

# 我国大气污染及其对植物的影响

曹 洪 法

(中国环境科学研究院生态所, 北京)

## 摘 要

我国大气污染主要来自城市化和工业化的人类活动。大气污染为煤烟型, 集中在城市和工业区域。本文综述了二氧化硫和氟化物的急性伤害阈值、剂量-反应关系、对植物生产力的影响、植物生理生化效应和大气污染对农业所造成的经济损失等。

关键词: 大气污染, 植物, 影响, 二氧化硫, 氟化物。

## 一、大气环境质量

自1980年以来, 大气污染问题已受到人们密切地关注。我国能源消费量逐年增加, 煤是能源的主要来源(参见表1)。

表 1 我国能源消费和组成  
Table 1 Energy consumption and composition in China

年 份	能源总消费量 (百万吨标准煤)	其中各项比例 (%)			
		煤	石油	天 燃 气	水力发电
1980	602.75	71.8	21.1	3.1	4.0
1982	626.45	73.9	18.7	2.5	4.8
1984	709.04	75.3	17.5	2.4	4.9
1986	808.88	76.0	17.0	2.3	4.7

我国大气污染的特点是煤烟型。80%以上的SO<sub>2</sub>、69%的颗粒物、65%的NO<sub>x</sub>是由电厂、工业窑炉和暖气系统等燃煤过程中排放所致的。1980年氟化物排放量是30万吨, 1985年增加至37万吨。其中80%来自磷肥厂、电解铝厂、玻璃和砖瓦生产<sup>[1]</sup>。

表 2 我国主要城市的大气环境质量 (1985年)  
Table 2 Air quality of cities in China in 1985

污 染 物	地理位置	城 市 数 (个)	浓度范围 (mgm <sup>-3</sup> )	24小时平均浓度 (mgm <sup>-3</sup> )
SO <sub>2</sub>	南 方	33	0.008—0.504	1.10
	北 方	31	0.013—0.225	0.11
TSP	南 方	33	0.224—0.821	0.444
	北 方	31	0.333—1.767	0.740
NO <sub>x</sub>	南 方	33	0.013—0.084	0.05
	北 方	31	0.022—0.094	0.05

我国大气污染主要集中在城市和工业区域。表2的调查资料表明：北方城市中SO<sub>2</sub>与颗粒物24小时平均浓度高于南方。在64个城市中有22.2%的城市超过国家大气环境质量标准。其中贵阳、重庆、天津和本溪等城市超标率分别为73.8%、71.6%、50.6%和46.2%。北方城市颗粒物年日均浓度100%超过国家大气质量标准，南方城市80%超标（参见表3）。

表3 我国大气质量标准（1982年）  
Table 3 Air quality standards in China

浓度值 (mgm <sup>-3</sup> ) 污染物	一级标准		二级标准		三级标准	
	日均值	任一取样值	日均值	任一取样值	日均值	任一采样值
总悬浮微粒	0.15	0.30	0.30	1.00	0.50	1.50
飘尘	0.05	0.15	0.15	0.50	0.25	0.70
二氧化硫	0.05	0.15	0.15	0.50	0.25	0.70
氮氧化物	0.05	0.10	0.10	0.15	0.15	0.30
一氧化碳	4.00	10.00	4.00	10.00	6.00	20.00

1981年到1985年间，北方城市SO<sub>2</sub>浓度逐年有所增加，而TSP浓度则有所下降。南方城市SO<sub>2</sub>和TSP浓度自1983年也在逐渐上升（参见图1、图2）。

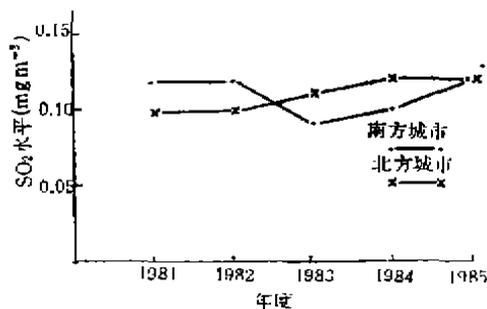


图1 二氧化硫污染趋势

Fig.1 Variation in annual mean SO<sub>2</sub> concentration in cities in southern(—•—) and northern(---×---) China

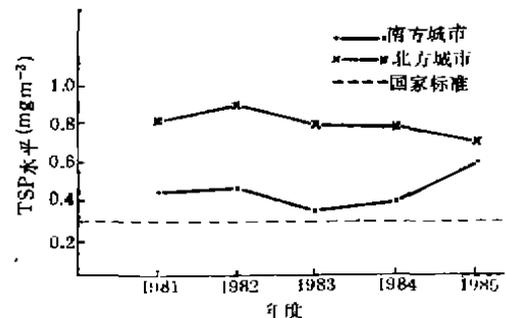


图2 颗粒物污染趋势

Fig.2 Variation in annual mean concentration of total suspended particulates (TSP) in cities in southern(—•—) and northern(---×---) China; (.....) is state standard

我国自1982年起开展了全国性的酸雨普查与监测工作。全国189个监测站533个采样点的监测结果表明：（1）降水年均pH<5.6的地区主要分布在秦岭淮河以南，秦岭淮河以北仅有胶东半岛的烟台—青岛，以及河北省的承德市，石家庄—邯郸—太原一片。（2）降水年均pH<5.0的地区有四川—贵州—湖南—广西，以及安徽东西部—江西东北部—沪杭地区与浙闽沿海一线。（3）南方有13个地市和地区的降水年均pH<4.5（参见表4）。

## 二、大气污染物对植物的影响

### 1. 植物急性伤害与大气污染物剂量的关系

1983—1986年间，采用野外开顶式熏气系统装置和CSTR熏气系统，选择对SO<sub>2</sub>和氟化物敏感性不同的18种植物，研究了植物急性伤害阈与剂量-反应关系<sup>[3-6]</sup>。伤害阈值随植物

表 4 南方部分地区降水年均 pH 值  
Table 4 Range of rain-water pH values for thirteen cities in southern China

城市名称	pH 范围	年均 pH 值
广东韶关	3.36—7.05	4.11
贵州贵阳	3.40—7.35	4.20
遵义	3.21—7.10	4.29
四川宜宾	3.18—7.75	4.26
峨眉山	3.24—7.21	4.28
达县	3.23—7.84	4.48
重庆	3.62—7.60	4.44
湖南洪山	3.41—7.75	4.32
金佛山	4.20—6.65	4.36
郴州	2.82—7.70	4.36
长沙	3.41—7.71	4.32
江西萍乡	3.39—8.62	4.48
广西柳州	3.23—7.84	4.48

敏感性类型的不同而异(见表5)。

评价时间-浓度-反应试验结果表明,  $\text{SO}_2$  和 HF 引起植物可见伤害需要一定的初始暴露时间, 这一时间的长短随浓度而异。植物伤害程度是暴露浓度和时间的函数。决定植物可见伤害程度时, 污染物浓度的作用大于暴露时间。由表6可见: 在不同的  $\text{SO}_2$  浓度作用下, 叶片可见伤害率的增长速度比不同暴露时间作用下快0.33—1.0倍。

## 2. 大气污染物对农作物生长及产量的影响

低浓度的  $\text{SO}_2$  长期暴露抑制了农作物的生长和产量。随着暴露剂量的增加, 干物质积累量和叶面积减少, 株高生长减缓, 产量降低<sup>[7]</sup>(参见图3)。

$\text{SO}_2$  对农作物生长的影响因器官不同而

表 5  $\text{SO}_2$  和 HF 对不同类型植物的急性伤害阈值  
Table 5 Projected pollutant concentration for short-term exposure that will produce 5% injury to plants

污 染 物	时 间 (h)	植物产生 5% 可见伤害所需浓度 ( $\text{mgm}^{-3}$ )		
		敏 感 性	中 等 敏 感	抗 性
$\text{SO}_2$	1	2.88—3.43	4.95—5.78	>11.44
	2	1.86—3.12	3.89—4.69	>10.01
	4	1.67—2.29	1.69—2.86	>8.58
	6	1.17—2.00	1.48—1.83	>7.15
	8	0.88—1.43	0.80—1.45	>5.75
HF	1	0.059—0.085	0.127—0.237	>0.915
	2	0.043—0.071	0.105—0.111	>0.785
	4	0.036—0.066	0.079—0.083	>0.633
	6	0.035—0.059	0.063—0.072	>0.602
	8	0.012—0.043	0.059—0.065	>0.161

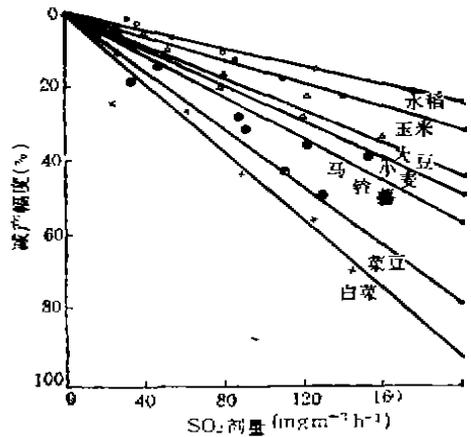
有明显的差异。对叶物质积累的影响大于对叶面积增大的影响; 对茎干物质积累的影响大于对茎高生长的影响; 对产量的抑制主要是抑制了产量构成因子中的一些关键因子。根据各种农作物减产幅度, 所接受的  $\text{SO}_2$  剂量, 推算出我国三类不同敏感性的农作物减产 5% 的环境浓度(见表7)。国外学者确定  $\text{SO}_2$  对植物的慢性伤害值范围为 25—150  $\mu\text{gm}^{-3}$ , 这与我国的结果相吻合<sup>[8]</sup>。

## 3. 植物对大气污染物的吸收和积累

植物对  $\text{SO}_2$ 、氟化物吸收、蓄积的模拟试验以及污染现场测定表明: 在  $\text{SO}_2$  伤害阈值以下, 植物叶片的吸收和积累量随  $\text{SO}_2$  浓度增大和暴露时间延长而增加; 当达到伤害阈值时, 就不随浓度的改变而变化。正常含硫量高的植物, 吸收、积累、转运  $\text{SO}_2$  的能力强; 反之对

**表 6 SO<sub>2</sub>暴露浓度和时间对可见伤害率的影响**  
**Table 6 Injury rate of sulphur dioxide, comparing concentration with duration of exposure**

影响因素	叶片可见伤害平均增加速率%				
	小麦	大麦	棉花	菜豆	大豆
SO <sub>2</sub> 浓度	12.9	11.5	10.5	8.8	8.8
暴露时间 (小时)	9.0	7.9	5.3	6.7	5.5



**图 3 主要农作物减产幅度与SO<sub>2</sub>剂量关系**  
**Fig.3 Relationship between SO<sub>2</sub> dose and reduction of crop yield in (○) rice; (●) maize; (△) soybean; (▲) wheat; (□) potato; (■) pinto bean (phaseolus vulgaris); (x) cabbage) Brassica pekinenses)**

SO<sub>2</sub>吸收、积累能力较弱。树木和农作物对SO<sub>2</sub>污染物均有一定净化能力，其强弱顺序为：阔叶树-农作物-针叶树<sup>[9-10]</sup>。

研究表明：大气中氟化物的作用剂量与植物体内氟化物积累量关系密切，其关系式为：

$$\Delta F = KCT$$

$\Delta F$ : 植物体内氟化物积累量 ( $\mu\text{gm}^{-3}$ )

$C$ : 空气中氟化物浓度 ( $\mu\text{gm}^{-3}$ )

$K$ : 植物体内氟化物积累系数

$T$ : 暴露天数

因 $K$ 值受多种因素影响，必须经大量试验才能求出较为合乎实际的值。表8看出 $k$ 值随植物种类、暴露时间、浓度的不同而异<sup>[11-13]</sup>。

大气环境中氟化物与桑叶、牧草氟化物含量相关性的调查研究表明：在大气环境 $1\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ 氟化物浓度下，桑叶、牧草的氟化物含量 $<30\text{mgkg}^{-1}$ 。该值低于能引起牲畜和家蚕中

**表 7 低浓度SO<sub>2</sub>长期暴露引起农作物减产5%的阈值**  
**Table 7 Sulphur dioxide concentration for long-term exposure causing 5% reduction of crop yield**

农作物类型	代表性农作物	减产5%的所需浓度( $\text{mgm}^{-3}$ )
敏感	土豆、菜豆、大白菜	0.03—0.05
中等敏感	小麦、大豆	0.07—0.08
抗性	玉米、水稻	0.09—0.11

毒的基准值 ( $40\text{mgkg}^{-1}$ )。所以  $1\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$  氟化物环境浓度是不影响植物生长的，也不会通过食物链在家蚕和牲畜体内蓄积中毒<sup>[12-13]</sup>。

#### 4. 大气污染对植物生理生化的影响

在氟化物和SO<sub>2</sub>长期暴露和急性暴露情况下处理的植物，气孔阻力和K<sup>+</sup>离子渗出量增加(参见图4)。

以大豆、小麦、水稻和马铃薯为材料，用 $0.10\text{—}0.42\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}\text{SO}_2$ 熏气40—60天，结果表明，光合作用，蒸腾作用和叶绿素含量降低，呼吸速率增加(图5)。

表 8 几种植物的氟化物积累系数 (K)  
Table 8 Accumulation factor (K) of fluoride of several plants

种类 平均K值	HF $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	暴露时间 (天)	叶含氟量 ( $\text{mgkg}^{-1}$ )	K值	
水稻	2.4	8	98.0	5.1	
	2.4	32	147.0	2.7	
	2.6	4.4	100.0	3.1	
	4.4	24	150.0	1.4	
	7.8	4	120.0	3.8	
7.8	16	176.0	1.4		
蚕豆	6.6	16	1144.0	10.8	
	6.6	28	1537.0	8.4	
	12.3	2.1	544.0	16.0	
	2.1	28	544.0	11.5	
	3.9	16	971.0	15.7	
3.9	28	1013.0	9.4		
云南松	69.2	2	17.2	3.0	
	75.0	1	10.8	1.7	
	2.2	79.0	2	25.0	1.8
	8.5	4	20.8	2.0	
	45.3	8	15.3	2.1	
21.0	7	8.6	1.3		

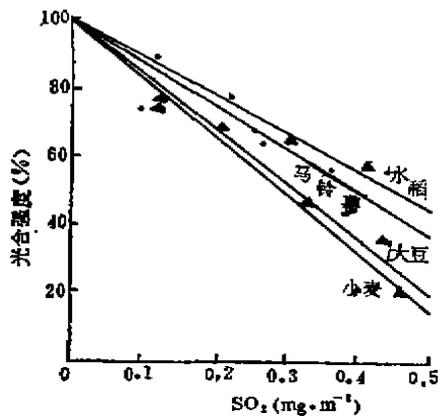


图 5  $\text{SO}_2$  对几种植物光合作用的影响  
Fig.5 Effects of  $\text{SO}_2$  on photosynthesis of several plants

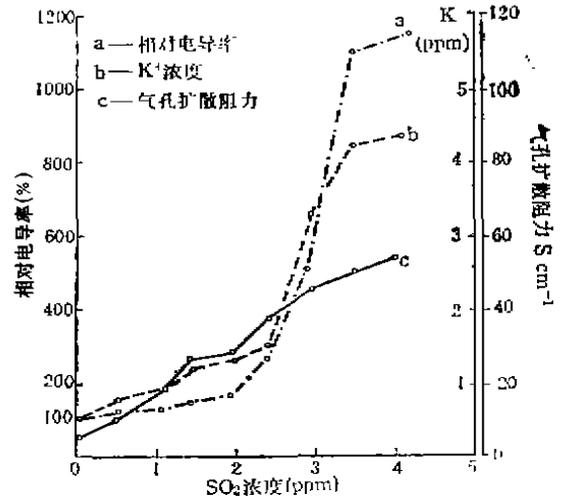


图 4  $\text{SO}_2$  对大豆气孔阻力、相对电导率和  $\text{K}^+$  的影响  
Fig.4 Effect of  $\text{SO}_2$  on  $\text{K}^+$  ion leakage, relative conductivity and stomatal diffusion resistance in soybean

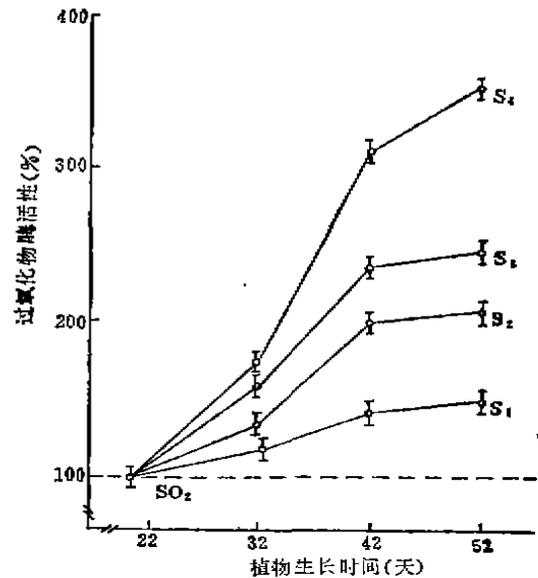


图 6  $\text{SO}_2$  对大豆过氧化物酶活性的影响  
Fig.6 Peroxidase activity of soybean exposed to  $\text{SO}_2$ ;  $\text{SO}_2$  concentration:  $S_1 = 100$ ,  $S_2 = 150$ ,  $S_3 = 200$ ,  $S_4 = 250$  ppb

$\text{SO}_2$  和氟化物可引起酶活性的改变<sup>[20—22]</sup>。超氧化物歧化酶 (SOD) 活性与植物对污染逆境的敏感性密切相关, 植物不同种类之间 SOD 酶活性含量有很大差异。在  $\text{SO}_2$  逆境中, 基础 SOD 酶活性较高的植物, 暴露在低浓度  $\text{SO}_2$  中时, 酶活性上升较快, 随着暴露时间延长而持续上升。在低浓度  $\text{SO}_2$  长期暴露的情况下, 植物过氧化物酶活性增加 (参见图 6)。

### 三、结 论

我国大气环境污染问题集中在城市和工业区域。燃煤和工业生产过程的排放是大气污染的主要来源。模拟试验和现场调查证实： $\text{SO}_2$ 和氟化物的环境浓度可对农作物、树木、蚕桑和牧草产生明显的不利影响。大气污染对农业危害的经济损失，初步估算每年约20亿元。研究确定我国 $\text{SO}_2$ 和氟化物的植物急性伤害阈值以及植物生产力降低5%的环境浓度是十分必要的。为了保护植物和生态平衡，大气污染植物生态效应的研究有待进一步深入。

### 参 考 文 献

- [1] 国家环保局, 1988, 1987环境统计公报. 中国环境报 6月2日第一版.
- [2] 王德春、赵殿五, 1988, 中国酸雨概述, 世界环境 (2):8—11.
- [3] 曹洪法, 1986, 二氧化硫剂量与植物急性伤害关系, 生态学报 6(2):114—119.
- [4] 曹洪法, 1988,  $\text{SO}_2$ 与植物之间的剂量—反应关系的研究, 环境科学研究 1(1):52—81.
- [5] 刘燕云、曹洪法等, 1989, 农作物对 $\text{SO}_2$ 的剂量反应及其急性伤害阈值, 中国环境科学 9(3):183—190.
- [6] 唐述虞、陈树元等, 1987, 植物HF伤害值的研究, 环境科学 8(2):7—9.
- [7] 张耀民, 1988, 二氧化硫对大豆结实影响的研究, 生态学报 6(4):304—311.
- [8] J.N.Bell, 1985, Air pollution and plants. Butterworth Publishers, 116—128.
- [9] 张维平、刘厚田等, 1988, 北方几种农作物和树木对 $\text{SO}_2$ 净化作用的研究, 中国环境科学 8(4):11—15.
- [10] 刘厚田、张维平等, 1988, 太原植被净化二氧化硫能力的研究, 《中国环科院第二届学术报告会论文集》, 第208—214页, 环境科学出版社.
- [11] 卞泳梅、陈树元等, 1987, 大气氟化物对植物的影响, 《南京植物园论文集》, 第63—68页, 江苏科技出版社.
- [12] 潘如圭、汪嘉熙等, 1987, 城市大气氟化物与植物含氟量之间关系的研究, 环境科学 8(2):28—32.
- [13] 郭惠光、曾广权, 1982, 稻叶含氟量与大气氟污染初探, 中国环境科学 2(2):44—48.
- [14] 卞泳梅、谢明云等, 1987, 蚕桑氟污染的监测和预报, 环境科学 8(1):71—74.
- [15] 汪嘉熙, 1981, 氟化物在蚕桑生态系统中的积累和转移, 《环境污染与生态学论文集》, 第31—36页, 江苏科技出版社.
- [16] 汤良玉, 1982, 1982杭嘉湖地区蚕桑地区大气氟污染情况调查, 中国环境科学 4(4):13—19.
- [17] 吴方正、刘超等, 1984, 关于杭嘉湖蚕桑区大气氟基准和监测方法的研究, 中国环境科学 4(4):19—23.
- [18] 孔庆芳, 1985, 包头地区大气氟化物的环境标准研究, 环境科学 3(6):27—32.
- [19] 刘焕文、高德, 1986, 牧草氟污染与家畜慢性中毒的探讨, 环境科学丛刊 7(11):32—38.
- [20] 刘荣坤、李世承, 1982, 二氧化硫对蓖麻叶质膜透性、叶绿素含量和花粉生长的影响, 中国环境科学 1(2):39—43.
- [21] 刘燕云、曹洪法等, 1988, 低浓度二氧化硫对大豆叶片过氧化物同工酶的影响, 《中国环科院第二届学术报告会论文集》, 第232—238页, 环境科学出版社.
- [22] 邹晓燕等, 1989, 植物SOD活性和 $\text{SO}_2$ 敏感性的研究, 中国环境科学 9(6):426—431.

## AIR POLLUTION AND IT'S EFFECTS ON PLANTS IN CHINA

Cao Hongfa

(Institute of Ecology, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing)

Atmospheric pollution in China comes mainly from human activities of urbanization. Air pollution in urban and industrial areas is typically a coal-smoke smog. The paper presents acute injury threshold of  $\text{SO}_2$  and fluoride, dose-response, effects of  $\text{SO}_2$  and fluoride on growth and yield, physiological and biochemical process of plants. Economic consequences of air pollution induced crop damage.

**Key words:** air pollution, plant, effect, sulphur dioxide, fluoride.