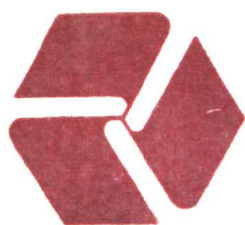


酸雨对生态系统的影响

——西南地区酸雨研究



中国科学技术出版社

酸雨对生态系统的影响

——西南地区酸雨研究

冯宗炜 主编

中国科学技术出版社

• 北 京 •

(京)新登字 175 号

图书在版编目(CIP)数据

酸雨对生态系统的影响:西南地区酸雨研究/

冯宗炜 主编. —北京:中国科学技术出版社,1993. 10

ISBN 7-5046-1081-X

I. 酸…

II. 冯…

III. ①酸雨—影响—生态系—研究②污染调查—酸雨—中国

IV. X517

*

中国科学技术出版社(北京海淀区白石桥路 32 号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京市中国地质大学印刷厂印刷

*

1993 年 12 月第一版 开本:787×1092 1/16

1993 年 12 月第一次印刷 印数:21.5

印数:0001—1000 字数:500 000

定价:11.50 元

前 言

随着现代工业的发展,人口剧增和城市化的趋向,化石燃料能源——煤和石油等的消耗量日益增加,燃烧和燃油过程中排放的硫氧化物和氮氧化物愈来愈多,导致这些气态化合物在大气中反应生成硫酸和硝酸,这些酸性物质随雨雪等从大气层降落,形成的“空中死神”——酸雨对陆地生态系统的危害和影响,已成为举世瞩目的重大环境问题。据1986年5月14日光明日报报道,在肯尼亚首都内罗毕召开的第三世界环境保护国际会议上,专家们认为酸雨现象正在发展,已成为严重威胁世界环境的十大问题之一。一、二十年前酸雨仅在个别国家的局部地区发生,但是目前已迅速扩大到区域性,并且正向全球性扩展。国际应用系统分析研究所的研究人员认为,目前降水的平均酸度同取自格陵兰180年前冰块的酸度相比,增长了99倍。

本世纪70年代以来,欧洲、北美和日本等发达国家先后开展了大规模的酸雨研究。我国酸雨监测和研究起步较晚,1974年从北京西郊开始,1979年上海、南京、重庆、贵阳等城市相继开展。1982年全国开展普查,据各省市2400多个雨水抽样的检查结果,属酸雨的占44.5%,酸雨次数占监测降雨次数一半以上的城市,北方有青岛;南方有苏州、重庆、桂林、常州、宜宾、福州、杭州、贵阳、广州、南昌、都匀、长沙、南宁等。我国降雨酸度由北向南呈逐渐加重的趋势,华北、东北和西北,目前还很少出现酸雨,主要分布在长江以南,尤以西南地区最为严重。重庆和贵阳两市的雨水酸度的月平均值几乎全在5.0以下,1982年重庆降雨最低pH值是3.27。

据国外的一些研究报道,酸雨从空中降落到地球表面后,对陆生和水生生物、建筑材料、文物和人体健康带来明显的影响,特别是对森林和湖泊的危害,已成为国际纠纷的焦点。据Judy Abel在1983年12月出版的《World Wood》(世界木材)杂志上发表的一篇题为“酸雨:日益严重的全球性问题”的文章中写道:“酸雨对森林损害的讨论,现在主要集中在加拿大、美国东北部和中欧,近年来中国和前苏联也表示关切”。“欧洲酸雨问题最严重地区捷克与波兰接壤地带酸雨pH值下降到3.8,该处克洛科罗兹40万公顷林地上树木有死亡现象。德国和捷克接壤处的厄基伯奇14万公顷云杉,已经死亡或处于垂死状态”。德国森林联合会估计,木材工业每年因此减少收益8亿美元。法国农民说酸雨每年使他们损失6亿美元。加拿大林务局估计,现在的酸雨20年内将导致材积生产力下降20%,对一个以森林为最大工业基础的国家来说,这就不仅仅是一个学术的统计数字了。

80年代以来,我国环保部门和林业部门也报道了重庆马尾松林和川东地区华山松林大面积衰亡的现象,以及城市建材、文物古迹等受酸雨腐蚀破坏的事例。我国党和国家领导人对酸雨问题十分关注,当酸雨危害刚开始暴露的时候,就指示环保部门“提出对策,采取有效措施,做出切实安排”,并强调指出:“治理费用要放在前面,否则后患无穷”。为了搞清我国酸雨的成因、危害情况并提出防治的对策,1982年5月国务院环办下达了“西南地区酸雨污染问题的研究”课题,由中国科学院环境化学研究所、重庆市环保科研监测所、贵州省环境保护科学研究所、中国科学院大气物理研究所等承担。1984年中国科学院下达重点课题“西南地区酸雨成因、危害和防治对策研究”,由中国科学院环境化学研究所、大气物理研究所、沈阳林业土壤研究所、武汉水生生物研究所、成都生物研究所以及重庆、贵州、四川环科所和贵

州省环保监测中心等单位承担,加强了酸雨对生态环境的研究力量。鉴于酸雨问题在区域和全球生态环境变化中占有重要位置,为此,1986年起国家正式将“酸雨来源、影响和控制对策”的研究,列为“七五”国家环保科技攻关课题(75-58-05),并分为西南地区 and 两广(广东、广西)地区两大片进行,“酸雨对生态系统的影响和经济损失估计”(58-05-01-04)是“西南地区酸雨来源、影响和控制对策”(58-05-01)中的一个子专题,由中国科学院生态环境研究中心和沈阳应用生态研究所共同负责,中国科学院武汉水生生物研究所、成都生物研究所等单位参加。该项研究是一项多学科的综合研究,内容包括有:1. 主要乔灌木树种对酸雨的敏感性和危害状况(生态环境中心);2. 酸雨对森林生长量和生产力的影响及经济损失估计(应用生态所);3. 酸雨对森林病虫害的诱发感病和危害的研究(应用生态所);4. 主要农作物、蔬菜对酸雨的敏感性和危害状况(生态环境中心);5. 酸雨对主要农作物、蔬菜产量质量影响及损失估计(生态环境中心、成都生物所);6. 酸雨对土壤微生物区系和生化活性的影响(应用生态所);7. 土壤酸化敏感性评价方法和区划(应用生态所);8. 酸雨对土壤中营养、毒性元素影响及生态危害预测(生态环境中心);9. 天然水体酸容量模式及敏感性区划(生态环境中心);10. 酸雨对水生生态系统结构与功能的影响(武汉水生所)。本书是在上述各项研究结果的基础上,经参加单位课题组同志们共同讨论,分头执笔,然后由我汇总编写而成的。应当指出,由于酸雨对生态系统影响的复杂性、潜在性和长期性,特别是对经济损失的估算,在国内尚属初次尝试,因此本书中不足和错误之处在所难免,敬希读者批评指正。

冯宗炜

1991年12月于北京

目 录

一. 酸雨对森林的影响	(1)
1. 主要乔灌木树种对酸雨的敏感性和危害状况	(1)
2. 酸雨对森林生长和生产力的影响	(16)
3. 酸雨对森林危害的经济损失分析	(30)
4. 酸雨与森林病虫害	(43)
二. 酸雨对农作物的影响	(50)
1. 酸雨对西南地区主要农作物、蔬菜的影响	(50)
2. 酸雨对西南地区主要农作物、蔬菜产量影响的经济损失估计	(64)
三. 酸雨对土壤的影响	(71)
1. 西南地区土壤酸化敏感性评价方法和区划	(71)
2. 酸雨对土壤的影响及生态危害	(85)
四. 酸雨对土壤微生物的影响	(109)
1. 酸雨对森林土壤微生物和菌根的影响	(109)
2. 酸雨对马尾松和杉木菌根发育和酶活性的影响	(118)
3. 酸雨对土壤中铝的活化及对树木根系生长的影响	(133)
五. 酸雨对水体的影响	(142)
1. 天然水体酸化敏感指数和酸化容量模式及区划	(142)
2. 酸雨对水生生物的危害和经济损失估计	(168)

一、酸雨对森林的影响

森林是陆地生态系统中最重要的一部分，森林不仅源源不断地给人类提供生活必需的木材和丰富多彩的林副产品，而且具有涵养水源，保持水土，防风固沙，净化空气和美化环境等多种生态效益。显然，森林衰退和破坏，这些效益也随之减弱或消失，将对人类生存带来不堪设想的严重后果。因此，研究酸雨对森林的影响、危害和防治措施，对国土整治和生态环境建设都有重要意义。

1. 主要乔灌木树种对酸雨的敏感性和危害状况

1.1 不同乔灌木树种对模拟酸雨的反应

通过田间模拟酸雨实验，对西南地区主要乔灌木树种的敏感性和危害状况进行了研究。

1.1.1 叶子伤害症状

酸雨对树木的伤害首先出现在叶片上，模拟酸雨实验表明，刚伸展完全的叶子比老叶易受伤害，叶子质地柔软、蜡质层薄，表面粗糙的叶子受伤害较重，反之则轻。不同树种反应不一，针叶树种伤斑自叶尖部先出现；多数阔叶树种伤斑出现在叶脉间，也有在叶缘和叶尖出现不规则的伤斑，掌状叶则在缺刻部位先出现；伤斑开始时表现为失绿褪色，遂后颜色逐渐加深，伤斑颜色因树种而异，有红棕色、灰白色和黑褐色等，以红棕色居多(表 1)，伤斑随酸雨次数增加而逐渐扩大。

表 1 乔灌木可见伤害症状颜色的差别

可见伤斑颜色	红棕色 (18 种)	灰白色 (11 种)	黑褐色 (5 种)
树 种	银杏,木姜子 珊瑚树,喜树 刺槐,马褂木 猴欢喜,女贞 小叶榕,樱花 小叶女贞,石斑木 云南琼楠,罗浮柿 黄槐树,苦木 榔榆,山玉兰	香椿,大叶桉 枫香,木槿 迎春,刺桐 梔子花,夹竹桃 天竺桂,红豆树 红椿	意大利杨 黑壳楠 枇杷 香樟 大叶樟

1.1.2 树木不同器官对模拟酸雨的反应

模拟酸雨的 pH 值愈低,对树木生长影响愈大,根据 7 个不同树种播种苗第一年生物量测定结果表明,根受酸雨的影响最重,叶次之,茎不明显(表 2)。

表 2 七种苗木根,茎,叶生物量对模拟酸雨的反应 (克)

模拟酸雨		对照		PH4.5		PH3.0		PH2.0		差异显著性水平
树种		均值	%	均值	%	均值	%	均值	%	
马尾松	根	0.104	100.0	0.118	113.5	0.107	102.9	0.040	38.5	F=10.127 ** > F0.01
	茎	0.133	100.0	0.120	90.2	0.137	103.0	0.084	63.2	F=0.386 < F0.10
	叶	0.238	100.0	0.286	99.3	0.316	109.3	0.143	49.1	F=20.426 ** > F0.01
黄樟	根	1.230	100.0	1.417	115.2	1.137	92.4	0.216	17.6	F=2.810 * > F0.05
	茎	0.613	100.0	0.500	81.6	0.572	93.3	0.200	32.6	F=2.140 * > F0.10
	叶	1.044	100.0	0.987	94.5	1.012	96.9	0.147	14.1	F=3.841 * > F0.05
木荷	根	0.502	100.0	0.811	161.6	0.583	116.1	0.145	28.6	F=103.652 ** > F0.05
	茎	0.218	100.0	0.374	171.6	0.289	132.6	0.097	44.5	F=4.076 ** > F0.01
	叶	0.569	100.0	0.747	131.3	0.610	107.2	0.106	18.0	F=16.217 ** > F0.01
青冈	根	0.527	100.0	0.517	98.1	0.570	108.2	0.297	56.4	F=14.011 ** > F0.01
	茎	0.284	100.0	0.310	109.2	0.320	112.7	0.243	85.6	F=3.261 * > F0.05
	叶	0.549	100.0	0.651	102.2	0.615	112.0	0.343	62.5	F=12.498 ** > 0.01
杉木	根	0.873	100.0	0.722	82.3	1.002	114.8	0.342	39.2	F=7.238 ** > F0.01
	茎	0.311	100.0	0.382	122.8	0.435	139.9	0.403	129.6	F=0.600 < F0.10
	叶	0.988	100.0	1.100	111.3	1.305	132.1	0.718	72.7	F=2.817 * > F0.05
油茶	根	0.740	100.0	0.530	124.9	0.360	84.5	0.203	47.2	F=2.275 > F0.10
	茎	0.356	100.0	0.350	98.3	0.454	127.5	0.349	98.0	F=1.263 > F0.10
	叶	0.533	100.0	0.547	102.6	0.731	137.1	0.460	86.3	F=2.110 > F0.10
火力楠	根	0.426	100.0	0.532	124.9	0.360	84.5	0.203	47.7	F=3.348 * > F0.05
	茎	0.203	100.0	0.229	110.1	0.237	113.9	0.164	78.8	F=0.906 < F0.10
	叶	0.345	100.0	0.374	108.4	0.320	92.8	0.246	71.3	F=0.636 < F0.10

* 和 * * 分别表示置信度 $\alpha=0.05$ 和 $\alpha=0.01$ 水平上,差异显著。

1.1.3 树木生理过程对模拟酸雨的反应

由表 3 得知,随模拟酸雨的酸度增加,马尾松净光合速率有降低的趋势,但差异不显著(F-检验)。杉木的净光合速度未下降,而呼吸速率增大的趋势则较显著。这表明随模拟酸

雨酸度增大,树木呼吸作用增强,导致树木生物量的减少,说明呼吸作用比光合作用对酸雨的反应明显。

表 3 马尾松、杉木净光合速率和暗呼吸速率对酸雨的反应(CO₂mg/g·干重·小时)

树 种	标 志 值	模拟酸雨处理				差异显著性水平
		对照	PH4.5	PH3.0	PH2.0	
马尾松	暗呼吸速率	1.094	1.143	0.910	1.697	F=4.090 *
	净光合速率	8.577	8.123	7.930	5.796	F=2.91
杉木	暗呼吸速率	1.518	1.370	1.728	2.047	F=3.207 *
	净光合速率	10.230	10.387	11.609	10.316	F=0.596

1.1.4 不同乔灌木对酸雨的敏感性和抗性

通过 1987~1988 年两年的田间模拟酸雨对 77 种乔灌木敏感性和抗性试验结果,根据叶子可见伤斑比率,初次出现症状的酸性降水次数和酸雨 pH 阈值的不同等级,进行敏感性和抗性分类(表 4)。

表 4 77 种乔灌木对模拟酸雨的相对敏感性

敏感等级	种类名称	叶伤斑比率(r%)					初次出现症状时模拟酸性降雨次数(n)					症状出现的模拟酸雨 pH 阈值(t)		
		r=0	1~5	6~15	16~25	r>25	1~2	3~4	5~6	7~8	>9	3.0>t>2.5	2.5>t>2.0	t<2.0
极敏感	水杉					*	*					*		
	紫穗槐					*	*					*		
	刺槐					*	*					*		
	云豆					*	*					*		
	枫香					*	*					*		
	黄桷树			*				*				*		
	红豆树					*		*				*		
	池杉					*		*				*		
	落羽杉					*		*				*		
	大叶桉			*				*				*		
	山玉兰			*				*				*		
	马褂木		*					*				*		
敏	拐枣				*				*				*	
	樱花				*				*				*	
	木荷				*			*					*	
	小叶女贞				*				*				*	
	香椿				*				*				*	
	马尾松				*				*				*	

续表 4

敏感等级	种类名称	叶伤斑比率(r%)					初次出现症状时 模拟酸性降雨次数(n)					症状出现的模拟 酸雨 pH 阈值(t)		
		r=0	1~5	6~15	16~25	r>25	1~2	3~4	5~6	7~8	>9	3.0> t>2.5	2.5> t>2.0	t<2.0
感 14 种	柳杉				*				*				*	
	苦木				*				*				*	
	法桐				*				*				*	
	枇杷				*				*				*	
	罗浮柿				*				*				*	
	薯豆				*				*				*	
	福建柏				*					*			*	
中 等 敏 感 27 种	喜树				*				*				*	
	桢楠				*				*				*	
	飞蛾槭				*				*				*	
	青冈				*				*				*	
	苦槠				*				*				*	
	榔榆				*			*					*	
	迎春				*			*					*	
	毛竹				*				*				*	
	杉木				*			*					*	
	红豆杉				*			*					*	
	大叶樟				*				*				*	
	红椿				*			*					*	
	木槿				*				*				*	
	银杏				*				*				*	
	泡桐				*				*				*	
	刺桐				*			*					*	
	天竺桂				*			*					*	
	黑壳楠					*				*			*	
	意大利杨		*					*					*	
	香樟		*						*				*	
	华山松		*						*				*	
	湿地松				*				*				*	
	猴欢喜				*				*				*	
	火炬松				*				*				*	
	石斑木		*						*				*	
	云南琼楠		*						*				*	
	油桐		*						*				*	
	木姜子		*						*				*	

续表 4

敏感等级	种类名称	叶伤斑比率(r%)					初次出现症状时 模拟酸性降雨次数(n)					症状出现的模拟 酸雨 pH 阈值(t)		
		r=0	1~5	6~15	16~25	r>25	1~2	3~4	5~6	7~8	>9	3.0> t>2.5	2.5> t>2.0	t<2.0
抗性较强 9种	大头茶		*						*				*	
	小叶榕		*					*					*	
	梔子花		*						*				*	
	女贞		*						*				*	
	夹竹桃		*						*				*	
	珊瑚树		*								*		*	
	火力楠		*							*			*	
	棕榈		*							*			*	
	黑松		*							*			*	
抗性较强 15种	塔柏	*									*			*
	园柏	*									*			*
	红头橡胶	*									*			*
	柑桔	*									*			*
	小叶黄杨	*									*			*
	桂花	*									*			*
	滇柏	*									*			*
	山茶花	*									*			*
	大叶榕	*									*			*
	小叶冬青	*									*			*
	侧柏	*									*			*
	罗汉松	*									*			*
	油茶	*									*			*
	柏木	*									*			*
	苦槠	*									*			*

由表 4 得知,西南地区 77 种乔灌木树种极敏感的有 12 种,占 15.6%;敏感的有 14 种,占 18.2%;中等敏感的有 27 种,占 35.1%;抗性较强的 9 种,占 11.7%;抗性强的 15 种,占 19.4%,树木模拟酸雨出现可见伤害症状的阈值在 2.0~3.0 之间。上述研究结果,对西南酸雨地区绿化造林树种的选择有重要参考价值。值得指出的是,在极敏感和敏感的树木中,象水杉、马褂木、福建柏等又是我国特有的珍贵树种,因此加强对这些物种的保护也有重要意义。

1.2 酸雨和大气污染严重地区乔灌木树种危害状况和敏感性调查

酸雨和大气污染在实地情况下是很难截然分开的,为筛选酸雨地区适宜发展的乔灌木树种,我们在模拟酸雨实验的基础上,于 1987~1989 年在西南地区酸雨和大气污染严重的城市:重庆、遵义、都匀以及贵州省邻近的柳州、株洲和长沙等城市,进行了实地酸雨和大

气污染对乔灌木树种危害和敏感性调查。如表 5 所示,上述城市均有酸雨和 SO₂ 污染,因此,实地调查结果也可反映出干湿沉降对树木综合作用的影响。

表 5 调查地区降水 pH 值和大气污染物浓度(mg/m³)

地区	降水 pH 值	SO ₂	NO ₂	TSP	年份
重庆	4.30	0.510	0.080	0.64	1985
贵阳	4.30	0.403	0.040	0.83	1985
遵义	4.20	0.193	0.020	—	1985
都匀	4.50	—	—	—	1985
柳州	4.36(1985)	0.194	0.017	—	1981
长沙	5.27	0.130	0.100	0.30	1982
株洲	—	0.170	—	0.14	1980

注:降水 pH 值为 1984 年~1988 年均值,资料来源为西南地区酸雨课题报告和各地区监测站报告书。

1.2.1 乔灌木树种危害状况

受害阔叶树种在叶片脉间,叶缘和叶尖部出现不规则伤斑,伤斑颜色多数为红棕色和褐色,也有部分为灰白色;针叶树种的针叶尖出现红棕色枯死斑或带状枯斑,与模拟酸雨和 SO₂ 的伤害症状相似,表 6 为几个城市乔灌木的伤害状况调查结果。如表 6 所示,重庆市共观察了 59 种乔灌木,36 种有受害症状,占 61%;贵阳市共观察 39 种,20 种有受害症状,占 51%;遵义市共观察 40 种,20 种有受害症状,占 50%;都匀市共观察 41 种,21 种有受害症状,占 50%;柳州市共观察 31 种,6 种有受害症状,占 19.3%;株洲市共观察 39 种,13 种有受害症状,占 33.3%;长沙市共观察 37 种,3 种有受害症状,占 8.1%。上述结果表明,在调查的几个城市中,西南地区的重庆、贵阳、遵义、都匀等城市乔灌木受酸雨和大气 SO₂ 污染的危害较之邻近地区柳州、长沙和株洲等城市要严重。各城市受害等级高的(Ⅰ~Ⅲ级)树种,在模拟酸雨实验中多为敏感和较敏感的乔灌木树种,如水杉、刺槐、红豆树、落羽杉、法桐、枫香等;受害轻的(Ⅰ级)树种,在模拟酸雨实验中多为中等敏感的树种,如红豆杉、泡桐、天竺桂、香樟、火炬松、大叶樟、杉木等;未受害的(0 级)树种,在模拟酸雨实验中多为较抗或抗性强的树种,如栀子花、夹竹桃、珊瑚树、女贞、山茶花、桂花、小叶黄杨、柑桔、罗汉松、柏木等,因此通过观察乔灌木的不同反应症状和受害等级,也可用来作为酸雨和大气污染不同程度的一种简易的生物监测方法。

1.2.2 不同乔灌木对实地酸雨和大气污染的敏感性和抗性比较

通过上述各城市 81 种乔灌木受酸雨和大气污染危害的调查。根据叶伤斑比率(r)和受害频率(f)双指标,将不同乔灌木对酸雨和大气污染的敏感性和抗性进行分类(表 7)。

由表 7 和表 4 相比可看出,不同乔灌木对实地酸雨和大气污染的敏感性等级与模拟酸雨的敏感性等级趋势一致。

表6 酸雨和大气污染对几个城市乔灌木的伤害状况调查结果

叶可见伤害等级				
地点	未受害(0级) $r=0$	轻度受害(Ⅰ级) $0<r\leq 10$	中等受害(Ⅱ级) $10<r\leq 25$	严重受害(Ⅲ级) $r>25$
重 庆	珊瑚树,羊蹄甲,女贞,罗汉松,合欢,棕榈,棕竹,小叶榕,小叶冬青,小叶黄杨,油橄榄,海桐,桂花,柑桔,三角梅,山茶花,广玉兰,圆柏,红头橡胶,橙,苦楝,大叶榕,大叶桉 计 23 种	蜡梅花,法桐,龙爪槐,苏铁,马尾松,杉木,火炬松,榔榆,大叶樟,香樟,红豆杉,小叶桉,木芙蓉,夹竹桃,栀子花,刺桐,香椿,南天竹,小叶女贞,天竺桂,银桦,迎春,柳杉 计 23 种	枫香,红豆树,枇杷,桃,旱柳,国槐,黄槐树,桑,泡桐,构树 计 10 种	刺槐,枫杨,三角枫 计 3 种
贵 阳	桂花,苏铁,小叶黄杨,女贞,广玉兰,棕榈,龙柏,夹竹桃,木槿,圆柏,石榴,柑桔,小叶冬青,罗汉松,山茶花,迎春,栀子花,珊瑚树,海桐 计 19 种	皂荚,木芙蓉,雪松,马尾松,柳杉,国槐,大叶樟,榔榆,朴树,桃,腊梅花,株木 计 12 种	梧桐,紫荆,小叶女贞,杉木,构树, 计 5 种	刺槐,香叶树,水杉 计 3 种
都 匀	苦楝,大叶榕,红头橡胶,木槿,栀子花,油茶,罗汉松,女贞,小叶冬青,龙柏,石榴,海桐,桂花,柑桔,夹竹桃,广玉兰,山茶花,侧柏,圆柏,小叶黄杨 计 20 种	朴树,小叶女贞,喜树,山玉兰,泡桐,香樟,构树,梧桐,枇杷,银桦,紫荆,国槐,蜡梅花,刺槐,枫香,法桐 计 16 种	杉木,旱柳,榔榆,雪松,合欢 计 5 种	
遵 义	女贞,圆柏,棕榈,小叶冬青,栀子花,夹竹桃,山茶花,广玉兰,侧柏,柑桔,海桐 计 12 种	腊梅花,龙爪槐,大叶樟,构树,泡桐,川楝,国槐,梧桐,三角枫,枇杷 计 11 种	桃,雪松,紫荆,法桐,刺槐 计 5 种	南天竹,龙爪柳,木芙蓉,榔榆,水杉 计 5 种

续表 6

[illegible]

续表 6

地点	未受害(0级) $r=0$	轻度受害(Ⅰ级) $0 < r \leq 10$	中等受害(Ⅱ级) $10 < r \leq 25$	严重受害(Ⅲ级) $r > 25$
柳州	香樟, 黄角树 小叶榕, 棕竹 棕榈, 龙柏 女贞, 小叶榕 栀子花, 构树 桂花, 夹竹桃 黄檀, 羊蹄甲 木槿, 木麻黄 小叶黄杨, 苏铁 海桐, 石榴 银桦, 刺桐 柑桔, 小叶冬青 罗汉松 计 25 种	马尾松, 枇杷 计 2 种	大叶樟, 迎春 大叶桉 计 3 种	阴香 计 1 种

1.2.3 西南酸雨污染地区抗酸雨抗大气污染乔灌木树种的筛选

美国,原苏联和日本等国家把筛选抗污染树种,作为防治酸雨和大气污染的一种生物措施,并取得了很大进展。我国西南地区和南方的一些受酸雨和大气污染的城市,不少绿化乔灌木叶子出现枯斑,早落叶,生长不良,甚至死亡等现象。例如重庆市区用作绿化行道树的黄桷树,贵阳市区的法国梧桐(悬铃木),柳州市区的阴香等大量叶子出现枯斑,成片出现枯黄,大大影响绿化效果。一些城市为更换市区受害的绿化行道树种,不得不额外开支一大笔经费。在目前我国的经济条件下,要完全消除城市大气污染有困难。为此,筛选抗酸雨抗大气污染的乔灌木树种,有其重要的现实意义。表 8 为五年来在田间实验与野外实地调查观测的基础上,筛选出来的一批适于西南酸雨地区可供城镇绿化和用材林,经济林建设选择的抗性乔灌木树种。这些树种如被子植物的叶子在形态解剖结构上往往具有叶面光滑、角质层厚;气孔密度低或气孔内陷等特征,对酸雨中的 H^+ 和 SO_2 等的侵入有排外性。例如,抗性强的火力楠与中等敏感的青冈和敏感の木荷相比,随酸雨 pH 值的下降,叶子中 H^+ 的侵入量相对要少(表 9)。裸子植物中由以鳞形叶和针叶短而坚硬的居多。值得指出,山茶科和芸香科柑桔属的果木既是西南地区的名优特产,又是抗酸雨和 SO_2 的经济树木,进一步从栽培品种或无性系筛选抗酸雨、高产、优质的新品种,对改善环境,发展经济都是有益的。

表 7 81 种乔灌木对实地酸雨和大气污染的相对敏感性

敏感等级	种类名称	叶伤斑比率(r)%					受害频率(f)%				
		r=0	0<r<5	5<r<10	10<r<17	r>17	f=0	0<f<25	25<f<50	50<f<80	f>80
极敏感 9种	水杉					*					*
	刺槐					*					*
	龙爪柳					*					*
	香叶树					*					*
	红豆树					*					*
	桑					*					*
	三角枫					*					*
	梅榆					*					*
	紫荆					*					*
敏感 14种	落羽杉				*						*
	枫香				*						*
	桃				*						*
	法桐				*						*
	香椿				*						*
	南天竹				*						*
	黄桷树				*					*	
	旱柳				*					*	
	国槐				*					*	
	梧桐				*					*	
	海椒花				*					*	
	合欢				*					*	
	枫杨					*			*		
	大叶桉			*							*
中等敏感或中等抗性 12	龙爪槐			*							*
	腊梅花			*							*
	大叶樟			*							*
	小叶女贞			*							*
	皂荚			*							*
	川楝			*							*
	樟木			*							*
	木芙蓉			*							*
	枇杷			*							*
	马尾松			*							*
	杉木			*							*
	天竺桂			*							*

续表 7

敏感等级	种类名称	叶伤斑比率(r)%					受害频率(r)%				
		r=0	0<r<5	5<r<10	10<r<17	r>17	f=0	0<f<25	25<f<50	50<f<80	f>80
中等敏感或中等抗性 22种	泡桐			*						*	
	羊蹄甲			*						*	
	雪松			*						*	
	火炬松			*						*	
	香樟			*						*	
	构树			*						*	
	红豆杉			*						*	
	银桦			*						*	
	迎春			*					*		
	柳杉			*						*	
抗性较强 12种	橡		*								*
	朴树		*								*
	山玉兰		*								*
	小叶桉		*								*
	油橄榄		*								*
	刺桐		*							*	
	喜树		*							*	
	苏铁		*					*			
	梔子花		*					*			
	夹竹桃		*					*			
	棕榈		*					*			
	珊瑚树		*					*			
抗性 25种	木槿	*					*				
	女贞	*					*				
	罗汉松	*					*				
	棕竹	*					*				
	小叶榕	*					*				
	小叶冬青	*					*				
	小叶黄杨	*					*				
	海桐	*					*				
	桂花	*					*				
	柑桔	*					*				
	三角梅	*					*				
	山茶花	*					*				
	广玉兰	*					*				