

## 98种园林植物对氯气的反应和抗性的研究\*

孔国辉 余清发 易敬度 敖惠修 何培明

(中国科学院华南植物研究所)

### 摘 要

应用动式熏气装置,研究了 $\text{Cl}_2$ 对98种植物的急性伤害症状及其抗性。试验的 $\text{Cl}_2$ 浓度为0.2、0.3、0.5、1、2、4、7、8ppm 8个等级。 $\text{Cl}_2$ 伤害的特征症状是先在叶下表面出现微小的针点状,斑点状伤斑。死、活组织间无明显界线。试验植物对 $\text{Cl}_2$ 的抗性分为4级:敏感(阈值 $\leq 0.3\text{ppm} \times 4\text{小时}$ ),较敏感(阈值 $> 0.3, \leq 0.5\text{ppm} \times 4\text{小时}$ ),较强(阈值 $> 0.5, \leq 1\text{ppm} \times 4\text{小时}$ ),强(阈值 $> 1\text{ppm} \times 4\text{小时}$ )。

本试验的结果与作者以前在工厂栽培试验的结果相比较认为,以急性伤害阈值来评定植物的抗性,对大多数是适用的,此方法有应用价值。植物伤害的典型症状,可作为大气中 $\text{Cl}_2$ 污染的植物指示。

$\text{Cl}_2$ 是一种有强烈刺激性臭味的气体,其毒性比 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 等气体大。但它对空气的污染不如 $\text{SO}_2$ 普遍。因此,关于 $\text{Cl}_2$ 对植物影响方面的研究较少。较早期的研究有 Stout (1932)、Miller(1940)、Eillean(1966)。Zimmerman(1949)曾用 0.46—4.67ppm  $\text{Cl}_2$ 对多种植物进行熏气试验(Thomas, 1951),Benedict等(1955)研究草本植物指示大气 $\text{Cl}_2$ 的污染(Brennan, 1966)。Brennan(1965、1966)曾研究  $\text{Cl}_2$  对植物的伤害特征及对松树的伤害。

我国关于  $\text{Cl}_2$  对植物影响的研究,有从症状学(余叔文,1981)、抗性种的选择(王焕校,1980)、以及  $\text{Cl}_2$  对植物呼吸作用的影响(高绪平,1982)等方面去进行研究的,而较大量地评选抗氯植物种类方面的研究还未见有报道。

$\text{Cl}_2$ 虽不是一种普遍污染大气的气体,但在我国的工农业生产中还是较广泛地应用的,如氯碱生产、农药及含氯塑料的制造、以及以氯为原料生产的各种氯化物等。在生产这些产品的工厂中,常有  $\text{Cl}_2$  逸散于空中,从而影响厂内环境及其附近的农、林业生产和园林绿化。为了提供园林绿化应用的抗性植物种类,我们于1974—1980年先后在广东一些有  $\text{Cl}_2$  排放的工厂进行了盆栽、地栽试验,筛选出一批可供应用的抗  $\text{Cl}_2$  植物。但由于工厂环境复杂,气体浓度变化不均,难于定量地比较植物的抗性。为此,我们利用动式熏气装置,在定量的 $\text{Cl}_2$ 条件下进行本试验。

### 一、试验条件和方法

#### 1. 熏气设备和条件

熏气设备是两个体积为1.18立方米木架结构的有机玻璃箱(图1)。进入箱内的空气流

\* 本文承陈庆诚教授、何绍颐、王铸豪副研究员审阅,并提出宝贵意见,特此致谢。

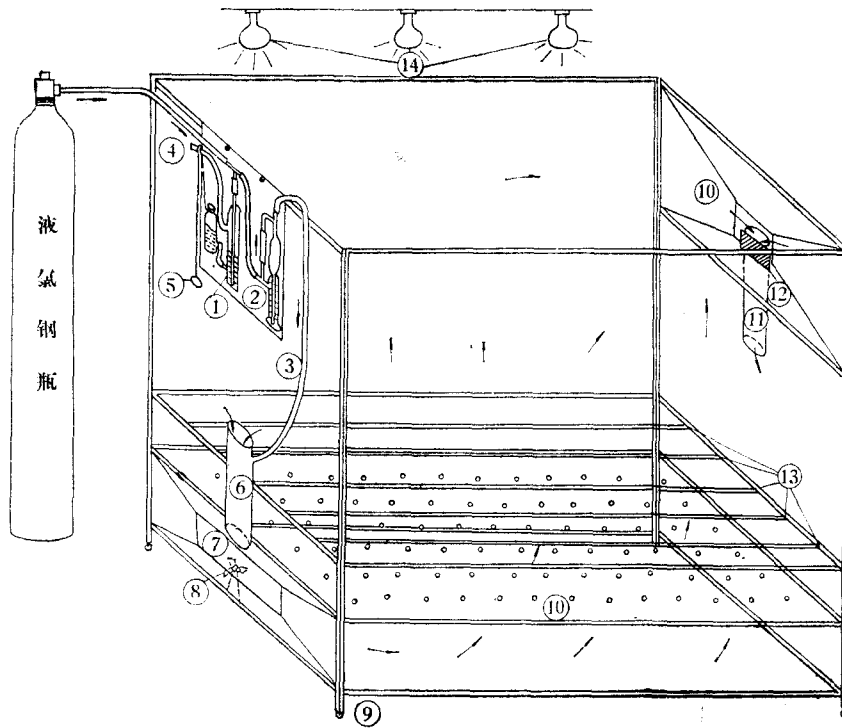


图1 熏气箱示意图

(1) 水称压瓶 (2) 毛细管压差流量计 (3) 氯气进入管道 (4) 多余的氯气排出管 (通入排气管内) (5) 用于调节水称压瓶水位的悬挂物 (6) 进气管 (7) 塑料喇叭口 (8) 搅拌风扇 (9) 箱架滑轮 (10) 分风筛孔板 (11) 排气管 (外接塑料管→抽风机→净化池) (12) 蝶形阀 (13) 承放苗木的活动铁架 (14) 高效日光色生物效应灯

量分别为1.73和1.75立方米/分。箱内光照强度为1.8—2.2万勒克斯。温度和湿度随大气的温度和湿度的变化略有变化，大多数是在25°—30℃之间，少数在21°—23℃；相对湿度比大气相对湿度高，多数在60—70%之间，阴雨天可高达90%以上。

试验的 $\text{Cl}_2$ 浓度分为0.2、0.3、0.5、1、2、4、7、8ppm 8个等级。用联邻甲苯胺比色法，每隔30分钟在叶层中部以0.5升/分的速度采样测定，取各次测定的平均值作为该次试验的浓度值，试验期间的浓度变化为20%。

## 2. 试验材料和观察记载

试验植物98种。苗龄1—3年。木本植物高50—110厘米，草本植物高10—30厘米。

箱内通 $\text{Cl}_2$ 后，随时观察和记录植物伤害症状出现的时间和伤害变化特征。4小时后将苗木取出放于阴凉处，随即进行伤害症状的观察记载。在熏气后的2—4天内，每天进行观察。以后隔2—3天进行观察一次，直至伤害症状稳定为止。

受害叶的百分数用直接数叶法，叶数多的种类用抽样计算。受害叶面积用目测。叶片外表微小伤害症状用手持放大镜、落射光显微镜观察，记录和拍摄叶外表的伤害症状。叶组织的伤害程度，用滑走切片片机切片后直接在显微镜下观察和拍照。伤斑色泽的记载以《色谱》(中国科学院编译出版委员会，1957)为准。

试验日期于1980年10月7日—11月5日, 每天10—14时进行。

## 二、试验结果

### 1. $\text{Cl}_2$ 对叶片伤害的特征

1) 叶片外表伤害症状 (1) 叶上表面褪绿、漂白。出现这种症状的有: 大红花 (*Hibiscus rosa-sinensis*)、南洋楹 (*Albizia falcata*)、宝巾 (*Bougainvillea glabra*)、地毯草 (*Axonopus compressus*)、红铁树 (*Cordyline fruticosa*) (图版 I:1) 等。这是一种较严重的伤害症状。(2) 叶下表面呈现微小的针点状、点状下陷伤斑, 没有明显的色素斑出现, 受害叶片的死、活组织间无明显的界线, 这是  $\text{Cl}_2$  伤害的典型症状。这种症状多在低浓度情况下, 出现在受害的初期。试验中出现这种症状的有: 洒金榕 (*Codiaeum variegatum*)、含笑 (*Michelia figo*)、白兰 (*Michelia alba*)、黄花夹竹桃 (*Thevetia peruviana*) 等;(3) 叶下表面或上、下两面出现点状、块状下陷, 并有明显的色素斑。如白蝉 (*Gardenia jasminoides* var. *fortuniana*)、龙船花 (*Ixora chinensis*)、牛乳树 (*Mimusops elengi*)、可爱花 (*Eranthemum nervosum*)、杜鹃 (*Rhododendron simsii*)、红花油茶 (*Camellia semiserrata*) 等。这种症状多在超阈值  $\text{Cl}_2$  条件下产生。(4) 暗绿色半透明状的水渍斑点。此症状只在少数种类中出现, 如海桐花 (*Pittosporum tobira*)、金银花 (*Lonicera affinis*)、接骨草 (*Gendarussa vulgaris*) 等。多是低浓度时的初始伤害症状。(5) 叶片上无明显伤害症状, 但在1—2天内大量脱落, 如吉庆果 (*Solanum pseudocapsicum*)、狗牙花 (*Ervatamia divaricata*)、一品红 (*Euphorbia pulcherrima*)、安石榴 (*Punica granatum*) 等。出现这种伤害症状的植物, 多属抗性弱或较弱的种类。

叶片伤害症状出现的部分, 多位于叶下表面, 在  $\text{Cl}_2$  浓度高时, 叶上、下表面均会出现伤害症状, 伤斑不规则分布于叶脉间。也有些种类, 其伤害症状首先出现于叶缘和叶先端, 然后向叶中部扩展。阴香 (*Cinnamomum burmanni*)、可爱花受害后先在中脉、侧脉附近的网脉间出现水渍状伤斑 (图版 I:2)。松树则是当年生针叶光端最先受害。

伤斑颜色因植物种类不同、 $\text{Cl}_2$  剂量大小和接触时间不同而异, 色泽变化多样。但大致可分为4个基本色调: 黄色和黄绿色、棕色、褐色、灰色和灰黑色。在各色调中又有深浅变化。有少数种类如大叶相思 (*Acacia auriculaeformis*)、牛乳树、杜鹃、美丽针葵 (*Phoenix* sp.) 等的伤斑, 色泽鲜艳, 呈椰壳棕色、绀红色。

浓度的高低, 对伤害症状出现的早, 迟, 伤害程度, 伤斑分布, 发展和色泽变化等均有直接的影响 (表1)。有些植物的轻微症状可自行消失。如海桐花, 经  $0.99\text{ppmCl}_2 \times 4$  小时熏气后, 叶下表面出现深绿色水渍斑, 但第二天, 这些轻微症状自行消失了。阴香经  $3.89\text{ppmCl}_2 \times 4$  小时熏气后, 叶下表面产生砖灰色斑点, 7天后, 有些叶片的斑点, 色泽变浅, 有些则完全消失了。伤害症状产生的条件及其发展情况, 可概括为:

在近阈值的剂量下, 初始症状呈微小的针点状, 斑点状下陷伤斑 (多出现在叶下表面)。症状继续发展可出现两种情况: 有些种类的伤害症状比初始症状减轻或自行消失; 有些种类的伤害症状呈点状、块状下陷甚而漂白。

在超阈值剂量作用下, 初始症状通常呈点状、块状的下陷伤斑, 片状烫伤样伤斑或漂

白。少数种类出现半透明状深绿色水渍斑。症状继续发展,则点状、块状下陷斑变成片状漂白或叶片变干以致脱落。

2) 叶片组织伤害 Илькун (1978) 认为,植物叶片吸收有毒气体的途径有二:一是表皮组织吸附,随后向其下面的细胞和组织扩散;另一是通过气孔渗入叶内。本试验中曾用火棉胶涂在大红花叶片下表面的半边叶上,以封闭其气孔(该植物的气孔在叶下表面),另半边叶不作处理,熏气后 2 天,前者仍保持青绿色,后者则变成了黄绿色。可见,Cl<sub>2</sub> 进入叶

表 1 不同浓度氯气对叶片伤害的比较

| 植物名称 | 氯气浓度 (ppm) | 受害叶 (%) | 受害叶总面积 (%) | 初始症状出现时间 (小时) | 初始症状                      | 伤害症状的发展                                   |
|------|------------|---------|------------|---------------|---------------------------|-------------------------------------------|
| 垂叶榕  | 0.88       |         |            |               | 未出现伤害症状                   |                                           |
|      | 2.21       | 80      | 15         | 4             | 中、老龄叶叶下面现山鸡黄、蜷缩绿下陷斑块。     | 5 天后叶上面现褐色斑块                              |
|      | 4.12       | 100     | 76         | 2             | 中、老龄叶褪绿,变干、呈淡灰绿色斑块。       | 第 2 天伤害斑变箱皮棕色,叶上面现伤痕,11 天后伤害斑呈深豆沙色,老叶易脱落。 |
|      | 6.70       | 100     | 70         | 1.30          | 各龄叶缘、中脉两侧现漂白斑块、片状漂白。      | 第 2 天叶上面现蜜黄、黄色、褐色斑块,叶片一触即落。               |
| 美丽枇杷 | 0.88       |         |            |               | 未出现伤害症状                   |                                           |
|      | 2.21       | 100     | 30         | 4             | 中、老龄叶脉岛内有 1 至数个火山棕色针点状斑点。 | 脉岛内块状伤害,呈风帆黄、山鸡褐色,叶上面下陷。                  |
|      | 4.21       | 100     | 40         | 2.30          | 各龄叶叶背网脉间现橡树棕色斑点、斑块。       | 2 天后叶上、下两面均失去光泽,叶下面现橡树色斑块、叶上面下陷。          |
| 牛乳树  | 2.21       | 40      | 20         | 24            | 中、老龄叶下面现山鸡黄色下陷斑块,叶上面无伤痕。  | 6 天后叶下面现绛红色斑点、斑块,下陷。严重者叶上面现伤痕。            |
|      | 3.89       | 62      | 60         | 2.30          | 各龄叶现草灰色褪绿斑,漂白状。           | 2 天后叶下面现暗砖灰色斑块,严重者叶上面现橡树棕色斑块。             |

组织主要是通过气孔的。Cl<sub>2</sub> 进入叶后,首先是孔下室周围的海绵组织薄壁细胞产生质壁分离,叶绿体褪绿,甚至漂白。严重时使叶绿体解体,分成小团块。由于细胞的质壁分离,细胞内水分外渗,所以细胞萎缩,细胞间隙增大(图版 I:3)。伤害从海绵组织扩展到栅栏组织,叶片厚度显著减少,在受害叶横切面上,可明显看到叶的上、下表面向内凹陷。

3) 叶片伤害程度与叶龄关系 据试验中具有各种叶龄的 37 种植物统计,受害程度严重的在老龄叶中占最大比例,其次是中龄叶,嫩叶对 Cl<sub>2</sub> 抗性最强(图 2)。

## 2. Cl<sub>2</sub> 对植物的伤害程度及植物受害阈值

Cl<sub>2</sub> 对各种植物的伤害程度有所不同。以受害叶百分数及受害叶总面积百分数表示植物受害程度。

受害叶百分数分为 5 级:

- (1) 无受害,代表符号为○;
- (2) 个别叶受害,代表符号为·;
- (3) 少数叶受害,即受害叶≤20%,代表符号为十;
- (4) 较多叶受害,即受害叶20—60%,代表符号为++;
- (5) 大部分叶受害,即受害叶>60%,代表符号为+++。

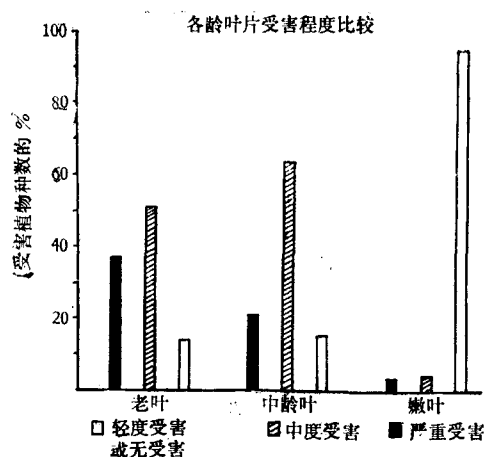


图2 各龄叶片受害程度比较

受害叶面积亦分为5级:

- (1) 无受害, 代表符号为①;
- (2) 轻微受害, 受害面积 $\leq 10\%$ , 代表符号为②;
- (3) 轻度受害, 受害面积 $10-30\%$ , 代表符号为③;
- (4) 中度受害, 受害面积 $30-60\%$ , 代表符号为④;
- (5) 严重受害, 受害面积 $> 60\%$ , 代表符号为⑤。

本试验中的受害阈值是指使产生 $\leq 10\%$ 的受害叶面积(难于估测受害叶面积的, 则枝或叶的受害数在 $\leq 20\%$ )的 $\text{Cl}_2$ 浓度和时间的总值( $\text{ppm} \times 4$ 小时, 一些敏感的种类少于4小时)。

试验结果如表2—5。

### 3. 植物的抗性分级

以阈值(浓度 $\times$ 时间)为准, 将试验植物的抗性分为4级:

敏感 受害阈值 $\leq 0.3\text{ppm} \times 4$ 小时。

较敏感 受害阈值 $> 0.3$ 至 $0.5\text{ppm} \times 4$ 小时。

较强 受害阈值 $> 0.5$ 至 $1\text{ppm} \times 4$ 小时。

强 受害阈值 $> 1\text{ppm} \times 4$ 小时。

各种植物的抗性等级如表6。最敏感的是紫薇(*Lagerstroemia indica*),  $0.2\text{ppm} \times 4$ 小时熏气后出现严重受害。抗性最强的是山棕(*Rhapis gracilis*),  $7\text{ppm} \times 4$ 小时熏气后未见伤害。其次是假槟榔(*Archontophoenix alexandrae*)、鱼尾葵(*Caryota ochlandra*),  $4\text{ppm} \times 4$ 小时熏气后不受害。 $2\text{ppm} \times 4$ 小时熏气后不受害的有南洋楹、九里香(*Murraya paniculata*)。

表 2 不同浓度氯气对绿化树木、果树的伤害程度及阈值

| 植 物 名 称                                                                                                                        |                                                                                                                            | 氯气浓度 (ppm)  |             |          |           |          |             |          |           |          |           |          |           |          |           |          |           | 伤害值 (ppm × 4 小时)                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|----------|-----------|----------|-------------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                |                                                                                                                            | 0.2         |             | 0.3      |           | 0.5      |             | 1        |           | 2        |           | 4        |           | 7        |           | 8        |           |                                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                                                |                                                                                                                            | 受叶<br>害数    | 受面<br>害叶积   | 受叶<br>害数 | 受面<br>害叶积 | 受叶<br>害数 | 受面<br>害叶积   | 受叶<br>害数 | 受面<br>害叶积 | 受叶<br>害数 | 受面<br>害叶积 | 受叶<br>害数 | 受面<br>害叶积 | 受叶<br>害数 | 受面<br>害叶积 | 受叶<br>害数 | 受面<br>害叶积 |                                                                                                                                                                                                                               |
| 蒲<br>白<br>白<br>大<br>大<br>柠<br>黄<br>苦<br>大<br>竹<br>湿<br>人<br>银<br>海<br>麻<br>腊<br>羊<br>木<br>海<br>剑<br>妙<br>菩<br>福<br>鸡<br>龙<br>罗 | 桃<br>兰<br>层<br>水<br>紫<br>檬<br>葛<br>女<br>柏<br>松<br>面<br>桦<br>果<br>棟<br>树<br>甲<br>黄*<br>豆<br>木<br>柳<br>榕<br>柏<br>花<br>柏<br>松 | 卅<br>+<br>+ | ④<br>③<br>③ |          |           | 卅<br>+   | ⑤<br>④<br>④ |          |           |          |           |          |           |          |           |          |           | <0.2<br><0.2<br><0.2<br><0.3<br><0.3<br><0.3 ×<br>1.5小时<br><0.3<br><0.3<br>0.3<br><0.3<br><0.3<br>0.3<br>0.3<br>>0.3<br><0.5<br>>0.3<br><0.5<br>1<br><0.5<br>0.5<br>0.5<br>0.5<br>1<br>>0.3<br><1<br>>0.5<br><1<br>>0.5<br><1 |
| 叶                                                                                                                              | 水<br>格<br>薇<br>按<br>榕<br>棟<br>贞<br>柏<br>松<br>面<br>桦<br>果<br>棟<br>树<br>甲<br>黄*<br>豆<br>木<br>柳<br>榕<br>柏<br>花<br>柏<br>松      |             |             | 卅        | ④         | 卅        | ⑤           | 卅        | ⑤         | 卅        | ⑤         | 卅        | ⑤         |          |           |          |           |                                                                                                                                                                                                                               |
| 花                                                                                                                              | 紫<br>薇<br>按<br>榕<br>棟<br>贞<br>柏<br>松<br>面<br>桦<br>果<br>棟<br>树<br>甲<br>黄*<br>豆<br>木<br>柳<br>榕<br>柏<br>花<br>柏<br>松           |             |             | 卅        | ⑤         | 卅        | ⑤           | 卅        | ④         |          |           |          |           |          |           |          |           |                                                                                                                                                                                                                               |
| 檬                                                                                                                              | 葛<br>按<br>榕<br>棟<br>贞<br>柏<br>松<br>面<br>桦<br>果<br>棟<br>树<br>甲<br>黄*<br>豆<br>木<br>柳<br>榕<br>柏<br>花<br>柏<br>松                |             |             | 卅        | ⑤         | 卅        | ⑤           | 卅        | ⑤         |          |           |          |           |          |           |          |           |                                                                                                                                                                                                                               |
| 葛                                                                                                                              | 女<br>柏<br>松<br>面<br>桦<br>果<br>棟<br>树<br>甲<br>黄*<br>豆<br>木<br>柳<br>榕<br>柏<br>花<br>柏<br>松                                    |             |             | 卅        | ⑤         | 卅        | ⑤           | 卅        | ③         |          |           |          |           |          |           |          |           |                                                                                                                                                                                                                               |
| 女                                                                                                                              | 贞<br>柏<br>松<br>面<br>桦<br>果<br>棟<br>树<br>甲<br>黄*<br>豆<br>木<br>柳<br>榕<br>柏<br>花<br>柏<br>松                                    |             |             | 卅        | ④         |          |             | 卅        | ⑤         |          |           |          |           |          |           |          |           |                                                                                                                                                                                                                               |
| 地                                                                                                                              | 柏<br>松<br>面<br>桦<br>果<br>棟<br>树<br>甲<br>黄*<br>豆<br>木<br>柳<br>榕<br>柏<br>花<br>柏<br>松                                         |             |             | 卅        | ②         | 卅        | ④           | 卅        | ④         |          |           |          |           |          |           |          |           |                                                                                                                                                                                                                               |
| 叶                                                                                                                              | 松<br>面<br>桦<br>果<br>棟<br>树<br>甲<br>黄*<br>豆<br>木<br>柳<br>榕<br>柏<br>花<br>柏<br>松                                              |             |             | 卅        | ④         |          |             | 卅        | ④         |          |           |          |           |          |           |          |           |                                                                                                                                                                                                                               |
| 叶                                                                                                                              | 面<br>桦<br>果<br>棟<br>树<br>甲<br>黄*<br>豆<br>木<br>柳<br>榕<br>柏<br>花<br>柏<br>松                                                   |             |             | 卅        | ③         | 卅        | ④           |          |           |          |           |          |           |          |           |          |           |                                                                                                                                                                                                                               |
| 叶                                                                                                                              | 桦<br>果<br>棟<br>树<br>甲<br>黄*<br>豆<br>木<br>柳<br>榕<br>柏<br>花<br>柏<br>松                                                        |             |             | 卅        | ②         |          |             | 卅        | ③         |          |           |          |           |          |           |          |           |                                                                                                                                                                                                                               |
| 叶                                                                                                                              | 果<br>棟<br>树<br>甲<br>黄*<br>豆<br>木<br>柳<br>榕<br>柏<br>花<br>柏<br>松                                                             |             |             | 卅        | ②         |          |             | 卅        | ③         |          |           |          |           |          |           |          |           |                                                                                                                                                                                                                               |
| 叶                                                                                                                              | 棟<br>树<br>甲<br>黄*<br>豆<br>木<br>柳<br>榕<br>柏<br>花<br>柏<br>松                                                                  |             |             | 卅        | ①         | 卅        | ③           |          |           |          |           |          |           |          |           |          |           |                                                                                                                                                                                                                               |
| 叶                                                                                                                              | 树<br>甲<br>黄*<br>豆<br>木<br>柳<br>榕<br>柏<br>花<br>柏<br>松                                                                       |             |             | 卅        | ①         | 卅        | ③           |          |           |          |           |          |           |          |           |          |           |                                                                                                                                                                                                                               |
| 叶                                                                                                                              | 甲<br>黄*<br>豆<br>木<br>柳<br>榕<br>柏<br>花<br>柏<br>松                                                                            |             |             | 卅        | ①         | 卅        | ③           |          |           |          |           |          |           |          |           |          |           |                                                                                                                                                                                                                               |
| 叶                                                                                                                              | 黄*<br>豆<br>木<br>柳<br>榕<br>柏<br>花<br>柏<br>松                                                                                 |             |             | 卅        | ①         | 卅        | ③           |          |           |          |           |          |           |          |           |          |           |                                                                                                                                                                                                                               |
| 叶                                                                                                                              | 豆<br>木<br>柳<br>榕<br>柏<br>花<br>柏<br>松                                                                                       |             |             | 卅        | ①         | 卅        | ③           |          |           |          |           |          |           |          |           |          |           |                                                                                                                                                                                                                               |
| 叶                                                                                                                              | 木<br>柳<br>榕<br>柏<br>花<br>柏<br>松                                                                                            |             |             | 卅        | ①         | 卅        | ③           |          |           |          |           |          |           |          |           |          |           |                                                                                                                                                                                                                               |
| 叶                                                                                                                              | 柳<br>榕<br>柏<br>花<br>柏<br>松                                                                                                 |             |             | 卅        | ①         | 卅        | ③           |          |           |          |           |          |           |          |           |          |           |                                                                                                                                                                                                                               |
| 叶                                                                                                                              | 榕<br>柏<br>花<br>柏<br>松                                                                                                      |             |             | 卅        | ①         | 卅        | ③           |          |           |          |           |          |           |          |           |          |           |                                                                                                                                                                                                                               |
| 叶                                                                                                                              | 柏<br>花<br>柏<br>松                                                                                                           |             |             | 卅        | ①         | 卅        | ③           |          |           |          |           |          |           |          |           |          |           |                                                                                                                                                                                                                               |
| 叶                                                                                                                              | 花<br>柏<br>松                                                                                                                |             |             | 卅        | ①         | 卅        | ③           |          |           |          |           |          |           |          |           |          |           |                                                                                                                                                                                                                               |
| 叶                                                                                                                              | 柏<br>松                                                                                                                     |             |             | 卅        | ①         | 卅        | ③           |          |           |          |           |          |           |          |           |          |           |                                                                                                                                                                                                                               |
| 叶                                                                                                                              | 松                                                                                                                          |             |             | 卅        | ①         | 卅        | ③           |          |           |          |           |          |           |          |           |          |           |                                                                                                                                                                                                                               |

\* 因叶片退化, 所观察的是枝条。

表 3 不同浓度氯气对木本花卉植物的伤害程度及阈值

| 植 物 名 称   | 氯气浓度<br>(ppm) | 叶片受害程度   |           |          |           |          |           |          |           |          |           |          |           |          |           |          |           | 伤害<br>阈值<br><br>(ppm×<br>4 小时) |
|-----------|---------------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|--------------------------------|
|           |               | 0.2      |           | 0.3      |           | 0.5      |           | 1        |           | 2        |           | 4        |           | 7        |           | 8        |           |                                |
|           |               | 受叶<br>害数 | 受面<br>害叶积 | 受叶<br>害数 | 受面<br>害叶积 | 受叶<br>害数 | 受面<br>害叶积 | 受叶<br>害数 | 受面<br>害叶积 | 受叶<br>害数 | 受面<br>害叶积 | 受叶<br>害数 | 受面<br>害叶积 | 受叶<br>害数 | 受面<br>害叶积 | 受叶<br>害数 | 受面<br>害叶积 |                                |
| 紫 薇       |               | 卅        | ⑤         | 卅        | ⑤         |          |           |          |           |          |           |          |           |          |           |          |           | <0.2                           |
| 宝 巾       |               | 卅        | ③         |          |           | 卅        | ③         | 卅        | ③         |          |           |          |           |          |           |          |           | <0.2                           |
| 杜 鹃       |               |          |           | 卅        | ⑤         | 卅        | ⑤         |          |           |          |           |          |           |          |           |          |           | <0.3                           |
| 狗 牙 花     |               |          |           | 卅        | ⑤         | 卅        | ⑤         |          |           |          |           |          |           |          |           |          |           | <0.3                           |
| 大 红 花     |               |          |           | 卅        | ④         |          |           | 卅        | ④         |          |           |          |           |          |           |          |           | <0.3                           |
| 一 品 红     |               |          |           | 卅        | ↓*        | 卅        | ⑤         |          |           |          |           |          |           |          |           |          |           | <0.3                           |
| 绯 桃       |               |          |           | 卅        | ④         |          |           |          |           |          |           |          |           |          |           |          |           | <0.3                           |
| 安 石 榴     |               |          |           | 卅        | ⑤         |          |           |          |           |          |           |          |           |          |           |          |           | <0.3                           |
| 木 槿       |               |          |           |          |           | 卅        | ④         | 卅        | ②         |          |           |          |           |          |           |          |           | <0.5                           |
| 含 笑 爪     |               |          |           |          |           | 卅        | ④         | 卅        | ③         |          |           |          |           |          |           |          |           | <0.5                           |
| 鹰 爪       |               |          |           | 十        | ③         | 十        | ③         | 十        | ③         |          |           |          |           |          |           |          |           | <0.5                           |
| 白 花 油 茶   |               |          |           | 十        | ②         | 十        | ②         | 卅        | ④         |          |           |          |           |          |           |          |           | 0.5                            |
| 桂 木 蝉     |               |          |           | 十        | ②         | 十        | ②         | 卅        | ⑤         |          |           |          |           |          |           |          |           | 0.5                            |
| 白 花 船     |               |          |           | 卅        | ②         | 卅        | ②         | 卅        | ③         |          |           |          |           |          |           |          |           | 0.5                            |
| 黄 花 夹 竹 桃 |               |          |           | ○        | ①         |          |           | 卅        | ↓         |          |           |          |           |          |           |          |           | >0.3<br><1                     |
| 红 背 桂     |               |          |           |          |           | 十        | ↓         | ○        | ①         |          |           |          |           |          |           |          |           | 有待重试                           |
| 洒 金 榕     |               |          |           | ○        | ①         | ○        | ①         | 卅        | ③         |          |           |          |           |          |           |          |           | >0.5<br><1                     |
| 夜 合 茶     |               |          |           | ○        | ①         | ○        | ①         | 卅        | ③         |          |           |          |           |          |           |          |           | >0.5<br><1                     |
| 红 花 油 茶   |               |          |           |          |           |          |           | 卅        | ③         |          |           | 卅        | ⑤         |          |           |          |           | <1                             |
| 海 桐 花     |               |          |           |          |           |          |           | 十        | ②         |          |           |          |           |          |           |          |           | 1                              |
| 米 仔 兰     |               |          |           | ○        | ①         | ○        | ①         | 卅        | ②         |          |           |          |           |          |           |          |           | 1                              |
| 桂 花       |               |          |           | ○        | ①         | ○        | ①         | 卅        | ②         |          |           |          |           |          |           |          |           | 1                              |
| 夹 竹 桃     |               |          |           | ○        | ①         |          |           | 卅        | ②         | 卅        | ⑤         | 卅        | ⑤         |          |           |          |           | 1                              |
| 茉莉 花      |               |          |           |          |           |          |           |          |           | 卅        | ②         | 卅        | ③         | 卅        | ④         |          |           | 2                              |
| 九 里 香     |               |          |           |          |           |          |           |          |           | ○        | ①         | 卅        | ④         |          |           |          |           | >2<br><4                       |

\* ↓ 叶片脱落

续表 2

| 植物名称                                            |                             |                                                 | 氯气浓度 (ppm) |           | 0.2      |           | 0.3      |           | 0.5      |           | 1        |           | 2        |           | 4        |           | 7        |           | 8        |           | 伤害<br>阈值        |                                                                                                                                                                                |
|-------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------|------------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                 |                             |                                                 | 叶片受害程度     |           | 受叶<br>害数 | 受面<br>害叶积 | 受叶<br>害数 | 受面<br>害叶积 | 受叶<br>害数 | 受面<br>害叶积 | 受叶<br>害数 | 受面<br>害叶积 | 受叶<br>害数 | 受面<br>害叶积 | 受叶<br>害数 | 受面<br>害叶积 | 受叶<br>害数 | 受面<br>害叶积 | 受叶<br>害数 | 受面<br>害叶积 | (ppm ×<br>4 小时) |                                                                                                                                                                                |
|                                                 |                             |                                                 | 受叶<br>害数   | 受面<br>害叶积 |          |           |          |           |          |           |          |           |          |           |          |           |          |           |          |           |                 |                                                                                                                                                                                |
| 树 扁 环 杞 桧 榕 美 龙 高 垂 扁 牛 槐 大 阴 南 黄 散 樟 蒲 美 假 鱼 山 | 菠 纹 度 胶 枕 山 枝 乳 叶 洋 尾 针 核 尾 | 萝 柏 榕 果 榕 柏 树 榕 眼 榕 榕 桃 树 思 香 檀 皮 葵 树 葵 葵 椰 葵 棕 |            |           |          |           | ○        | ①         | 卅        | ⑤         | 卅        | ⑤         | 卅        | ④         |          |           |          |           |          |           |                 | >0.5<br><1<br><1<br>1<br>1<br>1<br>>1<br>>1<br><2<br>>1<br><2<br><1<br>>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>>1<br><4<br>>1<br><4<br>>2<br><4<br><4<br><4<br>4<br>4<br>>4<br><7<br>7<br>>7 |



表 5 不同浓度氯气对草本、藤本植物的伤害程度及阈值

| 氯气浓度<br>(ppm)    |                            |      | 0.3      |          | 1        |          | 2        |          | 伤害阈值<br>(ppm×4小时) |
|------------------|----------------------------|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------------------|
|                  |                            |      | 受叶<br>害数 | 受害<br>面积 | 受叶<br>害数 | 受害<br>面积 | 受叶<br>害数 | 受害<br>面积 |                   |
| 植<br>物<br>名<br>称 | 叶<br>片<br>受<br>害<br>程<br>度 | 植物名称 | 卅        | ③        |          |          |          |          | <0.3              |
|                  |                            |      | 卅        | ②        |          |          |          |          | 0.3×1小时           |
| 夜来香              | 金边                         | 炮仗花  | 卅        | ②        |          |          |          |          | <0.3              |
| 珊瑚               | 扶                          | 花藤   | 卅        | ②        |          |          |          |          | <0.3              |
| 地                | 瑚                          | 草    | 卅        | ③        |          |          |          |          | <0.3              |
| 沿                | 毯                          | 草    | 十        | ②        | 卅        | ④        | 卅        | ⑤        | 0.3               |
| 假                | 阶                          | 草    | ○        | ①        | 卅        | ④        | 卅        | ⑤        | >0.3              |
| 狗                | 俭                          | 草    | ○        | ①        | 卅        | ④        | 卅        | ⑤        | <1                |
| 细                | 丽                          | 根    | ○        | ①        | 卅        | ③        | 卅        | ④        | >0.3              |
| 竹                | 结                          | 草    |          |          | 十        | ②        | 卅        | ④        | <1                |
|                  | 节                          | 草    |          |          | 十        | ②        | 卅        | ④        | 1                 |
|                  |                            |      |          |          |          | ②        | 卅        | ④        | 1                 |

### \* 叶片脱落

表 6 植物抗性分级表

| 抗性级别                                                               | 确 物 名 称                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 敏<br>感<br>(阈值 $\leq 0.3 \text{ ppm} \times 4 \text{ 小时}$ )         | 大叶紫薇 ( <i>Lagerstroemia speciosa</i> )、安石榴、柠檬桉 ( <i>Eucalyptus citriodora</i> )、大红花、绯桃 ( <i>Prunus persica</i> var. <i>magnifica</i> )、苦楝 ( <i>Melia azadirach</i> )、杜鹃、女贞 ( <i>Ligustrum lucidum</i> )、狗牙花、吉庆果、可爱花、湿地松 ( <i>Pinus elliottii</i> )、大叶水榕 ( <i>Ficus glaberrima</i> )、黄葛榕 ( <i>Ficus lacer</i> )、蒲桃 ( <i>Syzygium jambos</i> )、银桦 ( <i>Grevillea robusta</i> )、一品红、绣球 ( <i>Hydrangea macrophylla</i> )、紫薇 ( <i>Lagerstroemia indica</i> )、白兰、金粟兰 ( <i>Chloranthus spicatus</i> )、石竹 ( <i>Dianthus chinensis</i> )、珊瑚藤 ( <i>Antigonon leptopus</i> )、宝巾、夜来香 ( <i>Telosma cordata</i> )、金银花、炮仗花 ( <i>Pyrostegia ignea</i> )、白千层 ( <i>Melaleuca leucadendra</i> )、芙蓉菊 ( <i>Crossostephium chinense</i> )、天门冬 ( <i>Asparagus cochinchinensis</i> )、竹柏 ( <i>Podocarpus nagi</i> )、地毯草、海杜果 ( <i>Cerbera manghas</i> )、人面 ( <i>Dracontomelon dao</i> ) |
| 较<br>敏<br>感<br>(阈值 $> 0.3 - 0.5 \text{ ppm} \times 4 \text{ 小时}$ ) | 蜆肉秋海棠 ( <i>Begonia semperflorens</i> )、木槿 ( <i>Hibiscus syriacus</i> )、白蝉 ( <i>Gardenia jasminoides</i> var. <i>fortuniana</i> )、麻楝 ( <i>Chnkrasia tabularis</i> )、龙船花、白花油茶 ( <i>Camellia oleifera</i> )、羊蹄甲 ( <i>Bauhinia purpurea</i> )、腊肠树 ( <i>Cassia fistula</i> )、木麻黄 ( <i>Casuarina equisetifolia</i> )、海南红豆 ( <i>Ormosia pinnata</i> )、菩提榕 ( <i>Ficus religiosa</i> )、剑叶梭罗木 ( <i>Reevesia lancifolia</i> )、吐龙珠 ( <i>Clerodendron thomsonae</i> )、红铁树、鸡蛋花 ( <i>Plumeria rubra</i> var. <i>acutifolia</i> )、沿阶草 ( <i>Ophiopogon japonicus</i> )、假俭草 ( <i>Eremochloa ophiuroides</i> )、鹰爪 ( <i>Artabotrys uncinatus</i> )、狗牙根 ( <i>Cynodon dactylon</i> )、含笑、桂木 ( <i>Artocarpus lingnanensis</i> )、桫欏 ( <i>Aphannamixis polystachya</i> )、红背桂 ( <i>Excoecaria cochinchinensis</i> )、福建柏 ( <i>Fokienia hodginsii</i> )                                    |
| 较<br>强<br>(阈值 $> 0.5 - 1 \text{ ppm} \times 4 \text{ 小时}$ )        | 黄花夹竹桃、夹竹桃 ( <i>Nerium indicum</i> )、夜合 ( <i>Magnolia coco</i> )、海桐花、红花油茶、印度胶榕 ( <i>Ficus elastica</i> )、树菠萝 ( <i>Artocarpus heterophyllus</i> )、杧果 ( <i>Mangifera indica</i> )、桂花 ( <i>Osmanthus fragrans</i> )、米仔兰 ( <i>Aglaia odorata</i> )、洒金榕、罗汉松 ( <i>Podocarpus macrophylla</i> var. <i>maki</i> )、龙柏 ( <i>Sabina chinensis</i> cv. "kaizuka")、扁柏 ( <i>Chamaecyparis obtusa</i> )、环纹榕 ( <i>Ficus annulata</i> )、竹节草 ( <i>Chrysopogon aciculatus</i> )、细叶结缕草 ( <i>Zoysia tenuifolia</i> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 强<br>(阈值 $> 1 \text{ ppm} \times 4 \text{ 小时}$ )                   | 山棕、散尾葵 ( <i>Chrysalidocarpus lutescens</i> )、美丽针葵 ( <i>Phoenix sp.</i> )、榕树 ( <i>Ficus microcarpa</i> )、阴香 ( <i>Cinnamomum burmanni</i> )、樟树 ( <i>Cinnamomum camphora</i> )、高山榕 ( <i>Ficus altissima</i> )、美丽枕果榕 ( <i>Ficus drupacea</i> var. <i>glabrata</i> )、牛乳树、鱼尾葵 ( <i>Caryota ochlandra</i> )、扁桃 ( <i>Mangifera silvatica</i> )、垂枝榕 ( <i>Ficus benjamina</i> )、龙眼 ( <i>Euphoria longan</i> )、黄皮 ( <i>Clausena lansium</i> )、茉莉花 ( <i>Jasminum sambac</i> )、九里香 ( <i>Murraya paniculata</i> )、榄 ( <i>Canarium album</i> )、大叶相思、桧柏 ( <i>Sabina chinensis</i> )、南洋楹、假槟榔 ( <i>Archontophoenix alexandrae</i> )、接骨草、蒲葵 ( <i>Livistona chinensis</i> )                                                                                                                                                                                                       |

### 三、讨 论

#### 1. $\text{Cl}_2$ 伤害症状

Rhoads等(1976)曾报道 $\text{Cl}_2$ 对植物伤害的特征症状是脉间点状坏死。Brennan等(1965)则认为 $\text{Cl}_2$ 所产生的伤害症状是多种变化的,最常见的是脉间坏死和漂白,漂白是比较低浓度 $\text{Cl}_2$ 所引起的典型反应。并指出, $\text{Cl}_2$ 引起的伤害通常同时出现于叶的两面,但以上表面较为敏感。

据我们试验观察, $\text{Cl}_2$ 对叶片伤害症状多产生于脉间,症状变化多样。但叶下表面比上

表面敏感, 初始症状呈微小的针点状、斑点状斑点, 肉眼不易察看, 常需借助放大镜才能辨认。死、活组织间无明显界线。当 $\text{Cl}_2$ 超过阈值剂量时, 在叶的两面出现伤害症状, 并产生漂白现象。伤害症状类型、出现部位, 与所接触的 $\text{Cl}_2$ 剂量有密切关系。

Hindawi (1970) 曾指出,  $\text{SO}_2$ 引起的伤害症状与 $\text{Cl}_2$ 引起的症状相似。但据我们试验观察, 在阈值剂量条件下, 两种气体所引起的初始症状, 有明显的区别。

## 2. 对植物的毒性

$\text{Cl}_2$ 对植物的杀伤力很强, 试验中有些植物在0.3ppm低浓度下, 只需0.5—1小时便出现伤害症状。在同样浓度下,  $\text{Cl}_2$ 对植物的危害程度, 约为 $\text{SO}_2$ 的3—5倍(余叔文等1981)。

在几种气体对植物毒性比较中, McCallan 和Stterstron (1940) 得出如下的规律:  $\text{Cl}_2 > \text{SO}_2 > \text{NH}_3$ ,  $\text{HCN} > \text{H}_2\text{S}$  (Brennan, 1965)。Dugger (1974) 曾引述 Hill (1971) 的研究结果指出,  $\text{Cl}_2$ 较易溶于水溶剂中, 且较快被叶片吸收。这些强有力的氧化剂能与细胞膜和化合物起作用, 而导致细胞功能改变和结构破坏。 $\text{Cl}_2$ 亦能引起组织pH降低, 且比 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 更显著(Narwood, 1939—1941)。pH的降低, 往往是使植物组织受害的原因(余叔文, 1980; Narwood, 1939—1941)。 $\text{Cl}_2$ 所引起的伤害症状出现早, 初始症状微小, 可能与 $\text{Cl}_2$ 的化学性质及受害植物的生理生化特性有关。

## 3. $\text{Cl}_2$ 进入叶内途径与叶组织伤害顺序

$\text{Cl}_2$ 主要通过气孔进入叶内, 最先受害是孔下室周围细胞内的叶绿体, 进一步发展到栅栏组织的叶绿体。从受害叶横切面上可看到, 先是叶下表面凹陷, 继而叶上、下两面均凹陷。表皮细胞抗性强, 它和维管束常是最后才受害。

## 4. 阈值的意义

试验植物抗性级别的划分以阈值为依据。它与我们过去在工厂的 $\text{Cl}_2$ 污染环境中栽培试验的结果相比较(在工厂试验及本试验中共有的植物种类), 有59%的种类的抗性级别是一致的, 有18.2%种类的抗性级别比在污染环境中综合评定的级别降低了, 有22.8%种类的抗性级别上升了。这种室内及野外试验结果之间的差异, 原因是很复杂的。其中与叶片组织受害后, 症状易否显现出来、受害叶易否脱落, 再生能力强弱等都有关系。如蒲桃、银桦、印度胶榕等, 受害后叶片易出现症状, 但不易脱落, 叶片没有伤害部分的组织, 仍可继续生活, 因而在污染环境中具有强的适应能力。

经在工厂污染环境中栽培试验所评选出来的抗性植物, 无疑是可靠的。但试验所花的时间长, 工作量大, 且常受试验场地限制。据上述结果可认为, 以急性伤害阈值来评价植物的抗性, 对多数植物是适用的, 此一方法有其应用价值。

## 5. 叶龄与敏感性

Brennan (1965) 曾报道,  $\text{Cl}_2$ 使最老叶和中龄叶常发生坏死和漂白, 最年轻的叶没有那么敏感。Zimmerman等(1934)报道, 中龄叶对 $\text{Cl}_2$ 反应最敏感, 其原因, 他曾引述Knight (1956) 的研究结果来解释, 认为成熟健康叶(中龄叶)的气孔开放得比嫩叶和老叶宽, 叶芽和正在伸展的叶能忍受成熟叶和老叶不能忍受的浓度。本试验结果以老叶最敏感, 其次为中龄叶。这可能与我们的试验在冬季进行有关。因为多数植物种类这时已处于生长缓慢阶段。接近自然衰老状态的老叶,  $\text{Cl}_2$ 促进了它们的衰老, 因而表现出比中龄叶和嫩叶都要敏感。

## 参 考 文 献

- 王焕校等 1980 筛选抗氯、吸氯植物的研究。环境科学 1(4):28—31。
- 中国科学院编译出版委员会 1957 《色谱》。2—11页,科学出版社。
- 余叔文 1980 植物对二氧化硫的反应和抗性研究 I。植物对二氧化硫抗性与pH的相关性。植物生理学报 6(4):345—350。
- 余叔文等 1981 《大气污染伤害植物症状图谱》。16—19页,上海科学技术出版社。
- 高绪平 1982 氯气对植物呼吸作用的研究。植物生理学通讯(2):12—14。
- Brennan, E. et al. 1965 Chlorine as a Phytotoxic Air Pollutant. *Int. J. Air Wat. Poll.* 9:791—797.
- Brennan, E. et al. 1966 Response of Pine Trees to Chlorine in the Atmosphere. *Forest. Science* 12(4):386—390.
- Dugger, M. 1974 《Air Pollution Effects on Plant Growth》Los Angeles, Calif., America Chemical Society Washington. P. 121.
- Hindawi, I. J. 1970 《Air Pollution Injury to Vegetation》U. S. Government Printing Office Washinton. P. 30—31.
- Narwood, C. et al 1939—1941 Toxicity of Ammonia, Chlorine, Hydrogen Cyanide, Hydrogen Sulphide, and Sulphur Dioxide Gases 6 III. Green Plants. *Contributions from Boyce Thompson Institute* 2:343—356.
- Rhoads, A.F. et al. 1976 Response of Ornamental Plants to Chlorine Contamination in the Atmosphere *Plant Disease Reporter* 60(5):409—411.
- Thomas, M. 1951 Gas Damage to Plants, *Annual Review of Plant Physiology* 2:293—322.
- Zimmerman P.W. et al. 1934 Toxicity of Air Containing Sulphur Dioxide Gas *Contributions from Boyce Thompson Institute* 6:455—470.
- Г.М.Илькун 1978 Загрязнители атмосферы и растения. стр.97, (杜亦贞 译)

## THE REACTION AND RELATIVE RESISTANCE OF PLANTS TO CHLORINE

Kong Guohui Yi Qingfa Yi Jingdu Ao Huixiu He Peiming

(South China Institute of Botany, Academia Sinica)

The experiments were carried out in a dynamic perspex fumigating cabinet. 98 species (including 46 trees, 35 shrubs, 13 herbs and 4 vines) were examined by sun light lamps with eight levels of concentration of chlorine (i.e. 0.2, 0.3, 0.5, 1, 2, 4, 7, 8 ppm). Each fumigation lasted 4 hours.

Acute injury to the leaves of the dicotyledons caused by chlorine usually occurs first on the abaxial surface of the leaves as needle-shaped stipples or both large and small concave spots. The injury to herbs with isobilateral leaves often occurs on the adaxial surface of the leaves.

Chlorine entered into the leaves mainly through the stomata. The spongy parerchyma surrounding the substomatal chamber was attacked first. The chloroplasts underwent chlorosis, even bleaching, broke into small grains, and then the cells withered. If the injury continued, damage would spread to the palisade tissue. The injurious sequence corresponds with spreading sequence of the chlorine.

Usually the epidermal cells are injured much later, so they seem to be of high resistance.

The resistance to chlorine varies with different kinds of plants. According to the varied degrees of injurious threshold, the resistance of plants is divided into four degrees, namely,  $\text{threshold} \leq 0.3 \text{ ppm} \times 4 \text{ hr.}$  for the most sensitive plants (33 species);  $\text{threshold} > 0.3 \text{ ppm}, \leq 0.5 \text{ ppm} \times 4 \text{ hr.}$  for the sensitive plants (20 species);  $\text{threshold} > 0.5 \text{ ppm}, \leq 1 \text{ ppm} \times 4 \text{ hr.}$  for the resistant plants (25 species); and  $\text{threshold} \geq 2 \text{ ppm} \times 4 \text{ hr.}$  for the most resistant plants (20 species).

For most of plants, the injurious threshold can be used as a basis to estimate the degrees of resistance. It is realizable and useful to make experiments of fumigation to understand the resistance of a large number of plants in a short period. The typical injury caused by chlorine can be used as an indicator to diagnose chlorine pollution.

