

# 叶片组织结构特征对氯气、 二氧化硫的抗性研究\*

何培明 孔国辉

(中国科学院华南植物研究所)

## 摘 要

为研究叶片组织结构和植物对大气污染的抗性关系,本文对75种植物叶片的解剖结构进行了观察,并测量了它们的形态指标。初步结论如下:(1)旱生结构的叶片,表现为叶较厚、角质层厚等,对大气污染具较强的抗性;(2)具发达贮水组织的肉质叶,抗性较强;(3)阴生结构叶片,如叶较薄、纸质或柔软者,多是敏感植物;(4)在少数科中,如桑科、赤铁科、夹竹桃科等有不少种类属抗性植物;(5)在污染条件下,气孔开放度对植物的伤害有重要影响;(6)栅栏组织细胞层数,栅栏组织厚度和叶片厚度之比,对植物的敏感性没有直接相关关系;(7)叶片解剖结构特征,在评价植物对大气污染的抗性有其局限性。

氯气、二氧化硫、氟化氢等有害气体,对植物叶片组织伤害症状、特点等的论述,在国内外已有不少报道(秦慧贞等,1980;廖志琴,1981;吴七根等,1982;Solber等,1956;С.А.Сергейчик等,1977;Г.М.Илькун,1978)。然而,利用植物叶片的解剖学指标,为选择抗性和敏感指示植物的研究,则未见报道。作者是在对500多种植物筛选试验过程中(广州市绿化委员会等,1975;广东省植物研究所环保组,1978),发现抗性较强的植物,叶片多具有厚、革质、角质层厚等特征,而抗性较弱的植物,叶片较薄、纸质或较粗糙。这些仅是叶片外部形态显示的特征,而对于叶片组织结构与抗性强度有何内在联系,还应深入研究。这就是本文研究的内容。目的在于探明叶片某些形态解剖特征与植物对氯气、二氧化硫等的抗性强度的相关性,为选择防污绿化植物提供解剖学方面的参考依据。

## 一、试验材料和方法

选择经过人工熏气及工厂区试验( $Cl_2$ 、 $SO_2$ )评选出来的抗性强及敏感植物75种,进行叶片解剖观察(表1)。材料采自华南植物园及广东林科所标本园的向阳成熟叶。用BL-3生物切片半导体冰冻机处理,滑走切片机切片。厚度为15—20微米,以番红、亮绿滴染,显微镜下测定其6项形态指标。各个种的每一指标为5个重复,取其平均值。部分材料用F.A.A.固定,常规石蜡制片,铁矾、苏木精染色和显微照相。气孔开放度测定方法是:熏气

\* 本文承兰州大学陈庆诚教授热情指导和我所王铸豪、吴七根先生提出宝贵意见, 谨此致谢。

表 1 75种植物叶片组织结构

Table 1 The relation between resistivity and structure

名 称	叶片总厚度 ( $\mu$ )	气孔数 (每平方 毫米)	角质层厚度			
			上表皮角质层( $\mu$ )	下表皮的角质层( $\mu$ )	合计厚度 ( $\mu$ )	占叶片总厚度的%
粉 莲 <i>Graptopetalum paraguayense</i>	3,830	2.6	10.1	8.1	18.2	0.5
落地生根 <i>Kalanchoe pinnata</i>	522.2	10.5	8.1	6.0	14.1	2.7
醋 苋 <i>Portulaca oleracea</i>	532.6	9.6	3.0	3.0	6.0	1.1
众香树 <i>Pimenta acris</i>	413.3	194	2.0	2.0	4.0	1.0
海南红豆 <i>Ormosia pinnata</i>	180.3	29.5	2.0	2.0	4.0	2.2
高山榕 <i>Ficus altissima</i>	320.0	71	10.1	6.1	16.2	5.1
印度榕 <i>Ficus elastica</i>	479.8	52	6.1	3.0	9.1	1.9
细叶榕 <i>Ficus microcarpa</i>	307.5	70	12.1	8.1	20.2	6.6
牛乳树 <i>Mimusops elengi</i>	221.0	44	6.0	4.0	10.0	4.5
接骨草 <i>Gendarussa vulgaris</i>	493.8	25	8.0	2.0	10.0	2.0
金边虎尾兰 <i>Sansevieria trifasciata var. laurentii</i>	1,451.5	2.4	10.1	8.1	18.2	1.3
海南油楠 <i>Sindora glabra</i>	231.6	54	7.6	2.0	9.6	4.1
环纹榕 <i>Ficus annulata</i>	240.0	66	11.0	9.0	20.0	8.3
蒲 桃 <i>Syzygium jambos</i>	272.2	103	6.0	4.0	10.0	3.7
松叶牡丹 <i>Portulaca grandiflora</i>	282.0	4.3	10.0	6.0	16.0	5.7
夹竹桃 <i>Nerium indicum</i>	412.1	1.8	12.1	10.1	22.1	5.4
古巴牛乳树 <i>Mimusops roxburghiana</i>	430.0	37	12.0	10.0	22.0	5.1
银 桦 <i>Grevillea robusta</i>	163.3	97	2.0	1.0	3.0	1.8
海桐花 <i>Pittosporum tobira</i>	340.7	66	14.1	5.0	19.1	5.7
山茶花 <i>Camellia japonica</i>	292.0	69	8.0	6.0	14.0	4.8

## 特征与抗性强度

## of leaves in 75 plant species

表皮层厚度				栅栏组织			海绵组织		评定抗性等级		附 注
上表皮 ( $\mu$ )	下表皮 ( $\mu$ )	合计厚度 ( $\mu$ )	占叶片总 厚度的%	细胞层数	厚度 ( $\mu$ )	占叶片总 厚度的%	厚度 ( $\mu$ )	占叶片总 厚度的%	氯气 (Cl <sub>2</sub> )	二氧 化硫 (SO <sub>2</sub> )	
34.3	50.4	84.7	2.2	3	70.5	1.9	3657.4	95.5	强	强	肉质草本。叶被厚蜡质。
20.2	16.1	36.3	6.9	—	—	—	471.8	90.3	强	强	肉质草本。叶被厚蜡质, 栅栏、海绵组织分化不明显。
40.3	28.6	68.9	13.0	—	—	—	457.7	85.9	强	强	肉质草本。叶被厚蜡质, 栅栏、海绵组织分化不明显。
20.2	16.1	36.3	8.8	1	68.5	16.6	304.5	73.7		强	叶革质, 被蜡质。
30.0	22.0	52.0	28.9	2	48.6	26.7	75.7	42.0	强	强	叶亚革质
62.5	52.7	115.2	36.0	3	64.5	20.1	124.1	38.8	强	强	叶革质, 被蜡质, 有丰富乳汁。
100.8	54.4	155.2	34.4	3—4	$\frac{106.9}{28.4}$	23.7	180.2	39.9	强	强	叶革质, 被蜡质, 有丰富乳汁, 有钟乳体。
32.3	24.2	56.5	18.4	2—3	90.7	29.5	140.1	45.5	强	强	叶革质, 被蜡质, 有乳汁, 有钟乳体。
12.0	11.0	23.0	10.4	2	75.0	33.9	113.0	51.1	强	强	叶革质, 被蜡质, 有乳汁。
30.2	28.2	58.4	11.8	2—3	121.0	24.5	304.4	61.6	强	强	叶亚革质, 有钟乳体, 老叶具复表皮细胞。
28.2	26.2	54.4	3.7	3	90.5	6.2	1288.4	88.7	强	强	叶被蜡质
37.8	16.1	53.9	23.3	1	60.5	26.1	107.6	46.5	强	较强	叶亚革质, 被蜡质。
50.0	20.0	70.0	29.2	2	48.0	20.0	102.0	42.5	强	强	叶革质, 被蜡质, 有乳汁。
20.2	22.3	42.5	15.7	1—2	70.6	25.9	149.1	54.8	强	强	叶革质, 被蜡质。
31.0	16.0	47.0	16.7	2	76.0	27.0	141.0	50.0	强	强	肉质草本, 海绵组织发达。
26.5	64.5	91.0	22.1	2	121.0	29.4	178.0	43.2	较强	强	叶革质, 被蜡质, 气孔下陷, 有乳汁。
47.0	29.0	76.0	17.7	2	90.0	20.9	242.0	56.3	较强	较强	叶革质, 被蜡质, 有丰富乳汁。
20.2	16.1	36.3	22.2	1	36.2	22.2	87.8	53.8	较强	较强	叶亚革质, 被丝毛, 气孔为毛覆盖。
36.3	26.2	62.5	18.3	3—4	110.9	32.6	148.2	43.5	较强	较强	叶革质, 被蜡质。
13.0	11.0	24.0	8.2	2	74.0	25.3	180.0	61.6		较强	叶革质, 被蜡质,

续表 1

红果仔	<i>Eugenia uniflora</i>	233.9	202	4.0	4.0	8.0	3.4
阿珍榄仁	<i>Terminalia arjuna</i>	233.9	138	18.4	2.0	20.4	8.7
蚬木	<i>Burretiodendron hsienmu</i>	248.0	95	10.1	6.1	16.2	6.5
蝴蝶果	<i>Cleidocarpon cavaleriei</i>	219.0	132	3.0	2.0	5.0	2.3
梭罗木	<i>Reevesia sinica</i>	211.7	116	4.0	6.1	10.1	4.8
石栗	<i>Aleurites moluccana</i>	188.0	93	8.0	6.0	14.0	7.4
喙尖红豆	<i>Ormosia apiculata</i>	187.0	174	8.0	6.0	14.0	7.5
树菠萝	<i>Artocarpus heterophyllus</i>	270.1	109	6.1	4.0	10.1	3.7
米仔兰	<i>Aglaia odorata</i>	265.0	109	8.0	6.0	14.0	5.5
人心果	<i>Manilkara zapota</i>	200.0	126	2.0	2.0	4.0	2.0
光蜡树	<i>Fraxinus griffithii</i>	157.2	127	12.1	6.1	18.2	11.6
扭叶木犀榄	<i>Olea wightiana</i>	264.1	99	14.1	10.1	24.2	9.2
桂花	<i>Osmanthus fragrans</i>	246.0	146	14.1	4.0	18.1	7.4
黄花美人蕉	<i>Canna indica</i> var. <i>flava</i>	215.7	22	10.1	4.0	14.1	6.5
洒金榕	<i>Codiaeum variegatum</i> var. <i>pictum</i>	304.5	66	8.1	6.1	14.2	4.7
荷花玉兰	<i>Magnolia grandiflora</i>	282.3	77	4.0	3.0	7.0	2.5
长柄梭罗木	<i>Reevesia longipetiolata</i>	213.7	95	8.1	6.1	14.2	6.6
夜合	<i>Magnolia coco</i>	171.4	66	16.2	4.0	20.2	11.8
尖叶杜英	<i>Elaeocarpus apiculatus</i>	209.7	153	4.0	4.0	8.0	3.8
剑叶梭罗木	<i>Reevesia lancifolia</i>	223.8	95	8.1	8.1	16.2	7.2
垂枝榕	<i>Ficus benamina</i>	219.7	84	2.0	6.1	8.1	3.7
菩提榕	<i>Ficus religiosa</i>	187.5	71	12.1	6.1	18.2	9.7
黄葛榕	<i>Ficus virens</i> var. <i>sublanceolata</i>	103.0	175	4.0	4.0	8.0	7.8

16.1	14.1	30.2	12.9	1	80.6	34.6	115.1	49.2	较强	较强	叶亚革质
24.2	16.1	40.3	17.2	1	76.5	32.8	96.7	41.3	较强	较强	叶亚革质,被锦毛。
22.2	22.2	44.4	17.9	3	171.4	69.1	16.0	6.5	较强	较强	叶革质,被蜡质,叶背、叶腋有簇生毛。
10.0	8.0	18.0	8.2	1	70.0	32.0	126.0	57.5		较强	叶亚革质
16.1	24.2	40.3	19.0	1	70.1	33.1	91.2	43.1		较强	叶亚革质
11.0	8.0	19.0	10.1	2	70.0	37.2	85.0	45.2	较强	较强	叶亚革质,被浓毛,气孔为毛所覆盖。
11.0	8.0	19.0	10.2	2	20.0	10.7	134.0	71.6	较强	较强	叶亚革质
14.1	8.1	22.2	8.2	2—3	50.3	18.7	187.5	69.4	较强	较强	叶革质,被蜡质,有丰富乳汁。
12.0	10.0	22.0	8.3	2	60.0	22.6	169.0	63.8	较强	较强	叶亚革质,有油胞。
20.1	20.1	40.2	20.1	1—2	60.1	30.0	95.7	47.9	较强	较强	叶革质,有丰富乳汁。
26.2	18.4	44.6	28.4	1	60.5	38.5	33.9	21.5		较强	叶亚革质,被蜡质。
24.2	20.2	44.4	16.8	2	78.6	29.8	116.9	44.2		较强	叶亚革质
26.2	16.1	42.3	17.2	2—3	121.0	49.2	64.6	26.2	较强	较强	叶革质
60.5	88.7	149.2	69.2	1	24.2	11.2	28.2	13.1	较强	较强	草本
28.2	20.2	48.4	15.9	1	96.8	31.8	145.1	47.6	较弱	较强	叶革质,被蜡质,有乳汁。
20.2	16.1	36.3	12.9	2	102.8	36.9	136.2	48.2	较强	较强	叶革质,叶面被蜡质,叶背被浓毛。
22.2	18.0	40.2	18.8	1	80.6	37.7	78.7	36.8	较弱	较强	叶亚革质
22.2	8.1	30.3	17.7	1	30.4	17.7	90.5	52.8	较强	较弱	叶革质
16.1	14.1	30.2	14.4	2—3	74.6	35.6	96.9	46.2	较强	较弱	叶亚革质
22.2	26.1	48.3	21.6	1	46.6	20.8	112.7	50.3	较弱	较强	叶亚革质
30.1	22.2	52.3	23.8	1—2	34.3	15.6	125.0	56.9	较弱	较强	叶革质,有乳汁。
40.5	20.1	60.6	32.3	2	66.5	35.5	42.2	22.5	较弱	较强	叶革质,有乳汁。
22.0	11.0	33.0	32.0	1	27.0	26.2	35.0	34.0	较弱	较强	叶亚革质,有乳汁。

续表 1

九里香	<i>Murraya paniculata</i>	229.0	106	9.0	6.0	15.0	6.6
沙椴	<i>Aphanamixis polystachya</i>	199.6	121	10.1	4.0	14.1	7.1
苦楝	<i>Melia azedarach</i>	123.0	85	2.0	2.0	4.0	3.3
含笑	<i>Michelia figo</i>	394.9	64	6.1	4.0	10.1	2.5
海杧果	<i>Cerbera manghas</i>	228.8	84	3.0	2.0	5.0	2.2
长脐红豆	<i>Ormosia balansae</i>	213.7		6.0	3.0	10.0	4.7
多果榕	<i>Ficus auriculata</i>	225.8		4.0	4.0	8.0	3.2
胡颓子	<i>Elaeagnus conferta</i>	309.5		12.1	2.0	14.1	4.6
大叶桃花心木	<i>Swietenia macrophylla</i>	176.0	154	10.1	4.0	14.1	8.0
铁刀木	<i>Cassia siamea</i>	137.0	143	4.0	2.0	6.0	4.4
菜豆树	<i>Radermachera sinica</i>	175.3		16.1	4.0	20.1	11.5
钝叶樟	<i>Cinnamomum obtusifolium</i>	215.7	179	1.0	1.0	2.0	1.0
女贞	<i>Ligustrum lucidum</i>	249.9	54	16.1	4.0	20.1	8.0
白兰	<i>Michelia alba</i>	272.2	102	6.0	2.0	8.0	2.9
火力楠	<i>Michelia macclurei</i> var. <i>sublanaea</i>	187.5	131	4.0	3.0	7.0	3.7
柞木	<i>Xylosma controversum</i>	197.3		4.0	4.0	8.0	4.0
窿缘桉	<i>Eucalyptus exserta</i>	222.0	$\frac{55}{43}$	6.0	4.0	10.0	4.5
水石榕	<i>Elaeocarpus hainanensis</i>	243.9	188	6.1	3.0	9.1	3.7
吊灯花	<i>Hibiscus schizopetalus</i>	203.6	47	5.0	12.6	17.6	8.6
乌柏	<i>Sapium sebiferum</i>	163.0		6.0	4.0	10.0	6.1
羊蹄甲	<i>Bauhinia blakeana</i>	280.0	48	7.0	3.0	10.0	3.6
白背叶	<i>Mallotus apelta</i>	258.1		4.0	3.0	7.0	2.7
红苞木	<i>Rhodoleia championii</i>	415.3	79	3.0	6.1	9.1	2.2

10.0	10.0	20.0	8.7	2	68.0	29.7	126.0	55.0	较强	较弱	叶亚革质
18.4	12.1	30.5	15.3	1	68.5	34.3	86.5	43.3	较弱	较弱	叶亚革质
10.1	10.1	20.2	16.4	1	74.6	69.7	24.2	19.7	较弱	较强	纸质, 被毛
24.2	20.2	44.4	11.2	2	80.6	20.4	260.0	65.8	较强	较弱	叶亚革质
22.2	14.1	33.3	15.9	2	76.6	33.5	110.9	48.5	弱	较强	叶亚革质, 有丰富乳汁.
12.6	14.1	26.7	12.5	2	62.5	29.3	114.5	53.5		较弱	叶亚革质
44.4	26.2	70.6	31.3	2	96.8	42.9	59.4	22.3	较弱	较弱	叶纸质, 被浓毛.
20.1	10.1	30.2	9.7	2—3	102.8	33.2	162.4	52.5		较弱	叶纸质, 被浓绒毛.
28.2	10.1	38.3	21.8	1	60.1	34.1	63.5	36.0	较弱	较弱	叶亚革质
28.2	16.1	44.3	32.3	1	40.4	29.5	46.3	33.8	弱	较弱	叶纸质
20.2	16.1	36.3	20.7	1	50.3	28.7	68.6	39.1		较弱	叶亚革质, 被浓毛.
20.2	22.2	42.4	19.7	1	44.4	20.6	126.9	58.9	弱	较弱	叶革质, 被蜡质.
30.2	26.2	56.4	23.1	1	69.5	27.6	103.9	41.3	弱	较弱	叶纸质
24.2	18.1	42.3	15.5	1	34.3	12.6	187.6	68.9	弱	弱	叶亚革质, 被蜡质.
23.2	24.2	44.4	23.7	2	70.5	37.6	65.6	35.0		弱	叶革质, 被蜡质.
18.1	24.2	42.3	21.4	2—3	80.7	41.0	66.3	33.6		弱	叶亚革质
14.0	16.0	30.0	13.5	$\frac{3}{2}$	$\frac{93.0}{52.0}$	65.3	37.0	16.7	弱	弱	叶革质, 两面均有气孔, 有油胞.
20.2	22.2	42.4	17.4	1—2	86.7	35.5	105.7	43.7	弱	弱	叶纸质
40.3	20.1	60.4	29.7	2	74.6	36.6	51.0	25.1	弱	弱	叶纸质, 被浓毛.
23.0	22.0	50.0	30.7	1	60.0	36.8	43.0	26.4		弱	叶亚革质, 被蜡质, 有乳汁.
9.0	5.0	14.0	5.0	1—2	63.0	22.5	193.0	68.9	弱	弱	叶亚革质
20.2	14.1	34.3	13.3	2	70.5	27.3	146.3	56.7	弱	弱	叶纸质, 被浓毛.
34.3	30.2	64.5	15.5	3—4	129.0	31.0	212.7	51.2	弱	弱	叶革质, 被蜡质.

续表 1

葡萄	<i>Vitis vinifera</i>	133.1	70	2.0	2.0	4.0	3.0
白榄	<i>Canarium album</i>	156.0		6.0	3.0	9.0	5.8
东女贞	<i>Ligustrum japonicum</i>	258		33.0	19.0	52.0	20.2
映山红	<i>Rhododendron simsii</i>	223.8	70	8.1	2.0	10.1	4.5
山指甲	<i>Ligustrum sinense</i>	265.0	126	10.0	5.0	15.0	5.7
珊瑚树	<i>Viburnum odoratissimum</i>	229.8	32.2	6.1	2.0	8.1	3.5
上海早黄菊	Compositae	352.0		4.0	2.0	6.0	1.7
黄荆	<i>Vitex negundo</i>	178.1	110	8.1	3.6	11.7	6.6
瓠瓜树	<i>Crescentia cujete</i>	195.5	146	6.1	6.0	12.1	6.2

前、熏气结束时用6—8%牛皮胶溶液,分别涂布于叶背,待胶液干固后,脱取气孔模样,在显微镜下随机取气孔10个,观察气孔开放度。另一种方法为:分别用甲苯、二甲苯和酒精直接涂布于叶背,根据三者不同渗透力,确定气孔开放度(Ф.Д.斯卡兹金等,1954)。

## 二、结果与讨论

本文集中探讨叶片厚度、表皮结构和叶肉组织特征与植物抗性之间的相关性,结果如下。

### 1. 叶片厚度与抗性关系

对75种有花植物叶片解剖结果,厚度极为悬殊。有厚达3,830微米的粉莲、1,360微米的金边虎尾兰和479.8微米的印度榕。也有厚仅103微米的黄葛榕、123微米的苦楝。厚薄之差达30多倍。但大多数种类叶厚为200—300微米。叶片厚度是叶片解剖指标的总和,且与每一指标变化相关。从图1A可见,叶厚300微米以上的17种植物中,对氯气和二氧化硫反应属抗性强或较强的种类有金边虎尾兰、夹竹桃、高山榕(图版I:1)、接骨草、古巴牛乳树和落地生根等,各为12及13种,占植物种数的19.7%和17.3%。叶厚300微米以上,对两种气体反应属抗性弱或较弱的红苞木、上海早黄菊等,各有2种和4种,占种数的3.3%及5.3%。它们遇有害气体时,叶片很快出现红色或紫红等颜色的伤斑。

叶厚200微米以下的抗性弱或较弱种类,各为9种和12种(占种数14.8%,16%),而抗性强或较强的植物各有6种和9种(占种数9.8%、12%)。如菜豆树、黄葛榕、铁刀木、山指甲等。

叶厚201—300微米,对氯气反应属抗性强或较强的植物有15种(占24.6%);抗性弱或较弱的有17种(占27.9%)。但是,对二氧化硫反应属抗性强或较强的有21种(占28%),



12.1	12.1	24.2	18.2	1	60.1	45.2	44.8	33.6	弱	弱	叶纸质, 被毛。
20.0	8.0	28.0	17.9	2	69.0	44.2	50.0	32.1	弱	弱	叶亚革质, 被蜡质。
10.0	5.0	15.0	5.8	1-2	129.0	50.0	62.0	24.0	弱	弱	叶纸质, 被绒毛。
22.2	12.1	34.3	15.3	2-3	92.7	41.4	86.7	38.9	弱	弱	叶纸质, 被毛。
33.0	19.0	52.0	19.6	2-3	60.0	22.6	138.0	52.0	弱	弱	叶纸质, 被绒毛。
26.2	20.2	46.4	20.2	2	76.6	33.3	98.7	42.6	弱	弱	叶亚革质
12.0	10.0	22.0	6.3	1	98.0	27.8	22.6	64.2		弱	叶纸质, 被绒毛。
46.4	8.1	54.5	30.6	1	82.7	46.4	29.2	16.4	弱	弱	叶纸质, 被绒毛,
22.2	14.1	36.3	18.6	1	66.5	39.0	80.6	41.2		弱	叶亚革质

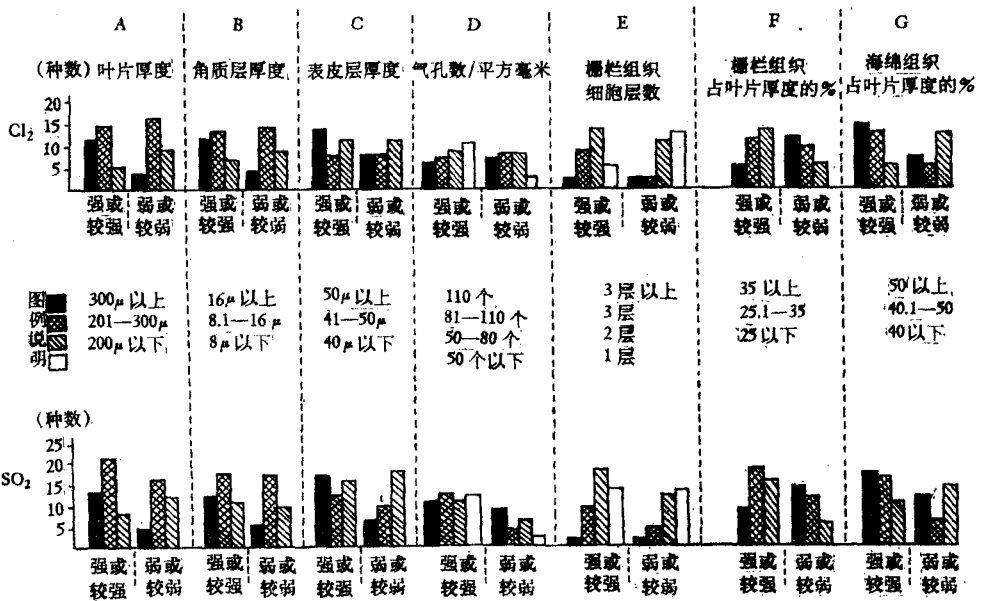


图 1 75种植物叶片组织结构、抗性强度与种数比较。

fig.1 the comparison between resistivity, structure of leaves and species in 75 plant species.

而抗性弱或较弱的只有16种(占21.3%)。造成这种差异,反映了氯气毒性比二氧化硫要大。从叶片厚度统计与抗性试验评定等级作比较,可明显看到300微米以上者多属抗性强的种类,200微米以下则以敏感植物居多。

## 2. 表皮结构特征与抗性关系

1) 角质层厚度 表1所示, 75种植物叶片的表皮细胞外壁厚度差异较大。角质层厚16微米以上的有20种。其中对氯气、二氧化硫反应属抗性强或较强的有高山榕、环纹榕、蚬木、古巴牛乳树、夹竹桃等, 各为12种(占19.7%)和15种(占20%)。属抗性弱或较弱的有东女贞、女贞、吊灯花等5种(各占8.2%和6.7%)。角质层厚8.1—16微米, 对氯气反应属抗性强或弱的种数各有14种(各占23%); 对二氧化硫反应属抗性强或弱的种数也相等, 17种(各占22.7%)。抗性强的种类如桂花、海桐花; 抗性弱的如钝叶樟、白背叶角质层8微米以下, 对氯气反应属抗性强种类, 其百分率比二氧化硫要小(各为11.5%、14.7%)。相反, 抗性弱种类的百分率, 则比二氧化硫要大(各为14.8%、13.3%)。因而, 角质层厚度, 在植物种数和百分率, 以及与两种气体毒性的强度也反应了一定关系。

蜡质层常认为对有毒物质渗透等起保护作用, 抗性强的细叶榕、印度榕、高山榕、海桐花、夹竹桃、牛乳树、落地生根等均具有较厚的蜡质层。

2) 表皮细胞 大多数植物叶片, 上、下表皮各具一层细胞, 亦有部分种类具复表皮细胞。表皮有3层细胞以上的17种植物中, 属抗性强或较强的有11种, 占种数三分之二。如细叶榕(图版I:3)、环纹榕、扭叶木犀榄、夹竹桃、黄花美人蕉等; 属抗性弱或较弱的有如黄荆、火力楠、水石榕等6种, 占种数的三分之一。

表皮层厚度与抗性强度作比较, 上、下表皮厚度50微米以上, 属抗性强或较强的有14种(占23%)和16种(占21.3%)。如古巴牛乳树、粉莲、细叶榕等(图1C)。也有如多果榕、红苞木等, 上、下表皮厚度虽在50微米以上, 但对有害气体反应却很敏感。厚度40微米以下, 对氯气反应属抗性强或弱的种数相等, 为12种(占19.7%)。对二氧化硫反应属抗性强、弱的种数则有差异, 各为15种(占20%)和17种(占22.7%)。可见, 表皮细胞层数多, 厚度大的植物中, 抗性强或较强的种数较多, 百分率也较大。

3) 气孔 它是植物与外界交换气体的孔道, 制约着气体的交换。因而气孔数量、大小、结构和开启程度, 都直接影响气体的交换量。污染条件下, 影响叶片伤害症状和伤害程度。有不少研究者报道了人工熏气或污染的自然条件下, 气孔数量、开放度与抗性的相关性。铁山谷郎等(1970)认为, 吸收有害气体所引起的伤害, 主要还是受气孔数目的制约。也有如Zimmerman认为, 气孔器的大小和单位面积上气孔数目的多少和抗SO<sub>2</sub>无关。可能的主要因素是在于气孔结构和开关的控制, 不在于气孔器的大小及其密度(余叔文, 1983)。

我们从50多种植物叶片气孔数量与对氯气抗性强度的统计(图1D), 每平方毫米在50个以下的种类有粉莲(2.6个)、夹竹桃(1.8个)、接骨草(25个)等11种(占18.6%), 它们属抗性强或较强的植物; 51—80个气孔, 属抗性强或较强的有海南油楠、牛乳树、山茶花及细叶榕等9种(占15.3%); 81—110个和110个以上各有7种(占11.9%)和6种(占9.8%)。可见, 随着气孔数量增加, 抗性强的植物种数及百分率也随之减少。如大叶桃花心木每平方毫米的气孔为154个、水石榕多达188个, 它们的抗性都是弱的。这和中国科学院植物研究所(1978)认为单位面积气孔数目少的种类, 抗性较强; 气孔数目多的种类抗性较弱的看法是相似的。

气孔运动是复杂的生理现象。刘荣坤(1983)等认为, 熏气条件下, 气孔关闭与各种植物叶片脱落酸(ABA)含量有关。据熏气前、后的气孔开放度测定(表2): 上午10时半

表 2 氯气对叶片气孔开放度的影响

table 2 the impact of the opening of stomata by Cl<sub>2</sub>

材料处理时间	气孔开放度			
	关闭 <sup>1)</sup> (%)	略开 <sup>2)</sup> (%)	开放 <sup>3)</sup> (%)	
熏气前 (10.5时)	43.0	43.0	14.0	
熏气结束 (16时)	20.0	46.7	33.3	
自然条件下 (16时)	0	44.0	56.0	

1) 关闭：气孔关闭

2) 略开：开放度小于全开放度的1/2

3) 开放：完全开放或1/2以上的开放度

测定(熏气前),有57%的植物叶片气孔呈开放或略开状态;有43%仍处于关闭状态。下午4时(熏气结束)测定,自然条件下气孔呈开放或略开放的种类为100%,而熏气条件下,呈开放或略开的种类只占80%,但比熏气前增加23%。可见,尽管在毒气条件下,原来部分气孔关闭的种类,还是逐渐开放的。但在熏气条件下,仍有20%种类的气孔呈关闭状态,无疑的是受毒气的影响。

氯气、二氧化硫熏气条件下,气孔开放度与抗性关系测定(表3):抗性强的植物,气

表 3 熏气条件下气孔开放度与植物抗性

table 3 the relation between resistivity and grade of the opening of stomata in the case of fumigation

气孔开放度	气体种类		Cl <sub>2</sub>				SO <sub>2</sub>			
	抗性级别 占试验种类的%	占试验种类的%	强	较强	较弱	弱	强	较强	较弱	弱
			关闭 <sup>1)</sup>	25.0	—	4.8	—	45.5	35.7	—
小 <sup>2)</sup>	50.0	41.7	19.0	27.4	27.3	42.9	50.0	25.0		
中 <sup>3)</sup>	—	58.3	57.1	42.2	13.6	7.1	50.0	—		
大 <sup>4)</sup>	25.0	—	19.1	30.4	13.6	14.8	—	50.0		

1) 关闭：二甲苯不能渗入叶内

2) 小：二甲苯能渗入叶内

3) 中：苯能渗入叶内

4) 大：酒精能渗入叶内

孔呈关闭或开放度小的种类占75%和73%;呈中等大或大的开放度的种类只占25%和27%。相反,抗性弱的植物,气孔呈中等大或大的开放度的种类占76%和50%;呈关闭或开放度小的种类只占27%和50%。表明在熏气条件下气孔的关闭,是植物具有抗污能力的重要原因。

### 3. 叶肉组织结构与抗性关系

1) 栅栏组织 观测75种植物中,栅栏组织多为1层或2层细胞,部分植物有3层细胞,个别种类多达5—6层细胞。具3层细胞以上的种类有印度榕、海桐花、红苞木及隆缘桉(图版1:4)。前两种抗毒能力较强,后两种对毒气反应则很敏感。栅栏组织为3层或2

层细胞的种类,以抗性强或较强者居多,尤以3层细胞的种类为明显(图1E)。如细叶榕、桂花、蚬木、接骨草等9种,为抗性弱或较弱的植物种数的4倍和2倍。栅栏组织仅有1层细胞的种类,与抗性强度的相关性不明显。如对氯气反应属抗性强或较强种类,比抗性弱或较弱的要少一倍。但是,对二氧化硫反应属抗性强、弱的种类则相若。

栅栏组织厚度及百分率的差异较大,有占叶片厚69%的蚬木和占65%的窿缘桉。也有仅占10.7%的喙尖红豆和12.6%的白兰。图1F可见,栅栏组织占叶厚35%以下者,属抗性强或较强的种类,比抗性弱的种类要多,占同级厚度种数百分率也要大。相反,厚度占35%以上者,属抗性强或较强的种类则要少,百分率也小。因此,栅栏组织细胞层数和厚度的百分率,与抗性关系不明显或呈负相关。

2) 海绵组织 叶肉组织中,栅栏组织占叶厚比例大的植物,海绵组织相应地减少。如蚬木、窿缘桉等就很明显。相反,海绵组织比例大的种类,如喙尖红豆、含笑等,栅栏组织比例相应地减少。图1G所示,海绵组织占叶厚40.1—50%和50%以上两级中,抗性强或较强种类比抗性弱或较弱的百分率增加10%以上。相反,海绵组织占叶厚40%以下,抗性强的种数及百分率则小于抗性弱的植物。因而海绵组织厚度的百分率大小,与抗性有一定关系。

此外,还有一类肉质植物,如落地生根(图版I:5)、马齿苋等叶片的栅栏、海绵组织分化不明显。这类植物叶片的细胞大、壁薄、排列紧密,可贮存大量水分和养料,对有毒物质可能起着良好的缓冲和解毒作用。因此,它们对氯气、二氧化硫和氟化氢的抗毒能力都是很强的。尔后进一步搞清这些肉质植物汁液和榕属植物的乳汁成分,和对有毒物的抗拮作用是有意义的。

从上述75种植物叶片解剖与抗性强度比较分析,具早生或近早生组织结构特征的植物,对有毒气体表现了一定的抗性。但是,早生结构特征之一的发达栅栏组织(厚度大、细胞层数多等),则看不到与抗性有明显关系。甚至有些如红苞木、窿缘桉、柞木等,栅栏组织极为发达,但对有毒气体却显示了弱的抗毒能力。亦有如苦楝、银桦、海南红豆等少数植物,叶片组织的多项抗性指标均低,却表现了较强的抗性。这显示了以形态解剖学特征作为对有毒气体抗性指标有其局限性。影响植物抗性的因素是多方面的,除抗性形态指标,各种植物生长、发育中的生理生化过程,对污染物的解毒能力,包括污染物与细胞中的有机物结合、降解作用、运输和排除等过程也是起着重要作用。一些植物某项抗性指标虽然较低,但仍表现较强的抗性,这表明除了生理上的作用之外,不同抗性结构之间有相互补偿的关系,某一结构指标的不足,可由其它抗性结构的增强予以补偿。此外,少数植物叶片,对某种有害气体显示强的抗性,但对另一种气体却表现敏感(如海芒果)。这可能与细胞内含物性质与对两种毒气有不同的抗拮能力等有很大关系。

### 三、结 论

1. 叶片在形态上具早生结构特征的植物,抗性能力多属强或较强的种类。抗性形态指标:叶片厚300微米以上;表皮层厚50微米以上;表皮细胞3层以上;角质层厚16微米以上;每平方毫米气孔为80个以下;海绵组织占叶厚40%以上。抗性植物筛选中,抗性形态指标不是反应在单一指标上,而应考虑多项抗性指标。

2. 叶片在形态上具阴生结构特征，如叶薄、纸质或近纸质，细胞排列疏松，胞间隙大的种类，多属抗性弱或较弱的植物。其形态指标：叶厚200微米以下；表皮层厚40微米以下，上、下表皮各为一层细胞；海绵组织占叶厚40%以下；每平方毫米气孔110个以上。

3. 从75种植物对两种气体的抗性等级统计，多数种类的等级是一致的。即对氯气反应属抗性强或弱，对二氧化硫反应也属强或弱的种类。亦有部分植物对两种气体反应的抗性等级有一个级差，显示在对二氧化硫抗性强度比氯气高一级。造成一个级差的原因，和氯气毒性比二氧化硫要大有重要关系。因此，在已筛选对某种气体的抗性植物，可为在其他毒气条件下选择防污绿化植物时的参考依据。

4. 熏气条件下，各种植物的气孔开放度与抗性有一定关系。抗性强的植物，大多数气孔呈关闭或开放度小；抗性弱的种类，大多数气孔呈中等大或大的开放度。这表明气孔关闭避免有毒气体的进入，是植物抗污能力的重要机理。

### 参 考 文 献

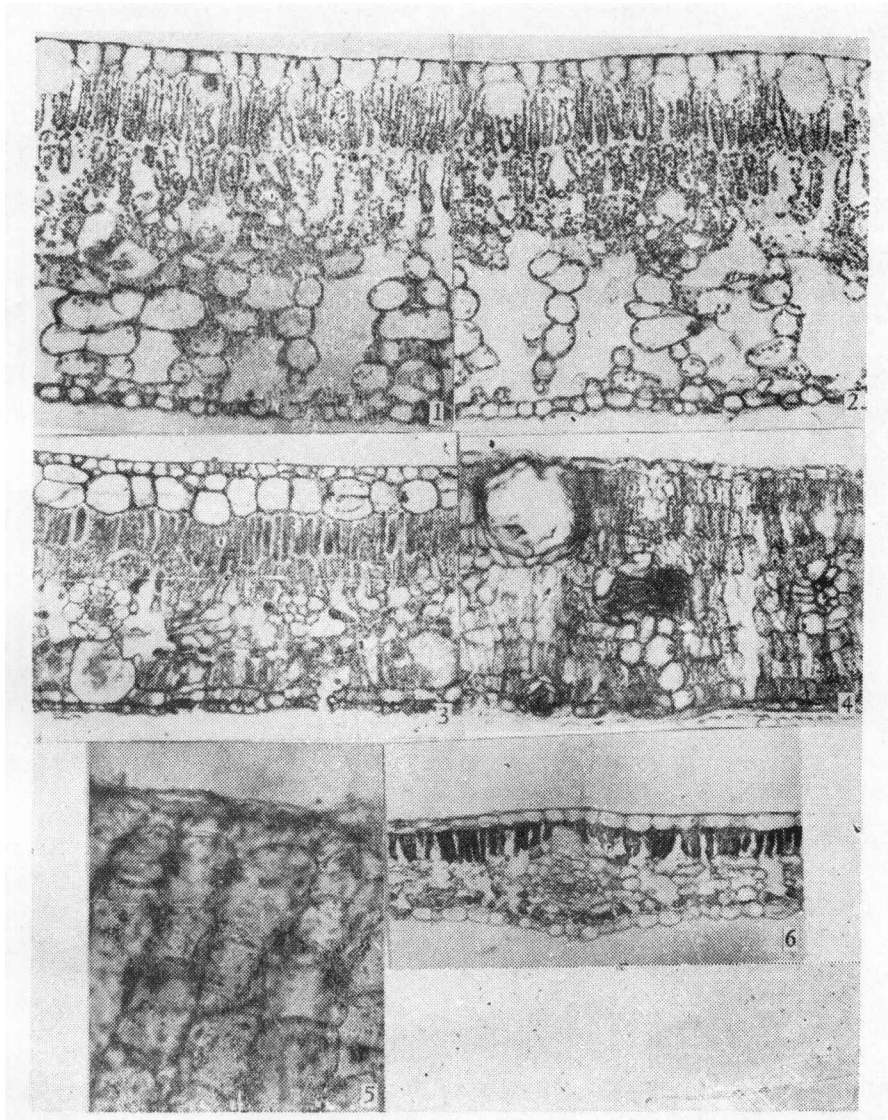
- 广东省植物研究所环境保护组 1978 广东的抗大气污染植物。植物杂志 1:14—16。  
广州市绿化委员会、广东省植物研究所 1975 抗大气污染植物的筛选试验小结。环境保护生物监测与治理资料汇编，科学出版社，第212—222页。  
中国科学院植物研究所二室 1978 环境污染与植物。科学出版社，第114页。  
刘荣坤、沈英娃等 1983 植物对二氧化硫生理反应的研究Ⅰ。植物气孔与SO<sub>2</sub>伤害及ABA（脱落酸）的保护效应。植物生理学通讯 4:25—28。  
余叔文 1983 二氧化硫对植物的伤害和植物对二氧化硫的抗性。植物生理学通讯 3:9—11。  
廖志琴 1981 树木叶片解剖结构与大气污染抗性的初步探讨。成都环保 4:24—27。  
吴七根、何培明等 1982 工厂氯气对接骨草叶片组织的影响。生态学报 2(4): 348—349。  
谷山铁郎等（姜恕译） 1975 HF和SO<sub>2</sub>对郁金香的伤害实况及对气孔开度的影响。植物生态学译丛，第2集，第58—60页。  
秦慧贞、吴竹君等 1980 二氧化硫、氟化氢等有害气体对植物叶片组织的影响。植物学报 22(3):232—235。  
Φ.Д.斯卡兹金等 1954 植物生理学实验指导。高等教育出版社，第65—66页。  
Solber, R.A. and D.F. Adams 1956 Histological responses of some plant leave to Hydrogen fluoride and sulfur dioxide. Amer. Jour. Bot. 43:755—760.

## A STUDY ON STRUCTURES OF LEAVES IN WITH THE SUSCEPTIBILITY OF PLANTS TO CHLORINE AND SULPHUR DIOXIDE

He Peiming Kong Guohui

(*South China Institute of Botany, Academia Sinica*)

The leaf anatomical structures of 75 species of flowering plants were observed to investigate the relationship between those and resistance of plant to air pollution, so as to provide basis for selecting resistant and sensitive plants. The resistance and sensitivity of these 75 species, which are common in South China, have learned after fumigation experiments and cultivated experiments in polluted areas of some factories. Several preliminary conclusions have been drawn as follows: (1) Most species with xerophytic structural leaves are more resistant to air pollution. Xerophytic characters refer to—coriaceous texture; with thicker lamina (mostly thicker than  $300\mu\text{m}$ ): with thicker cuticle (mostly thicker than  $16\mu\text{m}$ ); with mostly palisade than 3 layers; the percentage of thickness of spongy parenchyma is more than 40% of total thickness of leaf; spongy cells arrange more closely; stomatal density is less than  $80/\text{mm}^2$ . (2) species with shade structural leaves, which are thinner leaves, papery or tender texture, with thinner cuticle, stomatal density  $110/\text{mm}^2$ , are mostly sensitive to air pollution. (3) Succulent plants with well developed water storage tissue leaves get a feature of resistance to air pollution. (4) The stomatal frequency was in relation with the resistance of plants. The change of stomata opening was observed during fumigation and affected the injury of leaves. (5) The physiological and biochemical processes of plant are the important factors to affect the resistance and sensitivity of plant. The anatomical structure feature of leaf has only a limiting value in evaluating the resistance and sensitivity of plant.



1. 高山榕（抗性強）叶厚 $300\mu$ 以上。表皮细胞排列紧密；栅栏组织细胞2—3层；海绵组织细胞较大。 $\times 240$
2. 红苞木（抗性弱）叶厚 $300\mu$ 以上。表皮细胞大；有3层栅栏组织细胞；海绵细胞胞间的空腔大。 $\times 240$
3. 细叶榕（抗性強）叶厚。上、下表皮各有2层细胞；栅栏组织排列紧密。维管束发达，有乳汁管及晶体细胞。 $\times 160$
4. 窿缘桉（抗性弱）叶较厚。栅栏组织发达，有5—6层细胞。 $\times 180$
5. 落地生根（抗性強）栅栏、海绵组织分化不明显。薄壁细胞大、排列紧密。 $\times 240$
6. 银桦（抗性较强）叶片薄。上、下表皮细胞排列紧密；栅栏组织细胞排列较疏松。 $\times 240$