

浙江省 38 种园林绿化植物苗木对二氧化氮气体的抗性及其吸收能力

缪宇明¹, 陈卓梅², 陈亚飞¹, 杜国坚²

(1. 浙江林学院 园林学院, 浙江 临安 311300; 2. 浙江省林业科学研究院, 浙江 杭州 310023)

摘要: 采用人工熏气法, 研究 38 种浙江省常用园林绿化植物对二氧化氮(NO_2)气体的抗性及其吸收能力, 以系统聚类分析方法为依据, 将参试树种的抗性及其吸收能力分别划分为强性、较强性、中等、较弱及弱等 5 个等级。结果显示, 38 种植物对 NO_2 抗性存在较大差异, 抗性最强的为茶花 *Camellia japonica*, 最弱的为美人蕉 *Canna generalis* 和火棘 *Pyracantha fortuneana*; 38 种植物对 NO_2 吸收能力差异显著, 吸收能力最弱的为深山含笑 *Michelia maudiae*, 熏气前后氮元素质量分数差为 $1.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 最强为火棘, 熏气前后氮元素质量分数差为 $476.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 并以此作为浙江省城市功能型绿地配置物种选择依据。图 2 表 5 参 13

关键词: 植物学; 人工熏气法; 园林植物; 二氧化氮; 抗性; 吸收能力

中图分类号: Q945.7; S718.43 文献标志码: A 文章编号: 1000-5692(2008)06-0765-07

Resistance to and absorbency of gaseous NO_2 for 38 young landscaping plants in Zhejiang Province

MIAO Yu-ming¹, CHEN Zhuo-mei², CHEN Ya-fei¹, DU Guo-jian²

(1. School of Landscape Architecture, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China;

2. Zhejiang Forestry Academy, Hangzhou 310023, Zhejiang, China)

Abstract: To enhance the ability of garden city landscapes to decontaminate toxic gases, we studied the resistances and absorbencies to nitrogen dioxide (NO_2) of 38 commonly plants, which widely used in landscaping in Zhejiang Province with artificial fumigation method. According to the results of system cluster analysis by DPS software, resistances and absorbencies of the participants can be graded five levels: strong, moderately strong, mid-level, moderately weak, and weak. Results showed that the times to resist NO_2 of these 38 participants were ranged from 97 h to 25.5 h. *Camellia japonica* has the longest time while both *Canna generalis* and *Pyracantha fortuneana* have the shortest time. Moreover, the absorbencies to NO_2 of these 38 plants were also different. After treating them in fumigation chamber, the weakest one, *Michelia maudiae*, contains $1.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ of nitrogen while the strongest one, *Pyracantha fortuneana*, contains $476.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. [Ch, 2 fig. 5 tab. 13 ref.]

Key words: botany; artificial fumigation method; landscaping plant; nitrogen dioxide(NO_2); resistance; absorbency

二氧化氮(NO_2)是一种棕红色有刺激性臭味的气体, 为主要大气污染物之一, 来源于车辆废气、火力发电站和其他工业的燃料燃烧及硝酸、氮肥的生产过程。 NO_2 可以引起酸雨, 其二次产物亚硝酸气体使大气层底部臭氧增多, 导致城市上空产生有害烟雾^[1]。 NO_2 对人体的危害主要是影响呼吸系

收稿日期: 2007-11-20; 修回日期: 2007-12-27

基金项目: 浙江省科学技术重点计划项目(2005C22056)

作者简介: 缪宇明, 硕士研究生, 从事城市林业研究。E-mail: cat413640@126.com。通信作者: 杜国坚, 研究员, 从事城市林业研究。E-mail: dugj87798210@163.com

统,引起支气管炎和肺气肿;对植物的伤害主要是氮氧化物通过气孔进入植物体后,影响植物的各种生理过程^[2]。研究发现,植物对于一定浓度范围内的大气污染物,不仅具有一定的抵抗力,而且具有相当程度的吸收能力^[3],甚至有些植物可以很好地利用氮氧化物,而植物在吸收大气污染物同时,本身在不同程度上受到污染物的影响和损害^[4]。近几年,浙江省NO₂和总悬浮颗粒物的年均值有所上升,而该地区在常用园林植物对NO₂气体的抗性和吸收能力的研究目前尚属空白。笔者曾对浙江省主要园林绿化植物对氟化氢气体的抗性和吸收能力进行了研究^[5],本研究采用人工熏气法对浙江省38种园林常用绿化植物苗木对NO₂气体的抗性及吸收能力进行了定量研究,为浙江省及周边区域城市功能型园林绿地的物种配置提供科学依据,同时对实现浙江省城市林业的可持续发展和生态公益林的构建具有较大意义。

1 材料与方法

1.1 开顶式自动监控熏气装置

自动监控熏气装置顶部敞开,由配气系统、送风系统、熏气罩和监测系统组成。配气系统采用罐装气体,通过微机和电磁阀实时监测熏气室质量分数,可自动调控使熏气室气体质量分数保持在目标质量分数。送风系统采用轴流风机,将供试气体连续不断送入气室。熏气罩用有机玻璃制成,六面柱体,顶部略有收口。NO₂气体首先进入气室栅板的底部空间,再从栅板上均匀分布的1200多直径为12 mm的孔眼自下而上通过气室,使气室内实验气体质量分数均匀。监测系统中,有害气体质量分数监测采用在线式监测仪(传感器为瑞士生产)将信号传输到计算机,由计算机发出指令控制电磁阀的开关,将熏气室质量分数控制在目标值,数据采集密度达每秒1次,误差不超过5%。

1.2 树种的选择及实验材料的确定

本研究的实验对象主要是浙江省园林绿化中应用比较广泛的植物,主要是木兰科 Magnoliaceae,樟科 Lauraceae,壳斗科 Fagaceae 等乡土树种,其中木兰科有9种,樟科和金缕梅科 Hamamelidaceae 2个种,榆科 Ulmaceae 和山茶科 Theaceae 各2个种,共进行了38个植物苗木的熏气实验。选取生长健壮、条件基本相同的2年生容器苗。草本植物为当年播种或分盆,藤本植物为当年生嫩枝扦插。各树种3次重复。

1.3 试验方法设计

熏气条件: NO₂质量分数采用(10 ± 2) mg·kg⁻¹,环境温度17 ~ 27 °C,湿度40% ~ 60%,在同一季节进行熏气实验,以保证树种处在相同生长季。

抗性强度的确定: 观察植物的受害情况,当植物叶片出现5%伤害率时,记录下熏气持续时间,并以此作为树种抗性划分依据。其中,伤害率(%) = [伤害叶数(%) + 伤害面积(%)]/2。

吸收能力的确定: 当熏气苗木出现5%伤害率时,在苗木相同位置取样,洗净,60 °C烘干,粉碎后过80目筛,采用H₂SO₄-H₂O₂消煮,奈氏比色法测定全氮质量分数,以叶片氮质量分数的多少作为树种吸收NO₂能力的划分依据。吸收能力(mg·kg⁻¹) = 熏气后氮质量分数 - 熏气前氮质量分数,相对吸收能力(倍) = (熏气后氮质量分数 - 熏气前氮质量分数)/熏气前氮质量分数。

对照: 以同一地点,温、湿、光照及风力条件相同的健康植物为对照,同时采集叶样分析氮质量分数。

1.4 数据统计分析

运用系统聚类分析法,对38种植物的抗性及吸收能力等级进行分类,分别为强、较强、中等、较弱及弱等5个等级。

2 结果与分析

2.1 伤害症状

受NO₂毒害作用,大部分植物叶片先端呈现失绿现象,少数植物沿叶脉出现失绿斑;除出现失绿斑症状外,一些植物出现褐色斑点或叶缘由于失水出现卷缩。新叶出现症状时间相比老叶要早,受

伤害程度更明显。

2.2 植物抗性能力的研究

图 1 显示，将植物抗性从弱到强归为 5 类，抗性弱的有美人蕉 *Canna generalis* 和火棘 *Pyracantha fortuneana*，从黑壳楠 *Lindera megapytlla* 到湿地松 *Pinus elliotii* 属于较弱水平，从云山白兰 *Michelia platypetala* 到狭叶四照花 *Dendrobenthamia angustata* 属于中等水平，从峨嵋含笑 *Michelia wilsonii* 到红叶小檗 *Berberis thunbergii* 属于较强水平，从瓜子黄杨 *Buxus sinica* 到茶花 *Camellia japoica* 属于强水平。

表 1 显示的是不同抗性等级植物在熏气试验中的持续时间，美人蕉、火棘的抗性为弱，熏气持续时间只有 25.5 h，占参试树种总数的 5.26%；抗性强的植物有 11 种，占参试树种总数的 28.9%。樟科 3 个树种中黑壳楠的抗性处在较弱，天竺桂 *Cinnamomum chekiangense* 为中等，樟树 *Cinnamomum camphora* 抗性较强；木兰科的 9 个树种中，深山含笑 *Michelia maudiae* 和乐昌含笑 *Michelia chapensis* 抗性都为强，乳源木莲 *Manglietia fordiana* 和野含笑 *Michelia skinneriana* 抗性为较弱，剩下 5 个种处在中等和较强水平，木兰科植物总体而言抗性较强；金缕梅科 2 个树种美国枫香 *Liquidambar styraciflua* 和米老排 *Mytilaria laosensis* 抗性为中等；山茶科的木荷 *Schima superba* 为较强，山茶抗性为强。草本植物中，多年生草本美人蕉抗性最弱，麦冬 *Ophiopogon japonicus* 抗性较强，常春藤 *Hedera nepalensis* var. *sinensis* 抗性为强。

从表 2 可以发现，7 个落叶树种中，处于弱和较弱的共有 1 个，4 个处于中等，处于强和较强的 2 个。28 个常绿树种中，有 32.14% 属于抗性较弱和弱的等级，46.43% 的物种的抗性属于强或较强。落叶树种对 NO₂ 的抗性明显弱于常绿树种。

2.3 植物净化能力的研究

图 2 显示，将参试植物对 NO₂ 气体的吸收能力划分 5 个等级，从深山含笑到狭叶四照花 *Dendrobenthamia angustata* 植物吸收能力处于弱水平，从野含笑到瓜子黄杨属于较弱水平，乐东拟单木兰 *Parakmeria lotungensis* 到无患子 *Sapindus mukorossi* 属于中等水平，从槐树 *Sophura japonica* 到红叶小檗 *Berberis thunbergii* 属于较强水平，吸收能力为强的只有火棘。从图 2 中可以看出，大部分植物的吸收能力都集中在弱和较弱水平，其次集中在中等和较强水平。

表 3 是对不同植物吸收能力进行定量分析，大部分植物吸收能力都集中在弱和较弱水平，其中吸收能力弱的有 13 个种，如深山含笑、乳源木莲和云山白兰等，占总参试植物的 34.21%。吸收能力较弱 11 个种，中等有 7 个树种，吸收能力较强水平 6 个种，处于这些水平的树种占了总的参试树种的 63.16% 左右。吸收能力强的火棘，熏气前后，叶片氮元素质量分数变化 4 769.3 mg·kg⁻¹，氮元素质量分数变化百分比达到 404.5%。参试木兰科 9 个树种中，吸收能力弱的为 4 种，较弱 3 种，中等 2 种。

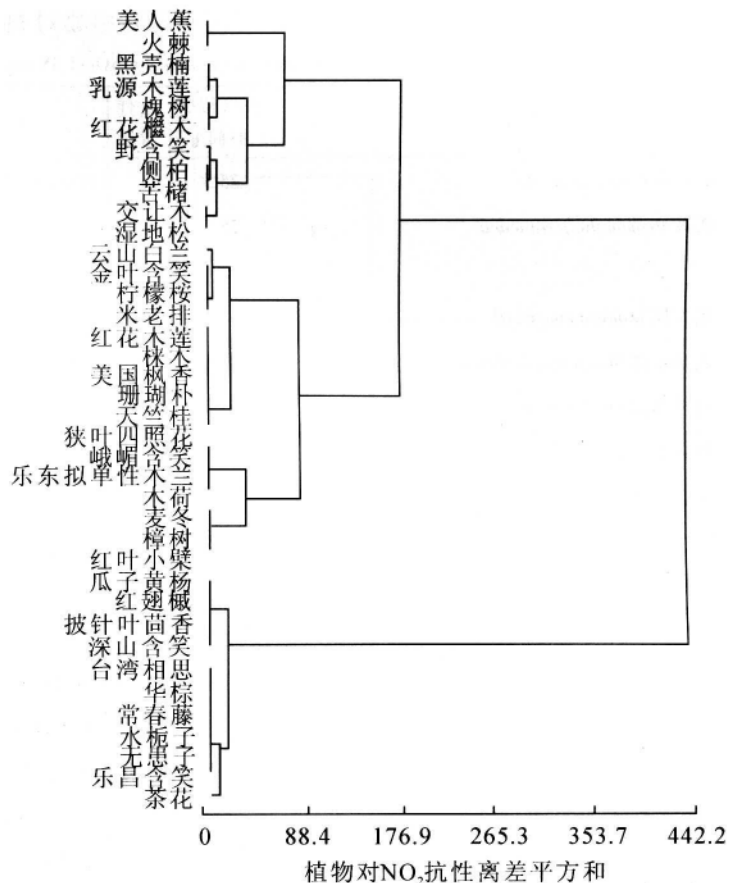


图 1 浙江省 38 种园林绿化植物对 NO₂ 气体抗性等级划分系统聚类图

Figure 1 System cluster of resistance to gaseous NO₂ of 38 landscaping plants in Zhejiang Province

表1 浙江省38种园林绿化植物对NO₂气体抗性能力等级Table 1 Classes of the resistance to gaseous NO₂ of 38 landscaping plants in Zhejiang Province

植物名称	熏气持续 时间/h	抗性 等级	植物名称	熏气持续 时间/h	抗性 等级
美人蕉 <i>Canna generalis</i>	25.5	弱	狭叶四照花 <i>Dendrobenthamia angustata</i>	59.0	中等
火棘 <i>Pyracantha fortuneana</i>	25.5	弱	红花木莲 <i>Manglietia insignis</i>	59.0	中等
黑壳楠 <i>Lindera megapylla</i>	38.0	较弱	木荷 <i>Schima superba</i>	67.0	较强
乳源木莲 <i>Manglietia fordiana</i>	40.5	较弱	峨嵋含笑 <i>Michelia wilsonii</i>	67.0	较强
槐树 <i>Sophora japonica</i>	42.5	较弱	乐东拟单性木兰 <i>Parakmeria lotungensis</i>	67.0	较强
红花木 <i>Loropetalum chinense</i> var. <i>rubrum</i>	43.5	较弱	红叶小檗 <i>Berberis thunbergii</i>	80.0	较强
野含笑 <i>Michelia skinneriana</i>	46.5	较弱	麦冬 <i>Ophiopogon japonicus</i>	80.0	较强
侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>	48.0	较弱	樟树 <i>Cinnamomum camphora</i>	80.0	较强
苦槠 <i>Castanopsis sclerophylla</i>	48.0	较弱			
交让木 <i>Daphniphyllum macropodum</i>	49.5	较弱	瓜子黄杨 <i>Buxus sinica</i>	88.5	强
湿地松 <i>Pinus elliottii</i>	51.0	较弱	披针叶茴香 <i>Illicium lanceolatum</i>	89.0	强
			红翅槭 <i>Aceraceae fabri</i>	89.0	强
云山白兰 <i>Michelia platypetala</i>	53.5	中等	深山含笑 <i>Michelia maudiae</i>	89.5	强
金叶含笑 <i>Michelia foveolata</i>	55.0	中等	华棕 <i>Washingtonia filifera</i>	92.5	强
柠檬桉 <i>Eucalyptus citriodora</i>	55.0	中等	常春藤 <i>Hedera nepalensis</i> var. <i>sinensis</i>	92.5	强
米老排 <i>Mytilaria laosensis</i>	55.0	中等	水栀子 <i>Gardenia jasminoides</i>	92.5	强
株木 <i>Cornus florida</i>	59.0	中等	台湾相思 <i>Acacia confusa</i>	92.5	强
美国枫香 <i>Liquidambar styraciflua</i>	59.0	中等	无患子 <i>Sapindus mukorossi</i>	92.5	强
珊瑚朴 <i>Celtis julianae</i>	59.0	中等	乐昌含笑 <i>Michelia chapensis</i>	92.5	强
天竺桂 <i>Cinnamomum japonicum</i>	59.0	中等	茶花 <i>Camellia japonica</i>	97.0	强

3个樟科的树种，天竺桂处于较弱，黑壳楠和樟树为弱。2个金缕梅科树种中，美国枫香中等，米老排较强。山茶科2个树种其中木荷吸收能力弱，山茶为较弱。

对比落叶和常绿树种的吸收能力，在7个落叶树种中，处于弱和中等水平有4个树种，占57.14%；处于较强水平的树种有3种，占42.86%。28个常绿树种，大部分都处于弱和较弱，强吸收1个和较强吸收的树种2个，共占10.71%；根据树种落叶与否分析，落叶树种的吸收能力明显大于常绿树种(表4)。

2.4 抗性及吸收能力相关性分析

从表5可以看出，本试验各植物对NO₂气体抗性与吸收能力的相关系数仅0.144，P值为0.388，在 $\alpha = 0.01$ 的水平上线性相关不显著。

表2 落叶植物中与常绿植物对NO₂气体抗性等级Table 2 Classes of the resistance to gaseous NO₂ of evergreen and defoliate plants

抗性等级	落叶植物		常绿植物	
	物种数量	占比例%	物种数量	占比例%
弱	0	0	1	3.57
较弱	1	14.29	8	28.57
中等	4	57.14	6	21.43
较强	1	14.29	4	14.29
强	1	14.29	9	32.14
合计	7	100	28	100

3 讨论

3.1 NO₂ 气体胁迫下各树种抗性能力

从实验结果来看，参试的 38 个树种对 NO₂ 的抗性差异较大，抗性最弱的熏气时间只持续了 25.5 h，而抗性最强的持续 97 h。本实验中，山茶科、樟科、木兰科和金缕梅科植物中，总体表现抗性相对较强的是山茶科、木兰科和樟科植物，较弱的是金缕梅科。分析原因可能是由于大部分樟科植物叶片薄革质，木兰科植物叶片多为革质，而金缕梅科植物叶片纸质。已有研究发现，植物的抗性与叶片结构存在一定关系，叶片有蜡质、革质或叶面密生绒毛的植物往往抗性比较强，原因是污染气体不能畅通地进入叶内^[6-7]。实验结果还显示，不同树种之间抗性也存在较大差别，这可能与植物的生理特性有关。因为有的植物可以通过其生理过程将污染物转化为其他形态以降低对自身的毒害，而不同植物在这些方面的生理机制是有差别的。已有学者研究发现植物可将空气中氮氧化物转化为氮气或植物体内的氮素，利用专性植物体内

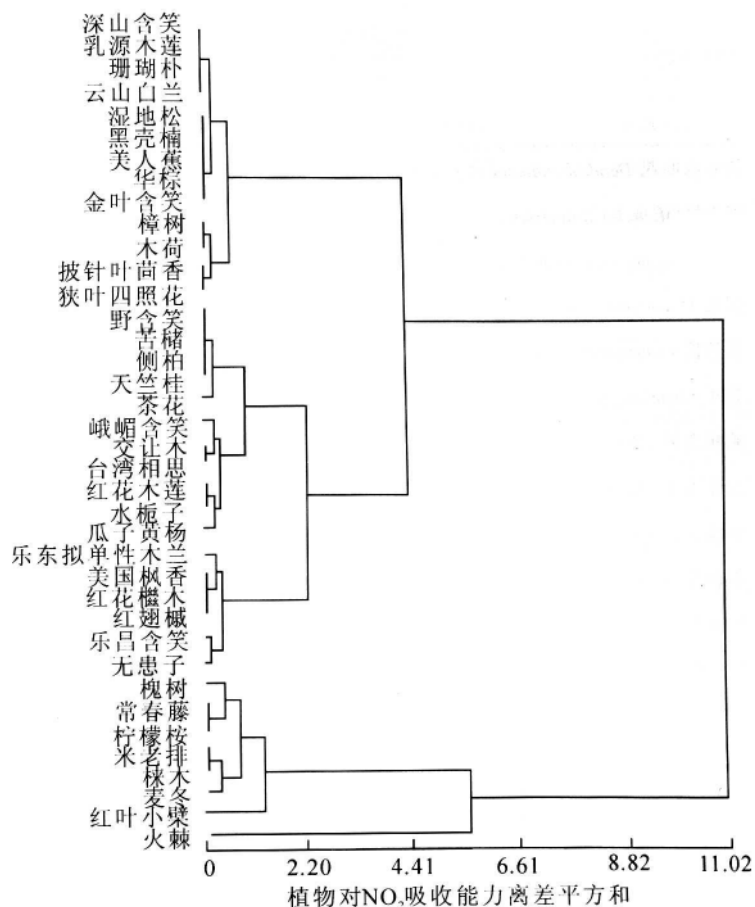


图 2 浙江省 38 种园林绿化植物对 NO₂ 气体净化能力等级划分系统聚类图

Figure 2 System cluster of absorbency to gaseous NO₂ of 38 landscaping plants in Zhejiang Province

表 3 浙江省 38 种园林绿化植物对 NO₂ 气体的吸收能力等级

Table 3 Classes of absorbency to gaseous NO₂ of 38 landscaping plants in Zhejiang Province

植物名称	氮元素质量分数/(mg·kg ⁻¹)			氮元素质量分数 变化百分比/%	吸收能 力等级
	熏气前	熏气后	熏气前后变化		
深山含笑 <i>Michelia maudiae</i>	2 077.5	2 078.9	1.4	0.07	弱
乳源木莲 <i>Manglietia fordiana</i>	1 883.9	1 835.7	1.8	0.10	弱
珊瑚朴 <i>Celtis julianae</i>	2 008.7	2 011.7	3.0	0.15	弱
云山白兰 <i>Michelia platypetala</i>	1 964.9	1 968.6	3.7	0.19	弱
湿地松 <i>Pinus elliottii</i>	1 440.5	1 458.3	17.8	1.24	弱
黑壳楠 <i>Lindera megapytlla</i>	2 444.6	2 462.7	18.1	0.74	弱
美人蕉 <i>Canna generalis</i>	3 527.8	3 546.1	18.3	0.52	弱
华棕 <i>Washingtonia filifera</i>	2 513.5	2 532.9	19.4	0.77	弱
金叶含笑 <i>Michelia foveolata</i>	1 753.2	1 774.7	21.5	1.23	弱
樟树 <i>Cinnamomum camphora</i>	1 739.2	1 781.4	42.2	2.43	弱
木荷 <i>Schima superba</i>	1 349.6	1 428.0	78.4	5.81	弱
披针叶茴香 <i>Illicium lanceolatum</i>	1 638.9	1 758.0	119.1	2.27	弱

续表 3

植物名称	氮元素质量分数/(mg·kg ⁻¹)			氮元素质量分数 变化百分比/%	吸收能 力等级
	熏气前	熏气后	熏气前后变化		
狭叶四照花 <i>Dendrobenthamia angustata</i>	1 171.8	1 296.6	124.8	10.65	弱
野含笑 <i>Michelia skinneriana</i>	1 971.1	2 178.2	207.1	10.50	较弱
苦槠 <i>Castanopsis sclerophylla</i>	1 559.2	1 771.0	211.8	13.58	较弱
侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>	1 274.7	1 493.7	219.0	17.18	较弱
天竺桂 <i>Cinnamomum chekiangense</i>	1 589.8	1 813.2	223.4	14.05	较弱
茶花 <i>Camellia japoica</i>	1 246.6	1 496.6	250.0	20.05	较弱
峨眉含笑 <i>Michelia wilsonii</i>	1 604.9	1 970.3	365.4	22.77	较弱
交让木 <i>Daphniphyllum macropodum</i>	1 474.0	1 875.7	401.7	27.25	较弱
台湾相思 <i>Albizia chinensis</i>	3 592.3	3 999.1	406.8	11.32	较弱
水桅子 <i>Gardenia jasminoides</i>	866.0	1 340.0	474.0	54.72	较弱
红花木莲 <i>Manglietia insignis</i>	1 6670.0	2 154.9	487.9	29.27	较弱
瓜子黄杨 <i>Buxus sinica</i>	3 037.2	3 586.0	548.8	18.07	较弱
乐东拟单木兰 <i>Parakmeria lotungensis</i>	1 004.5	1 680.1	675.6	67.26	中等
美国枫香 <i>Liquidambar styraciflua</i>	1 651.2	2 359.2	708.0	42.88	中等
红花木 <i>Loropetalum chinense</i> var. <i>rubrum</i>	1 408.5	2 132.4	723.9	51.40	中等
红翅槭 <i>Aceraceae fabrie</i>	1 268.9	2 002.7	733.8	57.83	中等
乐昌含笑 <i>Michelia chapensis</i>	1 840.7	2 610.5	769.8	41.82	中等
无患子 <i>Sapindus mukorossi</i>	2 255.9	3 093.2	837.3	37.11	中等
槐树 <i>Sophora japonica</i>	1 841.6	2 872.1	1 030.5	55.96	较强
常春藤 <i>Hedera nepalensis</i> var. <i>sinensis</i>	1 784.2	2 997.5	1 213.3	68.01	较强
柠檬桉 <i>Eucalyptus citriodora</i>	2 137.2	3 365.9	1 228.7	57.49	较强
米老排 <i>Mytilaria laosensis</i>	650.0	1 957.8	1 307.8	201.23	较强
株木 <i>Cornus florida</i>	1 359.7	2 711.0	1 351.3	99.38	较强
麦冬 <i>Ophiopogon japonicus</i>	302.6	1 760.9	1 458.3	481.92	较强
红叶小檗 <i>Berberis thunbergii</i>	1 495.8	3 569.7	2 073.9	138.64	较强
火棘 <i>Pyracantha fortuneana</i>	1 179.0	5 948.3	4 769.3	404.50	强

的超氧化物歧化酶、过氧化物酶等吸收并转化为臭氧^[8]。

3.2 NO₂ 气体胁迫下各树种吸收能力
植物对 NO₂ 气体的吸收能力差异显著, 相对吸收能力强的达到 400 倍; 而吸收能力最弱为深山含笑, 几乎不吸收。实验结果与鲁敏等^[9]的研究结论相似。实验中, 有些树种不但抗性也具有较强的吸收能力, 如常春藤和无患子等。有关研究发现, 植物的吸收能力与其抗性一样是由植物本身的生理特性及环境因素等决定的。比

表 4 参试植物中落叶与常绿植物对 NO₂ 吸收能力等级统计Table 4 Classes of the absorbercy to gaseous NO₂ of evergreen and defoliate plants

抗性等级	落叶植物		常绿植物	
	物种数量	占比例%	物种数量	占比例%
弱	2	28.57	10	35.71
较弱	0	0	11	39.29
中等	2	28.57	4	14.29
较强	3	42.86	2	7.14
强	0	0	1	3.57
合计	7	100	28	100

说明: 未统计藤本和草本植物。

如, 有的植物可以很好地利用 NO_2 , 使之参与代谢, 并以有机物的形式将氮储存在氨基酸和蛋白质中, 对 NO_2 抗性也相对较强。在生长季植物树冠的吸收作用可使大气中的 H^+ , NO_3^- 和 NH_4^+ 减少 50% ~ 70%, NH_3 几乎被全部吸收^[10]。还有学者研究发现, 植物可吸收大气中的 NO_2^- , 在光和类胡萝卜素的作用下将其还原为 NO ; 参与种子萌发、叶扩张、根伸长、侧根形成、抑制下胚轴伸长以及植物抗逆反应等植物生长发育过程^[11-13]。这就可以解释有的树种在低质量分数 NO_2 胁迫下, 不仅具有较强吸收能力而且生长状况良好。

本试验中, 植物对 NO_2 抗性与其吸收能力线性相关不显著, 可能是由于植物对 NO_2 的抗性机制差异造成的。这要求我们对 NO_2 在植物体内的转化机制有深入的研究。植物对 NO_2 的吸收总量与氮元素的富集能力和叶量呈正相关。有本实验中采用的植物为 2 年生容器苗, 对植物吸收氮能力的总体评价, 还需调查成年植株的叶量, 以及不同污染物浓度条件下植物的吸收能力。

参考文献:

- [1] 彭文. 新的大气污染源[J]. 百科知识, 2006 (5): 31.
- [2] 勾晓华, 王勋陵. 氟化氢对植物叶片中 SOD 酶活力和 MDA 含量的影响[J]. 西北植物学报, 1995, 15 (5): 71 - 76.
- [3] 王蕾, 王志. 城市园林植物生态功能及其评价与优化研究进展[J]. 环境污染与防治, 2006, 28 (1): 51 - 54.
- [4] FARMER A M. The effects of dust on vegetation—a review[J]. *Environ Pollution*, 1993, 79: 63 - 75.
- [5] 陈卓梅, 杜国坚, 缪宇明. 浙江省 38 种园林绿化植物对氟化氢气体的抗性及其吸收能力[J]. 浙江林学院学报, 2008, 25 (4): 475 - 480.
- [6] 骆永明, 查宏光. 大气污染的植物修复[J]. 土壤, 2004, 36 (3): 113 - 119.
- [7] 中国科学院上海植物生理研究所环境组. 植物对二氧化硫的反应和抗性研究[J]. 植物生理学报, 1978, 4 (1): 27 - 37.
- [8] 丁蕊, 胡海波. 城市大气污染与植物修复[J]. 南京林业大学学报: 人文社会科学版, 2005, 5 (2): 84 - 88.
- [9] 鲁敏, 李英杰, 鲁金鹏. 绿化树种对大气污染物吸收净化能力的研究[J]. 城市环境与城市生态, 2002, 15 (2): 7 - 9.
- [10] SCHOOR J L, LIGHT L A, MCCUTCHEON S C, *et al.* Phytoremediation of organic and nutrient contaminants[J]. *Environ Sci Technol*, 1995, 29: 318 - 323.
- [11] NAVARRE D A, WENDENHENNE D, DERNER J, *et al.* Nitric oxide modulates the activity of tobacco aconitase [J]. *Plant Physiol*, 2000, 122: 573 - 582.
- [12] WENDENHENNE D, DERNER J, KLESSIG D. Nitric oxide: a new player in plant signaling and defence response [J]. *Curr Opin Plant Biol*, 2004, 7: 449 - 455.
- [13] TAKAHASHI M, SASAKI Y, IDA S, *et al.* Nitrite reductase gene enrichment improves assimilation of nitrogen dioxide in Arabidopsis[J]. *Plant Physiol*, 2001, 126: 731 - 741.

表 5 植物对 NO_2 气体抗性与吸收能力相关性分析

Table 5 Collective analyze of the resistance and absorbcency to gaseous NO_2 of plants

变量		抗性	吸收能力
抗性	皮尔森相关系数	1.000	0.144
	Sig. (2-tailed)		0.388
吸收能力	皮尔森相关系数	0.144	1.000
	Sig. (2-tailed)	0.388	

说明: 观测样本数为 38 个。