

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

陈卓梅¹, 杜国坚¹, 缪宇明²

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

摘要: 为充分发挥城市绿地吸收有害气体的生态功能, 采用人工熏气法, 对浙江省 38 种园林绿化植物对氟化氢气体的抗性及其吸收能力进行了研究。通过系统聚类分析方法, 将参试植物的抗性及其吸收能力划分为弱、较弱、中等、较强和强等 5 个等级。结果显示, 38 种植物对氟化氢的抗性差异较大, 抗性最强的熏气持续时间为 9 h (麦冬 *Ophiopogon japonicus*), 抗性最弱的仅 2 h (枫香 *Liquidambar formosana* 等); 参试的落叶植物中弱和较弱抗性物种占 87.50%, 而常绿植物在弱至较强各等级的分布较均匀, 表现出比落叶植物的抗性更强。植物对氟化氢气体的吸收能力差异非常显著, 部分植物具有十分惊人的吸收能力。大叶榉 *Zelkova serrata* 的绝对吸收能力最强, 达 $13.66 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 是最小吸收能力植物湿地松 (*Pinus elliottii*, $117.06 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 的 116.65 倍; 落叶植物中吸收能力中等的所占比例最大, 为 37.5%。常绿植物则由弱到强吸收能力等级呈现出逐渐递减趋势。试验各植物对氟化氢抗性与其吸收能力线性相关不显著。图 2 表 5 参 13

关键词: 植物学; 人工熏气法; 园林植物; 氟化氢; 抗性; 吸收能力

中图分类号: S731 文献标志码: A 文章编号: 1000-5692(2008)04-0475-06

Resistance to and absorption of gaseous HF with 38 landscaping plant species in Zhejiang Province

CHEN Zhuo-mei¹, DU Guo-jian¹, MIAO Yu-ming²

(1. Zhejiang Forestry Academy, Hangzhou 310023, Zhejiang, China; 2. School of Landscape Architecture, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: To enhance absorption of air pollution within city landscapes, resistance and absorption of 38 important landscaping plant species in Zhejiang Province were measured after subjection to gaseous hydrogen fluoride (HF) fumigation. A linear correlation analysis was conducted between resistance and absorption, and then these parameters were divided into 5 levels from strong (5) to weak (1) for a cluster analysis. Results showed plants with a range of resistances to F from the strongest with *Ophiopogon japonicus*, which resisted 9 h of fumigation to the weakest with *Liquidambar formosana*, which resisted only 2 h. For deciduous plants the weakest resistance levels (1 and 2) were found in 87.50% of the specimens, whereas evergreen plants were spread fairly evenly in levels 1 to 4. Absorption of plants ranged widely with the greatest in *Zelkova serrata* having $13.66 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ HF; this was 116.65 times more than *Pinus elliottii*, which had the least absorption with $117.06 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ HF. For deciduous plants, 37.5% of the specimens were found in absorption level 3 with decreasing amounts in the stronger and weaker levels; whereas with evergreen plants, the percentage of specimens continually decreased from the weakest to the strongest levels. Also, there was no significant linear correlation between resistance and absorption of plants. [Ch, 2 fig. 5 tab. 13 ref.]

Key words: botany; fumigation; landscape plant; hydrogen fluoride; resistance; absorption

大气氟化物污染范围没有二氧化硫广, 但对植物的毒性比二氧化硫强, 对农业种植业及蚕桑业构成了严重危害, 且由于氟化物在植物叶片中大量积累, 通过食物链危害家畜和人体健康, 引起氟中毒

收稿日期: 2007-09-01; 修回日期: 2007-11-21

基金项目: 浙江省科学技术重点计划项目(2005C22056)

作者简介: 陈卓梅, 助理研究员, 从事城市林业研究。E-mail: zhuomeichen@163.com

病症,如斑釉齿、骨质疏松、肝肿大等^[1]。植物是城市生态环境的重要组成部分,对于一定质量分数范围内的氟化氢,不仅有一定的抵抗能力,而且也有相当程度的吸收净化能力。在工业区周围选择氟化氢抗性和吸收能力强的绿化植物,构建不同类型的人工绿化生态工程体系,可有效改善生态环境,缓解环境污染,并对实现城市林业的可持续发展和生态公益林的构建有重要意义。此外,部分植物对氟化氢具有十分敏感的反应,通过观察植物受氟化氢伤害的症状,结合一定的生理生化指标测定,可以方便而有效地了解氟化氢的污染情况,从而起到监测环境的作用。本研究采用人工熏气法对浙江省38种重要园林绿化植物对氟化氢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。

1 研究材料与方法

1.1 开顶式熏气装置

本研究采用自动监控熏气装置。其顶部敞开,由送气系统和熏气罩组成。熏气罩用有机玻璃制成,六面柱体,顶部略有收口,距底部30 cm处有栅板分隔,栅板均匀分布1 200个直径为12 mm的孔眼,栅板上放置参试植物。氟化氢气体由置于栅板下、熏气室底部的氢氟酸溶液扩散产生,再随轴流风机鼓入的气流,经栅板自下而上通过气室,使气室内试验气体质量分数均匀。气体质量分数监控采用手泵采集气室内气体,用美国华瑞生产的氟化氢检测管测定,每2 h测定1次。

1.2 试验材料

试验对象为38浙江省园林绿化中应用较广泛的植物。其中:木兰科 Magnoliaceae 9种,樟科 Lauraceae 3种,金缕梅科 Hamamelidaceae 2种;乔木30种,灌木4种,草本3种,藤本1种。乔木选择培养条件基本相同、生长健壮的2年生容器苗,灌木选择1年生容器苗,草本植株为当年播种或分盆,藤本植株为当年生嫩枝扦插。各物种设重复3株。

1.3 试验设计

熏气气体质量分数为 $(1.0 \pm 0.2) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。抗性强度的确定:观察植物叶片出现伤斑(点)的情况,当植物叶片出现5%伤害率时,记录熏气持续时间,以出现5%伤害率的早晚作为树种抗性划分依据。其中:伤害率(%) = [伤害叶数(%) + 伤斑面积(%)] / 2。吸收能力的确定:当出现5%伤害率时,在植株相同位置取叶样,洗净,60℃烘干,粉碎后过80目筛。高氯酸浸提-氟离子电极法测定叶片含氟量^[2],以熏气植物与健康植物叶片含氟量的差值作为树种吸收能力的划分依据。其中:绝对吸收能力 $(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}) = \text{熏气后氟质量分数} - \text{熏气前氟质量分数}$;相对吸收能力(倍) = $(\text{熏气后氟质量分数} - \text{熏气前氟质量分数}) / \text{熏气前氟质量分数}$ 。对照:以同一地点,温、湿及光照相同的健康植株为对照,采集叶样分析氟质量分数。

1.4 数据统计分析

运用系统聚类法,对各植物的抗性及吸收能力进行分类,共分为5个等级,分别为弱、较弱、中等、较强和强。

2 结果与分析

2.1 伤害症状

叶片是植物进行气体交换的器官。它以庞大的表面积和空气相接触,而氟化氢会随着空气一起通过气孔进入叶内。当氟化氢气体质量分数超过植物受氟化氢伤害阈值时,植物叶首先出现伤害症状。在本次人工熏气试验中,阔叶树叶片的伤害症状主要表现为:叶片尖端和边缘首先出现伤斑,进而沿叶脉向中部及基部扩展。部分植物表现为叶片中部沿叶脉出现伤斑,嫩叶萎蔫、卷曲、失去光泽等。伤斑初期为失绿斑,后逐渐转化为坏死斑,坏死斑的颜色有灰黄、红褐、褐色,甚至黑褐色等。针叶树则从针叶尖端逐渐向基部发展,表现为失水卷曲,呈黄褐色等。

2.2 抗性等级

从表1可以看出,对氟化氢抗性最强的是麦冬,熏气持续时间为9 h,也是所有参试植物中唯一

的强抗性等级植物；抗性弱的有红叶小檗、台湾相思、米老排、枫香等 10 种植物。所有参试植物中，强和较强抗性植物之和仅 8 种，占全部植物的 21.05%。木兰科的 9 个参试树种中，属于抗性较弱和较强等级的均有 3 个物种，弱有 2 个物种，总体表现为抗性中等偏弱。樟科的浙江樟和樟树抗性为中等，黑壳楠则抗性为弱，也表现为中等偏弱。金缕梅科的 2 个物种均为抗性弱。

表 1 浙江省 38 种园林绿化植物对氟化氢气体抗性能力等级表

Table 1 Classes of the resistance to gaseous HF 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
枫香 <i>Liquidambar formosana</i>	2.0	弱	红翅槭 <i>Aceraceae fabri</i>	5.5	较弱
台湾相思 <i>Acacia richii</i>	2.0	弱	湿地松 <i>Pinus eliottii</i>	5.5	较弱
米老排 <i>Mytilaria laosensis</i>	2.0	弱	大叶榉 <i>Zelkova serrata</i>	5.8	较弱
红叶小檗 <i>Berberis thunbergii</i> var. <i>atropurpurea</i>	2.0	弱	杨梅 <i>Myrica rubra</i>	6.5	中等
苦槠 <i>Castanopsis sclerophylla</i>	2.0	弱	天竺桂 <i>Cinnamomum japonicum</i>	6.5	中等
株木 <i>Cornus florida</i>	2.0	弱	马尼拉 <i>Zoysia matrella</i>	6.5	中等
乳源木莲 <i>Manglietia fordiana</i>	2.0	弱	樟树 <i>Cinnamomum camphora</i>	6.5	中等
交让木 <i>Daphniphyllum macropodum</i>	2.0	弱	木荷 <i>Schima superba</i>	6.5	中等
黑壳楠 <i>Lindera megapylla</i>	2.0	弱	狭叶四照花 <i>Dendrobenthamia angustata</i>	6.5	中等
金叶含笑 <i>Michelia foveolata</i>	2.0	弱	披针叶茴香 <i>Illicium lanceolatum</i>	6.5	中等
水栀子 <i>Gardenia jasminoides</i>	4.0	较弱	无患子 <i>Sapindus mukorossi</i>	7.0	中等
红花木莲 <i>Manglietia insignis</i>	4.0	较弱	华棕 <i>Washingtonia filifera</i>	7.5	较强
火棘 <i>Pyracantha fortuneana</i>	4.5	较弱	瓜子黄杨 <i>Buxus microphylla</i>	7.5	较强
美人蕉 <i>Canna indica</i>	4.5	较弱	深山含笑 <i>Michelia maudiae</i>	7.5	较强
峨眉含笑 <i>Michelia wilsonii</i>	4.5	较弱	乐昌含笑 <i>Michelia chapensis</i>	7.5	较强
香椿 <i>Toona sinensis</i>	5.0	较弱	云山白兰 <i>Michelia platyptala</i>	8.0	较强
柠檬桉 <i>Eucalyptus citriodora</i>	5.0	较弱	侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>	8.0	较强
乐东拟单性木兰 <i>Parakmeria latungensis</i>	5.0	较弱	常春藤 <i>Hedera nepalensis</i> var. <i>sinensis</i>	8.0	较强
天师栗 <i>Aesculus wilsonii</i>	5.0	较弱	麦冬 <i>Ophiopogon japonicus</i>	9.0	强

从表 2 可以看出，参试的落叶植物中没有出现对氟化氢具强或较强抗性的物种，弱和较弱抗性的物种则占了参试植物的 87.50%，总体表现为抗性较弱。常绿植物在弱至较强各等级的分布较均匀，分别为 25.93%和 22.22%。总体来看，常绿植物比落叶植物的抗性更强。图 1 为氟化氢抗性等级的聚类。

2.3 吸收能力

表 3 可见，植物对氟化氢气体的吸收能力差异很大，最强的是大叶榉，绝对吸收能力为 $13.66 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，是最小吸收能力植物湿地松 ($117.06 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 的 116.65 倍。相对吸收能力最弱的是苦槠，仅为 7 倍。总体来看，吸收能力弱及较弱植物的比例均达到了 34.21%，而吸收能力较强和强的植物仅占 10.53%。因此，从吸收能力来看，也是弱吸收能力植物比强吸收能力植物所占比例大(表 4)。

从不同科来看，木兰科的 9 个物种中有 6 个分布在弱的等级，其余 2 种为中等，1 种为较弱，总体表现为吸收能力弱。樟科的 3 个树种均为吸收能力中等，而金缕梅科的 2 个物种分别为弱和较弱。

表 2 参试植物中落叶与常绿植物对氟化氢气体抗性等级表

Table 2 Classes of the resistance to gaseous HF of evergreen and deciduate plants

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	3	37.50	7	26.92
较弱	4	50.00	7	26.92
中等	1	12.50	6	23.08
较强	0	0	6	23.08
强	0	0	0	0
合计	8	100	26	100

说明：未统计草本和藤本植物。

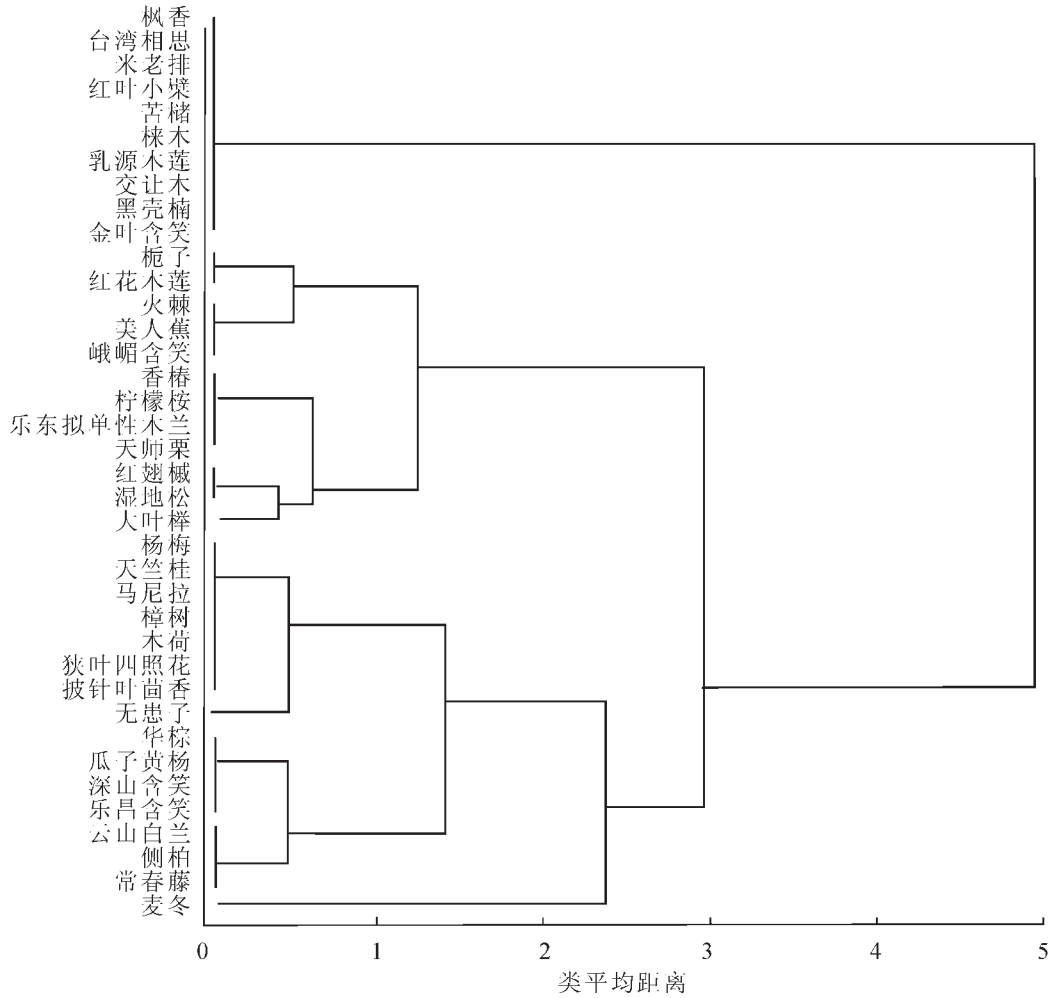


图1 浙江省38种园林绿化植物对氟化氢气体抗性等级划分系统聚类图

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

表3 浙江省38种园林绿化植物对氟化氢气体的吸收能力等级表

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

植物名称	氟质量分数/(mg·kg ⁻¹)			变化倍数/倍	吸收能力等级	植物名称	氟质量分数/(mg·kg ⁻¹)			变化倍数/倍	吸收能力等级
	熏气前	熏气后	差值				熏气前	熏气后	差值		
湿地松	2.81	119.87	117.06	41.66	弱	柠檬桉	7.00	1 481.37	1 474.36	210.62	较弱
披针叶茴香	19.73	485.32	465.59	23.60	弱	天竺桂	5.01	1 482.01	1 477.00	294.81	较弱
米老排	3.94	726.12	722.18	183.29	弱	枫香	11.16	1 524.84	1 513.69	135.64	较弱
乳源木莲	2.94	733.50	730.57	248.49	弱	华棕	6.64	1 752.62	1 745.99	262.95	较弱
苦槠	108.27	866.13	757.86	7.00	弱	美人蕉	6.62	1 785.86	1 779.24	268.77	较弱
侧柏	3.96	809.87	805.91	203.51	弱	交让木	2.01	1 948.74	1 946.73	968.52	较弱
红翅槭	2.71	877.60	874.89	322.84	弱	乐昌含笑	5.18	1 994.79	1 989.62	384.10	较弱
木荷	5.19	904.40	899.21	173.26	弱	火棘	10.83	2 311.73	2 300.90	212.46	中等
深山含笑	3.38	932.96	929.58	275.02	弱	瓜子黄杨	6.03	2 332.45	2 326.42	385.81	中等
乐东拟单性木兰	2.68	1 014.53	1 011.86	377.56	弱	麦冬	3.85	2 481.88	2 478.02	643.64	中等
云山白兰	4.86	1 039.73	1 034.86	212.93	弱	红花木莲	2.86	2 611.01	2 608.15	911.94	中等
峨嵋含笑	2.19	1 122.47	1 120.28	511.54	弱	天师栗	12.83	2 651.42	2 638.59	205.66	中等
台湾相思	4.65	1 136.33	1 131.68	243.37	弱	香椿	22.55	2 777.80	2 755.25	122.18	中等
金叶含笑	3.80	1 152.47	1 148.67	302.28	较弱	无患子	9.92	2 823.61	2 813.68	283.64	中等
黑壳楠	3.03	1 262.26	1 259.23	415.59	较弱	常春藤	6.46	2 836.16	2 829.70	438.03	中等
红小叶槲	2.33	1 327.59	1 325.26	568.78	较弱	狭叶四照花	11.78	3 824.40	3 812.62	323.65	较强

续表 3

植物名称	氟质量分数/(mg·kg ⁻¹)			变化倍 数/倍	吸收能 力等级	植物名称	氟质量分数/(mg·kg ⁻¹)			变化倍 数/倍	吸收能 力等级
	熏气前	熏气后	差值				熏气前	熏气后	差值		
杨梅	8.65	1 342.12	1 333.47	154.16	较弱	株木	30.29	4 180.99	4 150.70	137.03	较强
栀子	3.63	1 368.20	1 364.58	375.92	较弱	马尼拉	4.72	6 412.11	6 407.39	1 357.50	较强
樟树	7.39	1 408.59	1 401.20	189.61	较弱	大叶榉	7.98	13 663.36	13 655.38	1 711.20	较弱

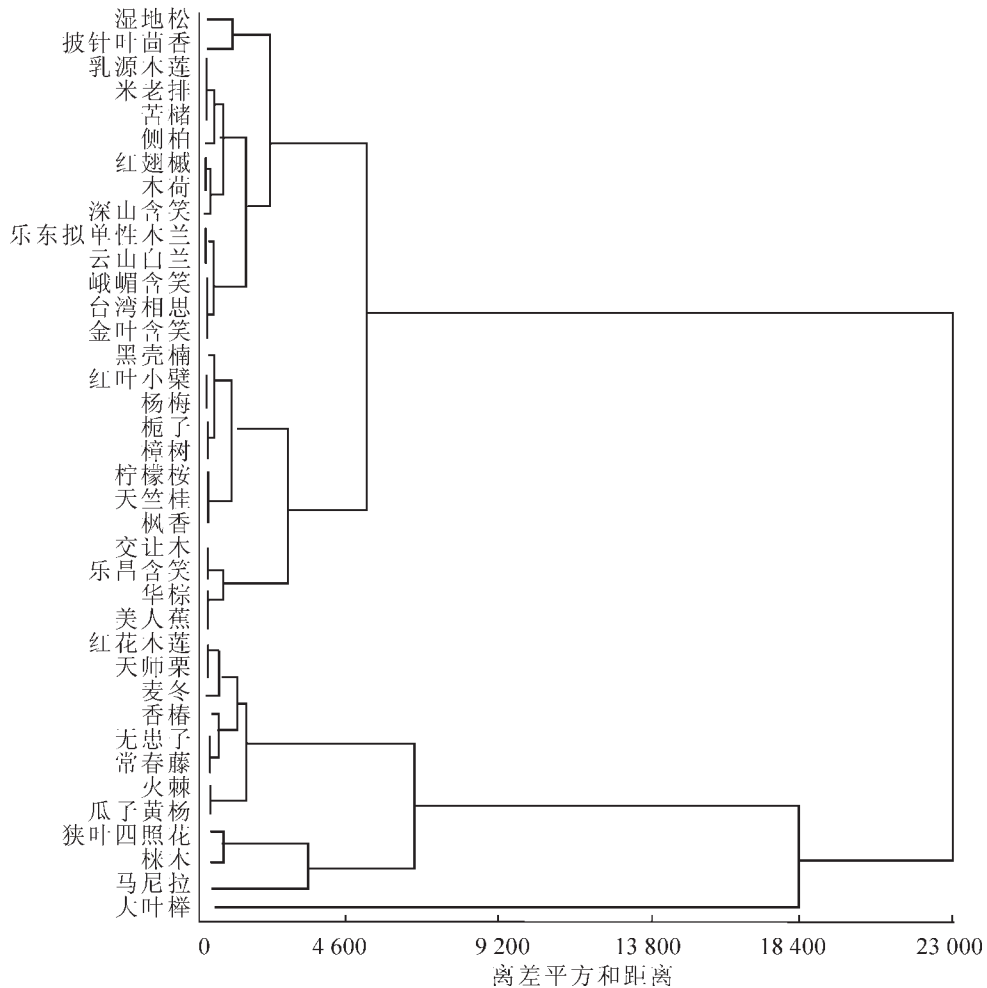


图 2 浙江省 38 种园林绿化植物对氟化氢气体吸收能力等级划分系统聚类图

Figure 2 System cluster of absorbercy to gaseous HF of 38 landscaping plants in Zhejiang Province

落叶植物中吸收能力中等的所占比例最大，为 37.5%。常绿植物则由弱到强吸收能力等级呈现出逐渐递减的趋势(表 4)。唯一的强吸收能力植物为落叶乔木大叶榉。总体来看，在本次试验中，落叶植物的吸收能力高于常绿植物。图 2 为参试植物对氟化氢气体吸收能力等级聚类图。

2.4 抗性及其吸收能力相关性分析

从表 5 可以看出，本试验各植物抗性与其吸收能力的相关系数仅 0.127，P 值为 0.446，在 $\alpha = 0.01$ 的水平上线性相关不显著。

3 结论与讨论

从本试验结果来看，38 种植物对氟化氢的抗性差异较大，抗性最强的熏气持续时间为 9 h，抗性较弱的仅 2 h。植物对氟化氢气体的吸收能力的差异非常显著，部分植物具有十分惊人的吸收能力，如大叶榉，其绝对吸收能力高达 13.66 g·kg⁻¹，相对吸收能力更是达到了 1 711.20 倍；而吸收能力最弱的(苦槠)仅为 7 倍。张德强等^[3]对佛山市园林植物开展盆栽试验，鲁敏等^[4]对山东园林植物进

表4 参试植物中落叶与常绿植物吸收能力等级统计

Table 4 Classes of the absorbency to gaseous HF of ever-green and defoliate plants

等级	落叶植物		常绿植物	
	种数	占比例/%	种数	占比例/%
弱	1	12.5	12	46.15
较弱	2	25.0	10	38.46
中等	3	37.5	3	11.54
较强	1	12.5	1	3.85
强	1	12.5	0	0
合计	8	100	26	100

说明: 未统计藤本和草本植物。

表5 植物对氟化氢抗性与吸收能力相关性分析

Table 5 Relative analysis of the resistance and absorbency to gaseous HF of plants

	项目	抗性	吸收能力
抗性	皮尔森相关系数	1.000	0.127
	Sg (2-tailed)		0.446
	样本数	38	38
吸收能力	皮尔森相关系数	0.127	1.000
	Sg (2-tailed)	0.446	
	样本数	38	38

行熏气试验均得出了类似结论。

植物对氟化氢的抗性和吸收能力是由植物本身的生理特性及环境因素等决定的。植物的生理生化特性包括叶片结构、光合系统和抗氧化酶体系等, 环境因素包括温度、光强及湿度等。氟化氢通过植物叶片张开的气孔进入细胞内, 它不损伤气孔附近细胞, 而是溶解在叶组织内部的水溶液中, 被叶肉吸收, 并通过扩散方式或由维管束把氟化物从叶肉转移到其他细胞中^[5-7,12]。进入细胞体的氟化物积累于叶绿体内能抑制核酮糖-1, 5-二磷酸(RuBP)羧化酶及ATP酶等参与光合作用的酶活性, 从而影响植物光合作用; 积累于线粒体内抑制ATP酶、葡萄糖糖变位酶等与呼吸有关的酶活性, 导致呼吸强度明显降低; 此外还影响植物膜功能、有机物代谢及遗传变异等^[8,9,13]。植物气孔导度越大, 叶肉细胞越薄, 对氟化氢的拒斥能力越弱, 可能受到的伤害越大。在本研究中, 总体表现抗性相对较强的是樟科, 较弱的是金缕梅科。这可能是因为樟科植物具革质叶片, 金缕梅科植物为纸质叶片。

对于已进入植物体的氟化物, 有些通过植物的代谢途径被代谢或转化, 有些被植物固定或隔离在液泡中^[10]。与气孔关闭这一抗性机制不同, 代谢和转化机制可能致使氟在植物体内积累而不产生伤害。本试验中, 植物对氟化氢抗性与吸收能力线性相关不显著, 可能是由于植物对氟化氢的抗性机理不同造成的。确切结论需要对氟化氢在植物体内的转化机制做进一步研究才能得出。植物对氟化氢的吸收总量与氟元素的富集能力、叶量呈正相关; 另外, 大气环境中污染物初始浓度越大, 则吸收量越多, 反之越少^[6,11]。因此, 对植物吸收氟化氢能力的总体评价, 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。尚需开展大量调查研究, 才能得到植物对氟化氢净化量的确切值。

参考文献:

- [1] 吴国忠, 谢卫, 张维华. 赣西乡村砖瓦窑氟污染及其对农业的危害[J]. 农业环境保护, 1985(4): 25 - 26.
- [2] 吴方正. 植物样品含氟量的测定[J]. 植物生理学通讯, 1983(4): 47 - 48.
- [3] 张德强, 褚国伟, 余清发. 园林绿化植物对大气二氧化硫和氟化物污染的净化能力及修复功能[J]. 热带亚热带植物学报, 2003, 11(4): 336 - 340.
- [4] 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.
- [5] 徐丽珊. 大气氟化物对植物影响的研究进展[J]. 浙江师范大学学报: 自然科学版, 2004, 27(1): 66 - 71.
- [6] 缪菡, 王雁, 彭镇华. 植物对氟化物的吸收积累及抗性作用[J]. 东北林业大学学报, 2002, 30(3): 100 - 106.
- [7] 朱文江, 顾莉英, 李惠清. 上海砖瓦厂的氟污染对农业环境的影响[J]. 农村生态环境, 1992, 8(2): 51 - 55.
- [8] 孟范平, 吴方正. 氟化物对植物生理生化的影响[J]. 农村生态环境, 1996, 12(1): 42 - 46.
- [9] 曾清如, 吴方正. 氟污染对桑叶营养成分的影响[J]. 农村生态环境, 1993, 9(3): 51 - 53, 60.
- [10] 骆永明, 查宏光, 宋静, 等. 大气污染的植物修复[J]. 土壤, 2002(3): 113 - 119.
- [11] 谢正苗, 吴卫红, 徐建民. 环境中氟化物的迁移和转化及其生态效应[J]. 环境科学进展, 1994, 7(2): 40 - 53.
- [12] LORENE-PLUCINSKA G. Effects of HF on photosynthesis, photorespiration and dark respiration in Scotch Pine[J]. Fluoride, 1982, 15(3): 147 - 156.
- [13] GRISTAN N P. Cytogenetic effects of gaseous fluorides on grain crops[J]. Fluoride, 1993, 26(1): 23 - 32.