

- [27] Kaakinen, J. W. et al., *Environ Sci Technol.*, 9(9), 862(1975).
- [28] Klein, D. H. et al., *Environ Sci Technol.*, 9(9), 973(1975).
- [29] Lee, H. et al., *US EPA Report*, 600/7-77-082, (1977).
- [30] IAEA, *Nuclear Power the Environment and Man*, 67, Vienna, (1982).
- [31] Suess, H. E. *Science*, 122, 415 (1955).
- [32] Camplin, W. C. et al., *Proc of 5th Int Congress of IRPA*, Jerusalem, 9—14, March, 3, 153—6 (1980).
- [33] Okamoto, K., *Proc of 5th Int Congress of IRPA*, Jerusalem, 9—14, March, 3, 157—160 (1980).
- [34] De Santis, V. et al., *Health Phys.*, 46(1), 73(1984).
- [35] Teknekron research Inc. US EPA Contract No. 68-01-5142 (1981).
- [36] Corbett, J. O., *Rad Prot Dosimetry*, 4(1), 5(1983).
- [37] Eisenbud, M. et al., *Science* 144, 288—289 (1964).
- [38] Terrill, J. G., *Ind Med Surg.*, 36(6), 412(1967).
- [39] Hull, A. P. et al., *Nuclear Safety*, 12(3), 185 (1971).
- [40] Gesell, T. F. et al., *Health Phys.*, 28(4), 361 (1975).
- [41] Hull, A. P. et al., *Nuclear News*, 17(5), 51(1974).
- [42] McBride, J. P. et al., *Science* 202, 1045—1047 (1978).
- [43] Nakaoka, A. et al., *Health Phys.*, 48(1), 215 (1985).
- [44] Niewiadomski, T. et al., *J. Environ Radioactivity*, 3(4), 273(1986).
- [45] Jacob, T. *Health Phys.*, 50(1), 61(1986).

(收稿日期: 1987 年 10 月 15 日)

空气污染的植物监测

高 绪 评

(江苏省植物研究所)

空气污染能引起植物多种反应,利用这种反应可以监测和评价环境污染。植物对环境污染的这种指示或报警作用,早在 100 多年前就已被人们发现。Gridon (1859) 和 Nylander (1866) 首先注意到烟雾和气体的发散造成城市附近地衣数量的减少^[24]。人们还发现一些工厂周围的植物出现特殊的伤害现象,后来研究才知道与烟囱冒出的 SO₂ 等烟气有关。1942 年在美国洛杉矶,发现一些植物叶片出现了不同于一般污染物如 SO₂、HF 等所引起的伤害症状,经过分析研究,才知道是光化学烟雾造成的^[11]。

在我国,开展植物对气体污染反应的研究较晚。七十年代初,南京、上海等地发生雪松等绿化树木死亡或针叶枯黄现象,当时并不知道是 HF 或 SO₂ 危害,后来通过调查研究及人工熏气试验等方法,才揭开树木死亡之谜。八十年代以来,有关植物监测大气污染的研究及植物在环境质量评价工作中的应用都有了较快的发展,常用的方法也较多,归

纳起来,主要有以下几类。

一、指示植物法

有些植物对有害气体反应十分敏感,当人还没有感觉时,植物就已表现受害症状。据国外研究,人觉察 SO₂ 气体的浓度为 1—5 ppm,而敏感植物紫花苜蓿在 0.3—0.5 ppm 时就会产生明显的症状。有机氟气体没有颜色和气味,人很难闻到,据江苏植物所试验,把唐菖蒲和金荞麦放到有机氟逸散的工厂进行监测试验,第二天叶片就有症状出现^[4]。国外早在五、六十年代就利用指示植物监测污染。下面扼要介绍利用指示植物监测污染的一些方法。

1. 生长量法 利用植物在污染和清洁环境下生长量的差异来监测和评价环境污染状况。指数越大,说明空气污染越重。

$$IA = \frac{W_0}{W_m}$$

式中,IA 为影响指数;W₀ 为清洁点植物生长

量(监测结束时平均每株干重减去监测开始时平均每株干重); W_m 为监测点植物生长量(监测结束时平均每株干重减去监测开始时平均每株干重)。

2. 生物学指标法 利用敏感植物在污染和非污染地区其种类、数量、群落结构、受害程度等差异来监测环境污染。英国曾在 100 多个工业和都市中心进行地衣种类、数量和分布的调查,绘出地衣分布图,评价城市的空气质量^[24]。江苏省植物所 70 年代曾在有 SO_2 或 HF 气体污染的一些工厂进行植物群落调查,发现环境条件的变化都会直接或间接影响植物群落的变化,根据这种变化,可以估测该地区大气污染程度^[1]。

上海华东师大顾泳洁近年来依据植物种类和数量的分布,应用多样性指数来评价城市某地区空气污染状况。这也是利用生物学指标法监测空气污染的一种方法。

3. 清洁度指数法 此法也是利用敏感植物的种类、数量和分布的变化来指示空气污染程度,所不同的是指数越大,空气质量越好。有人对一个地区各地段的地衣进行生态调查,用下式求出各监测点大气清洁度指数:

$$IAP = \sum_{i=1}^n (Q \times f) / 10$$

式中, IAP 为大气清洁度指数; n 为地衣种类数; Q 为种的生态指数; f 为种的优势度。

章志兰等用地衣和苔藓监测贵阳市空气污染。他们根据着生在树干上地衣、苔藓的种类、盖度、频度和多度进行分类和统计。各监测点大气清洁度指数仍按上式计算,但公式中 n 为一个地区内附生的苔藓种类的总和; Q 为该地区所有监测点上出现的苔藓植物的平均数; f 为一个地点每个种目测的覆盖度及频率的综合。根据他们实地调查,认为苔藓和地衣对 SO_2 的敏感性大大高于种子植物^[15]。

4. 生活力指标法 利用一些植物在污染

环境下生长发育所受到的影响来监测污染。通常是先确定调查点,再确定调查树种,然后确定植物生活力指标调查项目并分级定出评价标准(见表 1)。实地调查时,在每个调查点上选定几株样树,然后对每株样树进行评定,将各项目的评价值总加起来除以调查项目,就可以得到影响指数。指数越大,空气污染愈重。日本曾用这种方法评价一些城市空气污染程度^[22]。

表 1 树木生活力指标评价标准

调查项目	评价标准			
	1	2	3	4
树势	旺盛	衰弱	严重衰弱	死亡
枝条生长量	正常	偏少	少	极少
树梢枯损	未见	少量	明显	严重
枝叶密度	正常	部分稀疏	明显稀疏	严重稀疏
叶形	正常	稍变形	中度变形	明显变形
叶的大小	正常	稍小	较小	极小
叶色	正常	稍变色	中度变色	严重变色
枯斑	未见	轻度	中度	严重
不正常落叶	未见	少量落叶	大量落叶	严重落叶
开花情况	良好	稍少	少量开花	不开花
⋮				

5. 症状法 这种方法主要是根据敏感植物在不同污染环境下叶片(或组织)的受害症状、程度、颜色变化和受害面积(或受害部位长度)等指标来指示污染。西德学者把地衣放到监测点,经过一段时间后,根据地衣受害面积和颜色变化,估测当地大气污染程度。江苏植物所七十年代曾利用唐菖蒲监测南京某磷肥厂氟污染,取得了较好的效果(见表 2)。

表 2 唐菖蒲监测氟污染结果

监测点至污染源距离 (m)	受害叶面积(%)	伤斑长度(cm)
5	53.9	22.8
50	28.6	15.9
350	19.6	13.5
500	6.8	6.0
1150	6.5	5.3
1350	0.3	0.3

二、微核监测法

这是一种建立在细胞水平上的遗传毒性的监测方法。美国西伊里诺州立大学生物学教授马德修于七十年代用紫露草花粉母细胞四分体的微核来监测环境污染。1980年夏天,这个方法介绍到我国,它又叫紫露草四分体微核监测法。关于这个方法,国内有关文章介绍较多,这里不再叙述。我国学者近些年来用蚕豆根尖和叶尖及大蒜鳞茎细胞做微核监测试验,取得了成功。有资料报道,微核监测技术目前在海水、农药、X射线等污染监测方面得到了应用,但在大气污染监测方面,还存在一些问题有待研究。

三、污染物成分分析法

生长在污染环境下的植物叶片(或组织)含污量与空气中污染物浓度有密切的关系。此法是分析植物叶片(或组织)中污染物的成分及含量来监测空气污染程度。它可分为以下几种方法。

1. 叶片含污量分析法 一种是在污染地区选择吸污能力强、分布广泛的一种或数种监测植物,分析叶片某种或多种污染物含量;或者把监测植物放到监测点,若干时间后取样分析叶片含污量,根据叶片含污量的变化,判断空气污染状况。作者曾在有氯气污染的某电化厂电解车间附近采集距污染源不同距离处的女贞叶片,分析含氯量的结果如下:距污染源 20m, 叶片含氯量 9.42mg/g 干重;距离 50—70m, 5.46 mg/g 干重;距离 300m, 4.35mg/g 干重;在清洁对照点, 3.05 mg/g 干重^[6]。监测时必须还注意其它因素对叶片含污量的影响。

2. 苔藓吸污量检测法 苔藓有巨大的表面积,能够吸附空气中的尘和多种污染物。加拿大安大略省的环境工作者用一种苔藓监测城市空气中的铅、铜、镉等重金属以及硫化物、氯化物,取得了较好的结果^[25]。基本做法

是在城市中设置若干监测点,把苔藓放在一个特制的装置里,在监测点上放置一个月,然后取回分析所吸附的污染物成分和含量,绘制城市重金属等污染图。这种方法比较简便,经试点后值得在我国推广应用。杜庆民等 1986 年曾在天津某钢铁厂做过监测试验。

3. 污染指数法 这种方法与叶片含污量分析法基本相同,不同处是分析监测点植物叶片(或组织)含污量后,与清洁点同种植物叶片(或组织)的含污量进行比较,求出污染指数,再按指数大小进行污染度分级,评价空气质量。这种方法目前应用较多,又有单项指数法和综合指数法之分。

(1) 单项指数法 就是用一种污染物的含污量指数来监测或评价空气污染。计算公式如下:

$$IP = \frac{C_m}{C_c}$$

式中, IP 为含污量指数; C_m 为监测点植物叶片(或组织)某污染物实测含量; C_c 为对照点同种植物叶片(或组织)某污染物实测含量。

计算 IP 值后,再进行污染度分级。李正方等 1979—1980 年在南京栖霞山地区用法桐叶片监测 SO_2 污染时,采用如下分级标准^[10](见表 3)。

表 3 IP 值分级标准

污染等级	IP 值	污染程度
I	<1.2	清洁区
II	1.21—2.00	轻污染
III	2.01—3.00	中度污染
IV	>3.00	重污染

作者认为,植物对各种污染物吸收的能力不尽相同,因此 IP 值的分级标准不是固定的,可随污染物种类不同而异。

(2) 综合指数法 如果污染物不只一种,要监测或评价空气污染仅用单项指数法就有困难,必须应用综合污染指数,其一般公式为:

$$ICP = \sum_{i=1}^n W_i \times IP_i \quad (i = 1, 2 \cdots n)$$

式中, ICP 为综合污染指数; W_i 为某污染物的权重值; IP_i 为某污染物的含污量指数。

实际监测时, 一般先求出每种污染物的单项污染指数(即 IP 值), 再根据已确定的各污染物的权重值, 计算综合污染指数 ICP 值, 然后将 ICP 值进行污染度分级(其分级标准可与 IP 值相同), 即可监测或评价污染程度。国内目前应用综合指数法评价环境质量时, 所测定的污染物一般 4—5 种, 多的达十几种, 所用的公式和方法与这里介绍的也不尽相同。如徐和宝等应用单项超标指数法和综合超标指数法等^[17], 这里不再详述。

有关确定各种污染权重值的依据和方法, 国内还没有统一。有人根据各种污染物对生物毒性的大小来确定权重值^[18]; 也有人认为在复合污染情况下, 应加大主要污染物的权重^[17], 以突出主要矛盾。这些问题有待进一步研究。

4. 相关方程法 这种方法是在监测点测定植物叶片含污量的同时, 同步测定空气中该污染物的实际浓度, 然后把两者之间的关系用数学模式表达出来, 再监测空气污染。这种方法比污染指数法进了一步, 它不仅可以根据各监测点的污染指数, 而且还可以根据该点上叶片吸污量的多少来测算空气中某污染物的浓度值。目前已经应用的方法有:

(1) 积累公式(暂称)法 国外一些学者研究暴露在空气氟化物环境条件下牧草中氟化物的含量时, 发现牧草含氟量与空气中氟化氢浓度有密切的关系, 他们把这种关系用一个简单方程来表示: $\Delta F = KCT$ ^[24]。1982 年, 作者等利用此公式测算苏州市空气 SO_2 污染与植物叶片含硫量之间的关系时, 将公式相应变换为:

$$\Delta S = KCT$$

$$C = \Delta S / KT$$

式中, C 为空气 SO_2 浓度; ΔS 为叶片吸硫

量(或含硫量); K 为积累系数, 根据已知监测点空气 SO_2 浓度值与相应点叶片含硫量数值求得; T 为接触时间。根据此公式, 只要知道监测点叶片吸硫量 ΔS , 植物接触 SO_2 的时间 T , 积累系数 K , 就可以计算出该点空气 SO_2 浓度 C 值。我们在苏州及郊区 400 km² 范围内设置了 60 个监测点, 测算的结果与实际污染状况基本一致^[7]。

(2) 回归方程法 这是目前应用较多的一种方法。通常采用一元回归方程

$$(y = a + bx)$$

或二元回归方程

$$(y = a + b_1x_1 + b_2x_2)$$

来进行测算。1982 年, 作者等在苏州用法桐叶片进行 SO_2 监测时, 利用 9 个监测点空气 SO_2 浓度值和叶片含硫量数值, 先建立一元回归方程:

$$\hat{y}_{\text{法桐}} = 0.149 + 8.505x \quad (r = 0.9014)$$

式中, $\hat{y}_{\text{法桐}}$ 为法桐叶片含硫量, x 为空气 SO_2 浓度。方程建立后, 即可根据其余 51 个监测点上叶片含硫量的数值来测算相应点上空气中 SO_2 浓度, 然后进行污染度分级, 评价空气环境质量。实践表明, 这种方法评价的结果与实际污染状况也基本一致^[7]。

1984 年, 潘如圭等在苏州应用过氧化铅长期暴露法, 在监测点上同步测定空气 SO_2 浓度和叶片含硫量之间的相关性; 用碱性滤纸法同步测定空气 HF 浓度和叶片含氟量之间的相关性。结果都表明回归方程法是可行而有效的^[19,20]。

除了一元和二元回归方程外, 近年来陈春焕等在广州用多元回归方程进行了相关性的研究^[21]。可以想象, 相关方程法在植物监测方面将会受到重视和应用。

四、其它方法

1. 年轮法 树木的年轮常常能反映过去的污染情况。美国曾对一个散发 SO_2 和 NO_x 的军工厂附近的五针松和鹅掌楸进行年轮分

析,发现这些树木年轮的宽窄与该厂年生产量和排污量有密切的关系。根据年轮宽窄,可以推算过去若干年大气污染状况,还可以根据年轮中污染物含量来判断过去的大气污染程度。我国环境工作者在这方面也进行过有关研究。

2. 生理生化指标法 大气污染能对植物的生理代谢活动造成一系列的影响。国内外许多学者研究表明^[13,14,23,24],植物的光合作用、呼吸作用、气孔阻抗、叶绿素含量、叶片吸收光谱、细胞膜透性、花青素含量、酶的活性、叶片应激乙烯和乙烷的产生等,在受到大气污染影响后,都会发生变化。但由于引起这些变化的因素较多,原因复杂,因此目前应用这些指标进行实际监测还不多见。

通常监测大气污染或评价空气环境质量多用化学或物理学的方法,这种方法精确度高、数据可靠,但要耗费较多的人力、物力和财力,一般一个城市只能设少量的常年监测点,定期地进行监测(自动监测站例外)。当大气中污染物浓度突然升高或发生急性事故时,通常都来不及测定或捕捉污染物的浓度,以判别是否发生了污染危害。利用植物监测大气污染具有取材容易、方便易行的特点,不仅可以在一定时期内连续监测,而且在发生污染事故时通过植物的受害反应及叶片吸污量的变化可以进行污染鉴定与仲裁。因此,植物监测是化学或物理学监测方法的重要补充,也是环境监测不可缺少的重要组成部分。过去几年来我国植物监测工作虽然发展较快,但各地所用的方法和标准都不尽相同,目前需要进行监测方法的规范化,使监测的结果具有较好的可比性,我们相信,通过这项工

作,将推动我国生物监测工作的进一步发展。

主要参考文献

- [1] 江苏省植物研究所,指示植物在监测大气污染中的应用,环境保护生物监测与治理资料汇编,湖北省水生生物所编,202—205页,科学出版社,北京,1978年。
- [2] 汪嘉熙等,抗污吸毒及敏感指示植物的选择,环境污染与生态学文集,中国科学院水生生物所编,95—103页,江苏科学技术出版社,南京,1981年。
- [3] 李正方等,大气污染指示植物的筛选和监测试验,环境污染与生态学文集,中国科学院水生生物所编,118—121页,江苏科学技术出版社,南京,1981年。
- [4] 江苏省植物所,环境科学,(4),63(1978)。
- [5] 江苏省植物所等,南林科技,(2),11—19(1976)。
- [6] 高绪评等,中国环境科学,2,23—27(1981)。
- [7] 高绪评等,城市空气 SO₂ 污染与植物叶片含硫量之间相关性的研究,南京中山植物园研究论文集(1982),南京中山植物园研究论文集编写组,63—69页,江苏科技出版社,南京,1984年。
- [8] 李正方等,中国环境科学,5,58—60(1981)。
- [9] 李正方,环境保护,(3),22—24(1981)。
- [10] 李正方等,中国环境科学,2,29—32(1982)。
- [11] 江苏省植物研究所,城市绿化与环境保护,109页,中国建筑工业出版社,北京,1977年。
- [12] 朱成珞,中国环境科学,(5),74—75(1981)。
- [13] 余叔文等,植物生理学报,5,403—409(1980)。
- [14] 李振国等,植物生理学报,6,47—55(1981)。
- [15] 章志兰等,中国环境监测,2(3),1—5(1986)。
- [16] 王惠卿等,环境保护科学,(2),13—17(1986)。
- [17] 徐和宝等,南京大厂区大气环境质量的植物中多元素综合评价,南京中山植物园研究论文集(1984—1985),南京中山植物园研究论文集编写组,26—34页,江苏科技出版社,南京,1986年。
- [18] 顾泳洁等,中国生态学会通讯,(8),6(1986)。
- [19] 潘如丰等,中国环境科学,7(1),31—33(1987)。
- [20] 潘如丰等,环境科学,8(2),28—31(1987)。
- [21] 陈春焕等,环境污染与防治,9(1),10—13(1987)。
- [22] [日]中野尊正等著,孟德政等译,城市生态学,51—68页,科学出版社,北京,1986年。
- [23] 高绪评,植物生理学通讯,(2),12—14(1982)。
- [24] Mansfield, T. A., *Effects of Air Pollutants on Plants*, Cambridge University Press, CAMBRIDGE, 1976.
- [25] Temple, P. J., *Journal of the Air Pollution Control Association*, 31 (6), (1981).

(收稿日期: 1987年6月15日)

(上接第91页)

等组织签定合同的收入;各种基金会和企业的赠款。此外各成员国还以支付会议费、旅费、后勤服务等方式间接为 SCOPE 提供活动经费。出版 SCOPE 报告的收入。

SCOPE 的开支主要用于召开各种学术讨论会,组织撰写出版专题报告和简报以及常设机构的行政开支。SCOPE 及有科研经费预算,科研经费是各国通过其他渠道筹集的。

(柯联 供稿)