

# 氟化物与桑蚕生态系统的研究

钱大复 李正方 汪嘉熙 高绪评\*

(江苏省植物研究所)

近年来随着我国工业的发展,氟对环境的污染已成为一个较为突出的问题,国家已把氟列为重点防治的六种大气污染物之一<sup>[1]</sup>。大气氟污染对农、林、牧、副业有很大危害。由于家蚕对氟污染极为敏感,因此养蚕业特别容易受到影响。当前主要是一些砖瓦厂、磷肥厂、铝厂等排放的含氟气体污染了附近的桑田,使桑叶中的氟化物含量大大增加,蚕取食污染的桑叶后,便会在体内积累氟化物而发生慢性或急性中毒,造成蚕茧产量和质量的降低。近几年农村中小砖瓦窑发展很快,危害蚕桑生产的事件也日益增多。1982年江苏、浙江等省都有不少地区因砖瓦窑的氟污染而使蚕茧明显减产。

桑树从环境中吸收二氧化碳、水分、无机物及日光能,制造营养物质供家蚕利用,家蚕又将物质(能量)传递给其他动物(如鱼类、人类)或回到环境中,形成一个小型的生态系统。我国三大蚕桑产地之一——珠江三角洲地区,农民创造的“桑基鱼塘”(桑基 $\xrightarrow{\text{桑叶}}$ 养蚕 $\xrightarrow{\text{蚕沙}}$ 鱼塘 $\xrightarrow{\text{塘泥}}$ 桑基)<sup>[2]</sup>,就是利用了这个生态系统的物质能量循环。但一旦桑叶从大气中吸收了氟化物,便会转移到蚕体中,病蚕又可以通过排粪、蜕皮、吐丝,以及蚕体、蚕蛹、蚕蛾的腐烂,将来自环境中的氟化物转回环境中去,这就在桑蚕生态系统的物质循环中增添了污染因素,使原来的生态平衡遭到破坏<sup>[4]</sup>。如果大量的氟化物连续不断地通过食物链转移,还可能造成更大的环境污染。

氟化物与桑蚕生态系统的研究至今甚少。我们在1978年研究的基础上,于1980—

1981年又进行了一些试验。

## 试 验 方 法

### 一、氟污染源附近的调查和测定

在无锡一个大型砖瓦厂的轮窑(烟囱高37米)附近,分别对经常受大气氟污染和基本无污染的桑田,进行大气、土壤和桑树(包括叶、茎、根等)的含氟量测定,了解氟污染程度和分布状况。大气氟化物测定,采用去离子水吸收-茜素酮比色法;土壤水溶性氟含量用水提取-氟电极法。

### 二、人工饲养试验

以不同浓度(50、100ppm)的氟化钠溶液浸渍桑叶5分钟,使桑叶含有不同量的氟化钠。每次浸渍后测定桑叶的实际含氟量。桑叶晾干后喂养家蚕[品种:苏<sub>3</sub>×苏<sub>4</sub>(1980)和秋<sub>3</sub>苏<sub>3</sub>×苏<sub>4</sub>(1981)],分析各龄蚕体、蚕粪以及蚕皮、蚕蛹、蚕茧中的含氟量,了解氟化物的积累和转移情况。上述各样品的含氟量测定,均采用氧瓶燃烧-茜素酮法。

## 试 验 结 果

一、氟污染源附近大气、土壤和桑叶中的含氟量

通过采样测定,其结果见表1。

从表1可知,在污染源300米范围内大气中氟化物的浓度很高,如100米左右处的桑田,地面大气氟浓度高达0.12毫克/立方米(相当于147ppb),而距污染源1000米左右

\* 徐宝和、卞咏梅、谢明云等同志参加部分工作,中国农科院蚕业研究所提供蚕种,谨致谢意。

表 1 窑厂附近大气、土壤和桑叶中的含氟量\*

采样地点及受害情况	距污染源 (m)	大气氟化物 浓度 (mg/m <sup>3</sup> )	土壤中水溶性氟含量 (ppm)		桑叶含氟量 (ppm)	
			10—20cm	20—50cm	6月17日**	9月25日***
1号桑田(经常受害)	约 100	0.12	2.94	2.75	91.9	76.4
2号桑田(有时受害)	约 300	0.09	2.75	1.95	70.4	61.2
3号桑田(从未受害)	约 1000	0.029	2.60	3.85	53.6	50.4

\* 大气测定日期: 1980年5月27—28日; 土壤采样日期: 1980年6月16—17日。

\*\* 测定的是春叶;

\*\*\* 测定的是夏季长出的叶片。

右的桑田地面, 大气氟浓度只有 0.029 毫克/立方米, 约为前者的 1/4。桑叶中含氟量与距污染源的成反比。与地面大气氟浓度成正比。例如距污染源 100 米处的桑叶含氟量较 1000 米处的高出约 25—40ppm。土壤中水溶性氟含量与距污染源的远近之间, 没有明显的相关性, 各点的含量均不高, 一般在 2—4ppm 之间, 表土略高于下层。可见桑叶的氟污染主要直接来自大气。

二、氟化物在桑树各部位中的积累和分布

生长在大气氟污染地区的桑树, 能够积累一定数量的氟化物, 但各部分积累氟化物的数量是不同的。现将污染区与清洁区桑树各部分的含量列于表 2。

从表 2 可知, 生长在污染区的桑树, 以叶片的含氟量最高, 根部的含量最低, 而枝条、木质部和皮部的含氟量几乎相同。

如将污染区桑树各部位的含氟量, 减去清洁区的含氟量, 便是氟化物的积累量。其积累量用百分数来表示, 可以看出: 污染区氟化物在桑树各部位中, 主要积累在叶片中, 占 51.0%; 其次是树皮中, 占 22.6%; 枝条中占 17.4%, 木质部占 6.4%; 而根部积累最

表 2 桑树各部位中的氟化物含量 (ppm)

地点	叶片	枝条 (一年生)	主 茎		根	备 注
			皮部	木质部		
污染区	91.9	48.8	48.4	48.8	42.0	距污染源 100 米处
清洁区	37.6	30.3	24.4	42.0	39.2	江苏植物研究所

少, 仅占 2.6%。

三、氟化物在蚕体和蚕粪中的积累和转移

1. 在蚕体内的积累和转移

在家蚕 2—5 龄期连续喂食含氟桑叶后, 各龄蚕体中的含氟量分析结果见表 3。

表 3 喂食含氟桑叶后各龄蚕体中的含氟量 (ppm) 变化\*

桑叶含氟量	龄 期**				
	2	3	4	5	
				第 5 天	第 8 天
10—15ppm(对照)	31.2	57.2	58.6	42.4	54.4
20—30ppm	79.2	79.8	79.8	73.0	56.4

\* 喂养日期: 1980年5月5日—5月31日

\*\* 2—4 龄蚕体的含氟量是指各龄眠期的含量

从表 3 可知, 无论喂正常叶或喂污染叶, 蚕体内的含氟量都有一个积累和保持相对平衡的过程。喂污染叶的蚕体内含氟量, 上簇前还有一个明显的下降现象。如从 2 龄开始喂食污染叶后, 当龄蚕体的含氟量要比喂正常叶的高出 1.5 倍以上, 说明这时的积累速度很快; 而 3—4 龄蚕体的含氟量保持不变, 几乎与 2 龄蚕的含量一样, 说明这时积累速度减慢, 达到了相对的平衡。到 5 龄第 5 天蚕体内含氟量稍有下降, 而到上簇前 1—2 天内, 蚕体中含氟量明显下降到接近正常蚕体的含量。

2. 在蚕粪内的积累和转移

以氟化物含量不同的桑叶喂养家蚕后,

表 4 喂食含氟桑叶后各龄蚕的排粪量(毫克\*\*/头/天)和蚕粪含氟量\*(ppm)

桑叶含氟量 (ppm)		龄 期									
		2		3		4		5			
		数量	%	数量	%	数量	%	前 1-6 天		后 3-5 天	
数量	%							数量	%		
10-15 (对照)	排粪量	1.25	100	7.62	100	57.30	100	279.0	100	358.7	100
	含氟量	21.60	100	31.20	100	34.80	100	20.0	100	26.3	100
20-30	排粪量	1.23	98.4	6.28	82.4	46.30	80.8	193.7	69.4	351.5	98.0
	含氟量	26.40	122.2	44.00	141.3	36.80	105.7	34.0	170.1	53.8	204.7
40-50	排粪量	1.08	86.4	6.43	84.4	47.00	82.0	166.0	59.5	336.8	93.9
	含氟量	28.80	133.3	51.60	51.60	165.4	54.80	157.5	56.4	73.8	280.8

\* 喂养日期: 1981年6月4日-7月3日 \*\* 指干重

各龄蚕粪中含氟量和排粪量有较大的差别,其结果见表4。

从表4可知,喂食桑叶中含氟量越高,各龄蚕粪中含氟量也越高,其中以5龄最为明显。例如,上簇前几天,喂食含氟量为20-30ppm桑叶的,蚕粪含氟量为53.8ppm,较对照高一倍;桑叶含氟量为40-50ppm时,蚕粪含氟量为73.8ppm,较对照高出近两倍。喂食污染叶后各龄蚕的排粪量都有所下降,其中也以5龄期下降最为明显。如以喂食40-50ppm桑叶为例,2-4龄期的排粪量较对照降低40%左右。

如将各龄蚕的排粪量和粪中含氟量计算出各龄蚕的每头排氟量来比较(见表5),更清楚地表明,喂食污染叶与正常叶的蚕体排

表 5 喂食含氟桑叶后每头蚕各龄期的排氟量和排氟总量\*

桑叶含氟量 (ppm)	各龄期排氟量 ( $\mu\text{g}$ )					总排氟量 ( $\mu\text{g}$ )
	2	3	4	5		
				前1-6天	后3-5天	
10-15 (对照)	0.11	1.19	11.97	33.48	28.26	75.00
20-30	0.13	1.66	11.92	39.51	75.57	128.79
40-50	0.16	1.99	18.03	56.17	124.29	200.54

\* 排氟量计算方法: 各龄蚕[每头每天的排粪量(干重)×含氟量×天数]

氟量,在4龄前差异不大,排氟量也不高;而到5龄期排氟量明显增加,差异也大。这显然是5龄蚕后期蚕体内含氟量明显下降的原因。

四、蚕体中氟化物向蚕皮、蚕蛹和蚕茧中的转移

以含氟桑叶喂养家蚕(2-5龄)后,进一步分析了蚕皮、蚕蛹和蚕茧的含氟量,测定结果见表6。

表 6 含氟桑叶喂食后家蚕各类样品中的含氟量(ppm)

桑叶含氟量 (ppm)	蚕 皮		蚕 蛹	茧 壳
	大眠皮	化蛹皮		
10-15 (对照)	62.4	69.2	21.6	49.2
20-30	117.6	75.6	21.2	52.0

从表6可知,氟化物在蚕皮内积累最为明显,特别是大眠(4眠)皮,在20-30ppm含氟桑叶喂养下,皮中含氟量可高达100ppm以上,较对照高出近一倍。氟化物在蚕蛹中积累最少,喂污染叶的与对照的蚕蛹含氟量几乎相同。茧壳中的含氟量虽较蚕蛹高得多,但与对照的茧壳含量相比差别很少。

## 讨 论

一、砖瓦厂排放的氟化物对附近桑田的

影响是比较严重的。氟化物主要来自砖坯和烧煤。因为砖坯中的含氟量很高，一般在 300—400ppm 以上（江浙一带），在烧砖过程中，有 85% 的氟化物散逸到空气中去；同时，作为燃料的煤含氟量也在 100—200ppm 以上，在燃烧过程中（1000℃）可有 78—100% 的氟气释放到空气中去。根据我们在无锡某砖瓦厂的短期测定，离窑 300 米以内地面空气中氟化物浓度在 100.1—134.4ppb，大大超过国家规定的地面容许浓度 7.8ppb。据日本文献报道，在人工实验装置内，把桑叶暴露于 30ppb 的氟化氢气体中，经过大约 12 小时，桑叶叶缘即出现受害症状，其时叶中含氟量约为 98—107ppm（干重）<sup>[5]</sup>。含氟量已大大超过对家蚕的致害浓度（30—40ppm）<sup>[5]</sup>。当然在野外条件下，由于风向、风速、温度和气压等因素的影响，大气中氟化物的浓度变化是很大的，同时叶片吸收和吸附的氟化物，也会因雨水淋洗和转移而减少一部分。但长期处在污染条件下，氟化物还是能在桑叶中逐步积累起来，达到较高的浓度（几十 ppm 到几百 ppm），使蚕中毒，甚至死亡。由此可见，这是砖瓦厂附近养蚕经常受影响的主要原因。

根据污染区桑树各部位的含氟量分布表明：氟化物主要积聚在桑叶中<sup>[3]</sup>，其次是树皮，而木质部和根部积累很少。这一事实可以说明氟化物主要由叶片吸收，树皮也可以吸收或吸附一部分，而很少向木质部和根部转移。

二、在桑蚕生态系统中，大气氟化物可向桑树、蚕体（包括蚕粪）、土壤及水体转移而形成循环（见图 1）。在转移中桑叶有较高的富集浓缩氟化物的能力，但富集程度与大气中氟的浓度和接触时间有很大的关系。大气中氟浓度低，接触时间长，桑叶中氟的浓缩系数就高；反之则低。据日本资料报道，桑树在含有 1.5ppb 氟化氢气体的大气中接触 118 小时，桑叶中的含氟量为 129ppm（未见受害症状），其浓缩系数（ $C_b/C_a$ ）高达 86000；桑树

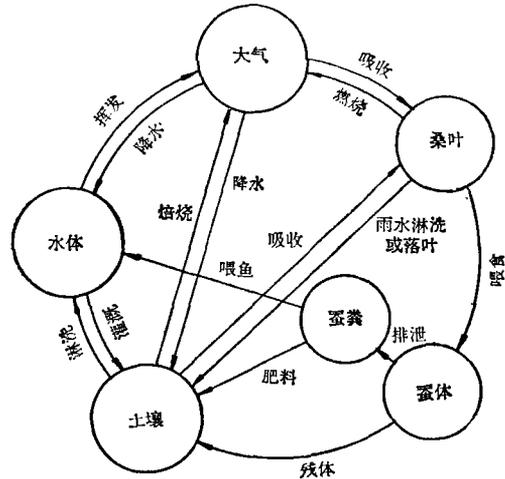


图 1 大气氟化物在桑蚕生态系统中的循环

在含有 30ppb 氟化氢的大气中接触 12 小时，桑叶中的含氟量为 123ppm（叶缘受害），其浓缩系数为 4100；当大气氟浓度为 200ppb，接触 2 小时，桑叶中含氟量为 120ppm（5% 的受害面积）<sup>[7]</sup>，其浓缩系数只有 600。据我们在野外条件下测定，大气中氟浓度为 147ppb 时，桑叶中含氟量为 91.7ppm（未见受害症状），其浓缩系数为 625。由此可见，桑叶的浓缩系数可在 600—86000 的范围内。蚕体一方面因食下含氟桑叶而积累氟化物，同时通过粪便、蜕皮将大量的氟化物排出体外，因此其浓缩系数并不高，约在 400—500 之间（蚕体未出现受害症状）。土壤中可溶性氟含量不高，原因可能是增加的氟化物被雨水淋失而进入水体，使水体中含氟量增加。据我们测定，砖瓦厂附近的河水中含氟量为 0.48 毫克/升，井水中含氟量为 0.24 毫克/升，均高于非污染区（0.19 毫克/升），但含量仍在地下水标准以下，还不会使人畜产生慢性氟中毒的危害。

三、人工饲养试验表明：氟化物在家蚕生长发育中有一个积累、平衡和下降的过程。这说明家蚕可能有一种自身生理调节的机能，在一定容许浓度范围内能在体内保持积污量和排污量之间的相对平衡，而到结茧前

能把体内多余的氟,通过粪便排出体外。但上述现象是在本试验所用的氟化物浓度(慢性致害浓度)范围内出现的,在较高的浓度下是否也会如此,有待进一步的研究。

四、两年的人工喂养试验表明:蚕体中积累的氟化物进一步在各部分中转移分布的

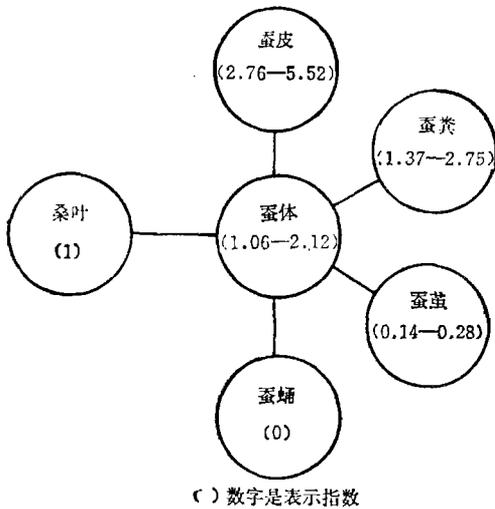


图 2 在人工含氟桑叶喂养下家蚕各部分中氟化物的积累分布(已减去本底值)

情况如下:蚕皮>蚕粪>蚕茧>蚕蛹(见图 2)。蚕蛹中的含氟量最低,因此不会影响食用和医药用。蚕皮内积累的氟最高,因此蚕皮如作为废弃物,其中氟化物会转移到土壤或水中去。蚕体和蚕粪内的含量,一般随氟污染的程度而变化,中毒严重的蚕体和蚕粪中含氟量很高<sup>[6]</sup>。根据本试验推算,每张蚕种(以 20000—21000 头计)全龄期可从粪便中排出约 5 克的氟化物(未喂污染叶的可排出约 2 克的氟化物)。因此,为了防止氟化物在食物链中转移,不要将受氟污染的蚕桑废渣用以喂鱼、养猪、养羊等,最好用石灰处理,经充分腐熟后作肥料使用。

#### 参 考 文 献

- [1] 丁俊清,中国环境科学,创刊号,77—82(1981)。
- [2] 张社尧,环境,7,22—23(1981)。
- [3] 黄自然等,广东农业科学,4,35—37(1981)。
- [4] 汪嘉熙等,环境污染与生态学文集,江苏科技出版社,78—81 页,1981。
- [5] 汪嘉熙等,环境污染与生态学文集,江苏科技出版社,72—77 页,1981。
- [6] 马德和等,蚕业科学,8(4),209—212(1982)。
- [7] 栗林茂治,日本蚕系学杂志,41(4),316—322(1972)。
- [8] 栗林茂治,日本蚕系学杂志,46(6),539—544(1977)。

## 用常规地面气象资料估算大气混合层深度的一种方法

马 福 建\*

(南京大学气象系)

### 一、前 言

在大气环境质量评价和污染预报的研究中,混合层深度是十分重要的参量之一。通常我们在求取混合层深度时不是直接由湍流场参量来决定,而是用受湍流混合直接影响的气象参量如风速、风向和温度廓线等来估

算的。

国外研究者曾提出过一些估算混合层深度的方法<sup>[1-3]</sup>,但这些方法都需要高空气象观测资料,对于远离高空气象台站地区是极不方便的。Nozaki<sup>[4]</sup>提出了一种用地面气象资

\* 金钧同志参加了本文的资料计算工作。