

植物生态学译丛

第二集

科学出版社

植 物 生 态 学 译 丛

第 二 集

科 学 出 版 社

1 9 7 5

内 容 简 介

本译丛第二集收集了近年来有关环境污染对植物影响的论文。内容可分三个方面：1. 大气污染对植物的影响，主要介绍二氧化硫和氟化氢等对植物的生长发育、形态特征、生理功能及干物质生产的影响；2. 植物对污染大气和土壤的金属元素吸收和积累特点；3. 植物对农药的吸收、运转和残留特点及其最终去向的研究等。可供从事农、林、卫生、环境保护等方面工作者和其他从事环境工作的同志等参阅。

植 物 生 态 学 译 丛

第 二 集

*

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街 137 号

中 国 科 学 院 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1975 年 11 月 第 一 版 开本：787×1092 1/16

1975 年 11 月 第一次印刷 印张：10 1/2

印数：0001—3,600 字数：242,000

统一书号：13031·281

本社书号：442·13-10

定 价：1.10 元

译 者 的 话

近年来, 环境污染和环境保护问题日益为世界各国所重视。在工业畸形发展的资本主义国家里, 环境污染已酿成公害, 严重地威胁着人们的生活与安全。

我国是社会主义国家, 在党的正确路线和方针指引下, 一定能够防除工农业发展对环境的某些影响, 为人民造福。

环境污染的防治, 是一项极其复杂、综合的任务。植物生态学研究植物与环境的关系, 包括研究植物对环境污染物质的生态反应及其对改善和净化环境的作用, 因之是解决环境污染问题所必需的一项工作。

本着毛主席关于“洋为中用”的教导, 我们编译了这本专辑。本专辑内容较为广泛, 包括大气、水质、农药和放射性污染等方面, 但都是从植物生态学角度收集的一些论文。我们希望这本专辑能为从事环境保护工作者, 尤其是农、林业和生物学、地理学工作者提供参考资料。

由于我们的水平有限, 选译的文章和译文如有不当之处, 希批评指正。

译 者

1974 年 3 月

目 录

二氧化硫与氟化物对植物的影响·····	(1)
在含二氧化硫的大气中植物吸硫的几种现象·····	(20)
大气污染对农林作物的影响·····	(22)
大气氟化物被植物吸收后的分配·····	(33)
氟污染与肥料的相互影响·····	(42)
关于作物气体伤害的研究·····	(54)
一、第 7 报 SO_2 对油菜呼吸作用的影响·····	(54)
二、第 8 报 HF 和 SO_2 对郁金香的伤害实况及对气孔开度的影响·····	(58)
三、第 9 报 SO_2 长期接触对水稻干物生产的影响·····	(67)
植物的重金属过剩症·····	(74)
各种植物对土壤中汞的吸收·····	(80)
在炼焦化学工厂条件下草本观赏植物的生长和发育·····	(83)
大气污染及其对自然生态系统的影响·····	(87)
空气中金属元素的指示物——植物和土壤·····	(93)
水质污染对农作物的为害·····	(103)
水田土壤中 BHC (666) 的残留及其向稻草的运转·····	(112)
农药在土壤、水和作物中的残效期及其去向——对人类的重要意义·····	(119)
酚对植物细胞内水分状况影响的研究·····	(127)
水生维管束植物从污水中除去矿物营养·····	(131)
根对茎吸收土壤杀草剂的研究技术·····	(139)
2,3,5,6-四氯对苯二酸盐对燕麦和绿狗尾草幼苗的解剖学效应·····	(142)
2,4,5-涕施用于成熟杏树叶子的某些组织学效应·····	(149)
红松种子和幼苗与 2,4,5-涕直接接触的某些组织学效应·····	(158)

二氧化硫与氟化物对植物的影响

E. Bovay

摘 要

本文综述了目前了解到的二氧化硫与氟化物对空气污染后影响植物生长的情况。作者首先列举了产生二氧化硫及氟污染的主要来源,然后分析了这些污染物对植物产生作用的方式,描述了植物的木质组织、叶、花及果实污染中毒后出现的主要病状;此外,并提出了鉴定此种污染的存在及其严重程度的检测方法。最后,作者介绍了他本人进行氟污染对果树所产生的影响的研究情况。

二氧化硫的来源

二氧化硫是各种含硫的燃油及煤燃烧时的产物之一。在二氧化硫最主要的来源中,各种家庭加热装置只是一个普遍而分散的来源,因此它仅对最敏感的植物产生有限的危害。石油炼厂、热电站、铸造厂、冶炼厂、化肥厂及硫酸厂则是强烈散发 SO_2 的中心;例如一个中等的炼油厂每天排入大气中的 SO_2 可达几十吨之多。

二氧化硫的作用方式

正如二氧化碳一样,二氧化硫也是通过气孔而进入植物同化器官的内部。因此一切有利于气孔张开的因素都能促进 SO_2 进入植物体,从而增加了植物遭受伤害的可能性。较强的光照、适宜的温度、良好的供水条件及空气的湿度较高等都是引起细胞膨胀,导致气孔张开的因素,但是,干旱、黑暗及寒冷则产生相反的作用。由此可得出这样的结论:在白天 9—15 点之间 SO_2 对植物的危害较大,而在夜间或冬天则较小。Zahn 观察到, SO_2 的毒性在白天比夜间约大 4 倍。但要指出的是,即使在 -6°C 温度下,挪威松的针叶对 SO_2 也能吸收。

既然植物或器官的同化作用达到最高潮就是吸收 SO_2 最强烈之时,因而植物遭受伤害也以此时最严重。由此可得出结论是,发育完全的树叶及中年的树木对 SO_2 的敏感性较强,而嫩叶、老叶,或幼树、老树则较弱。因此,在春季,挪威松的头年生针叶比当年生的幼叶对 SO_2 更敏感;而当盛夏时,则轮到当年生的松叶对 SO_2 最敏感。

植物的营养状况在抵抗 SO_2 的腐蚀作用中起着显著的作用。大量施加氮肥能增强植物的自卫能力。在一定程度上,钾肥似乎也具有同样的效果。这种情况可以解释为由于碳酸钾引起了原生质胶体发生膨胀的结果。

人们将 SO_2 的腐蚀作用主要归因于其较强的还原能力。 SO_2 的腐蚀作用能导致叶绿

素的破坏,或者使其变成脱镁叶绿素,或造成丹宁酸的析出。

在 SO_2 的作用下,植物的新陈代谢将受到干扰,一般是呼吸作用加快。从红苜蓿中观察到总的蛋白质含量下降及蛋白质易消化性衰减的现象。同样,土豆块茎中的淀粉、糖及维生素含量均出现反常变化。从挪威松的观察中证明,糖甙酶的活性衰退,萜烯的数量和质量都出现变异。此外,还发现二氧化硫能对气孔开启和关闭的机能产生瘫痪作用。由此产生的是:一方面 SO_2 大量进入植物细胞,另一方面水分不断地大量蒸腾,从而导致植物组织迅速枯萎。

用 SO_2 气体所作的大量实验证明,改变通入 SO_2 的浓度具有重大的作用,而浓度的最大值更有特殊的影响;此外,连续两次用 SO_2 处理的间隔时间也具有较大的作用。此间隔时间越长,植物受害则越小。很明显,问题不在于抗毒有一个过程,而更确切的是通过对 SO_2 的生理氧化作用产生了消毒的效果。多次实验证明了如下两次实验的结果:一次实验是在一连 10 天内,用浓度为 0.4 ppm 的 SO_2 气体处理紫苜蓿,连续处理时间为 9 小时;另一次实验也是一连续 10 天用 SO_2 气体处理紫苜蓿,但将 SO_2 的浓度增加 4 倍,即 1.6 ppm,而且每天处理 9 次,每次 15 分钟,每次处理后停息 45 分钟。这两次实验对该植物所引起的损伤是类似的。在 SO_2 长期的不断刺激下,一株植物的抗性将逐渐衰减,而其敏感性则将增加。当 SO_2 的超高浓度最大值一个跟着一个出现,特别是此浓度的最大值大大超过许可浓度时,则 SO_2 引起的伤害将是很明显的。

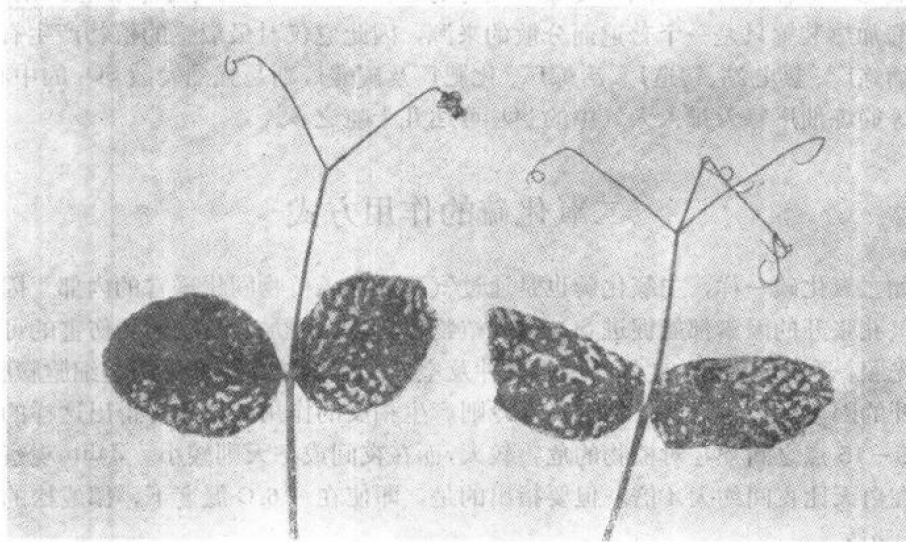


图 1 二氧化硫引起豌豆坏死的症状。

应当指出的是,在所有植物上观察到的一个共同现象是:由于 SO_2 侵袭的树种不同,因而其后果也不一样,有些树种对此污染很敏感,另一些则相反而具有特强的抗性。

遭受 SO_2 侵袭的植物所处的发育阶段具有极重要的意义。前文已谈及挪威松的当年生嫩叶与头年生针叶对 SO_2 的敏感性是不同的。一些德国学者更进一步指出,在作物的生长发育期间有几个“关键时期”。在种子发芽期间,作物受到土壤的保护,因而能免遭危害。禾本科植物的三叶期是一个特别重要的关键时期,第二个关键时期是从抽穗前不久开始,到种子呈黄色成熟时为止。若在此发育期遭受 SO_2 的毒害,则将导致作物的抽穗期

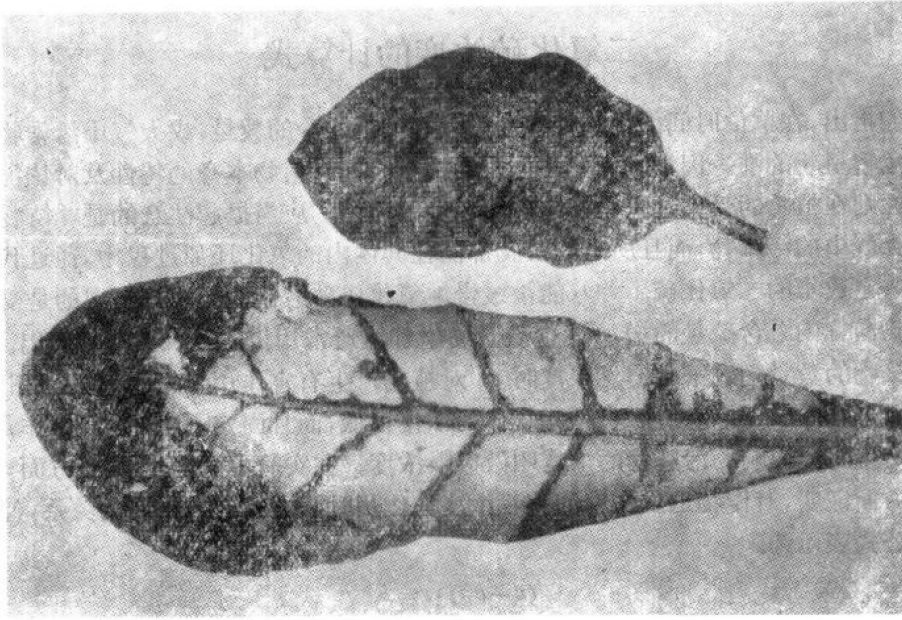


图 2 二氧化硫引起烟叶的坏死症状。

推迟。当 SO_2 的侵袭发生在开花季节,则其危害作用将达到顶峰。例如,测定在此发育期间受害燕麦的种子千粒重时,发现比未受害的收获量减少了 35% ;若 SO_2 的侵袭发生在 6 叶期之前,或乳汁管成熟期之后,则最严重的危害作用也仅达 15% 。

在油菜、罂粟及各种豆类一年生作物的开花期间发现其敏感性有所增长。一般而言,花的各部器官(花瓣、雄蕊和雌蕊)在 SO_2 浓度较高时才显出有坏死的征兆。通常是雌蕊柱头出现枯萎。开花期最关键的时刻是柱头上花粉正在萌发的阶段,因此时聚积在柱头上的 SO_2 将阻止花粉的正常萌发,因此使受粉率降低,而最终导致收获的数量和质量下降。在大麦和黑麦中观察到,由于麦芒遭到全部或部分毁坏而引起了种子千粒重的显著下降。

在一般情况下,单子叶植物最幼嫩的叶首先遭受伤害,而双子叶植物则是生长发育最完全的叶对 SO_2 最敏感。

在森林植物中,毫无疑问,松柏类植物是对 SO_2 最敏感的天然植物群丛。此科植物受 SO_2 伤害后的主要表现是过早出现枯萎,也就是说树木未达到完全发育成熟就已开始衰亡。阔叶树在 SO_2 的强烈侵袭下仍能倖免于难,即使其枝叶全遭摧毁,也能见到其后的枝叶重生。但在类似情况下,针叶遭受毁伤的松柏类植物则开始枯萎而死亡。

SO_2 对多年生植物进行缓慢或反复的作用也将加速针叶的衰老,从而使树叶过早凋落。由此将产生的是同化能力下降,树木的生长发育衰退。

在同类植物中,个体间也可能出现遗传性的差异,因此可解释,处在高浓度二氧化硫经常作用地区内的受害树木,何以仍有某些生存者的原因。

在对 SO_2 最敏感的植物中,必须提到的有:紫苜蓿、菜豆、大麦、燕麦、菠菜、小红萝卜、海绿、酸草、酢浆草、芥菜、繁缕;但葡萄、草莓、醋栗能经受高浓度的 SO_2 而无明显的损伤出现。

二氧化硫浓度的计算式

人们指出,在单位时间内由一处 SO_2 发散源排出 SO_2 的数量,或大气中污染物的浓度都不是危害植物的唯一因素。而 SO_2 作用的持续时间,植物本身的特性及对该污染物所有之抗性则在植物的受害过程中都起着决定性的作用。应当提起注意的是,植物仅吸收一部分大气中的污染物,而且所有的植物都能在其体内的氧化还原过程中,通过代谢作用而中和一定数量的二氧化硫。 SO_2 能被缓慢地氧化成硫酸盐,而随此出现的是受 SO_2 侵袭的植物器官内总含硫量的增加。含硫量的增加值通常用化学分析法即可查出。因此,只有污染物的数量超过一定容忍限度时,才对植物产生有害作用。据此,有人提出了极限浓度的概念,即在一种腐蚀性气体(此气体的浓度很低,而且固定不变)的经常作用下,对植物不产生明显影响的污染物的浓度叫做极限浓度。在实验中 O'Gara 从一方面,Thomas 从另一方面证明,对作物造成伤害的 SO_2 浓度与作用时间之间有着密切的关系,他们将此关系用公式表示为:

$$(c - c_R) \cdot t = K$$

式中 c_R 为极限浓度, K 为一常数。可是另一些试验发现,污染物浓度 c 与作用时间 t 之乘积实际上不是一个常数。果然, Van Haut 及 Stratmann 后来证明,乘积 $(c \cdot t)$ 将随着浓度的增加而减少,也就是说在极短时间内,高浓度 SO_2 所产生的有害作用要大于长时期中低浓度 SO_2 所产生的作用。为了尽可能考虑到引起植物遭受伤害的多种因素,Stratmann 提出危险浓度的计算公式,他认为在此要考虑五个因素,即气体浓度与作用时间之比, SO_2 浓度的算术平均值, SO_2 连续侵袭之间恢复期的频率, SO_2 浓度的修正量及 SO_2 浓度峰的频率。以公式表示则为:

$$F_g = \frac{\bar{c}_i \cdot t_i}{c_R \cdot t_m} \cdot \left(\frac{\bar{c}_i}{c_R} - 1 \right) \cdot \frac{1}{n+1} \cdot \left(1 + \frac{s}{\bar{c}_i} \right) \cdot \left(1 + \frac{t \bar{c}_i}{t_i} \right)$$

此外,大家知道德国工程师协会(VDI) 1961 年提出的议定标准。当时也同样考虑了某些经济条件后才提出了 SO_2 最大许可浓度的标准,该标准规定:

通常情况下,每立方米空气中的 SO_2 含量应为 0.50 毫克(约为 0.2 ppm);

短时期内每立方米空气中的 SO_2 量可允许为 0.75 毫克(约 0.3 ppm),但此浓度在连续 2 小时内只许可出现一次。

在瑞士,空气卫生联合组织委员会于 1964 年公布了许可的最大浓度值如下:

从 3 月 1 日到 10 月 31 日期间,日平均浓度应为 0.2 厘米³ SO_2 /米³;

从 11 月 1 日到翌年的 2 月 28 日期间,日平均浓度应为 0.3 厘米³ SO_2 /米³;

每半小时测定的浓度值不得超过:

0.3 厘米³/米³(夏季), 0.5 厘米³/米³(冬季)

此外,这样的极限值在 2 小时内只容许出现一次。

必须有意识地使所有议定的浓度偏低,以确保植物不受伤害,特别为了确保最敏感的植物和处于环境最恶劣条件下的植物免受危害更有此必要。若在任何情况下都能保持如上浓度标准,则将使很多地区的空气污染得到明显的改善。

损伤的检测和估计

为了检测与估计污染对植物生长的危害,必须预先对“危害”及“伤害”的概念给以确切的定义。当污染物引起植物的任何反应时(如枝叶坏死,叶子凋落,出现褪绿症,树干的生长衰退,或同化机能暂时下降等),这就是伤害。而危害则是指污染物引起的混乱将对此植物产生预见的经济使用价值方面的破坏。此使用价值可能是不具体的,如观赏植物遭到危害即属此类;此使用价值也可以是指具体的经济上的损失,这如粮食或蔬菜作物属此,因遭污染侵袭后这些作物的产量都将下降。当此危害发生在大面积的同类植被上,或森林内时,此使用价值也可能是指生物群落的范围而言。

的确,同样性质的伤害并不具有同样重要的后果,这就涉及到遭受危害的概念。例如,对于行将收获的甜菜而言,叶出现坏死并无实际经济意义,因很明显,人们并不打算用甜菜叶作青贮饲料。对观赏植物则相反,实际上任何伤害都将构成危害。如褪绿症或花的坏死都将构成观赏植物的损失。

在考虑选用检查危害的方法时,必须注意到伤害形式的多样性。事实上一个判据是不能成立的,而必须考虑个体的全部特性,只看一种特性不足以视作危害的肯定凭据。

为了判定伤害而最常用的方法之一是观察由于 SO_2 侵袭而引起的各种病征,这些病征可能出现在污染源附近生长的植物上,或者出现在特定条件的密室中遭受人工污染侵害的试验植物上。 SO_2 的侵害作用通常表现为叶上突然出现退绿,或者在叶片的叶脉间出现褐色斑块,凡是叶上出现这两种病状的地方都与其他部分严格分开并逐渐趋于坏死。在幼叶上,经常观察到叶片边缘卷曲并坏死。在禾本科植物上可能出现一些平行的横向条纹,如在早熟禾 (*Poa annua*) 上即可观察到这种情况。在松柏类植物上观察到从树梢开始逐渐退色,而且被伤害的组织与健康组织明显地分开。在多年生植物上,经常在树枝的尖端出现干枯及叶过早凋落,因而生长发育受制,植物出现矮化病。坏死被局限在叶尖及叶缘部分的现象表明,各部位对 SO_2 的吸收是不同的,即从叶片的中心到叶缘(水分大量蒸腾的部分)吸收 SO_2 的量将逐渐增长。

然而,不能将这一切病征完全归咎于 SO_2 的作用,其它如干旱,严寒和过分炎热等都可能都是致病之源。倘若这些致病因素仅出现在一个有限的地区内,即在直接靠近 SO_2 的散发中心时,这些因素就将成为重要的指定要考虑的条件。

分析空气成分可用化学分析法,或用电导分析法均可。电导分析法是根据 SO_2 氧化成 SO_3 后,由于 SO_3 的酸化作用而引起电导的变化作为基础的。 SO_2 对植物产生影响的极限浓度的算法即如上述。

以下将提及一些在 SO_2 侵袭的地区对大气污染进行监测的各种尝试。使用 Leclerc 或 Liesegang 式的固定吸收装置可以增加监测效果而勿需大量费用。然而,即使这些装置能够检测出一定区域内大气中 SO_2 浓度缓慢的及一般的变化趋势,但若用以测定浓度的突然变化,特别是测定对植物能构成危害的浓度的峰值时,这些装置则是远远不足的。现以瑞士罗纳河流域一带的观测结果为例介绍如下。在罗纳河的河谷地带,主要污染数据都是由洛桑邦实验室于 1961—1967 年用 Leclerc 钟形装置测定的。由此装置测得的数据可看出,该装置能较好地反映出了在冬季由于家庭加热装置而引起的 SO_2 污染的增

长情况。这些数据几乎同样能体现出：1964年由于该地区有一座炼油厂开工，1965年底一个热电站的第一套机组运转以来 SO_2 污染发生变化的情况。



图3 固定式大气污染监测装置。
图左为 Leclerc 装置,用以检测 SO_2 ; 图右为 Harding-Desbaumes 装置,用以检测氟化物。

显然，由这种能连续地直接记录的仪器所测得的数据较精确地反映了该地区的主要污染情况和污染的变化情况。在此要指出的是，从1964年以来，在德国诺尔特安维斯特法朗的兰德地区，由埃森污染研究站施行的系统测量法，此测量法是在总面积约5000公里范围内，每一平方公里内作一次测量，然后将此测得的几十万个数据经过统计分析，从而制定出了大气污染的年变化图。

经常分析树叶，也可发现在 SO_2 污染影响下植物同化器官内硫含量可能增长的情况。这种方法在污染缓慢的地区能有一定的效果，但若 SO_2 污染是以短暂而强烈的侵袭出现时，则此法将失灵，因于此情况下树叶很快即遭摧毁，以致谈不到叶内硫含量的积累增长。还要指出的是，我们经常观察到遭受 SO_2 损害的器官中，可溶性铁和二氧化硅含量都出现增长。必须提及的检测法还有浊度测定法，此法用以测定挪威松的针叶效果很好。浊度分析法是基于这样的事实：从坏死松叶的熬煮而提取出的类脂化合物，萜烯化合物以及这些物质的浊度比健康松叶所含的上述物质及浊度要大。

表1 在瑞士罗纳河地区由23个空气污染监测站测得的 SO_2 的月平均含量值* (1961—1967)
(单位以100毫升吸收液中含 SO_2 的毫克数计算)

1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
9.39	7.32	5.40	2.47	1.28	0.78	0.61	0.60	0.70	1.32	3.43	6.08

* 表中数据为洛桑邦实验室统计。

表 2 在罗纳河地区由 23 个空气污染监测站测得的 SO_2 年平均值* (1962—1966)

(以 100 毫升吸收液中含 SO_2 的毫克数计算)

1962	1963	1964	1965	1966	1962/66
2.69	3.51	3.16	3.95	3.80	3.41

* 表中数据为洛桑邦实验室统计。

使用显微检测法,也就是说从病理解剖学方面研究栅栏组织中的变异(如研究被破坏的叶绿体的变化)也有一定的效果。根据这样的想法,人们可用取样器在多年生植物上,在木材上以及在森林乔木上取出树心的样品作分析检验,根据这样的分析即能精确地判定各年生长的年轮厚度的变化情况。

最后提一下关于使用指示植物的问题。此即在污染地区和非污染地区同时种植对 SO_2 敏感的指示植物,将两地的指示植物进行比较也可达到监测的目的。根据各种植物对 SO_2 所表现的敏感性不同,很多作者制订出了各种敏感植物一览表。

氟 的 来 源

对植物而言,氟化物被列为最毒的污染物之一。虽然氟在地壳中散布极广,并约占地壳重量的 0.7%,但氟化物并不是空气中的常见成分。实际上只在化工厂或冶金厂等一些工业的排烟中才有氟化物的存在,如加入氟基熔剂炼铝时,在生产过磷酸肥料中用强酸溶解粗制磷酸盐时,在玻璃厂的各个生产过程中以及陶器和砖瓦的生产中都有含氟气体排出。此外,各种质量的家庭或工业用煤中含氟约 80—300 ppm。

氟化物常以气态(如 HF , SiF_4 , H_2SiF_6),气雾或微尘形态(如 NaF , $\text{Na}_3\text{AlF}_6 + \text{AlF}_3$)存在于大气中。此外,氟还以某种有机氟化物的形态,特别是以四氟化碳(CF_4)的形态而出现。在熔炼铝的电解炉中产生阳极效应时,常有四氟化碳放出;尤其在极短时间内,此种有机氟化物确实是存在的。

有些作者将大气中足以引起植物出现坏死征兆的氟的极限浓度规定为 0.01 ppm 左右,但美国的文献报道说,极敏感的植物在低于此浓度 100 倍的条件下(即每立方米的空气中含氢氟酸达 0.1 毫米³,或者说其浓度为 0.0001 ppm,或 0.1 ppb)也会出现中毒的症状。实验果然证明:在五周内用如上低浓度的 HF 气熏唐菖蒲后,发现叶尖出现坏死,其干物质的含氟量增达 148 ppm。

在美国一些大城市的空气中测得的氢氟酸含量已达 0.001—0.08 ppm,而加利福尼亚的含氟量竟达 0.3 ppm。在斯波坎地区一家炼铝厂周围,Adams 测出氟的浓度在 0.005—0.018 ppm 之间变化,而最大浓度有时达 0.147 ppm。我们在瑞士进行检测时发现,在罗纳河流域的伐累邦氟的浓度变化范围是 0.005—0.025 毫克 F/米³空气,在 75 分钟内连续吸收空气进行分析时发现,最大浓度有时达 0.190 毫克 F/米³空气。这些测量是直接在一处炼铝厂附近进行的,并且将大气中可能存在的气雾而带来的氟也计算在内。

Harding 型吸收装置(以浸渍有二氧化硅并经碳酸氢钠处理的滤纸为基础的纸上层析法)能显示出由各种氟化物而引起的污染图谱。由此装置测得的数据与植物的含氟量是

符合的,虽然两者符合的程度不太精确,但相对而言是好的。Desbaumes 在伐累地区进行的检测(测量数据如表 3 所示)也证明了这点。根据规模不同,各炼铝厂每天排入大气中的氟约在 10—1000 公斤之间变化,排入大气之氟或以气体形态,或以气雾和微尘形态出现。在对比的基础上发现,炼油厂排出 SO_2 的量比炼铝厂排出的氟要高 100—1000 倍,即每天排出的 SO_2 可达 10—1000 吨。

一般而言,炼铝厂也在设法将具腐蚀性的排烟量减少到最低限度,一方面是严禁排出未经处理的废气,另一方面装设吸尘及洗涤系统以回收有害气体及微尘,通过这样的回收系统能收回大量物质,其回收量可超过 95%。Wöhlbier 指出,在距一炼铝厂 0.8 公里处的牧场的牧草原有含氟量为 123 ppm,而在该厂安设回收装置后,牧草中的含氟量下降为 36 ppm。这种情况可与伐累地区一个炼铝厂关闭后我们观察到的现象联系起来。我们在该处观察到,工厂正常开工时杏树、葡萄和苹果叶的年平均含氟量为 203 ppm,而工厂关闭后一年内的平均含氟量仅为 15 ppm。

表 3 中央伐累地区氟污染的情况统计表
(1966 年, Desbaumes 统计)

离氟污染源的距离 (公里)	Harding 装置测定的氟含量 (毫克 F/分米 ² /月)	杏树叶(干物质)中的含氟量 (ppm)
0.5	0.416	147.2
1.0	0.217	104.2
1.5	0.109	53.4
5.0	0.050	36.5
7.5	0.036	21.5
23.0	0.021	18.4

MacIntire, Nömmik, von Fellenberg, Gericke 及 Kurmies 等人研究了多种植物地上部分发生氟积累的可能性,他们所研究的植物是生长在这样一些土壤中的,这些土壤本身的含氟量较高,或者由于施肥而给土壤带来了大量的氟化物,这些氟化物被根吸收后可能导致地上部分出现氟的积累。

各种土壤的含氟量是极不相同的,根据土壤的成分及性质,含氟量的变化范围大约为 10—7000 ppm,而最常见者为 50—800 ppm。含氟最少者一般是沙土,在粘土中,氟含量明显地与该土壤中粘土的含量成比例。当将土壤中的氟溶解以进行分析时,由于所用提取溶剂不同(如用水,或是用柠檬酸或强酸)可能使分析结果出现重大差异;如用强酸提取时,能溶解提出的氟将 20 倍于用水溶解者。现引证 Nömmik 的表 4 以作如上论点的证明。

表 4 氟在不同溶剂中的溶解度及与粘土含量的关系

土壤中粘土的含量 (%)	在水中溶解的氟 (ppm)	在柠檬酸中溶解的氟 (ppm)	在浓 HClO_4 中溶解的氟 (ppm)
0—5	5.3	26.4	76.0
5—15	9.5	29.2	189.0
>15	20.3	53.8	346.0

在土壤的下层,含氟量将随之增高,一方面,因为下层土壤中存在氟含量较高的矿物,另一方面,因为雨水的浸洗将土壤表层的氟带走。

为使植物地上部分的含氟量明显增长,必须使土壤中具有较多量的可溶性氟化物。一般而言,粘土土壤保留可溶性氟化物的能力较强,沙土或泥炭土则较弱。在通常情况下,植物含氟量与土壤含氟量的关系不是太大,而更主要的是植物的吸收能力。如生长在同样土壤和同样其他条件下的红苜蓿和意大利黑麦,前者的吸收能力即2倍于后者。Gericke及Kurmies认为,施加含氟量超过1%的常用的过磷酸钙肥料不致引起植物中氟含量的增长。

植物平常的含氟量几乎不超过10—20 ppm。有些植物能从土壤中吸收大量的氟而不受危害,如茶树属此;若吸收量较小时,对禾本科植物发育初期也无伤害,如大麦属此。

若说在上述各种植物中氟是以无毒的氟化物形态存在的话,相反,在南非的有些植物中氟还能以一种极毒的氟化物形态而存在。这如南非的 *Dichapetalum cymosum* 中含有一氟代醋酸(FCH_2COOH)形态的氟达150 ppm(干物质中的含量),大家知道一氟代醋酸是一种极毒的化合物,其钠盐(氟代醋酸钠)在瑞士常作杀鼠药之用,这种药剂在瑞士叫做新-苏吕克斯(Néo-Surux)。

还要提及的一个外来氟源是作为杀霉菌剂使用的苯氧丙酸的含氟衍生物——一种二氯氟化物,商业名称叫做“厄帕尔纳”(Euparène)。但此制品能很快分解而消失。1967年在洛桑地区联邦农业试验站的一块土地上,由于用厄帕尔纳喷洒了葡萄和苹果,而使叶内氟含量产生了如表5所示的结果。葡萄用浓度为0.2%的厄帕尔纳(等于含0.1%的活性物质)喷洒5次,苹果树用同样浓度喷洒10次,用药量约为1000—2000升/公顷。由表5的结果发现,在最后一次施药的四个星期后,厄帕尔纳的残留物几乎完全消失了。

表5 喷洒厄帕尔纳杀霉菌剂对植物含氟量的影响*

(1967)

施 药 次 数	干 物 质 中 的 氟 含 量 (ppm)	
	未 洗 涤	洗 涤 后
第4次喷药后6天所取的葡萄叶试样	141.0	23.0
未喷药的标准试样	18.0	19.0
第5次喷药后29天所取的葡萄叶试样	10.0	—
未喷药的标准试样	8.4	—
第10次喷药后22天所取的苹果叶试样	35.2	—
未喷药的标准试样	6.8	—

* 洗涤使用软化处理的水进行,且未附加湿润剂。

很多氟基除虫剂,杀螨剂,杀鼠药及除草剂在欧洲各国使用,但除前述之厄帕尔纳及新-苏吕克斯以外,其他药品在瑞士是被禁用的。

最后, Garber 提到,为了保护木料(如葡萄架、幼苗支架以及各种木桩的防虫)常常使用一些氟基药剂(如Wolmanites, Fluralsil),由这些药剂析出的氟也会使植物出现中毒的可能。据此同一见解,人们也可说在花房中,由于使用某种含有氢氟酸的去污剂洗刷窗玻璃后,也可能引起室内植物的损伤。

氟化物引起的可见的伤害

由氟化物引起的强烈内伤经常表现为各种形态变异,而此变异在各种间又互有差别。氟对植物的作用具有积累的特点,也就是说,即使大气中氟的浓度不变,植物组织的含氟量也将随着季节的推移而递增。气孔是气态氟化物进入植物体的入口之一。进入植物的毒气似乎能在叶片内向叶缘和叶尖转移,并在此处逐渐积累,最后导致植物很快中毒。

氟中毒后,有些植物会出现褪绿病(如玉米),但一般都是在植物的叶缘和叶尖出现坏死,并使叶上出现各种不同的颜色,这些颜色的变化通常是由浅褐色到褐红色不等,并由此而使叶片非常明显地区分为坏死组织区和呈绿色的健康组织部分。在刚被氟气灼伤的杏树叶上,可看到灼伤部分先呈灰绿色,数小时后则转变为较淡的褐红色。我们经常观察到,在杏树幼叶上出现上述的灰绿色区域会很快变成褐色,而且这些杏树在收获时也未出现任何退绿或坏死的症状,但是这些杏树先曾移植在实验室内塑料罩之中。在移植期间形成的坏死可解释为,由于叶子的强烈蒸腾作用而使毒物随后发生浓缩的结果。此外,另一种可能是,吸附在叶面上的氟溶解于因蒸腾作用而排出的水分中也将导致坏死的出现,由此引起的坏死与生长在露天的植物上出现的坏死完全相似。

另一个中毒后的常见病状是,在绿色部分与坏死部分之间形成一些黑褐色的组织带。这种症状特别常见于杏、桃、李等李亚科植物上。此外,在上述几种植物上,坏死部分很容易从叶片的残存部分脱离开,从而使仍然健康的部分能继续生存,但是这种叶的边缘终已是伤痕累累,而且将出现一圈浅褐色的边缘。在杏树上(图4),若坏死比较严重,而且坏死处超过了叶面的一半时,则此叶很快凋落。若桃叶上的坏死面积达到叶面的 $\frac{1}{4}$ 时,此桃叶脱落。在杏树上经常可以观察到这种情况:部分树叶从当年的枝条上脱落,结果在该枝条上部 $\frac{1}{3}$ 处悬挂着20几片叶子,若嗣后不再发生任何高浓度毒气的侵袭,则最末

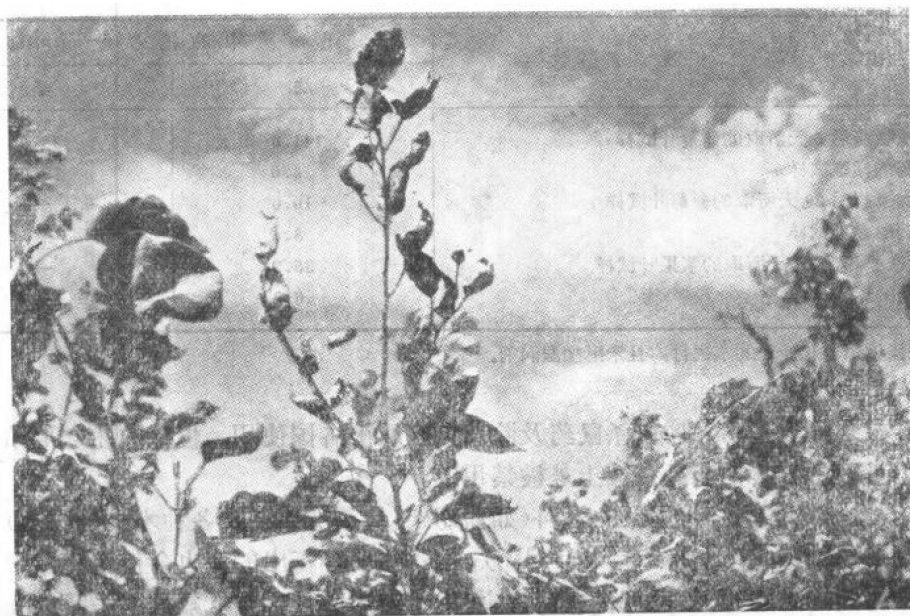


图4 氟污染对杏树造成的危害:叶坏死,坏死部分脱落及枝叶凋敝的情况。

一段枝条仍能免遭伤害。

在极幼嫩的叶上(叶子还卷在一起的时期),通常仅在叶尖出现坏死,而其后叶子展开时,若是杏树,则展开的叶将呈匙形,梨树叶则呈双肾形。

对葡萄而言,坏死出现在叶缘上并呈褐红色。氟化物的侵袭若是分阶段相继出现,则坏死处将表现为一些同心圆圈。坏死部分很少脱落,但很容易发生卷曲。坏死处几乎能蔓延到整个叶面,仅在沿着叶片的主脉处能留下一小块绿色的地方。

在阔叶植物,牧草及球果植物上,坏死也同样出现在叶尖上,而且在绿色部分和坏死部分之间有一条颜色较深的分界线。用显微镜观察坏死组织时,发现栅栏薄壁细胞出现了明显的萎陷,由此而引起了组织的萎缩。

木质组织的受害症状是这样:杏树幼枝的尖端有坏死出现,但此症状仅见于尚未成熟的组织上,且只发生在高浓度氟气侵袭之后。

花的各部组织一般没有特别敏感的表现。如唐菖蒲叶对氟化物的作用很敏感,但其花基本上不受到伤害。从杏树的观察中发现,由一家陶瓷厂而来的突然侵袭仅使氟源周围有限地区的杏花全遭摧毁。

关于果实的受害情况,各个作者的观察结果有时还出现某些分歧。在美国,对果实受害的论述很少。只 Griffin 及 Bayles 曾谈到受 HF 烟熏的桃子尖上出现有坏死的斑点。德国一些作者指出,在李和梅之类的核果表面上,坏死的地方呈小凹坑形并能很清楚地与别处区分开来。这些作者还指出,遭受氟气侵害的水果长不大且易脱落。蜜蜂对氟气是很敏感的,因此在氟污染的地区很少见其踪迹,而由此引起的后果是花的受粉率下降并使其大量凋谢。在一家炼铝厂周围的杏树上,我们也亲自观察到杏上出现有大量的坏死症状。在刚长出的杏上坏死是严重的,这种坏死将引起明显的直达果核的坑穴。但在青杏上这种现象比较少见,只在空气污染严重的情况下才出现上述病状。在成熟的杏上出

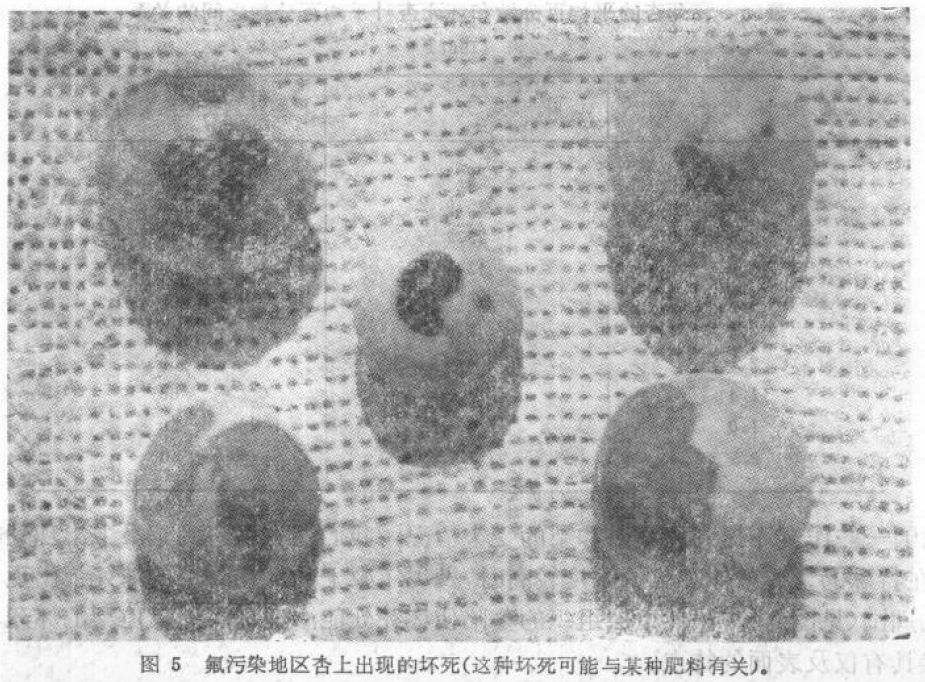


图 5 氟污染地区杏上出现的坏死(这种坏死可能与某种肥料有关)。

现坏死则较常见(图 5),但此坏死仅达到杏的表皮和下层组织,其表现形式为:在杏的尖端,或同其他杏、树枝或叶相接触的地方出现干枯和黑色的溃烂。似乎在这些接触的地方由于水分淤塞而引起一定的潮湿对出现的伤害不是没有关系的。在同一树上,果实受害的程度与其叶坏死的严重程度是一致的。

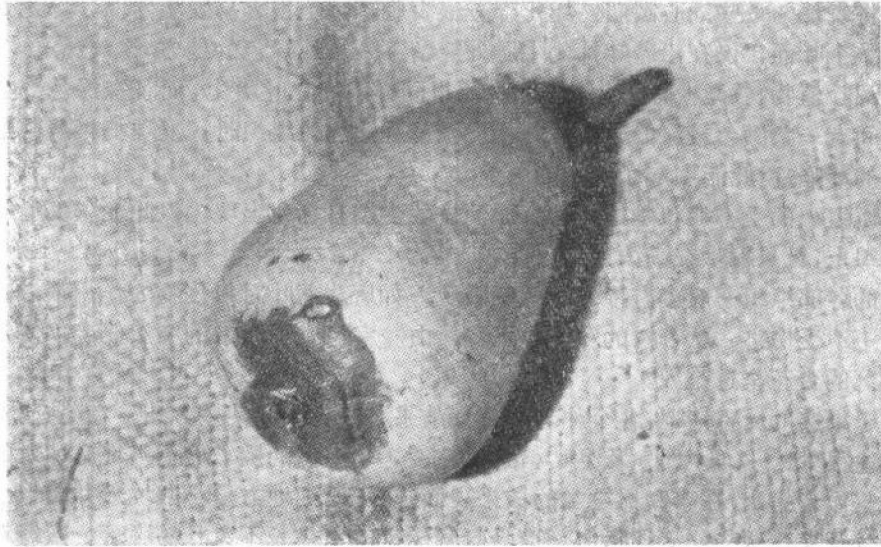


图 6 氟污染地区梨上出现的溃烂及病斑。

表 6 所示为 1967 年伐累地区观察统计的部分数据。1967 年在该地区 38 个杏树园中,当杏快成熟时,于每个杏园内抽测 10 棵杏树,每棵杏树抽测 100 个果实而统计出了表 6 中的各种数据。

表 6 坏死杏的平均百分数和坏死杏叶平均百分数之间的关系
(1967)

果实坏死的 %	叶坏死的 %	达到成熟果实的 %
18.4	22.3	35
12.9	25.0	20
8.6	23.2	45
5.5	13.4	55
4.2	6.2	60
3.4	7.8	40
2.7	4.0	60
1.4	3.3	60
1.0	2.5	30
0.5	2.0	40

德国一些作者还提到了苹果和梨的受害情况。我们没有观察到苹果上出现独特的损伤,但在特殊的气候条件和氟的浓度较高时,发现了梨上的坏死。梨的坏死都出现在梨果宿萼的周围(见图 6)。虽然下层组织的萎陷使坏死处能渗透到深处,但梨的坏死相对而言仍然具有仅及表面的特点。