



我国大气污染对农业环境的影响及其经济损失费用的估算

张 耀 民

(农牧渔业部环境保护科研监测所)

随着我国工业和乡镇工业的迅速发展,工业废气污染物的排放量不断增加。大气污染已成为一个比较突出的环境问题。现有的资料表明,在我国目前大气污染对农业环境、农业生态系统的影响,对农作物、桑蚕和家畜的直接危害已相当严重。某些大气污染物通过对农畜产品的污染,进而危害人体健康。随着我国四化建设蓬勃发展,我国大气污染有逐年加重的趋势。尤其是乡镇工业的迅速发展,使广大农村的大气环境质量不断下降。我国主要农业经济区的农业环境和农业生态系统已受到大气污染的直接影响和危害,造成了巨大的农业经济损失。因此,保护农业生态系统和农业资源免遭污染和破坏,是我们当前面临的一项重要任务。

一、我国大气污染的现状

目前,我国各类大气污染物的排放总量没有比较精确的统计数字。据估计,各类大气污染物的排放总量约 $4 \times 10^7 \text{t}$, 其中尘 $2 \times 10^7 \text{t}$, 二氧化硫 $17 \times 10^6 \text{t}$, 氮氧化物 $5 \times 10^6 \text{t}$ 。

我国大气污染状况与能源消耗和构成直接有关。图 1 表示了我国 1972—1984 年的能源消耗和构成。从图 1 中可以看出,历年来我国的能源结构变化不大,其中煤炭占 70% 以上,石油占将近 20%, 天然气和水电所占的比例不超过 10%。

历年来的监测资料表明,燃煤排放大气

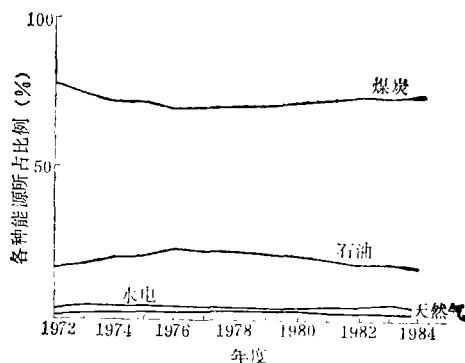


图 1 我国能源的构成

污染物的量占燃料燃烧排放总量的 96%，其中 SO_2 占各类污染源排放总量的 87%；尘占各类污染源排放总量的 60%；氮氧化物占各类污染源排放总量的 67%。从各类污染源对 SO_2 排放量的贡献来看，工业燃煤和火电燃煤排放的 SO_2 约占总量的 80%，工业废气排放的 SO_2 约占总量的 10%（图 2）。由此

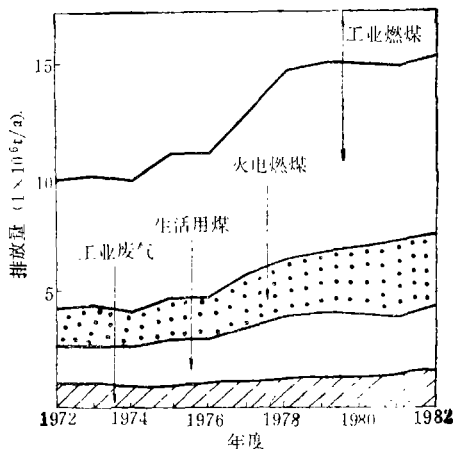


图 2 各类污染源的 SO_2 排放量

看来,燃煤是我国大气污染的主要原因。

我国氟化物的排放量至今没有比较一致的统计数字。少则 $6 \times 10^4 \text{t}$, 多则 $21.7 \times 10^4 \text{t}$ 。根据已有的资料估算,目前我国氟化物的年排放量约 $3 \times 10^5 \text{t}$, 其中燃煤排放的氟化物总量约 $6.5 \times 10^4 \text{t}$, 砖瓦生产排放的氟化物总量约 $14 \times 10^4 \text{t}$, 磷肥生产排放的氟化物总量约 $4 \times 10^4 \text{t}$, 冶炼、电解铝、化工、玻璃、陶瓷等工业部门排放的氟化物总量约 $5-6 \times 10^4 \text{t}$ 。因此,氟污染已不再是局部地区的问题,已成为带有普遍性的环境问题。

由于大气中硫氧化物的污染比较严重,我国不少地区已出现酸雨。根据 1982 年的普查结果,在二十三个省、市、自治区都监测到酸雨。检出率在 30% 以上的省区有:江西、广东、四川、福建、广西、贵州、云南、青海。我国降水的 pH 值大致由北向南逐渐降低,酸性降水主要分布在西南、中南和华东地区。

二、大气污染对农业环境影响的现状

大气污染对农业环境和农业生态系统的影响是人们关注的一个问题。在工业“三废”中,大气污染对农业环境的影响尤为突出。1980 年北京市 24 件污染事故中,农业占 23 件,其中 21 件属大气污染的危害。根据 1982 年对西安、郑州、南京、重庆等十一个城市人民来信来访的统计,反映环境污染的问题共 5315 条,其中反映大气污染的 2394 条,占 45%,居各类污染的首位。

由我国大气污染现状资料可以看出,在我国尘和二氧化硫的污染比较突出。因此,有的学者提出,我国大气污染的主要问题,在北方是降尘,在南方是酸雨。从大气污染对农业环境的影响和危害来看,我们认为,二氧化硫和氟化物对农业环境和农业生态系统的危害,酸雨对农业生态系统的潜在影响值得特别重视。

大气污染对农业、畜牧业和桑蚕业的危

害途径可概括为直接危害和间接影响。

直接危害

1. 影响作物、果树、蔬菜、牧草等的生长发育和产量;
2. 通过污染牧草和桑叶,进而危害家畜和桑蚕;
3. 影响农畜产品质量,降低农畜产品的商品价值。

在大气污染物对农业的直接危害中,低浓度长期暴露引起的慢性伤害,尤其是不可见伤害对作物、果树和蔬菜的生长发育和产量的影响,尚缺乏深入细致的田间研究。可能是由于这方面的研究工作需要花费大量的人力、财力和需要较长的时间,以及在评价大气污染物对田间作物产量的影响时很难与气候、土壤的影响和病虫害的侵袭相区别之故。当前研究的结果已表明^[1],研究大气污染物的低浓度长期暴露对农作物的影响十分重要。因为在不出现叶片伤害症状的情况下,作物也会出现较大幅度的减产。这充分说明,叶片伤害症状不是判断作物是否减产的可靠指标。

间接影响

1. 诱发病虫害的发生。其原因可能是多方面的。一方面可能是大气污染物降低了作物、果树等长势,使其对病虫害更加敏感;另一方面可能是作物和果树受害后,其代谢发生了某些变化,为病虫害的寄生和繁殖提供了更加适宜的营养和条件。美国科学家最新的研究结果表明^[2],在空气污染地区植物会产生一种诱发昆虫食欲的化学物质谷胱甘肽,从而使植物易遭虫害的侵袭。科学家发现,谷胱甘肽尽管能帮助植物抵御污染物的侵害,但它能中和植物体中害虫不易消化的化合物,因而使植物更适宜害虫的胃口。更糟的是谷胱甘肽会使害虫对杀虫剂产生抵抗力。

2. 改变农药的性质。某些农药(如波尔多液)在某些大气污染物(如 SO_2) 的影响下,对果树产生一定的毒害作用^[3]。

3. 污染农田土壤, 影响土壤微生物种群和活性, 改变土壤理化性质, 降低土壤肥力, 进而影响作物的生长发育和产量。

迄今大气污染物对农作物间接影响的研究是一个十分薄弱的环节, 可引用的资料十分有限。但是, 这方面的研究工作, 尤其是大气污染物诱发作物病虫害的研究工作不可忽视。美国著名的环境生物学家 L. H. Weinstein 曾指出, 大气污染物诱发作物病虫害可给农业经济带来较大的损失。

由于污染比较严重的工业由城市向农村搬迁, 卫星城镇大量建设, 乡镇工业蓬勃发展, 大气污染对农业的影响逐渐由城市郊区、工矿企业的周围向农村地区扩展。农村地区大气环境质量有逐年下降的趋势。乡镇工业废气污染物排放量能够反映出我国不同地区农村大气环境质量的状况。图 3 表示了各地区乡镇工业废气污染物排放量。由图可以看出, 目前我国华东、中南和华北地区乡镇工业废气污染物的排放量较大, 局部地区污染比较严重。

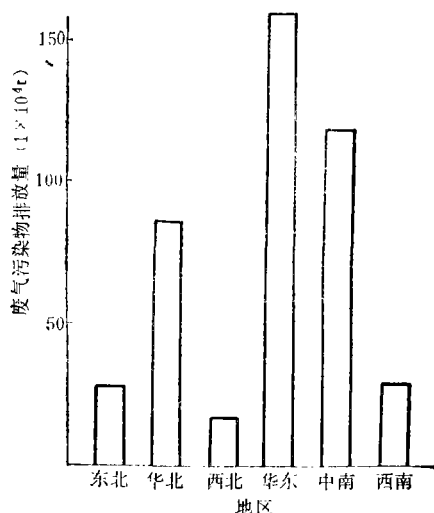


图 3 各地区乡镇工业废气污染物排放量 (1982 年)

在一些乡镇工业迅速发展的地区, 农村地区 SO₂ 的污染已成为一个突出的问题, 据有关资料介绍, 江苏省的江阴、常熟、无锡、沙

表 1 各地区单位面积 SO₂ 排放量比较

地 区	SO ₂ 年排放量 (10 ⁴ t)	面 积 (km ²)	排放强度 (t/km ²)
中国	1500	960×10 ⁴	1.56
美国 (1974)	3140	936×10 ⁴	3.35
英国 (1974)	546	22.4×10 ⁴	22.38
日本 (1977)	990	37.2×10 ⁴	7.8
东京 (1973)	5.7	2200	25.91
美国东北地区 (70 年代初)	—	88.1×10 ⁴	19.69
江阴县 (1981)	1.738	983	17.68
常熟县 (1981)	2.018	1258	16.04
无锡县 (1981)	1.367	1074	12.73
沙洲县 (1981)	1.148	996	11.53
苏南 (1981)	38.59	2.8×10 ⁴	13.77
苏北 (1981)	31.29	7.37×10 ⁴	4.25
江苏 (全省) (1981)	69.88	10.17×10 ⁴	6.87

资料来源: 南京环境科学研究所

洲等县 SO₂ 负荷已达 10t/km² 以上。这个数字已超过日本 1977 年全国平均负荷, 接近美国东北部七十年代初的水平 (表 1)。

表 2 表示了各地区乡镇工业磷肥生产和

表 2 各地区乡镇工业砖瓦生产和磷肥生产
排氮量及排氮强度 (1980)

地区名称	磷肥生产排 氮量 (t)	砖瓦生产排 氮量 (t)	排氮强度 (t/10 ⁴ km ²)
华东地区	3489.4	36159.4	517.8
中南地区	2799.4	21333.7	241.3
华北地区	1651.9	17074.0	127.6
东北地区	1550.1	7743.4	117.6
西南地区 (除西藏)	1865.7	5018.2	62.0
西北地区	1164.5	3350.2	15.2
上海市	244.5	1707.2	3365.0
江苏省	1627.5	12711.2	1433.9
浙江省	242.7	5709.7	595.2
山东省	1128.2	8973.6	673.5
河南省	390.9	7747.4	508.6
湖北省	1824.4	3317.9	285.7
广东省	41.9	5267.6	241.3
北京市	—	1274.3	758.5
天津市	45.0	1466.1	1573.7
河北省	1187.6	8719.0	521.4
山西省	419.3	4506.0	334.4
辽宁省	1595.0	3760.3	343.7

砖瓦生产的排氟量和排氟强度。表中的数据是根据砖瓦生产量和磷肥生产量推算的。华东地区排氟强度最大,达 $517.8\text{t}/10^4\text{km}^2$,中南地区次之,达 $214.3\text{t}/10^4\text{km}^2$ 。从各省、市、自治区来看,排氟强度较大的省市是:上海、江苏、天津、北京、山东、浙江、河北、河南等。这说明我国氟污染已不再局限在包头、兰州白银、云南晋宁、成都青白江等地区,已成为一个带有普遍性的环境污染问题。乡镇工业中砖瓦生产已成为我国氟污染的主要污染源。乡镇工业氟化物的排放量已成为我国农村地区氟污染的制约因素。因此,在大力发展乡镇工业的同时,研究和开发适合于乡镇工业的环保技术,逐渐控制乡镇工业大气污染物的排放量,是一项值得大力提倡和重视的研究工作。

我国工业经济密度具有区域性集中的特点。这样一来增加了局部地区大气污染物的负荷。这对农业环境和农业生态系统极为不利。图 4 表示了各地区的工业经济密度^[4]。由工业经济密度的差异,可以间接地反映出各地区大气污染物负荷的差异,以及农业环境和农业生产可能受到的影响和危害。工业经济密度较大的省、市的顺序是:上海、天津、北京、江苏、辽宁、山东、浙江、湖北、河南、广东、河北、安徽、湖南。如果把大气污染比较严重的四川省计算在内,根据 1984 年的统计资料^[5],这些省市的工业总产值和农业总产值分别占全国总产值的 76.9% 和 70.9%。粮食产量占全国粮食产量的 69.5%。主要水果(包括苹果、柑桔、梨、葡萄、香蕉)占全国总产量的 75.8%。桑蚕茧产量占全国总产量的 95.4%。面积仅占国土面积的 22.8%。加上乡镇工业废气污染物排放量,这些省市承受大气污染物的总量约占全国总量的 80%,污染物负荷达 $16.4\text{t}/\text{km}^2$ 。以上数字充分说明我国主要农业经济区,如长江中下游,黄河中下游,珠江三角洲等地区均可能受到大气污染的影响和危害,造成的农业经济损失也一定是相当可观的。

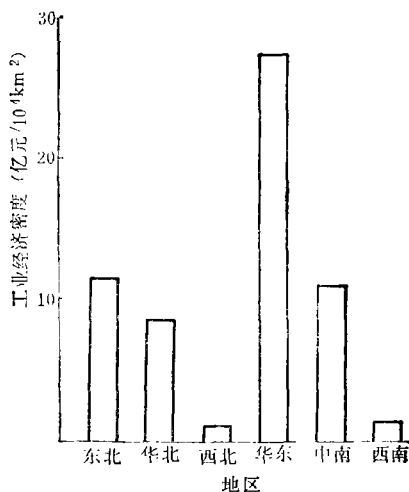


图 4 各地区工业经济密度 (1984)

三、大气污染危害农田面积的估算

迄今我国尚没有大气污染危害农田面积的估算数字。一些污染农田面积的数字只是各省市发生的大气污染急性伤害的统计数字,对大量的慢性伤害和不可见伤害危害的农田面积则很难估算。

有关资料提供了江苏八市 1981 年工业耗煤量与 SO_2 的污染面积 (超过国家大气环境质量的二级标准)。通过相关性分析,我们发现工业耗煤量与 SO_2 污染面积具有显著的正相关。

$$r = 0.8323$$

编 号	南京	常州	无锡	镇江	徐州	扬州	苏州	连云港
$x(10^4\text{t})$	390	72	68	231	116	45	35	57
$y(\text{km}^2)$	360	78	110	75	25	35	78	65

回归方程为:

$$y = 11.74 + 0.7220x$$

目前,在我们难以比较各省、市、自治区工业设备、技术水平、燃煤的含硫量、污染源的类型和特点、地理环境条件和气候条件等差异的情况下,我们暂且用江苏省八城市所

获得的数据,以工业耗煤量建立 SO_2 污染面积的数学模型,粗略地推算全国 SO_2 的污染农田面积。模型形式为:

$$S = aW$$

其中:

S : SO_2 污染面积,单位 km^2

W : 年工业耗煤量,单位 10^4t

a : 系数,其值为 0.7220 , 单位 $\text{km}^2/10^4\text{t}$

1984 年全国原煤产量为 $7.89 \times 10^8\text{t}$, 若工业耗煤量以原煤产量的 70% 计, 1984 年工业耗煤量为:

$$78900 \times 10^4\text{t} \times 70\% = 55230 \times 10^4\text{t}$$

SO_2 污染面积为:

$$S = 0.7220\text{km}^2/10^4\text{t} \times 55230 \times 10^4\text{t} \\ \approx 39876\text{km}^2$$

由于总污染面积中包括了全国城市的市区面积,属非农业种植区。因此,应从总污染面积中减去 297 个城市的市区面积。我们估计,平均考虑,每个城市按 50km^2 的市区面积计算,总面积为:

$$S = 50\text{km}^2 \times 297 = 14850\text{km}^2$$

SO_2 污染的农田面积为:

$$S = 39876\text{km}^2 - 14850\text{km}^2 = 25026\text{km}^2$$

1km^2 约合 100ha ,

$$S = 25026\text{km}^2 \times 100\text{ha}/\text{km}^2 \\ = 2502600\text{ha}$$

该污染面积仅为工业耗煤量造成的,并不包括乡镇工业的污染面积。

1984 年全国有乡镇企业 165 万个。其中乡镇工业约 99 万个。可以造成大气污染的乡镇工业有冶金、煤炭及炼焦、化工、机械、建材、磷肥、陶瓷等。这些乡镇工业约占乡镇工业总数的 60% , 约 59 万个, 其中建材、磷肥、陶瓷约 20 万个。

建材、磷肥和陶瓷以排放氟化物为主。鉴于氟化物的植物毒性大,故每个乡镇工业按污染 50 亩农田计算。20 万个排氟的乡镇工业共污染农田 1000 万亩。

排放其他废气污染物的乡镇工业约 39

万个。每个乡镇工业按污染 20 亩农田计算,共污染农田面积 780 万亩。

乡镇工业污染的农田面积约为 1780 万亩,折合 1187000ha 。

在估算大气污染造成的全国污染农田面积时,应考虑重复计算的问题。以工业耗煤量计算的 SO_2 污染面积和以乡镇工业为单位计算的污染的农田面积有重复部分。我们估计重叠污染的面积约为 30% 左右。因此,全国污染的农田总面积约为 3333500ha 。

根据包头和甘肃的统计数字,已有近 1000 万亩草原(包括部分农田)受到氟污染。

四、大气污染造成农业经济损失费用的估算

在估算大气污染造成的农业经济损失时,以下三个方面作为我们考虑的前提条件。

1. 我国主要的农业经济区大气污染的状况比较严重;

2. 我国以低架源排放为主,污染物的地面浓度和峰值浓度较高;

3. 我国的粮食作物以水稻、小麦、玉米、大豆为主。小麦、大豆属于对大气污染物比较敏感的作物。玉米对 SO_2 不太敏感,对氟化物却比较敏感。水稻欧美研究得很少。根据我国台湾省报道的资料^[6],在台湾农作物受到大气污染的危害以水稻为主,蔬菜和杂粮次之。由此看来,我国主要的粮食作物都可能受到大气污染的危害。与粮食作物相比,果树、饲料和牧草对大气污染物更敏感^[7]。如前所述,我国水果的主要产区集中在大气污染比较严重的辽宁、山东、河北、江苏、浙江、河南、广东等省。

目前,有些地区以大气污染物造成的农业损失的赔款金额以衡量污染的程度和农业经济损失的大小。实际上,赔款金额仅为象征性的赔偿,不能代表全部的农业经济损失。据台湾省的资料估计,(下转第 79 页)

50ml 聚乙烯瓶中进行反萃,不分相保存,待测定时取水相进行测定,也可得到良好的结果。

5. 盐度影响

在相应配比的水与海水混合液中,加入一定量的混合标准溶液。所用海水(盐度 32.8‰)系过滤后经萃取两次的水。若以纯水溶液中某元素的峰高值为 100,则不同配比的海水的相应峰高值见表 3。盐分对萃取影响不大。

6. 空白值及方法检出限

以经萃取提纯之海水为样品,按样品分析步骤进行,测得试剂空白值。以高纯水为样品,测得方法空白值。空白测定 10 次。检出限按方法空白值的 3 倍标准偏差与方法平均空白值之和计算,见表 4。

7. 精密度

对加拿大西海岸海水和厦门港海水过滤后进行分析,结果见表 5。变异系数除 Pb、Cd 在浓度很低时为 $\pm 15\%$ 外,其余均优于 $\pm 10\%$ 。

8. 准确度

为考核方法的准确度,采用了三种检查方法:回收率试验;本方法与质谱同位素稀释法(IDMS)之结果比较,分析标准样品。

(1) 回收率

比较未经萃取的标准曲线与经过萃取的工作曲线之斜率,计算出各元素的回收率。Cu 为 90%; Pb 95%; Zn 85%; Cd 92%; Fe 102%; Co 95%; Ni 90%。

(2) 与 IDMS^[3] 分析结果比较

(上接第 86 页) 全部损失费用约为赔款金额的 5—10 倍。1980 年台湾省由于大气污染造成的农业经济损失约 0.85—1.7 亿元(台币)。

根据我们粗略的分项估算,目前我国每年因大气污染减产粮食约 30 亿斤,经济损失约 15—17 亿元。

参 考 文 献

[1] Newmann, H. H., *Agricultural Meteorology*

对同一样品分别用本方法和 IDMS 分析,所得数值基本一致,见表 6。

(3) 标样 NASS-1 分析

对加拿大国家研究委员会化学部制备的海水痕量金属标准样品 NASS-1 进行了分析,所得结果与参比值符合尚好,见表 7。

三、 结 论

以 APDC/DDDC 络合、氟里昂 TF 萃取、无焰原子吸收测定的方法适合于测定大洋、近岸和河口海水中痕量 Cu、Pb、Zn、Cd、Fe、Co、Ni 等重金属,方法空白值分别为 0.0006、0.001、0.04、0.00014、0.074、0.005 和 0.015 ppb,方法检出限分别为 0.007、0.004、0.11、0.001、0.13、0.006 和 0.03 ppb,操作简便、快速,精密度优于 $\pm 15\%$,准确度好。采用反萃取后,金属元素稳定时间长,便于运输和贮存。

控制沾污是进行 ppb 以下痕量元素分析的关键。采用洁净实验室或洁净操作台,严格水和试剂的纯化,严谨地选择和处理器皿,发展无沾污试样处理技术是准确进行海水中痕量金属分析的重要保证。

参 考 文 献

- [1] Danielson, L. G. et al., *Anal. Chim. Acta*, **98**, 47 (1978).
- [2] Danielson, L. G. et al., *Anal. Chim. Acta*, **144**, 183 (1982).
- [3] Stukas, V. J. and Wong C. S., *Mar. Chem.*, **12**, 133 (1983).
- [4] C.A.G.M. Report, **9**, 5—6 (1982).
- [2] 《光明日报》, 1985 年 6 月 15 日第 4 版。
- [3] 植物生态学译丛(第二集), 24 页, 科学出版社, 1975 年。
- [4] 国家统计局编, 中国统计年鉴, 1983 年。
- [5] 国家统计局编, 中国统计年鉴, 1985 年。
- [6] 郎咸白, 环境科学(台湾省), **2**(2), 10(1982)。
- [7] Guderian, R., *Air Pollution*, p. 95, Springer-Verlag, New York, 1977.