

# 用电子探针测定植物受污染后氟在 叶部各组织的分布和转移<sup>\*</sup>

邓兆活 杜亲亲

(农业生物系)

## 提 要

通过对印度橡胶榕及落羽杉两种具有代表性树种的研究,发现氟经过叶部气孔进入叶片组织后,主要分布于下表皮的皮下层、海绵组织,很少分布于栅栏组织。在落羽杉叶片中,叶肉组织、树脂道也是氟分布的重要场所。

植物叶片中上述组织吸收氟后,不一定是积累性的,当这些组织没有出现急性中毒的情况下,氟可通过输导组织和维管束鞘薄壁细胞往下传。本试验通过对叶片(叶尖、中部、叶基)、叶柄等每天采自相同的部位;树皮每天采自不同的部位(距叶柄下1厘米、5厘米、10厘米等)分三天连续采样观察及测定,发现氟能够通过叶脉的韧皮部向树枝及树干的韧皮部纵向往下运输。

## 前 言

多种植物受污染后,氟可从叶部气孔、树枝及树干皮孔进入植物体内,并经转移,最后较大量地积累于叶尖、叶缘处,从而导致这些部位的细胞及组织的伤害及死亡<sup>[8][9]</sup>。多年来很多研究者对其受害原因进行了探索。Hitchcock等(1962)<sup>[3]</sup>对唐菖蒲进行氟熏烟试验,发现5~7叶期比3叶期易受害,然而老叶积累较多的氟;抗性强的品种比敏感植物品种积累较多的氟。McCue等(1965)<sup>[5]</sup>对唐菖蒲、西非高粱、玉米、番茄及苜蓿等植物进行熏烟试验,发现氟在植物体内积累的量取决于植物暴露于空气含氟的浓度、时间及植物种类等。

关于氟进入植物叶片后在不同组织中的分布问题,也有很多研究。Treshow(1956)<sup>[7]</sup>对中国杏树叶部受氟污染后进行解剖观察,发现氟主要积累在叶尖、叶缘处。Garreo等(1976)<sup>[2]</sup>以冷杉为材料进行研究,发现氟大量积累于叶部上下表面的皮下层、海绵组织、维管束的运输细胞及树脂道等。至于氟进入植物细胞的不同部分,也有很多研究。Ledbetter等(1960)<sup>[4]</sup>以番茄植株为材料通过放射性同位素<sup>18</sup>F及稳定同位素<sup>19</sup>F进行过试验,发现氟积累于细胞壁、叶绿体、线粒体等部分。Chang等(1966)<sup>[1]</sup>发现脐橙叶部受污染后氟在亚细胞结构的各个部分有不同的分配,其中叶绿体比其他细胞器积累较多的氟。

<sup>\*</sup>扫描电镜照片由华南工学院测试中心电镜室谭荣生、伍基兰老师,华南农学院电镜室李潜才老师协助,特此致谢。

以上的研究都只局限于叶部组织或细胞中氟的分配情况,但植物从叶表面气孔吸收氟后能否通过叶部维管束转移至树枝及树干等的整株植物的研究,目前尚少报道。为此,近年来我们在这方面开展了研究工作,曾对四种树种的叶片及树皮受氟污染后,对其受害组织切片进行了扫描电镜及透射电镜观察及对这些组织切片用茜素磷酸锆对氟作特异颜色反应,观察到氟通过叶部气孔进入叶片后,可进一步通过叶脉的韧皮部进入树枝及茎干。最近,我们又借助电子探针对氟进入植物的途径及转移作研究。

## 材 料 和 方 法

### (一) 植物材料

本试验选择了印度橡胶榕 (*Ficus elastica*) 及落羽杉 (*Taxodium distichum*) 等两种盆栽幼苗作试验。前者属抗氟性强而吸收力中等的树种,后者属抗氟性弱而吸收力强的树种。这两种幼苗经去年盆栽,已生长成健康植株,每种树种,每次熏烟均选用三盆,经三次重复试验。在每次熏烟之前,幼苗的茎干、枝条及叶柄均涂上石蜡,盛装幼苗的花盆及泥土用塑料薄膜封好,以阻止这些部位直接从空气中吸收氟。

### (二) 熏烟条件

采用动式人工熏烟室,熏烟浓度为 $0.5\text{mgHF}/\text{m}^3$ ,连续4小时,熏烟室温度为 $30^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ ,相对湿度为 $75\% \pm 10\%$ 。

### (三) 采样方法及样品处理

熏烟是于6月15日上午进行,自熏烟后24小时后起开始采样,连续在同一株树采样三天(即6月16日,6月17日,6月18日)。树干及叶柄每天自同一部位采样,即叶片自叶尖、中部及叶基采样,而叶柄自中部采样。树皮第一天自叶柄下方1厘米处采样,第二天自5厘米处采样,第三天自最低叶位下分10厘米处采样。样品采摘后立刻放入 $80^\circ\text{C}$ 的真空干燥箱中进行干燥24小时,以防氟的进一步转移。叶片及树皮均在滑走切片机上纵切及横切,厚度在 $50\sim 80\mu$ 左右。切片置金属台上,表面喷上一层炭作为导电层,然后置扫描电镜下观察及作氟色散波谱测定(电子探针X射线分析),以确定氟在不同组织的分布及含量。

### (四) 电镜扫描及电子探针工作条件

仪器选用HITACHI S-550型扫描电镜带二道波长色散谱仪(WDS),扫描加速电压为 $15\text{KV}$ ,样品吸收电流为 $2.5\mu\text{A}$ ,色散波谱测定选用RAP(酞酸铷)假晶体,以便检测氟在样品的不同组织的分布及相对的氟含量,其检测选择波长为 $175.35\text{\AA}$ 。

## 试 验 结 果

两种幼苗熏烟后。经三天连续采样,按前述的方法处理,样品通过扫描电镜观察及通过电子探针测定各组织的相对氟含量,所得结果如下:

### (一) 氟在植物体内各种组织的分布

图1—A、B、C是印度橡胶榕叶片横切照片,表1.是各种组织的相对氟含量。从中可以看出氟进入的主要途径是叶部下表皮的气孔,由于上表皮角质层很厚,氟很难进入。氟进入后,氟的进一步分配,主要是集结在复表皮的下层(Hypodermis),其次

是海绵组织 (Spongy tissue)，氟较少分布于栅栏组织 (Palisade tissue)，但接近其上方的表皮下层薄壁细胞 (贮水组织) 却有较多的分配。一般复表皮的下表皮比上表皮含氟量高出3.6~10倍；海绵组织比栅栏组织高出1.5~4.4倍 (表1)。

表1 印度橡胶榕叶片不同组织的氟含量 (相对峰值\*)

植物组织名称	样品不同日期的相对氟含量 (相对峰值mm)		
	6月16日	6月17日	6月18日
上表皮	15	3	5
栅栏组织	10	6	3
海绵组织	44	20	10
下表皮	78	30	18

\* 峰值相对高度是以扫描基线为零作比较

图4—A、B、C是落羽杉叶片横切及纵切照片。表2是各组织的相对氟含量。氟在叶片中各组织的分布规律与印度橡胶榕大致相同，但两种植物的叶片解剖结构不同，因此，氟在各组织的分布也有其特异性。图4—A是落羽杉叶片熏烟后第一天的采样纵切照片，氟主要分布在叶肉组织及树脂道，其次是叶脉维管束输导组织，它们相对的含量分别为28及59 (表2)。

表2 落羽杉叶片不同组织的氟含量 (相对峰值\*)

植物组织名称	样品不同日期的相对氟含量 (相对峰值mm)		
	6月16日	6月17日	6月18日
表皮下层	9	15	32
叶肉组织	28	30	21
叶脉	23	22	17
树脂道	59	25	16

\* 峰值相对高度是以扫描基线为零作比较

## (二) 氟在植物组织中进一步转移的试验

在前面有关试验方法已经提到过，这两种试验植物，在熏烟之前，已用石蜡对树皮、树枝及叶柄基部等部位进行涂布，以阻止这些部位直接从空气中吸收氟。但在三天的连续采样照片中，可以观察到氟可通过叶脉韧皮部、树枝韧皮部纵向往下运输。

图2—A是熏烟后第一天采样的印度橡胶榕叶片基部主脉横切照片，表3是各组织的相对氟含量。从中可明显地看出，外皮层及韧皮部薄壁细胞是氟主要分布的地方，其次是维管束鞘的韧皮部，它们的相对氟含量分别是28及6 (表3)。以后，则继续往下运输，在连续采样的第二天及第三天都可检测出来 (图2—B、C及表3)。

图3—A、B、C是印度橡胶榕树皮于三个不同部位取样照片。表4是各组织的相

对氟含量。从中可以看出在周皮及皮层薄壁细胞等组织中都有氟的分布,但以周皮为最多。尤其值得注意的是第三天的采样是采自距最低叶位下10厘米处,第三天也发现了周皮组织有相当数量的氟往下运输。这三天的相对氟含量分别为25、42及61(表4.)。

表3 印度橡胶榕叶基及叶柄不同组织的氟含量(相对峰值\*)

植物组织名称	样品不同日期的相对氟含量(相对峰值mm)		
	6月16日	6月17日	6月18日
外皮层	28	9	17
内皮层	4	4	4
韧皮部	6	8	15
木质部	2	2	6

\*峰值相对高度是以扫描基线为零作比较

表4 印度橡胶榕树皮不同组织的氟含量(相对峰值\*)

植物组织名称	样品不同日期的相对氟含量(相对峰值mm)		
	6月16日	6月17日	6月18日
周皮	25	42	61
皮层薄壁组织	20	13	17
韧皮部	12	19	4

\*峰值相对高度是以扫描基线为零作比较

但值得注意的是,氟很少通过维管射线作横向运输。图5-A、B、C是落羽杉枝条横切照片,从中可以看出,与印度橡胶榕树皮横切照片氟分布规律相似,氟主要分布于周皮及皮层薄壁细胞,而很少分布于木质部及髓部。

## 讨 论

氟可通过叶部气孔及树枝树皮的皮孔进入植物体内某些组织及部位积累起来。当高浓度的氟进入叶部后,会大量地集结于叶尖、叶缘,从而引起这些部位及组织死亡,出现褐斑或呈片“烧焦”;但当进入植物体内的氟浓度较低时,植物不一定出现急性中毒,以及这些氟不一定是积累性的,这些氟可通过输导组织转移。

Garreo及其同事(1976)研究过氟在冷杉叶不同组织的分布时指出,氟主要分布在海绵组织、维管束输导组织及树脂道。我们曾经研究过高山榕及其他种类的阔叶树种时也发现当氟进入叶气孔后,主要分布于复表皮的下皮层、其次是海绵组织,氟很少分布于栅栏组织,但接近其上方的下皮层薄壁细胞(贮水组织)却有较多的分布。

氟进入植物叶部后,能否通过叶部维管束往下运输,在过去很少报道,Hitchcock

等(1962)报导过雪松脱离熏烟一星期以后,发现地上部分的氟显著地减少,经测定比原有的氟含量减少了40~50%,而*Elaizbeth the Queen*减少了10%左右。但这些氟是如何失去的,在文章中没有详细报道。

从我们对印度榕、落羽杉两种树种的研究表明,植物从叶部气孔吸收氟后,可通过叶部维管束韧皮部、树枝树皮维管束韧皮部往下转移,但氟通过维管射线向木质部的横向运输很不显著。至于植物从根部或树干皮部的皮孔吸收氟后,能否向上运输尚很少研究。

### 参 考 文 献

- [1] Chang, C. W. and Thompson, C. R., 1966: Site of Fluorine Accumulation in Navel Orange leaves, *Plant physiology*, 412: 211-213.
- [2] Garrec, J. P. and Lboste, A. M., 1976: Electron probe microanalysis of fluoride in polluted needle sections of *Abies alba*. *Fluoride*, 9: 63-70.
- [3] Hitchcock, A. E., Zimmerman, P. W. and Coe, R. R., 1962: Results of ten years' work (1951-1960) on the effect of fluorides on *Gladiolus*. *Contribution from Boyce Thompson Institute*, 21: 303-344.
- [4] Ledbetter, M. C., Mavrodineanu, R. and Weiss, A. J., 1960: Distribution studies of radioactive fluorine 18 and stable fluorine 19 in tomato plants. *Contribution from Boyce Thompson Institute*, 20: 331-348.
- [5] McCue, D. C., Hitchcock, A. E., Jacobson, J. S. and Weinstein, L. H., 1965: Fluoride Accumulation and Growth of plants exposed to particulate cryolite in the Atmosphere, *Contribution from Boyce Thompson Institute*, 23: 1-11.
- [6] Solberg, R. A., and Donald, F. A., 1956: Histological responses of some plant leaves to hydrogen fluoride and sulfur dioxide. *Am. J. Botany* 43: 755-760.
- [7] Treshow, M., 1956: The effect of fluorine on the anatomy of Chinese Apricot leaves. *Phytopathology*, 46: 640.
- [8] Zimmerman, P. W., and Hitchcock, A. E., 1956: Susceptibility of plants to hydrofluoric acid and sulfur dioxide gases. *Contribution from Boyce Thompson Institute*, 18: 263-279.

ELECTRON MICROPROBE ANALYSIS OF FLUORINE  
DISTRIBUTION AND TRANSLOCATION IN  
POLLUTED PLANTS

Deng Zhouhuo Du Qinqin  
(Department of Agricultural Biology)

ABSTRACT

Seedlings of *Ficus elastica* and *Taxodium distichum* were fumigated with hydrogen fluoride. After fumigation section of leaves, branches and barks were detected by Electron Microprobe Analyser. The results of fluorine levels were obtained. The higher levels of fluorine distributed in the hypodermis, spongy mesophyll and the lower levels of fluorine distributed in the palisade of *Ficus elastica* leaves, and the higher levels of fluorine distributed in the resin ducts of *Taxodium distichum* leaves.

After fluorine entered the stomata of the leaves, most of the fluorine accumulated in the leaf tip and margin. When the dosages of fluorine concentration is high, it causes tip burn. But when the dosages of fluorine concentration is low, tip burn does not occur. This fluorine through the transfusion tissues of vascular system in the leaves, branches and trunk down to the roots.

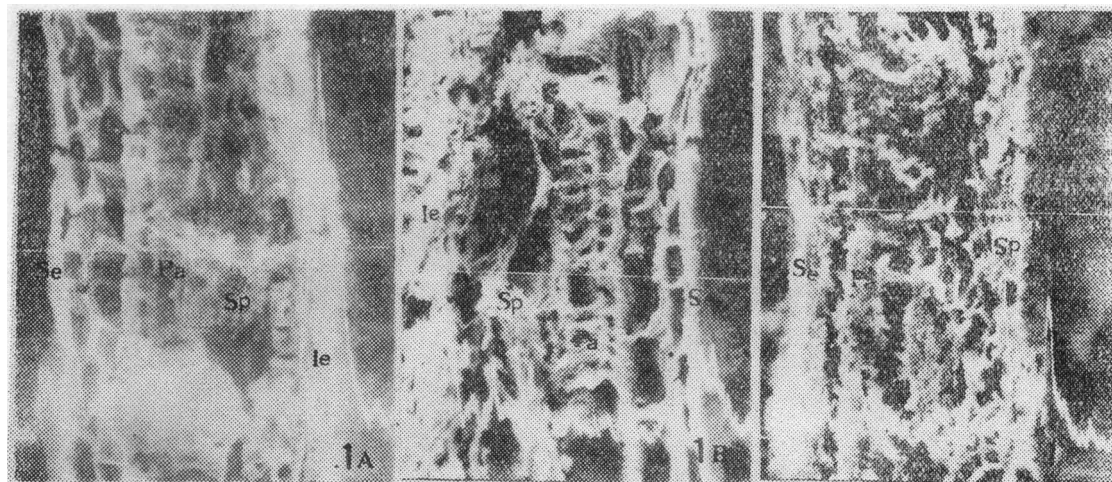


图1 印度橡胶榕叶片横切照片 ( $\times 300$ )

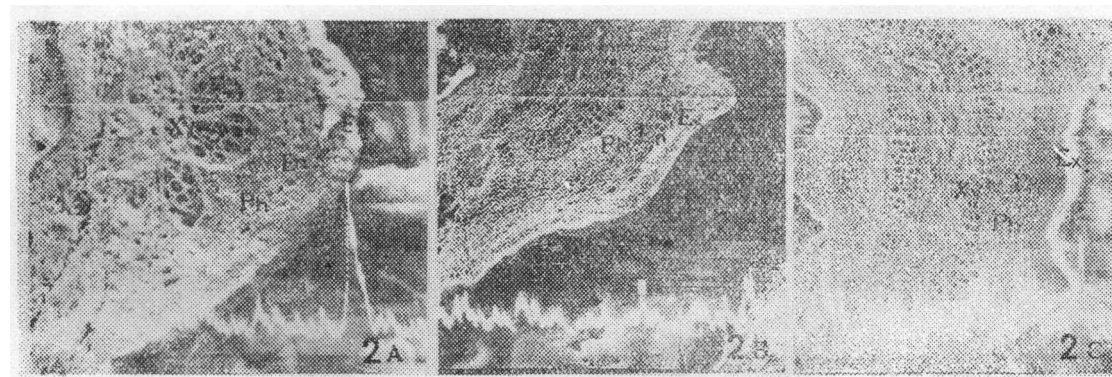


图2 印度橡胶榕叶片基部主脉及叶柄横切照片 (A  $\times 120$ ; B、C  $\times 36$ )

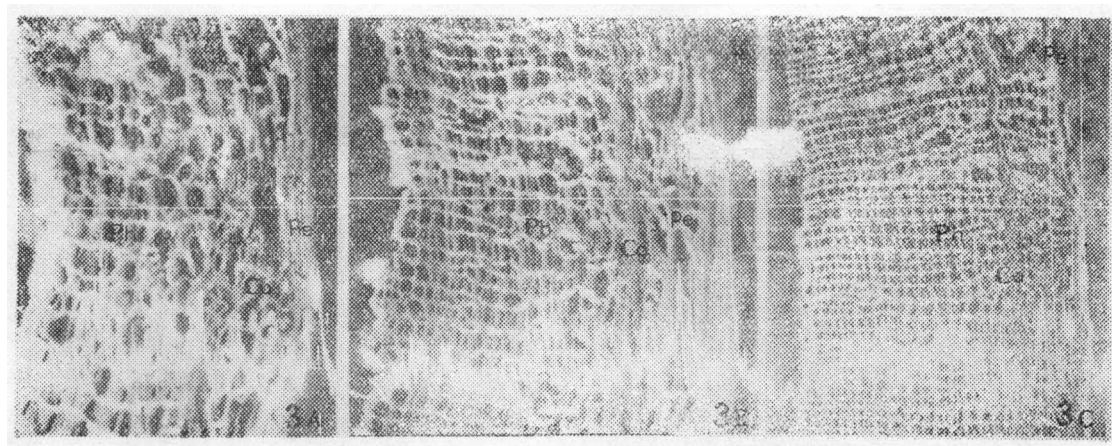


图3 印度橡胶榕树皮横切照片 (A  $\times 240$ , B  $\times 180$ , C  $\times 110$ )

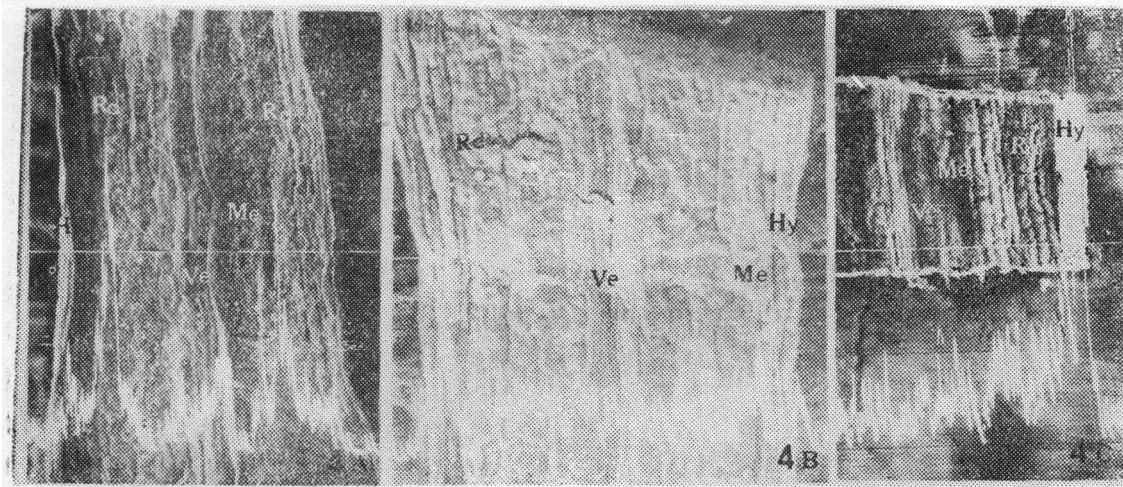


图4 落羽杉叶片横切及纵照片 (A×90, B×160, C×94)

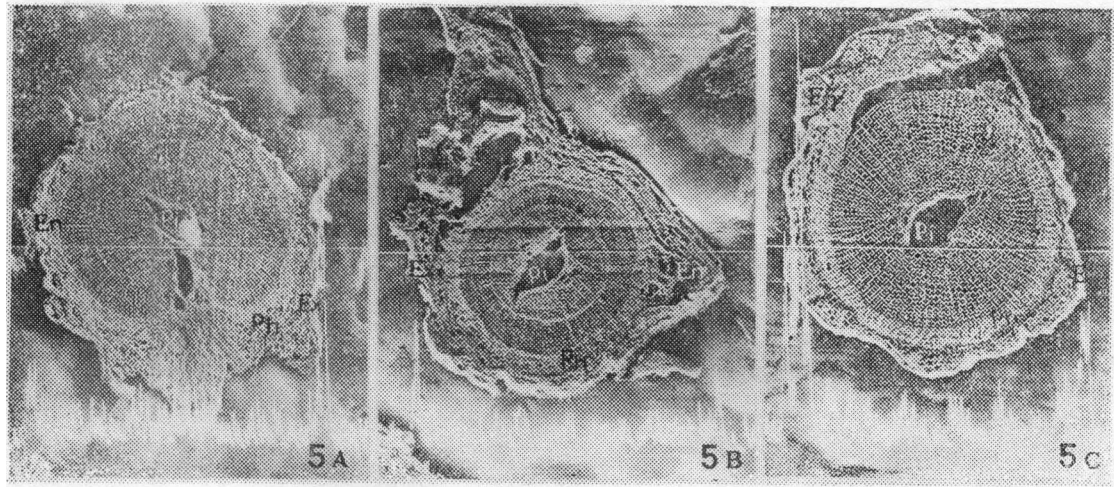


图5 落羽杉树枝横切照片 (A×36, B×43, C×64)

说明: 图中A、B、C分别为第一、二、三天采样。

Se—上表皮; le—下表皮; Ep—表皮; Pa—栅栏组织; Sp—海绵组织; Ex—外皮层; En—内皮层; Ph—韧皮部; Xy—木质部; Pe—周皮; Co—皮层薄壁组织; Vr—维管射线; Me—叶肉组织; Ve—叶脉; Rd—树脂道; Pi—髓部。