿素含量出现不同程度的下降,尤其以荷木 1 年生叶和马尾松

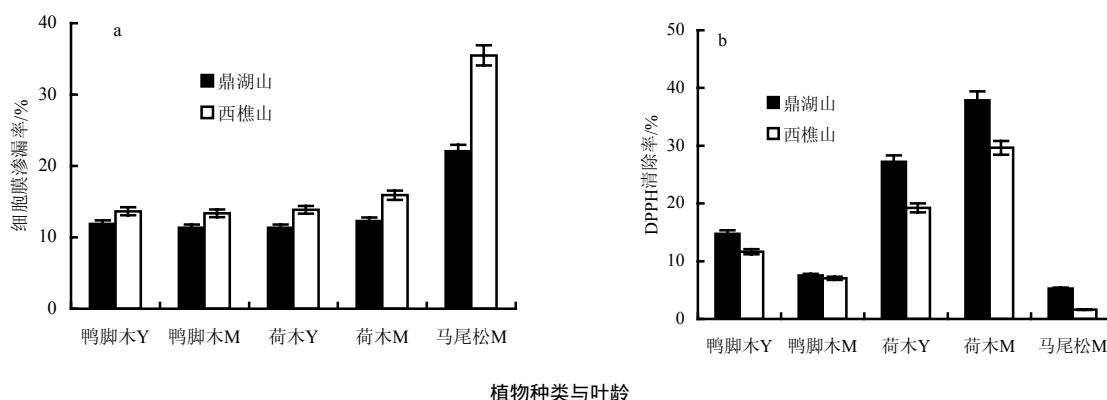


图 1 酸污染胁迫下植物当年生叶(Y)和一年生叶(M)的细胞膜渗透率(a)和 DPPH 清除率(b)

Fig. 1 Cell membrane leakage rate(a) and scavenging DPPH rate(b) in leaves of plants to acid pollution stress.

Y and M for the current and 1-yr-old leaves, respectively

针叶明显,分别下降 29.90%和 29.76%,体现出对污染胁迫相对较高的敏感性。无论是鸭脚木还是荷木叶绿素含量都表现为 1 年生成熟叶高于当年生叶,尤其以荷木较明显,约为 1.13 倍。

类胡萝卜素是植物细胞中一种重要的辅助色素,在光合作用过程中的主要功能包括过剩激发能的耗散和活性氧的清除,以保护其细胞器免受伤害^[15]。总体上,污染导致荷木 1 年生叶类胡萝卜素含量明

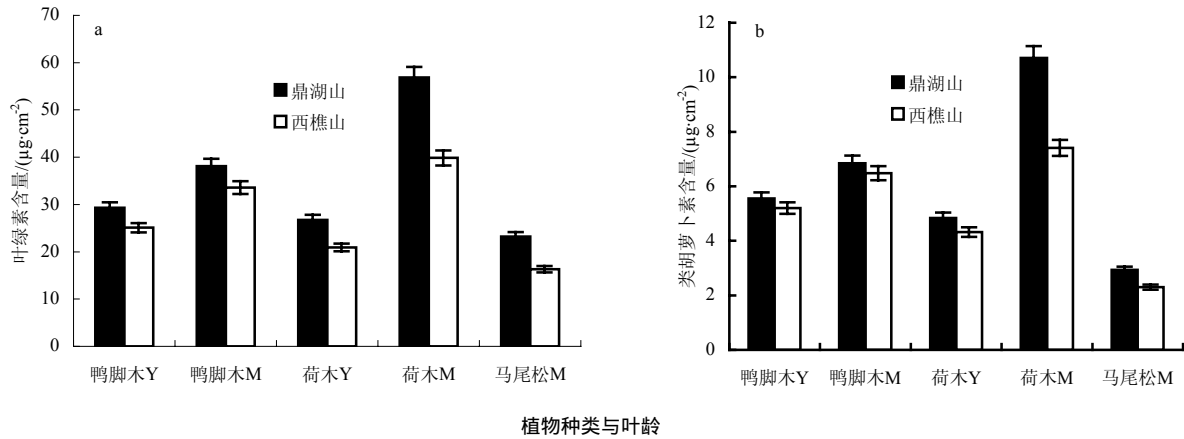


图2 酸污染胁迫下植物当年生叶(Y)和一年生叶(M)叶绿素(a)和类胡萝卜素含量(b)

Fig. 2 The contents of chlorophyll (a) and carotenoid in leaves of plants to acid pollution stress.

Y and M represent for the current and 1-yr-old leaves, respectively

显下降,下降了30.81%,大大降低了污染胁迫下耗散过剩激发能和清除活性氧的能力;其次是马尾松和当年生荷木分别下降21.50%和10.74%;最后是当年生和一年生鸭脚木分别下降6.31%和5.40%。就绝对值而言,荷木1年生叶的含量明显较高,其次是鸭脚木,马尾松含量最低(图2b)。

3.3 酸污染对植物叶片叶绿素荧光特性的影响

已有研究表明,植物的荧光参数与大气污染程

度之间具有一定的相关性,不同植物的荧光参数对大气污染的响应存在显著差别,可作为环境评价的重要依据^[16,17]。 F_v/F_m 是叶绿体光系统II活性的一种度量^[18],表征为原初光化学效率。和相对清洁区比较,受酸污染影响的3种植物叶 F_v/F_m 都有不同程度的下降(图3a),污染区鸭脚木的 F_v/F_m 降为相对清洁区的95.8%(当年生叶)和92.8%(1年生叶),荷木为93.2%(当年生叶)和93%(1年生叶),

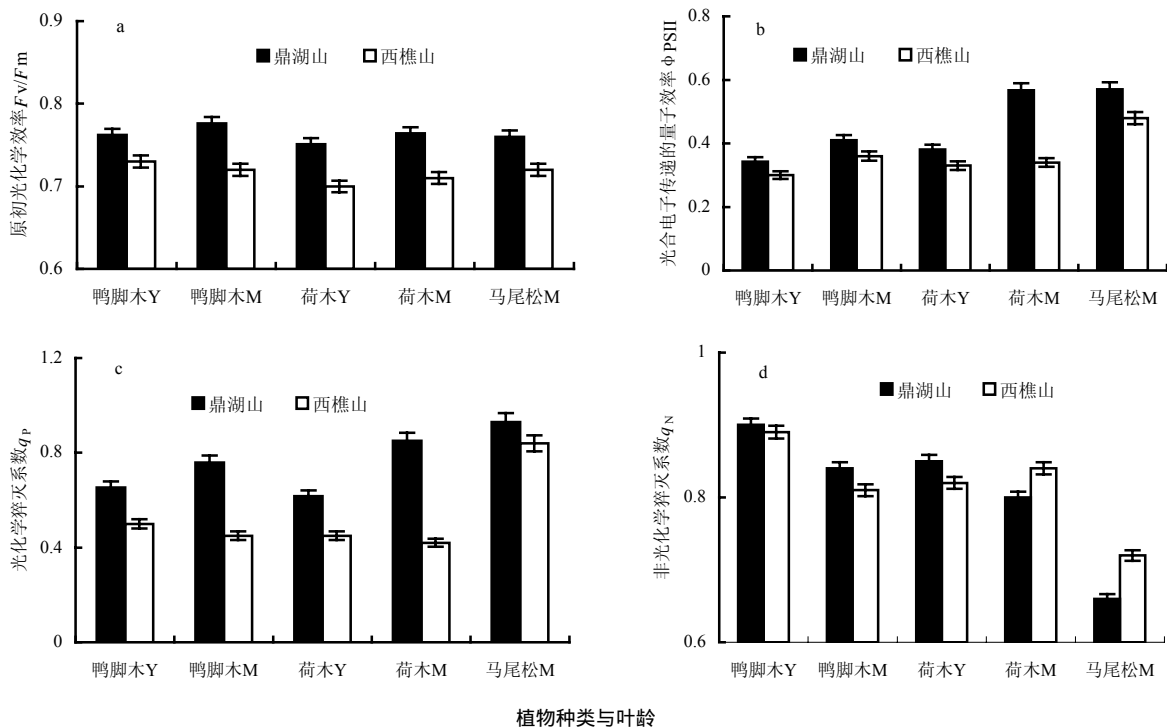


图3 酸污染胁迫下植物当年生叶(Y)和一年生叶(M)原初光化学效率(a) 光合电子传递的量子效率(b) 光化学猝灭系数(c)和非光化学猝灭系数(d)

Fig. 3 The values of F_v/F_m (a), ϕ_{PSII} (b), q_p (c) and q_n (d) in leaves of plants to acid pollution stress. Y and M represent for the current and 1-yr-old leaves, respectively.

马尾松为 94.7%。

叶绿体的开放 PSII 反应中心的光化学量子效率 PSII 为 F_v/F_m ,与非循环电子传递速率成正比,反映 PSII 的活性^[19]。图 3b 中 3 种植物受酸污染影响的 PSII 变化与 F_v/F_m 相似,受污染的 PSII 值均下降。酸污染导致荷木 1 年生叶 PSII 明显下降,降幅为 61.8%,表明荷木光系统 II 对酸污染较敏感。

q_P 的减少表明酸雨胁迫后 PS 开放的反应中心比例和参与 CO₂ 固定的电子减少。这种比例的减少,必然会增加不能进行稳定电荷分离、不能参与光合电子线性传递的 PS 反应中心关闭部分的比例,使光合电子传递能力减弱,即 Q-A 重新氧化为 QA 的能力减弱^[20]。图 3c 可见,马尾松有相对较高的 q_P 值,与其较高的 PSII 相吻合;荷木 1 年生叶也有较高的 q_P 值,但污染胁迫下明显下降,与其 PSII 变化相一致。

q_N 反映 PSII 反应中心非辐射能的分配,即过剩光能以热能等非化学能形式耗散的潜力,是植物抗逆能力的测度指标^[21]。图 3d 可见,马尾松 q_N 显著的低,表明它对过刺激能的耗散能力低于其它阔叶树种。酸污染导致鸭脚木和荷木当年生叶 q_N 的下降,提高了其在高光强环境下受损害的风险,但荷木 1 年生叶和马尾松针叶 q_N 则出现不同程度的增高,体现了植物对逆境的适应,这种适应策略与树种、叶龄相关。

4 讨论

根据本实验的结果可对上述三种植物对酸污染的敏感性和抗性划分等级:高度敏感的植物马尾松,中度敏感植物荷木,和具有较高抗性的植物鸭脚木。

酸污染对木本植物光合生理有影响,如光合色素含量降低, F_v/F_m 、PSII、 q_P 和 q_N 降低,但植物也会通过生理途径来减少酸污染对其造成的危害。不同树种对酸污染的敏感性和抗性差异是明显的,其内部因素主要有林木种类、林木生长发育期、林木不同器官、不同生理过程等。裸子植物总体上比双子叶树木的抗性强,单子叶比双子叶植物的抗性强^[22]。不同树种抗酸性由小到大的次序是:落叶针叶树<落叶阔叶树<常绿针叶树<常绿阔叶树^[23]。针叶树的抗性较阔叶树弱,与针叶树有多而密的气孔带,以及针叶内较低的 Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺ 等阳离子含量,中和酸的能力弱有关。此外,鸭脚木当年生叶与 1 年生叶对酸污染响应的变化不大,表现出较高的抗性,荷木则 1 年生叶比当年生叶敏感。这可能与不同植物生长节律差异和生长发育稳定程度有关,例如,

采样测定时,某些树种当年生叶可能尚未达到成熟稳定,1 年生老叶则可能处于老化阶段。当酸污染的有害物质进入植物体后,植物通过自身的解毒能力,对有害物质进行清除,分解或转化为无毒物质。虽然实验中 DPPH 清除率受污染影响而下降,但下降幅度不大,说明此时这种机制还在运行,以此来减少不良环境对植物的影响。实验中马尾松的 PSII 最高,但光合色素含量最低,这说明植物通过提高 PSII 来减少光合色素含量低的不足。还有荷木和马尾松在受酸污染时 q_N 升高,这也是植物适应不良环境的一种策略。

植物抗性及其对环境的适应能力是大气污染胁迫退化生态系统恢复中植物种类选择的基础和前提。本实验初步讨论了三种木本植物对酸雨污染的部分抗性生理机制,结果表现出不同植物对大气污染有不同程度的抗性和耐受能力,所以探讨不同植物抗污染机制和防御策略,可为酸污染地区重度退化生态系统恢复之树种选择和方案制定提供科学理论依据。

参考文献:

- [1] WARING R H. Estimating forest growth and efficiency in relation to canopy leaf area[J]. *Advance in Ecology Research*, 1983, 13: 327-354.
- [2] WARING R H, MCDONALD A J S, LARSSON S, *et al.* Differences in chemical composition of plants grown at constant relative growth rates with stable mineral nutrition[J]. *Oecologia*, 1985, 66: 157-160.
- [3] ABER J D, NADELHOFER K J, STEUDLER P, *et al.* Nitrogen saturation in temperate forest ecosystems: hypotheses revisited[J]. *Bio-Science*, 1989, 39: 378-386.
- [4] WARING R H, PITMAN G B. Modifying lodgepole pine stands to change susceptibility to mountain pine beetle attack[J]. *Ecology*, 1985, 66(3): 890-897.
- [5] 刘泳珍. 酸沉降的形成、危害及其防治[J]. *湘潭矿业学院学报*, 1994, 9(1): 21-24.
- LIU Y Z. The formation of acid deposition, harm and its prevention and cure [J]. *Journal of Xiangtan Mining Institute*, 1994, 9(1): 21-24.
- [6] 温达志, 旷远文, 刘世忠, 等. 大气污染对珠江三角洲村边林植被的影响[J]. *热带亚热带植物学报*, 2003, 11(4): 386-392.
- WEN D Z, KUANG Y W, LIU S Z, *et al.* Vegetation damage at ambient levels of air pollution at a rural site in the Pearl River Delta in south China[J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2003, 11(4): 386-392.
- [7] 刘世忠, 薛克娜, 孔国辉, 等. 大气污染对 35 种园林植物生长的影响[J]. *热带亚热带植物学报*, 2003, 11(4): 329-335.
- LIU S Z, XUE K N, KONG G H, *et al.* Effects of air pollution on the growth of 35 garden plants[J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2003, 11(4): 329-335.
- [8] 南海环保. 生态环境·环境质量[EB/OL]. <http://huanbao.nanhai.gov.cn/zhiliang/2001.htm>, 2004-03-25.
- [9] LARRAURI J A, SANCHEZ-MORENO C, SAURA-CALIXTO F. Effect of temperature on the free radical scavenging capacity of ex-

- tracts from red and white grape pomace peels[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1998, 46(7): 2 694-2 697.
- [10] YOKOZAWA T, DONG E, NATAGAWA T, *et al.* In vitro and in vivo studies on the radical-scavenging activity of tea[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1998, 46(6): 2 143-2 150.
- [11] 彭长连, 陈少薇, 林植芳, 等. 用清除有机自由基 DPPH 法评价植物抗氧化能力[J]. 生物化学与生物物理进展, 2000, 27(6): 658-661.
- PENG C L, CHEN S W, LIN Z F, *et al.* Detection of antioxidative capacity in plants by scavenging organic free radical DPPH[J]. Progress of Biochemistry and Biophysics, 2000, 27(6): 658-661.
- [12] 林植芳, 李双顺, 林桂珠, 等. 水稻叶片的衰老与超氧化物歧化酶和脂质过氧化物的变化[J]. 植物学报, 1984, 26: 605-615.
- LIN Z F, LI S S, LIN G Z, *et al.* Superoxide dismutase activity and lipid peroxidation in relation to senescence of rice leaves[J]. Acta Botanica Sinica, 1984, 26: 605-615.
- [13] 彭长连, 林植芳, 林桂珠, 等. 旅游和工业化对亚热带森林地区大气污染环境质量及两种木本植物叶绿素荧光特性的影响[J]. 植物学报, 1998, 40(3): 270-276.
- PENG C L, LIN Z F, LIN G Z, *et al.* Effect of tourism and industrialization on the atmospheric quality of subtropical forests and on chlorophyll fluorescence of two species of woody plants[J]. Acta Botanica Sinica, 1998, 40(3): 270-276.
- [14] MISHRA N P, MISHRA R K, SINGHAL G S. Changes in the activities of anti-oxidant enzymes during exposure of intact wheat leaves to strong visible light at different temperatures in the presence of protein synthesis inhibitors[J]. Plant Physiology, 1993, 102: 903-910.
- [15] CROCE R, WEISS S, BASSI R. Carotenoid-binding sites of the major light-harvesting complex II of higher plants[J]. Journal of Biological Chemistry, 1999, 274(42): 29 613-29 623.
- [16] 苏行, 胡迪琴, 林植芳, 等. 广州市大气污染对两种绿化植物叶绿素荧光特性的影响[J]. 植物生态学报, 2002, 26(5): 599-604.
- SU X, HU D Q, LIN Z F, *et al.* Effect of air pollution on the chlorophyll fluorescence characters of two afforestation plants in Guangzhou[J]. Acta Phytocologica Sinica, 2002, 26(5): 599-604.
- [17] 彭长连, 温达志, 孙梓健, 等. 城市绿化植物对大气污染的响应[J]. 热带亚热带植物学报, 2002, 10(4): 321-327.
- PENG C L, WEN D Z, SUN Z J, *et al.* Response of some plants for municipal greening to air pollutants[J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2002, 10(4): 321-327.
- [18] SCHREIBER U, SCHLIWA U, BILGER W. Continuous recording of photochemical and nonphotochemical chlorophyll fluorescence quenching with a new type of modulation fluorometer[J]. Photosynthesis Research, 1986, 10: 51-62.
- [19] GENTY B, BRIANTS J M, BAKER N R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence[J]. Biochemistry and Biophysics Acta, 1989, 990: 87-92.
- [20] KRAUXE G H. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis The Basics Annual Review[J]. Plant Molecular Biology, 1991, 42: 313-349.
- [21] 冯建灿, 胡秀丽, 毛训甲. 叶绿素荧光动力学在研究植物逆境生理中的应用[J]. 经济林研究, 2002, 20(4): 14-18.
- FENG J C, HU X L, MAO X J. Application of Chlorophyll Fluorescence Dynamics to Plant Physiology in Adverse Circumstance[J]. Economic Forest Researches, 2002, 20(4): 14-18.
- [22] 单运峰. 模拟酸雨对 7 种森林植物生物量影响[J]. 生态学报, 1989, 9: 274-276.
- SHAN Y F. Effect of simulated acid rain on biomass of seven species forest plants [J]. Acta Ecologica Sinica, 1989, 9: 274-276.
- [23] 吴善才. 林木对酸沉降的敏感性和抗性[J]. 广西林业科学, 2002, 31(4): 186-201.
- WU S C. Sensitivity and resistance of forest plants to acid deposition[J]. Guangxi Forestry Science, 2002, 31(4): 186-201.

Sensitivity and resistance of three woody species to acid rain pollution

YU Chun-zhu^{1, 2}, WEN Da-zhi¹, PENG Chang-lian¹

1. South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

Abstract: Ecosystem and human surroundings were heavily influenced by acid rain pollution. In order to provide a scientific basis for selection of plant species for reconstructing the degraded ecosystem, it is necessary to study the sensitivity and resistance of woody species as well as acclimatization to air pollution stress. This study aims to characterize the ecophysiological responses of three woody species (*Schefflera octophylla*, *Schima superba* and *Pinus massoniana*), grown at the Xiqiaoshan, near ceramic factories, where the pollution is heavy, and at the Dinghushan Natural Reserve, a relatively clean site. Both sites are located in the Pearl River Delta area of south China, and similar in climate and geolocations. The results showed that: growing in the polluted environment, cell membrane leakage rate of leaves was increased, content of photosynthetic pigments and maximal photochemical efficiency of PSII were decreased; The sensitivity sequence of three species to acid rain was: *Pinus massoniana* > *Schefflera octophylla* > *Schima superba*, and *Pinus massoniana* was the most sensitive specie of all the three. Some physiological mechanism of tolerance of woody plants to acid rain pollution was also discussed in this paper.

Key words: woody plants; acid pollution; sensitivity; resistance