

工厂氯气对接骨草叶片组织的影响

吴七根 何培明 王学海 李 桦

(中国科学院华南植物研究所)

氯气对植物的影响早已引起人们的注意 (Brennan 等, 1965、1966; Hindawi, 1970; Miller等, 1940; Stout, 1932; Zimmermen, 1949), 但关于氯气对叶片影响的组织学研究却较少, 国内在这方面的工作也刚开展 (王焕校等, 1980; 秦慧贞等, 1980)。我们从 1980年起, 开展了工厂氯气对接骨草 (*Gendarussa vulgaris* Nees) 叶片组织影响的研究, 现将初步结果报告如下。

一、材 料 和 方 法

我们调查了广州化工厂电解车间排溢的氯气, 对车间周围绿篱小灌木——接骨草叶片的影响, 进行了伤害程度和症状分类, 绘制彩色图, 按不同类型, 采集三批第四对成熟叶作材料, 进行常规石蜡切片, 部分作徒手切片, 观察其症状及颜色。第四批材料用邻苯二甲酸二丙酯包埋, 用修块机的玻璃刀切成1—2 μ 的半薄片, 甲苯胺蓝染色, 制成永久切片。制备切片, 用绘图仪及移动式测微计测量和照相。对照材料取自我所的绿篱接骨草, 植株年龄与污染区者相同。

二、实 验 结 果

1. 工厂氯气对接骨草叶片的影响, 可分为两类

1) 长期低浓度氯气的影响 化工厂电解车间的氯气排气口, 经常排溢出0.11毫克/立方米 (0.035ppm) 以下低浓度氯气, 在排气口5米内的接骨草, 长期受低浓度氯气熏染后, 所有植株未出现可见伤害症状。

2) 电解车间西北门附近10米内的接骨草, 六月底由于一次生产事故, 大量氯气外溢, 瞬时高浓度氯气 (跑漏后几分钟测定浓度为1.68毫克/立方米), 则引起接骨草急性伤害, 叶片外表出现三种主要可见症状。

(1) 针点状伤害: 通常见于第三、四对叶。据我们进行氯气人工熏气试验, 针点状伤害主要出现在第一、二对嫩叶。由于我们在工厂采样时间是在车间氯气跑漏事后的20多天, 植株已长出两对新叶, 故伤害症状表现在第三、四对叶片。症状多见于叶背前半部, 有针头大小 (直径0.1—0.4毫米) 的凹陷, 颜色黄绿带褐。

(2) 水渍状伤害: 多见于第四对以下的成长叶, 叶背凹凸不平, 伤斑暗绿色, 有如开水烫伤后的色泽, 伤害面呈片状分布。

(3) 斑点、斑块状伤害: 斑点状伤害亦见于第四对以下的成长叶。伤斑下陷 (直径约

0.5—1 毫米), 叶背伤斑呈棕红色, 叶面呈浅黄绿或灰白色伤斑。此外, 还有一种比斑点状伤害受害面积较大和较严重的斑块状伤害、它常伴随斑点状伤害一起出现于同一叶片。伤块下陷(直径约 1—5 毫米或更大), 叶背灰白色或浅土黄色, 周边镶以土黄褐的条带。叶面伤块灰白镶以栗棕色。全叶暗绿色。

2. 工厂氯气影响下, 叶片的一些解剖学指标的变化特点:

1) 表皮细胞的平均厚度及长度变化 水渍状伤害, 因细胞体积膨胀而有不同程度的增厚。但其它各种伤害, 使表皮细胞均有不同程度变小的倾向。

2) 栅栏组织厚度变化 无论是长期低浓度还是短期高浓度氯气, 对栅栏组织均有影响, 能引起厚度的增加。前者引起第一、二层细胞纵向直径与横向直径的比值增大(比例值为 3.80, 2.2; 对照区为 3.71, 1.63)。这种横向直径缩小, 和纵向直径的增加, 其旱生结构似有所加强。后者第一、二层细胞也变小和伸长, 或受害变形, 或呈哑铃状。

3) 海绵组织厚度变化 从表 1 可见, 几种伤害类型, 海绵组织厚度均有不同程度的减

表 1 工厂氯气对接骨草叶片结构影响的解剖

采 样 地 点	污 染 情 况	叶片生长 情况及伤 害症状	表 皮 组 织*				栅 栏 组 织			海 绵 组 织			叶厚 片度 总 (μ)
			上细 表皮 皮厚 (μ)	上细 表皮 皮长 (μ)	下细 表皮 皮厚 (μ)	下细 表皮 皮长 (μ)	厚度 (μ)	细胞层数	占厚 全的 叶 %	厚度 (μ)	细胞层数	占厚 全的 叶 %	
华南植物研究所	清洁区	生长正常	32.5	397	24	322	77	2—3 (2层为多)	27.1	150	7—8	52.1	284
“广化”电解车间排气口附近	长期低浓度氯气污染	外观无伤 害症状	32.4	353	22	285	92	2—4 (3层为多)	33	136	7—8 (8层为多)	48	283
“广化”电解车间北门口	短期高浓度氯气污染	针点状	31	363	23	326	78	2—3 (3层为多)	31	130	7	51	256
”	”	水渍状	33	374	27	327	82	2—3	33	109	6—7	44	251
”	”	斑点状	25.3	355	23.3	283	78.9	2—3	32	114	5—7	44.3	245.8
”	”	斑块状	27.7	408	25.7	340	112	2—3	46.4	71	4—6	28.6	241

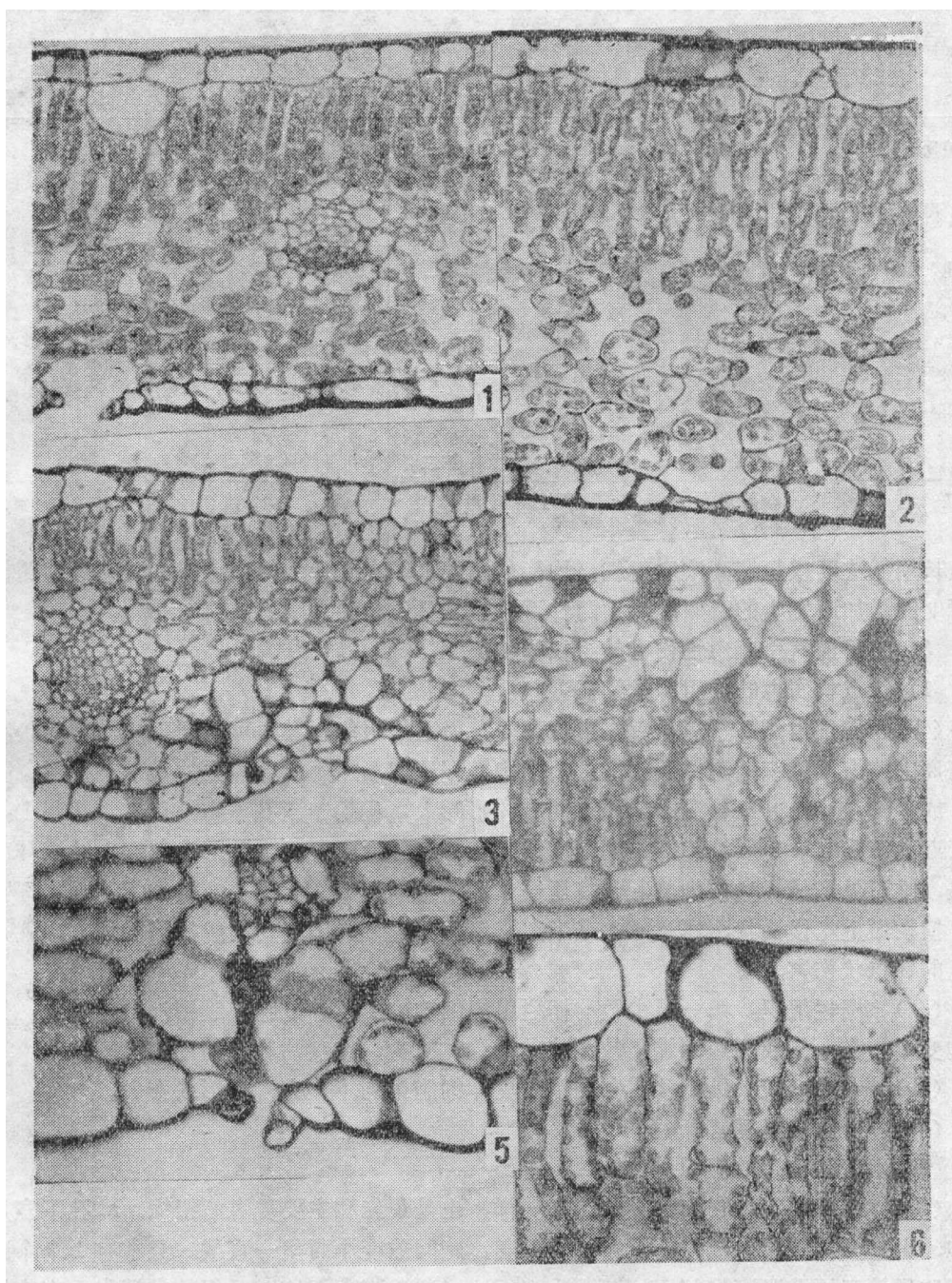
* 三个材料三十个细胞平均值

少。其中以斑点、斑块状伤害为明显。清洁区及长期低浓度氯气环境下生产的接骨草, 海绵组织有 7—8 层细胞(图版 I:1,2), 但短期高浓度氯气影响下, 由于细胞的变形、萎缩和干瘪, 导致细胞排列紊乱而缩减细胞的层数。此外, 氯气对接近栅栏组织细胞的一层海绵细胞的影响, 反映在细胞长度及宽度的变化, 其中以斑点、斑块状伤害为明显(表 2)。

4) 叶片总厚度变化 受短期高浓度氯气伤害的各种症状, 叶片总厚度由于海绵组织厚度明显减少, 导致叶片总厚度的变薄。

5) 栅栏、海绵组织厚度占叶片总厚度百分比(%)的变化 我们用 $\frac{\text{栅栏组织厚度}(\mu)}{\text{叶片总厚度}(\mu)} \times 100\%$ 来表示栅栏组织在叶中所占的比例。从表 1 可见, 长期低浓度氯气使栅栏组织的比例, 从清洁区的 27% 上升至 33%, 这是由于栅栏组织增厚和海绵组织减薄同时发生所造成的。短期高浓度氯气亦使栅栏组织厚度的增加, 而主要是由于海绵组织变薄的结果。

另一方面, 我们用 $\frac{\text{海绵组织厚度}(\mu)}{\text{叶片总厚度}(\mu)} \times 100\%$ 来表示海绵组织厚度在叶片的比例。无



1. 清洁区接骨草叶片横切面观。×160 2. 污染区长期低浓度氯气伤害后叶片横切面观。×240 3. 针点状伤害。孔下室附近的细胞膨大，部分萎缩。伤害细胞群呈馒头状，栅栏组织细胞萎缩变形。×160 4. 水渍状伤害。海绵组织细胞膨大，叶绿体减少或消失。胞间隙极小，有挤压成一直线。部分细胞萎缩，内藏分散的叶绿体颗粒。栅栏组织细胞膨大变形。×240 5. 水渍状伤害。孔下室为膨大及萎缩的海绵组织细胞所侵填。维管束鞘细胞膨大具缺刻。×310 6. 水渍状伤害。栅栏组织细胞体形膨大，有呈哑铃状，扭曲状和锥形。叶绿体减少。×310

表 2 工厂氯气对接骨草叶肉细胞大小的影响

采 样 地 点	污 染 情 况	生长情况 或 伤害症状	栅栏组 织的细 胞层次	栅栏组织细胞平 均长度、宽度 (40个细胞平均 值) (μ)		两层栅栏 组织细胞 总长度 (μ)	栅栏组织下方第一 层海绵组织细胞长 度、宽度(μ) (30 个细胞平均值)	
				长 度	宽 度		长 度	宽 度
华南植物研究所	清洁区	生长正常	第一层 第二层	52 26	14 16	78	23	18.3
“广化”电解车间排气口附近	长期低浓度氯气污染	外观无可见 伤害症状	第一层 第二层	49.5 33	13 15	82.5	25	20.3
“广化”电解车间北门口	短期高浓度氯气污染	针点状伤害	第一层 第二层	44 24	15 14	68	22	19.6
”	”	水渍状伤害	第一层 第二层	54 29	14 19	83	20	21.6
”	”	斑点状伤害	第一层 第二层	57.6 33.6	15 16	91.2	30.1	20
”	”	斑块状伤害	第一层 第二层	67 35	15 16.6	102	29.3	23

注: 1. 1930年8月28日采样 2. 采样叶位为第四对叶

论是长期低浓度或短期高浓度氯气, 均能使海绵组织在叶片中的比例减少。这是伴随栅栏组织厚度的增加而发生的。因此, 这两种百分数是呈负相关。

3. 工厂氯气引起急性伤害的组织学特征

1) 针点状伤害叶的组织学特征

(1) 海绵组织: 这里是首先出现和受害最重的组织。其中可找到下述伤害症状: a. 孔下室周围的海绵组织细胞, 偶有1、2个细胞皱缩干瘪, 原生质体消失。大部分变形, 胞壁褶皱, 或萎缩变小, 叶绿体凝集成团。间有体形膨大, 侵填于原孔下室的位置(图版I: 3)。b. 接近孔下室1—4层细胞, 不同程度蒙受伤害, 体形膨大, 胞壁部分膨胀, 叶绿体减少或消失, 唯可见胞核。这些细胞互相挤压一起, 使胞间间隙大大缩小。这群细胞形成的伤害区, 横切面上呈馒头状, 厚达0.4毫米, 最厚达1毫米。下表皮向内凹陷的地方, 就是肉眼可见的针点状伤害。

(2) 栅栏组织: 第一层少数的栅栏组织细胞中央收缩, 胞壁皱褶, 呈哑铃状; 第二层细胞变形, 在一侧或两边皱缩呈缺刻状。叶绿体减少, 或仅沾胞壁的周边出现。

(3) 表皮: 较大针点状伤害的下表皮, 细胞排列不整齐, 变形或膨大。

(4) 叶脉未见受害。

2) 水渍状伤害的组织学特征

(1) 海绵组织: 它和针点状伤害一样, 也是最先和主要受害的组织。a. 孔下室周围的细胞, 大部分体积膨大数倍, 互相挤压一起, 胞间隙变小而呈一直线。且常有1、2个膨大了的细胞侵填于原孔下室的位置(图版I: 4, 5)。这些膨大细胞, 叶绿体常消失。亦有原生质体分散成绿带浅黄褐色的小颗粒, 成堆地包藏于皱缩的胞壁内。b. 海绵组织大面积受害。伤害范围, 从数十个细胞乃至断续地出现在整片叶的横切面上。伤害区有两类细胞, 一为膨大的比正常大数倍的细胞, 细胞液泡化, 叶绿体变小而少; 另一为包藏小颗粒、胞壁干瘪的细胞。这群细胞互相挤压一起, 由于细胞液外渗, 积存于胞间间隙, 使叶片下表面呈深绿色水

渍状, 对光观察呈半透明。

(2) 栅栏组织: 在海绵组织受害较严重区的栅栏组织细胞, 常可见到膨大的或一端膨大而另一端萎缩的细胞; 轻度受害区的栅栏组织细胞, 胞壁皱褶或外形具缺刻。少数细胞出现扭曲现象(图版 I: 6)。

(3) 表皮: 下表皮受害较明显, 细胞排列紊乱、变形或膨大, 偶见比正常细胞大3—4倍者(图版 I: 7)。

(4) 叶脉: 主脉受害不明显。受害侧脉多是从下方维管束鞘细胞开始, 然后向两侧及上方维管束鞘细胞发展。细胞体形膨大, 或具缺刻, 叶绿体减少(图版 I: 4; 图版 II: 7)

4. 斑点、斑块状伤害叶的组织学特征

1) 海绵组织 斑点状伤害的孔下室周围海绵组织细胞, 有的萎缩变小, 有的膨大, 还有少数干瘪细胞, 这些细胞的叶绿体减少或消失。斑块状伤害的孔下室周围的海绵组织细胞, 其受害程度更为严重, 细胞常是干瘪坏死, 存在细胞残体, 并连结成不规则的条带或网状。因此, 孔下室形成比原来的扩大数倍, 形成大小不等和不定形的空腔。斑点状与斑块状伤害的海绵组织细胞, 其差异主要表现在伤害面积及程度上。前者伤害面积小, 膨大的细胞体形小, 干瘪坏死的细胞也较少; 后者伤害面积大, 膨大的细胞体形大, 干瘪坏死的细胞或仅剩的细胞残壁常可见到(图版 II: 9、10、11)。

2) 栅栏组织细胞 斑点状伤害的第一层栅栏组织细胞, 外形呈上宽下窄或哑铃状; 第二、三层多为膨大变形的细胞。斑块状伤害的栅栏组织细胞, 第一层细胞以哑铃状为多, 毗连的两个哑铃状细胞的中部, 则形成大的空腔(图版 II: 10)。第二、三层细胞亦有呈锥形或出现扭曲现象。

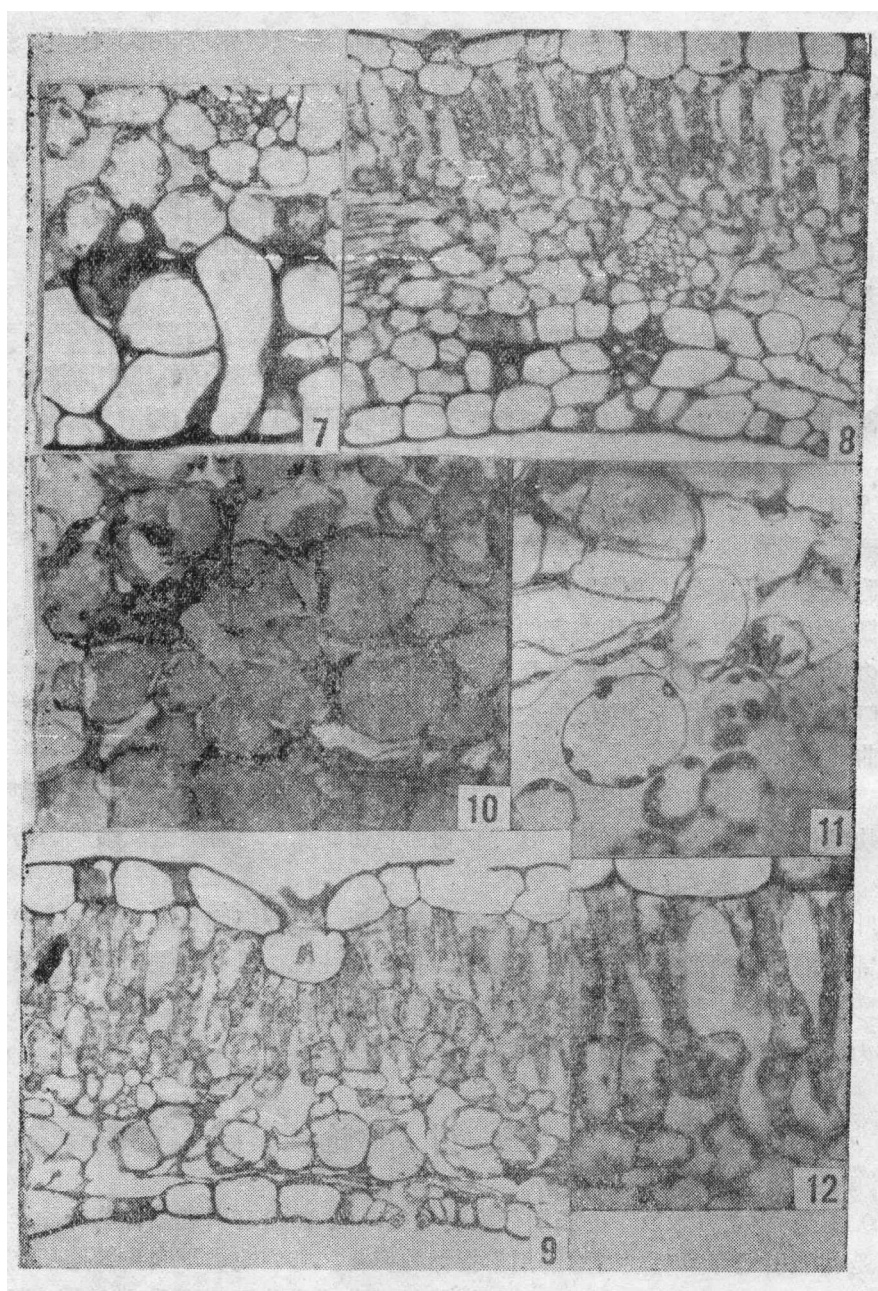
3) 表皮 伤害区的下表皮及部分上表皮明显下陷。斑点状伤害的叶片横切面观, 呈波纹状; 斑块状伤害者, 则呈半月形。这些横切面观的变化, 与海绵组织细胞的伤害程度有密切关系。

4) 叶脉 侧脉受害区多是从下方维管束鞘开始, 部分细胞萎缩变形, 胞壁有不规则的缺刻, 大部分维管束鞘细胞膨大, 并具缺刻。韧皮部往往比维管束鞘先受害, 表现为受害部分的细胞膨胀。此外, 我们始终未见导管之侵填体和筛管的胼胝体。因此, 在其它组织受害情况下, 仍有可能继续行使其输导机能。

三、讨 论

1. 0.11 毫克/立方米以下的长期低浓度氯气, 虽然没有引起接骨草叶片产生可见伤害症状, 但是却能引起许多观察到的解剖学指标的变化。它使上、下表皮细胞变小; 栅栏组织细胞的纵向直径与横向直径比例的增加。栅栏组织占叶片总厚度百分比上升; 海绵组织占叶片总厚度的百分比下降。利用解剖学指标的变化, 以监测环境, 对环境质量评价, 是有其一定的意义。由有毒气体引起的组织学特征的变化, 和强光照对叶片的影响, 有某些相似之处, 因此, 工厂氯气对大气污染, 应看作是一个重要的生态因子, 并可用生态学(包括生态解剖学)的方法加以研究。

Сергейчик 等研究了 CS_2 、 SO_2 、 H_2S 、 NH_3 四种由工厂排放的有毒气体对木本植物叶片解



7.水渍状伤害。下表皮细胞排列紊乱，细胞膨大变形。 $\times 310$ 8.斑点状伤害。海绵组织细胞膨大，叶绿体减少或消失。部分细胞萎及干瘪。栅栏组织细胞部分萎缩变形。 $\times 240$ 9.斑块状伤害。近下表皮第1、2层海绵组织细胞干瘪，连成网状；第3、4层细胞膨大变形；4—6层细胞萎缩或干瘪。维管束鞘细胞有的干瘪，有的膨大。 $\times 160$ 10.斑块状伤害。膨大的海绵细胞可见胞核。萎缩的细胞内有分散叶绿体颗粒聚集一起。（半薄片 $\times 310$ ） 11.斑块状伤害。海绵组织细胞有的干瘪连成条带、有的萎缩，内藏分散的叶绿体颗粒。有的膨大变形，叶绿体减少或消失。（半薄片 $\times 310$ ） 12.斑块状伤害。第1层栅栏组织细胞萎缩呈哑铃或骨节状，胞间隙增大数倍；第2层细胞一端膨大呈锥形或骨节状。（半薄片 $\times 310$ ）

剖结构的影响后指出: 长期生长在有毒化合物污染环境条件中的木本植物, 其叶片的旱生形态特征占优势。旱生结构能降低叶片气体交换的强度和叶肉积累有毒物质的速度, 从而使其易于在不良条件下生存 (Илбкун, 1978)。

我们初步研究, 工厂氯气对接骨草亦有上述四种气体相似的作用。

2. 短期高浓度氯气引起接骨草叶片急性伤害, 使之出现针点、水渍、斑点斑块状可见症状。为环境监察和评价提供初步依据。氯气引起的急性伤害, 能导致 a. 一些叶肉细胞的叶绿体分解成小颗粒, 并包藏在干瘪的细胞壁内。b. 一些叶肉细胞膨胀, 体积增大, 因而细胞产生互相挤压, 形成几乎没有明显的细胞间隙的伤害区。这两种特点很特殊, 有别于 SO_2 、和 HF 的组织伤害特征 (王焕校等, 1980)。Млькун 研究了氯气对仙客来 (*Cyclamen phythethrum* L.) 及针叶树欧洲赤松 (*Pinus sylvestris* L.) 叶组织的影响 (Сергейчик 等, 1977)。看来亦有类似的反应。因此, 今后有必要以更多的植物种类进行试验, 以确定其准确性。假若果真如此, 这两点可作为鉴别氯气污染的组织学特征而被利用。c. 一些叶肉组织细胞干瘪坏死, 原生质体消失, 终至仅存残壁, 这对毗连的生活细胞的水分及营养物质等的输送将受影响。

3. 据观察及分析, 氯气对接骨草叶片急性伤害的顺序, 与其渗入叶片途径是相吻合的。氯气通过气孔进入叶肉, 首先伤害孔下室周围的海绵组织细胞, 然后向上方及左右继续扩展, 使其它海绵组织细胞受害, 继而伤害栅栏组织及叶脉的维管束鞘、韧皮部等。与此同时, 表皮细胞亦先后受害。此外, 我们始终未发现叶脉出现侵填体及胼胝体。因而在其它组织受害情况下, 仍有可能行使其输导功能, 这可能是接骨草对氯气有较强的抗性原因之一。

参 考 文 献

- 王焕校、吴玉树 1980 筛选抗氯、吸氯植物的研究。环境科学 1(4):28—31。
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。
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 tree to chlorine in the atmosphere. *Forest Sci.* 12(4):386—390。
Hindawi, I. J. 1970 Air pollution injury to vegetation. U. S. Government Printing Office Washington。
Miller, E. J. et al. 1940 A case of chlorine gas injury to shrubs, vines, grasses and weeds. *News* 5:10, 73—74。
Stout, G L. 1932 Chlorine injury to lettuce and other vegetation. *Calif. Dept. Agric. Month. Bull.* 21:340—344。
Zimmerman, P. W. 1949 Proceedings of the first national air pollution symposium, Los Angeles, Stanford Research Institute. 135。
Илбкун, Г. М. 1973 Загрязнители атмосферы и растения, стр. 87—100。
Сергейчик, С. А., С. А. Иванов, 1977 Интродукция растений и оптимизация окружающей среды средствами озеленения. стр. 153—160。

THE EFFECTS OF INDUSTRIAL CHLORINE ON THE LEAF TISSUES OF *GENDARUSSA VULGARIS* NEES

Wu Qigen He Peiming Wang Xuehai Li Hua

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

No visible injury was shown on leaf surface of *Gendarussa vulgaris* after pollution by the industrial low concentration chlorine gas (below 0.11mg/m^3) over a long period of time. However, on those leaves polluted by industrial chlorine gas of high concentration (above 1.68mg/m^3) even for a short period of time, injury symptoms were seen with the naked eye. Those symptoms of injury took the form of needle spots, water blisters, mottles and patches.

Chlorine gas entered the leaves through stomata and at first caused serious injury to spongy tissue of mesophyll and then caused less serious injury to palisade tissue, epidermis and veins. No tylosis or callus was seen in vessels and sieve tubes. Anatomical changes were: 1. slight increase of epidermis thickness in the case of water blister injury and reduction of epidermis thickness in the case of injury of needle spot and other forms; 2. varying degrees of thickening of palisade tissue and 3. thinning of sponge tissue due to its cell shrivelling. Important histological changes included: 1) expansion in volume of some mesophyll cells (up to several times bigger than normal cells) of which chloroplasts reduced conspicuously in volume and number or even totally disappeared, cell walls thickened partially, intercellular spaces reduced due to the expansion of the cells; 2) shrivelling of some other mesophyll cells, of which chloroplasts disintegrated into small grains which still contained in the shrivelled cells.