

植物硫含量法监测大气污染数量模型*

蒋高明

(中国科学院植物研究所, 北京 100044)

文 摘 运用 MINITAB 程序研究承德市 5 个常年大气监测点不同季节的 10 种木本植物硫含量和大气 SO_2 之间的一元回归和多元回归模型。一元回归模型叶以珍珠梅最好, $r=0.8695$ ($P<0.001$), 枝以油松和珍珠梅、垂柳为好, 相关系数 0.8 ($P<0.001$); 树皮以刺槐为佳, $r=0.8615$ ($P<0.001$); 复相关模型以刺槐最好, 相关系数达 0.987。植物叶片硫含量与大气 SO_2 和气孔阻力的回归模型说明, 以污染状态进入植物体的硫, 主要通过气孔进入; 家榆表现为极显著相关, 复相关系数达 0.990。用植物含污指数法可以综合评价大气质量, 其中总污染指数可以有效地评价总的大气质量, 硫复合污染指数和重金属复合污染指数可以评价不同地点 SO_2 和 TSP 污染状况, 与直接用大气 SO_2 浓度法和 TSP 浓度法结果基本相同。

关键词 硫含量法, 植物监测, 木本植物, 数量模型, 大气质量评价。

近些年来, 国内外学者试图寻找植物污染物含量与大气污染物含量的相互关系, 研究最多的是用植物叶片中 S 含量监测大气中的 SO_2 ⁽¹⁻⁴⁾, 取得了一定的进展。对于其他部位, 有人⁽⁵⁾利用树皮含硫量变化监测冬季 SO_2 污染, 所用材料为生活树皮。而用枝条树皮(糙树皮)以及针叶植物来监测大气污染的研究, 国内外的报导较少。关于污染物含量法进行大气环境质量评价, 国内外也有不少报导。在这些研究中, 国外学者偏重于对大气污染敏感的地衣、苔藓类⁽⁶⁻⁸⁾; 国内学者偏重于用木本植物树叶含污量进行评价^(1,9-11)。常用的方法有大气净度指数法和含污指数法等。

污染物含量法在无理化监测的地方以及在确定植物伤害症状与某种大气污染物的关系时具有理化监测无法实现的优点。尽管如此, 因为它在监测大气污染物中某些不确定因素的存在, 以及所建立的相关模型采用数据代表性等原因, 使该法在实际应用中具有一定的限制。目前国内学者所建立的数量模型, 大多是根据一个生长季节的某个短暂时间采集的某一部位样品分析数据的基础上建立的一元回归模型^(1-3,6,8,10)。因为大气污染在植物内的反应需要较长的时间才能表现出来, 利用不同季节样品和大气污染物之

间的数量模型才能客观地监测大气污染, 因此很有必要对这种生物监测方法进行深入的研究。下面以承德市为例, 根据 5 个常年大气监测点 4 个季节采样分析的结果, 建立植物不同部位 S 含量与大气 SO_2 的单相关及复相关模型, 进一步探讨植物污染物含量法在监测和评价大气污染方面的应用前景。

1 材料与方法

1.1 样品采集与分析

1992 年 5、7、9、12 月在承德市 5 个常年监测点及 20km 外的承德钢铁厂附近采集主要的木本植物, 这 5 个监测点依次是火车站、剧场、城建局、市政府和避暑山庄, 最后一个为相对清洁区。共采集加拿大杨(*Populus Canadensis*)、旱柳(*Salix matusudana*)、垂柳(*S. babylonica*)、家榆(*Ulmus pumila*)、国槐(*Sorophora japonica*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、油松(*Pinus tabu-*

收稿日期: 1993-11-02

* 本文系博士学位论文的一部分, 是在张新时、黄银晓、林舜华先生指导下完成, 承德市环境保护局提供大气污染监测数据, 特此致谢。

lae formis)、白腊(*Fraxinus americana*)、丁香(*Syringa meyeri*)、珍珠梅(*Sorbaria kirilowii*)等 10 种植物当年生枝条、叶和糙树皮。利用英国制 MK3 气孔计于 9 月份实测了上述 9 种植物(油松除外)的气孔阻力(上下表皮各 10 个重复)。用浓 HNO_3 消化样品,以硫酸钡比浊法测全硫量,以火焰吸收和原子吸收分光光度法测定重金属。

1.2 分析精度的控制

利用地矿部地球物理化学勘察研究所研制

的植物标准物质控制分析精度,共分析了 6 批 12 个标样。除 Mn 的前 3 次样品比标准值偏低 12%,Pb 的前 3 次样品比标准值偏高 4%外,其余元素测定结果均在标准范围内,说明分析数据可靠。

1.3 模型的建立

分析及观测的数据利用 FISHMAN 进行显著度检验,利用 MINITAB 计算机程序进行运算建立一元及多元回归方程。

表 1 植物不同部位 S 含量与大气 SO₂ 的关系

植物名称	器官部位	n	相关公式	r	P
加拿大杨	叶	9	$Y = -0.037 + 0.013X$	0.7292	$P < 0.05$
	幼枝	12	$Y = 0.0207 + 0.0126X$	0.3831	$P > 0.05$
	树皮	12	$Y = 0.0187 + 0.0139X$	0.4140	$P > 0.05$
旱柳	叶	17	$Y = -0.1498 + 0.0353X$	0.6495	$P < 0.05$
	幼枝	8	$Y = -0.0172 + 0.0285X$	0.7927	$P < 0.01$
	树皮	8	$Y = 0.0376 + 0.0120X$	0.5965	$P > 0.05$
垂柳	叶	15	$Y = -0.1498 + 0.0353X$	0.6495	$P < 0.01$
	幼枝	15	$Y = -0.0172 + 0.0285X$	0.7927	$P < 0.001$
	树皮	15	$Y = 0.0376 + 0.0481X$	0.2775	$P > 0.05$
家榆	叶	6	$Y = 0.0199 + 0.0335X$	0.7750	$P > 0.05$
	幼枝	7	$Y = 0.0285 + 0.0352X$	0.6301	$P > 0.05$
	树皮	7	$Y = 0.0188 + 0.0112X$	0.6272	$P > 0.05$
刺槐	叶	9	$Y = 0.0238 + 0.0099X$	0.5612	$P > 0.05$
	幼枝	12	$Y = 0.0361 + 0.0062X$	0.1359	$P > 0.05$
	树皮	12	$Y = -0.0058 + 0.018X$	0.8615	$P < 0.001$
国槐	叶	9	$Y = 0.0032 + 0.0148X$	0.8388	$P < 0.01$
	幼枝	12	$Y = 0.0128 + 0.0265X$	0.6356	$P < 0.05$
	树皮	12	$Y = 0.0214 + 0.0094X$	0.7125	$P < 0.01$
白蜡树	叶	9	$Y = -0.0556 + 0.8320X$	0.6116	$P < 0.05$
	幼枝	12	$Y = -0.0302 + 0.0996X$	0.2926	$P > 0.05$
	树皮	12	$Y = 0.0131 + 0.0449X$	0.4984	$P > 0.05$
油松	叶	9	$Y = 0.0126 + 0.0618X$	0.7841	$P < 0.01$
	幼枝	12	$Y = 0.0029 + 0.0603X$	0.8127	$P < 0.001$
	树皮	12	$Y = -0.0655 + 0.0481X$	0.5375	$P > 0.05$
丁香	叶	12	$Y = -0.0238 + 0.0819X$	0.5078	$P > 0.05$
	幼枝	16	$Y = 0.0207 + 0.0588X$	0.3979	$P > 0.05$
珍珠梅	叶	15	$Y = -0.0698 + 0.0800X$	0.8695	$P < 0.001$
	幼枝	20	$Y = -0.0126 + 0.1115X$	0.8505	$P < 0.001$

注:Y—大气中 SO₂ 浓度(mg m⁻³);X—植物内 S 含量(mg g⁻¹)

2 结果与讨论

2.1 植物不同部位硫含量与大气 SO₂ 的数量模型

2.1.1 一元回归模型

植物不同部位 S 含量与大气 SO₂ 之间的一元回归方程见表 1。从表中可以看出,垂柳、油松枝条、珍珠梅叶片等 S 含量与大气 SO₂ 浓度极为相关,相关系数 ≥ 0.8 , $P < 0.001$,旱柳枝、国槐叶、油松叶很显著相关,相关系数 0.7—0.8, $P <$

0.01;加拿大杨、旱柳、垂柳、白蜡叶和国槐枝等为显著相关,相关系数 0.6~0.8, $P<0.05$ 。其他植物部位与大气 SO_2 浓度相关系数很小,或虽然相关系数较大,但显著度检验不显著。

上述植物不同部位 S 含量与大气 SO_2 浓度一元回归分析表明,利用植物某些特定部位即能够回答大气中污染物的含量,但不同植物表现的指示功能不同,以相关系数大小和显著度的差异来区分这些指示植物的监测功能,依次为:珍珠梅>国槐>油松>垂柳>刺槐等。这些植物中的两个或两个以上的部位均具有显著的大气污染监测功能,而以叶为最佳。相对来讲,树皮表现为较弱的监测能力,除刺槐和国槐外,其他 6 种植物的树皮与大气 SO_2 浓度没有显著的相关关系。在本研究中,冬季枝条和树皮的指示功能很弱或

呈负相关,这与其他学者的研究结论不同⁽⁵⁾。冬季大气中 SO_2 浓度虽比生长季节高出数倍甚至 10 倍以上,但枝条和树皮中 S 并不成倍增加,其间不存在线性关系。冬季植物处于休眠期,且外界环境干燥寒冷,气温在 -15°C — 0°C 以下,细胞液已结冰,植物生理活动基本停止,植物对 S 等污染物很难吸收。因此,用植物指示或监测大气污染,最好在生长季节,这就是为什么一些学者提出以早春季或秋季为最佳的原因^(3,10)。

2.1.2 多元回归模型

刺槐多部位 S 含量与大气 SO_2 浓度之间的多元回归模型最佳,复相关系数达 0.987(表 2),比叶、枝条、树皮的一元回归模型更灵敏,在一元回归模型中,刺槐叶和枝条并不表现显著相关。说明对大气污染物的监测,仅利用某一部位效果

表 2 大气 SO_2 浓度与植物树叶、枝条、树皮 S 含量之间的多元回归模型

植物种类	n	相 关 公 式	r
加拿大杨	12	$Y = -0.0514 + 0.0133X_1 - 0.0088X_2 + 0.0163X_3$	0.658
旱柳	8	$Y = -0.0177 + 0.00733X_1 + 0.00735X_2 + 0.0013X_3$	0.855
垂柳	15	$Y = -0.141 + 0.0348X_1 + 0.0348X_2 + 0.0153X_3$	0.491
家榆	7	$Y = 0.0194 + 0.0473X_1 - 0.0259X_2 + 0.0026X_3$	0.712
刺槐	12	$Y = 0.0719 - 0.0154X_1 - 0.0115X_2 + 0.0253X_3$	0.987
国槐	12	$Y = -0.0271 + 0.0284X_1 + 0.0104X_2 + 0.0253X_3$	0.807
白蜡树	12	$Y = -0.0752 + 0.0599X_1 + 0.047X_2 + 0.0099X_3$	0.466
油松	12	$Y = -0.179 - 0.285X_1 + 0.105X_2 + 0.5810X_3$	0.699
丁香	16	$Y = -0.0516 + 0.0611X_1 + 0.0524X_2$	0.352
珍珠梅	20	$Y = -0.0553 + 0.0478X_1 + 0.0563X_2$	0.819

注:Y—大气 SO_2 浓度(mg m^{-3}); X_1 、 X_2 、 X_3 —树叶、枝条、树皮 S 含量(mg g^{-1})

较差,而多部位的综合指标最能说明问题。对于多元回归复相关系数,显著性检验没有必要再做,因为它实质上是对整个回归的 F 检验,正如在一元回归的情形中,对相关系数 r 进行检验后就不需要再做方差分析的 F 检验⁽¹²⁾。但对于复相关系数值,一般在 $n=10$ 左右时, $r>0.8$ 时才能说明问题,由此可知,其他具有显著相关的多元回归模型还有:旱柳($r=0.853$),珍珠梅($r=0.819$),国槐($r=0.807$)。家榆相关系数也较大, $r=0.712$ 。它们的复相关系数比一元回归相关系

数为高,说明综合指标更灵敏。

不同部位复相关模型之所以对大气污染指示作用较好,是因为植物不同部位对大气污染的反应并非都是呈正相关,如冬季树枝和树皮对大气 SO_2 的反应不明显或没有反应,但综合指标可以消除一元回归模型中非相关因素的影响,更能说明问题。

在不同生长季节,植物对大气污染的反应不同,或吸收或转移,仅测定某一部位往往造成误差,而利用多部位污染物含量与大气污染物浓度

之间的复相关模型就可以解决这问题。尽管如此,在具体应用中由于条件限制,不可能测定全部部位,一些极显著或很显著的一元回归模型(如叶),在一定的时间范围内,仍可以有效地监测大气污染。

2.2 植物叶片含硫量与大气 SO₂ 浓度和气孔阻力的相关模型

植物叶片中的 S 除从根部以 SO₄²⁻ 的形式吸收外,在污染地区大部分来源于从气孔进入的 SO₂,这部分 SO₂ 在叶中转化成 SO₃²⁻,进而转化成 SO₄²⁻,存在于叶中或转移到其他部位。因而不同污染地区同种植物中 S 的含量差异,除决定于周围大气中 SO₂ 浓度外,还与植物本身气孔的开张度,即气孔阻力有关。植物气孔阻力越小,气孔开张度越大,SO₂ 就更容易进入到植物体内,因而对植物的危害就越大^[13]。相反,那些具有较大气孔阻力的植物往往表现出较强的抗性。当然,在污染地区,虽然气孔阻力很大,但叶中 S 含量也很高,在这种情况下,大气中的 SO₂ 浓度就起主要的作用。在植物生长季节,植物体内 S 含量与大气中 SO₂ 浓度呈正相关,而与气孔阻力呈负相关,因而可假定存在下述关系式:

$$C_{\text{叶}} = a_0 + a_1 \frac{C_{\text{大气}}}{r} \quad (1)$$

式中, $C_{\text{叶}}$ —叶片中 S 含量; $C_{\text{大气}}$ —大气 SO₂ 浓度; r —气孔阻力; a_0 —常数项; a_1 —系数

但植物叶 S 含量的变化是个较复杂的现象,除与 $\frac{C_{\text{大气}}}{r}$ 有关外, $(\frac{C_{\text{大气}}}{r})^2$, $(\frac{C_{\text{大气}}}{r})^3$, ... 也有一定的贡献,因而利用下式更精确:

$$C_{\text{叶}} = a_0 + a_1 \frac{C_{\text{大气}}}{r} + a_2 \left(\frac{C_{\text{大气}}}{r}\right)^2 + a_3 \left(\frac{C_{\text{大气}}}{r}\right)^3 + \dots \quad (2)$$

根据采样分析的 S 含量和现场观测的气孔阻力值,结合大气监测的 SO₂ 数据,利用 2 式进行多元逐步回归分析,从而得出表 3。从中看出,家榆叶中 S 含量与大气 SO₂ 和气孔阻力的相关模型最好,复相关系数达 0.990,其它具有显著相关的植物模型还有刺槐、旱柳、国槐等,复相关系数为 0.86, 0.88, 0.89, 其余植物相关性较差,

除刺槐叶 S 与 $(\frac{C_{\text{大气}}}{r})^4$ 有关外,其他植物仅与 $(\frac{C_{\text{大气}}}{r})$, $(\frac{C_{\text{大气}}}{r})^2$, $(\frac{C_{\text{大气}}}{r})^3$ 有关。这些植物叶 S 含量与大气 SO₂ 和气孔阻力关系较密切,有些植物达到极显著相关的水平,进一步说明了叶中以污染物状态进入的硫主要从大气进入气孔,而很少从其他部位转移到叶中。栽培实验也说明了叶中的 S、Cl 等污染物,主要从叶中气孔进入,从根部吸收很少^[14]。不同植物模型中的常数项和系数项差异,主要决定于植物的 S 含量,其差异与植物本身的特性有关。一般植物体内 S 含量越低,对大气污染的指示性能就越好,如家榆、刺槐等,相反如叶中 S 含量很高,植物对 S 的缓冲性就越大,对大气 SO₂ 表现出较差的指示性能,如垂柳。这些植物除含 S 量较高外,其气孔阻力相对小,说明这些植物在大气污染物存在时,表现出较差的防卫性能,而表现出很强的适应能力,不适宜做污染的监测植物。

2.3 大气质量评价

利用 1992 年不同季节采样分析的垂柳不同部位 S 及重金属含量(表 4),进行大气质量评价。首先利用含污指数计算公式:

$$IPC = \frac{C_i}{C_0} \quad (1)$$

式中, C_i —第 i 种污染物含量; C_0 —清洁区(以避暑山庄为代表) i 种污染物含量。然后将不同部位的污染指数加和,得出某种污染物的复合污染指数 $\sum IPC_e$ 和总污染指数 $\sum IPC$:

$$\sum IPC_e = [\sum IPC_e]_{\text{叶}} + [\sum IPC_e]_{\text{枝}} + [\sum IPC_e]_{\text{皮}} \quad (2)$$

$$\sum IPC = [\sum IPC]_s + [\sum IPC]_{\text{cu}} + \dots [\sum IPC]_{\text{pb}} \quad (3)$$

利用(1)、(2)、(3)式计算不同地点的污染指数,计算结果见表 5。然后将 $\sum IPC$ 分成 4 级,即 < 21.0, 21.0~25.0, 25.0~30.0, > 30.0 分别代表清洁(I)、轻度污染(II)、中度污染(III)、严重污染(IV);据 S 的复合污染指数进行大气 SO₂ 污

表 3 植物叶片含 S 量与大气 SO₂ 浓度和气孔阻力的多元回归模型

植物种类	n	相 关 公 式	r
加拿大杨	12	$C_{\text{叶}} = 3.66 + 459 \frac{C_{\text{大}^{\text{气}}}}{r} - 21579 (\frac{C_{\text{大}^{\text{气}}}}{r})^2 + 27379 (\frac{C_{\text{大}^{\text{气}}}}{r})^3$	0.514
旱柳	8	$C_{\text{叶}} = 0.807 + 546 \frac{C_{\text{大}^{\text{气}}}}{r} - 21955 (\frac{C_{\text{大}^{\text{气}}}}{r})^2 + 323096 (\frac{C_{\text{大}^{\text{气}}}}{r})^3$	0.876
垂柳	15	$C_{\text{叶}} = 5.11 + 81.4 \frac{C_{\text{大}^{\text{气}}}}{r} - 762 (\frac{C_{\text{大}^{\text{气}}}}{r})^2 + 38342 (\frac{C_{\text{大}^{\text{气}}}}{r})^3$	0.488
家榆	7	$C_{\text{叶}} = -0.179 + 84.4 \frac{C_{\text{大}^{\text{气}}}}{r} - 2072 (\frac{C_{\text{大}^{\text{气}}}}{r})^2 + 14824 (\frac{C_{\text{大}^{\text{气}}}}{r})^3$	0.990
刺槐	12	$C_{\text{叶}} = 0.017 + 261 \frac{C_{\text{大}^{\text{气}}}}{r} - 8693 (\frac{C_{\text{大}^{\text{气}}}}{r})^2 + 1716326 (\frac{C_{\text{大}^{\text{气}}}}{r})^3$	0.887
国槐	12	$C_{\text{叶}} = 1.13 + 60 \frac{C_{\text{大}^{\text{气}}}}{r} - 4792 (\frac{C_{\text{大}^{\text{气}}}}{r})^2 + 42449 (\frac{C_{\text{大}^{\text{气}}}}{r})^3$	0.857
白蜡树	12	$C_{\text{叶}} = 1.01 + 41.1 \frac{C_{\text{大}^{\text{气}}}}{r} - 213 (\frac{C_{\text{大}^{\text{气}}}}{r})^2 + 655 (\frac{C_{\text{大}^{\text{气}}}}{r})^3$	0.464
丁香	16	$C_{\text{叶}} = 1.48 + 126 \frac{C_{\text{大}^{\text{气}}}}{r} - 1313 (\frac{C_{\text{大}^{\text{气}}}}{r})^2 + 6390 (\frac{C_{\text{大}^{\text{气}}}}{r})^3$	0.347
珍珠梅	20	$C_{\text{叶}} = 1.09 + 14.5 \frac{C_{\text{大}^{\text{气}}}}{r} - 683 (\frac{C_{\text{大}^{\text{气}}}}{r})^2 + 4703 (\frac{C_{\text{大}^{\text{气}}}}{r})^3$	0.744

注: C_叶—叶片 S 含量(mg g⁻¹); C_{大^气}—大气 SO₂ 浓度(mg m⁻³); r—气孔阻力(s cm⁻²)

表 4 1992 年不同采样地点垂柳中 S 及重金属含量(叶 n=3;枝、皮 n=4)

地点	植物部位	S (mg g ⁻¹)	重 金 属(μg g ⁻¹)					
			Cu	Fe	Zn	Mn	Ni	Pb
火车站	叶	6.37±1.38	4.8±1.20	98.4±19.8	33.8±3.5	24.9±4.0	0.57±0.18	0.94±0.01
	幼枝	2.60±1.12	5.3±1.90	175.1±80.5	48.2±15.9	9.3±8.3	0.18±0.19	0.55±0.25
	树皮	3.43±1.02	8.4±3.12	433.3±14.6	112.9±60.8	38.1±8.2	1.14±0.58	9.15±3.92
剧场	叶	7.31±2.04	6.7±1.60	175.7±50.9	36.3±7.1	67.0±55.7	2.70±0.71	1.28±0.49
	幼枝	2.64±0.53	8.9±5.17	138.9±74.6	47.2±6.7	22.6±11.5	0.55±0.22	1.76±1.11
	树皮	3.19±1.61	11.5±2.70	462.5±56.6	122.1±16.7	40.5±12.5	1.91±1.02	7.30±1.85
城建局	叶	8.72±2.09	9.3±1.60	200.6±27.2	43.8±5.5	59.3±43.5	1.56±0.36	1.71±1.51
	幼枝	2.89±2.35	8.5±4.90	138.5±54.5	45.3±8.8	26.2±17.2	0.47±0.15	0.92±0.66
	树皮	4.00±2.20	10.2±3.80	422.6±53.1	108.9±11.6	41.2±9.4	1.09±0.29	7.68±0.65
市政府	叶	7.19±1.61	7.5±0.10	154.7±79.6	37.2±3.5	30.6±3.9	0.14±0.12	1.73±1.36
	幼枝	2.09±1.87	5.4±3.60	120.6±72.6	46.7±20.8	10.7±7.8	0.24±0.19	0.75±1.06
	树皮	2.10±1.29	10.1±0.30	402.3±15.3	108.9±9.8	20.2±21.6	1.37±0.77	5.63±2.01
避暑山庄	叶	8.02±3.28	6.1±1.40	260.3±177.5	57.7±10.2	25.8±17.6	0.52±0.28	0.96±0.69
	幼枝	1.71±0.86	6.2±1.60	255.6±79.5	74.9±26.5	21.8±10.4	0.34±0.17	1.12±0.36
	树皮	2.22±0.64	12.8±8.10	491.9±59.8	152.1±14.2	57.5±10.0	1.88±1.17	10.00±4.60
承德钢铁厂	叶	4.64±0.37	4.8±0.10	158.1±97.8	45.6±15.1	22.9±6.6	1.53±0.98	0.63±0.59
	幼枝	1.29±0.32	6.4±3.80	175.6±78.7	65.8±14.3	16.3±11.7	0.89±1.37	0.93±0.55
	树皮	2.12±1.20	7.6±2.20	402.7±74.2	77.9±27.3	32.0±11.8	0.92±0.44	3.33±1.25

染评价也分成 4 级,即清洁 I (<3.0),轻度污染 II (3.0~4.5),中度污染 III (4.5~5.5),和严重污染 IV (>5.5)。

同理利用 SO₂ 法和 TSP 法分别对不同地点进行大气评价(表 6)。从表 6 中可以看出,与避暑山庄相对清洁区比较,不同地点总体大气污染以城建局最严重,其次是剧场和承德钢铁厂,而火车站和市政府为轻度污染水平。从 S 单项指标

表 5 不同地点植物含污指数和复合含污指数

地点	器官部位	S	Cu	Fe	Zn	Mn	Ni	Pb	$\sum IPC$
火车站	叶	1.37	1.00	0.62	0.74	1.08	0.37	1.49	6.65
	幼枝	2.02	0.83	1.00	0.74	0.57	0.20	0.59	5.95
	树皮	1.62	1.11	1.08	1.45	1.19	1.23	1.17	8.85
	$\sum IPC_e$	5.01	2.94	2.70	2.93	2.84	1.80	3.25	21.45
剧场	叶	1.54	1.45	0.62	0.74	1.08	1.76	2.03	7.03
	幼枝	2.01	1.39	1.00	0.74	0.53	0.61	1.89	7.17
	树皮	1.62	1.51	1.07	1.45	1.19	2.07	2.74	12.7
	$\sum IPC_e$	5.17	4.35	2.69	2.93	2.80	4.44	6.66	26.92
城建局	叶	1.87	1.94	1.26	0.96	2.93	1.02	2.73	12.98
	幼枝	2.24	1.32	0.78	0.73	1.60	0.79	0.99	8.45
	树皮	1.88	1.34	1.05	1.45	1.28	1.18	2.30	10.44
	$\sum IPC_e$	5.99	4.60	3.09	3.14	5.81	2.99	6.05	31.87
市政府	叶	1.55	1.56	0.97	0.82	1.37	0.09	2.75	9.11
	幼枝	1.62	0.84	0.68	0.71	1.61	0.27	0.80	6.53
	树皮	0.99	1.33	1.00	1.39	0.88	1.49	2.30	9.38
	$\sum IPC_e$	4.16	3.73	2.65	2.92	3.86	1.85	5.85	24.99
承德钢铁厂	叶	1.72	1.27	1.64	1.26	1.12	0.33	1.52	8.86
	幼枝	1.32	0.97	1.46	1.14	1.34	0.38	1.20	7.81
	树皮	1.07	1.68	1.22	1.38	1.79	1.37	3.00	11.51
	$\sum IPC_e$	4.11	3.92	4.32	3.78	4.25	2.08	5.72	28.18
避暑山庄	叶	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	7.00
	幼枝	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	7.00
	树枝	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	7.00
	$\sum IPC_e$	3.00	3.00	3.00	3.00	1.00	3.00	3.00	21.00

表 6 不同方法对城市不同地区大气质量评价结果

地点	$\sum IPC$	$\sum IPC_e$	SO ₂ 浓度法	TSP 浓度法
火车站	I	II	II	IV
剧场	II	II	II	II
城建局	IV	IV	IV	IV
市政府	I	I	I	I
承德钢铁厂	II	I	—	—
避暑山庄	I	I	I	I

来看,城建局污染最明显,其次是剧场和火车站,市政府的承德钢铁厂相对较轻,这与用大气 SO₂ 浓度法评价结果基本一致。TSP 评价结果可反应重金属污染状况,用植物重金属复合污染指数 ($\sum IPC_{\text{重金属}} = \sum IPC - [\sum IPC]_s$) 可反映。火

车站虽然总体污染较轻,但 SO₂ 污染仍很严重,而承德钢铁厂虽然 SO₂ 污染不明显,但重金属尤其是 Fe、Cu、Mn、Pb 的污染较严重,因而整体大气污染严重。

3 结论

3.1 运用一年四季采样分析的植物单部位 S 含量和实测的大气 SO₂ 浓度建立的一元回归模型可以客观地监测大气 SO₂ 污染,一些植物表现出极显著的监测效果,如珍珠梅叶。

3.2 多部位的多元回归模型比一元回归模型监测效果更佳;以污染状态进入植物体的 S 主要从

大气进入气孔,其含量差异与大气 SO_2 浓度呈正相关,与植物气孔阻力呈负相关。

3.3 植物污染物含量法能够有效地监测大气污染和评价大气质量,在实际环境监测中具有广阔的应用前景。

参考文献

- 1 陈春焕,颜丽英. 环境污染与防治,1987,9(1):10~14
- 2 陈树元,唐述虞,汪嘉熙. 环境污染与防治,1986,8(1):36~38
- 3 郁梦德. 环境科学,1980,1(2):38~43
- 4 郁梦德,张德强,余清发. 环境科学,1987,8(6):25~29
- 5 刘荣坤,蒋放,田德林. 植物学报,1992,34(11):622~629
- 6 Percy K E et al. Water, Air and Soil Pollution, 1985, 25 (2):331~338
- 7 Fuchs C, Garty J. Water, Air and Soil Pollution, 1983, 23 (1): 29~43
- 8 Grodzinska K. The Hague, Boston, London: Dr W. Junk

Publishers, 1981, 33~42

- 9 李正方,钱大复,潘如圭,徐和宝,汪嘉熙. 中国环境科学, 1982,2(2):29~32
- 10 汪静蓉,徐亦钢,石磊,许建华,叶家和,唐后玳. 环境科学,1992,13(1):71~74
- 11 陈冬基,卢敏,张钢,何云芳. 环境科学,1983,4(5):49~52
- 12 冯士雍. 回归分析方法. 北京:科学出版社,1985,70~75
- 13 曹洪法, Taylor O C. 环境科学学报,1985,5: 234~239
- 14 陈锐章,彭桂英. 环境科学,1982,4(3):45~49

作者简介

蒋高明 男,1964年9月生。博士,副研究员。从事污染生态与全球变化生态学及生态系统研究网络等有关研究。“七五”期间从事城市生态环境规划等课题,现参加全球变化对中国陆地生态系统的影响等4项课题。是中英合作项目“承德市生态环境规划研究”的主要完成人之一。获1993年度国家环保局科技进步一等奖。在国内外发表论文40余篇。

Research on quantitative models for bio-monitoring and bio-assessing air pollution by plant sulfur content methods

Jiang Gaoming

Institute of Botany, Academia Sinica, Beijing 100044

Abstract —10 woody plant species sampled at 5 sites of Chengde City in four seasons of 1992 were used to study the relation between sulfur content in plants and air SO_2 , which was performed in MINITAB programme. The result showed that some parts of species showed the best result in the one-way regression, such as the leaf *Sorbaria kiribowii*, with $r=0.8695$ ($P<0.001$); the twig of *Pinus tabulaeformis*, *Salix babylonica* and *Sorbaria kiribowii* with $r\geq 0.8$ ($P<0.001$); the bark of *Robinia pseudoacacia*, $r=0.8615$ ($P<0.001$), while others showed somewhat relation or no relation. *Robinia pseudoacacia* showed significantly relative with its multiple regression model, $r>0.987$. The best regression models (e.g. *Ulmus pumila*) of leaf content against air SO_2 and leaf stomatic resistance could explain that the sulfur acted as pollutant entered plant mainly through stoma. Plant pollution content method can be also used to assess air quality, among which the total pollution index can effectively assess the general air quality, while S and heavy metal index can assess SO_2 and TSP pollution in different sites. Such bio-assessing methods gave nearly the same result with the direct methods, such as SO_2 and TSP methods, but the former is much quicker, cheaper and safer.

Key words: sulphur content method, bio-monitoring by plants, woody plants, quantitative models, air quality assessing.