

有效系数这一因素。

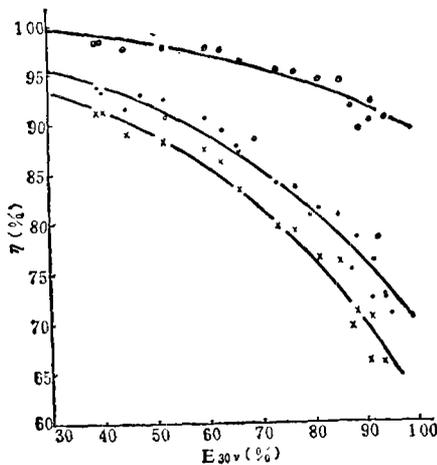


图5 活性污泥有效系数与参数 E_{30v} 的关系
 ○—— $\eta = (1.012 - 0.222E_{30v})^{1/2}$, 相关系数 = -0.947 ($\phi_j = 3.7 \times 10^{-2}R_j$).
 ●—— $\eta = (0.953 - 0.461E_{30v})^{1/2}$, 相关系数 = -0.979 ($\phi_j = 7.4 \times 10^{-2}R_j$).
 ×—— $\eta = (0.901 - 0.531E_{30v})^{1/2}$, 相关系数 = -0.978 ($\phi_j = 9.0 \times 10^{-2}R_j$).

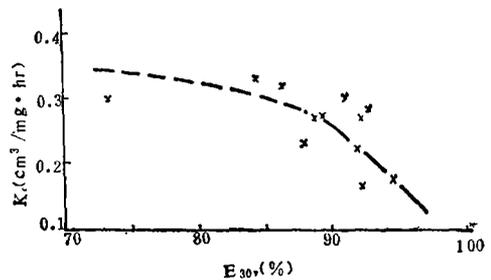


图6 溶解性 COD 降解速率常数 k_c 与参数 E_{30v} 的关系 搅拌速度 $n = 600-3000\text{rpm}$, 水温 $T = 18 \pm 1^\circ\text{C}$, MLVSS 为 1g/l 左右 ($k_c = 0.16 - 0.33$, 相关系数 = $0.90-0.99$).

参 考 文 献

- [1] La Motta, et al., *J. Envir. Eng. Div. ASCE*, EE4, 655—673 (1979).
- [2] 陈甘棠 梁玉衡, 化学反应技术基础, 237 页, 科学技术出版社, 上海, 1978 年.
- [3] Matson, J. V. and W. G. Charcklis, *Water Research*, 10, 877—885 (1976).
- [4] Ngian, K. F. et al., *Biotech. Bioeng.*, 19, 1733—1784 (1977).

包头地区大气氟化物环境质量标准的研究

——植物基准实验

孔庆芳 张志强 王 现

(包头市环境保护科学研究所)

自 1968 年以来,包头市大气氟污染给包头地区农牧业生产带来很大损失。为了有效地控制污染,减少对农业的危害,我们在 1982 年至 1983 年进行了氟化物大气环境质量标准的研究。根据资料介绍^[1],建立氟化物空气质量基准需用三个基准值,即:植物含氟量、大气含氟量、植物受害度(坏死、失绿)。本试验目的在于探讨这些基准值。

一、方法和材料

(一) 实验点的选择

1982 年在包头主要氟污染源——包钢西向(下风向)65 公里范围内设立了七个实验点,各点距包钢距离(km)分别是:宋家壕 1.5,哈业脑包 5.7,乌兰计 12,哈业胡同 22,和顺庄 35.5,百彦花 46,公庙子 65。对

照点选在包钢东向 65 公里的土右旗沟门公社。1983 年对实验点进行了调整, 弃去百彦花, 公庙子和沟门公社三个点, 在包钢西向 2.5 公里和 7.5 公里处又增设了明家营子和背锅窑子两个点, 上述各点气候条件基本相同。

在各点设置了一个 3 米 × 5 米的实验小区。为了排除土壤氟含量对植物的影响, 除对照点沟门公社外, 其余各点在小区内取出 50 公分厚的土壤, 用塑料布铺底, 然后回填了水溶氟为 2.5—4.0ppm 的非污染区土壤, 对照点土壤水溶氟为 2.4ppm。上述实验点的土壤均为栗钙土, 肥力中等。

(二) 供试植物的选择

供试植物选用了氟敏感的唐菖蒲(杂色花)和本地区主要大田作物。大麦(沪麦 4 号)、小麦(波塔姆)、高粱(同杂 2 号)、玉米(英 64 × 铁 84)及紫花苜蓿等六种植物。各试验点栽培管理条件亦大体一致。

(三) 田间观察与取样分析

每隔 1—2 周到田间观察植物的生长情况并记载生育期。每月采集植物叶片测定其含氟量并监测试验点的外环境含氟情况。作物成熟期采集全株, 测定其叶片和果氟的含量, 进行室内烤种。

大气氟采样选用石灰滤纸法(LTP), 单位为微克/分米²·天。所有植物样品氟的分析均采用酸碱浸取氟电极法。

二、结果与讨论

(一) 各试验点环境介质中含氟量及 pH 值

试验期间每月采集各点大气、小区内耕作层土壤及灌溉用水, 测定其含氟量和 pH 值, 结果见表 1。

表 1 表明, 宋家壕、明家营子、哈业脑包和背锅窑子的大气氟日均值都在 1 微克/分米²·天以上, 其余各点都在 1 微克/分米²·天以下。

试验初, 各点土壤水溶氟含量均在 4ppm 以下, 差异不大。试验期间因宋家壕、明家营子土氟含量有所增加, 其余各点均无大的变

表 1 各试验点环境介质中含氟量及 pH 值

实验地点	年份	气氟 日均值	土壤		灌溉水	
			水溶氟 (ppm)	pH	氟 (ppm)	pH
宋家壕	1982	4.07	8.8	8.3	0.5	8.1
	1983	3.13	11.2	8.3	0.7	8.1
哈业脑包	1982	1.92	4.7	8.1	0.6	8.3
	1983	1.34	5.0	8.1	0.7	8.3
乌兰计	1982	0.90	4.7	8.2	0.3	8.4
	1983	0.79	4.8	8.2	0.3	8.4
哈业胡同	1982	0.61	4.4	8.2	0.2	8.3
	1983	0.40	4.5	8.2	0.2	8.3
和顺庄	1982	0.55	5.4	8.3	0.6	8.2
	1983	0.37	6.0	8.3	0.4	8.2
白彦花	1982	0.46	4.4	8.2	0.3	8.4
	1983	—	—	—	—	—
公庙子	1982	0.54	5.6	8.2	1.1	8.4
	1983	—	—	—	—	—
沟门	1982	0.22	2.8	8.3	0.7	8.5
	1983	—	—	—	—	—
明家营子	1982	—	—	—	—	—
	1983	3.33	4.9	8.2	0.7	8.2
背锅窑子	1982	—	—	—	—	—
	1983	1.17	4.1	8.2	0.5	8.1

化。不少资料报道, 土壤中氟化物对植物的损害是不重要的。表 1 说明, 各点土壤(除宋家壕外) 和灌溉水的 pH 值及水氟含量都很接近, 没有超过农田灌溉用水的水质标准(氟 3.0ppm, pH=5.5—8.5), 对植物的生长不会有影响。所以本实验各点植物生长的差异无疑是大气氟浓度差异所致。

(二) 大气氟浓度对植物叶氟, 果氟的影响

两年实验结果表明, 植物叶氟、果氟和大气氟浓度基本呈现一致性变化, 其结果见表 2。

表 2 表明大气氟浓度在 3 微克/分米²·天

天左右各试验点,小麦、大麦、高粱和玉米的叶氟均有显著积累。除玉米外其它作物的果氟也有明显积累。气氟在 2 微克/分米²·天以下的各点叶氟、果氟含量差别并不明显。

根据表 2, 我们计算 3 微克/分米²·天以下气氟与叶氟的相关关系。

大气氟在 2.8 微克/分米²·天以下时,叶氟在 33ppm 以下。

(三) 大气氟化物浓度与植物氟蓄积的关系

大气氟化物浓度和植物体内氟的富集,即剂量—反应关系。Adams 等用暴露系数(K)来表示^[2]:

$$K = \Sigma(C)(T)$$

式中 C 为大气氟浓度(微克/分米²·天); T

为暴露时间(天)。

本实验以紫花苜蓿为材料,从出苗开始每月实测气氟、叶氟,并根据上述公式计算暴露系数,结果见图 1。

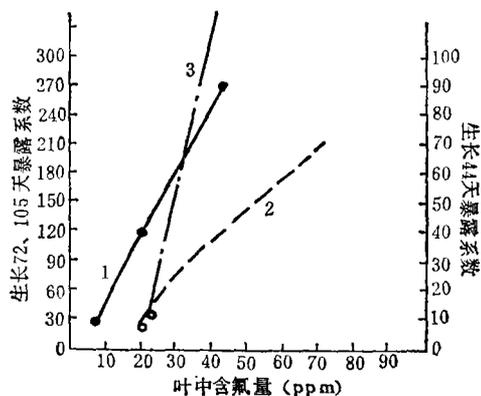


图 1 紫花苜蓿暴露系数与叶氟关系

1. 生长 44 天; 2. 生长 72 天; 3. 生长 102 天

表 2 大气氟对植物叶氟果氟含量的影响

单位: ppm

地点	年份	生长期 大气氟 日均值	小麦		大麦		生长期气 氟日均值	高粱		玉米	
			叶氟	果氟	叶氟	果氟		叶氟	果氟	叶氟	果氟
宋家壕	1982	4.64	59.0	2.2	55.0	3.7	4.07	58.0	2.7	74.0	1.0
	1983	3.26	148.0	2.7	90.0	3.3	3.13	80.0	2.9	56.0	0.7
哈业脑包	1982	2.16	24.0	1.9	22.0	2.3	1.92	20.0	1.6	20.1	1.0
	1983	1.37	17.5	1.0	17.3	2.3	1.34	19.3	1.6	19.3	0.8
乌兰计	1982	0.98	12.8	1.4	14.6	1.6	0.90	11.0	1.4	17.6	1.0
	1983	0.76	14.4	0.8	12.1	1.3	0.79	12.0	1.6	8.4	0.5
哈业胡同	1982	0.61	11.2	1.2	9.6	1.9	0.61	13.4	1.3	13.4	0.93
	1983	0.35	7.7	0.9	8.4	1.2	0.40	12.4	1.4	6.6	0.5
和顺庄	1982	0.60	15.6	1.2	12.6	1.9	0.55	7.0	1.1	6.6	0.93
	1983	0.31	7.1	0.6	7.9	1.2	0.37	15.8	1.3	6.8	0.6
白彦花	1982	0.49	11.6	1.1	10.4	1.9	0.46	—	1.3	—	—
	1983	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
公庙子	1982	0.56	9.0	1.1	8.2	1.6	0.54	9.0	1.1	2.3	0.98
	1983	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
沟门	1982	0.23	5.6	1.0	8.4	1.7	0.22	4.3	1.0	2.8	0.97
	1983	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
明家营子	1982	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	1983	2.85	114.0	3.3	76.0	4.0	3.33	86.0	3.1	70.0	0.8
背锅窑子	1982	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	1983	1.15	16.2	1.2	16.1	2.1	1.17	14.6	1.5	13.0	0.8

表 3 1982 年大气氟对大麦生长性状的影响

地 点	LTP (6-8月) ($\mu\text{g}/\text{dm}^2 \cdot$ 天)	株高 (cm)	穗长 (cm)	穗粒重 (g)	穗粒数 (个)	小穗数 (个)	有效分蘖 (个)	单株粒重 (g)	叶氟 (ppm)	地上部干重 (g/株)
宋家壕	4.64	56.90	4.6	0.60	12.60	16.7	3.2	0.97	55	1.00
哈业脑包	2.16	60.70	4.5	0.57	12.19	16.3	1.4	0.98	22	1.17
乌兰计	0.98	63.85	4.9	0.58	13.10	16.8	2.7	1.07	14.6	1.28
哈业胡同	0.61	77.10	5.2	0.65	13.20	19.2	1.2	1.24	9.6	1.36
和顺庄	0.60	64.60	5.1	0.68	15.98	18.2	1.3	1.23	12.6	1.36
白彦花	0.49	66.05	5.1	0.61	17.17	18.4	0.2	0.73	10.4	—
公庙子	0.56	68.10	5.5	0.69	—	19.8	1.2	1.51	8.2	1.62
沟 门	0.23	73.00	5.4	—	—	17.8	0.4	0.80	8.4	1.38

表 4 1983 年大气氟对小麦生长性状的影响

地 点	LTP (5-7月) ($\mu\text{g}/\text{dm}^2 \cdot$ 天)	株高 (cm)	有效分蘖 (个)	株粒数 (个)	穗长 (cm)	小穗数 (个)	单株粒重 (g)	叶氟 (ppm)	地上部干重 (g/株)
明家营子	2.85	54.4	1.5	33.7	5.8	10.3	1.0	114.0	0.93
哈业脑包	1.37	63.4	1.3	26.8	5.9	10.5	0.8	17.4	0.92
乌兰计	0.76	73.7	1.1	25.4	6.2	10.7	1.0	14.4	0.78
哈业胡同	0.35	73.6	1.4	40.4	7.2	12.6	1.3	7.6	1.54

表 5 1982 年大气氟对高粱生长性状的影响

地 点	LTP 值 ($\mu\text{g}/\text{dm}^2 \cdot$ 天)	株高 (m)	穗长 (cm)	穗粒重 (g)	千粒重 (g)	生长日数 (天)	叶氟 (ppm)
宋家壕	4.07	1.90	21.9	44.07	18.36	145	98.0
哈业脑包	1.92	1.92	26.3	59.70	36.84	129	29.9
乌兰计	0.90	2.14	23.4	55.50	25.34	127	11.9
哈业胡同	0.61	1.97	25.3	61.58	24.76	129	13.4

表 6 1983 年大气氟对玉米生长性状的影响

地 点	LTP 值 ($\mu\text{g}/\text{dm}^2 \cdot$ 天)	株高 (m)	秃顶长 (cm)	不结实率 (%)	双棒率 (%)	穗长 (cm)	单穗粒重 (g)	千粒重 (g)	生长日数 (天)	叶氟 (ppm)
明家营子	3.33	1.78	4.85	12.5	14.3	17.21	132.30	359.9	128	70.0
哈业脑包	1.34	2.15	4.54	7.8	7.7	16.42	95.84	237.8	112	19.3
	1.92*	2.50*	4.30*	—	—	23.30*	117.69*	239.7*	127*	17.6*
乌兰计	0.79	2.76	2.00	0.0	7.7	17.00	163.00	322.8	133	8.4
哈业胡同	0.40	2.22	1.83	0.0	5.8	16.59	126.48	312.2	133	6.6

* 为 1982 年结果。

由图 1 可以查出, 紫花苜蓿的暴露系数为 100 时, 根据公式, 气氟与其它因素有如

下的关系: 当气氟在 1 微克/分米²·天时, 生长 100 天查图中 105 天的曲线, 叶氟为

表 7 大气氟对高粱、玉米生育期的影响

地点	年份	生长期 气氟日均值	播种期	高 粱			玉 米		
				孕穗	开花	成熟	抽雄	抽丝	成熟
宋家壕	1982	4.07	4月29日	7月27日	8月14日	10月5日	7月27日	8月5日	10月5日
	1983	3.13	4月20日	7月18日	8月5日	9月22日	7月22日	8月5日	9月28日
明家营子	1983	3.33	4月20日	7月23日	8月5日	9月28日	7月22日	8月5日	9月22日
哈业脑包	1982	1.92	4月29日	7月12日	7月27日	9月17日	7月12日	7月27日	9月17日
	1983	1.33	4月20日	7月1日	7月18日	8月19日	7月10日	7月22日	9月6日
背锅窑子	1983	1.17	4月20日	7月8日	7月22日	9月6日	7月18日	7月22日	9月20日
乌兰计	1983	0.79	4月20日	7月1日	7月22日	9月6日	7月18日	7月18日	9月20日
哈业胡同	1982	0.61	4月29日	7月12日	7月20日	9月17日	7月12日	7月17日	9月17日
	1983	0.40	4月20日	7月1日	7月22日	8月26日	7月10日	7月18日	9月20日
和顺庄	1982	0.55	4月29日	7月12日	7月25日	9月17日	7月12日	7月27日	9月17日
	1983	0.37	4月20日	7月1日	7月22日	8月26日	7月22日	8月1日	9月20日

27ppm; 同理当气氟在 1.39 微克/分米²·天 时, 生长 72 天, 叶氟为 37ppm; 当气氟为 2.27 微克/分米²·天 时生长 44 天, 叶氟为 47ppm.

(四) 大气氟对作物生长发育的影响

1. 对生长性状的影响

据报道^[3], 大气污染物质不仅能使植物产生各种可见症状, 并且对植物的生长发育也有明显的影响. 受试作物生长状况的调查和统计分析结果, 列于表 3、表 4.

以上两表可以看出, 大气氟浓度超过 2 $\mu\text{g}/\text{dm}^2 \cdot \text{天}$ 的试验点, 小麦和大麦的生长性状都较其余各点低(株高, 穗长), 而叶氟含量高; 表明气氟超过此浓度时, 小麦和大麦生长, 发育受阻. 在此浓度以下生长正常. 因此, 初步认为保护小麦大麦正常生长的大气氟阈值应为 2 微克/分米²·天, 此时叶氟含量应在 25ppm 以下.

对高粱、玉米的生长影响见表 5、表 6.

本实验表明对高粱、玉米来讲气氟在 2 微克/分米²·天 以上时生长受到抑制, 高粱表现在穗长, 穗粒重和千粒重减少, 叶氟、果氟增高; 玉米表现在秃顶加长, 不结实率、叶氟增高. 2 微克/分米²·天 以下时, 高粱生长

127—129 天, 玉米生长 112—133 天, 对生长性状及含氟量影响并不明显. 因此, 我们认为保护高粱、玉米正常生长的大气氟阈值应为 2 微克/分米²·天, 此时叶氟应在 20ppm 以下.

2. 大气氟对作物生育期及产量的影响

两年试验结果表明, 大气氟浓度增高, 对夏收作物(小麦、大麦)的生育期不产生明显影响, 而对大秋作物(高粱、玉米)的生育期产生了显著的影响. 结果见表 7. 大气氟浓度在 2 微克/分米²·天 以下时, 高粱、玉米的生育期没有大的变化. 在 3 微克/分米²·天 以上

表 8 1982 年大气氟对唐菖蒲叶片、烧尖长度的影响

地 点	6—8月气 氟日均值	烧尖长度 (cm)		
		三 叶	七 叶	开 花
宋家壕	4.64	0.3—2.0	1.2—3.5	2.0—13.0
哈业脑包	2.16	0.1—1.0	0.5—2.8	1.0—5.0
乌兰计	0.98	0	0	2.0—4.5
哈业胡同	0.61	0	0	1.0—4.0
和顺庄	0.60	0	0	1.0—3.0
公庙子	0.56	0	0	0
沟 门	0.23	0	0	0

时,高粱孕穗、开花、成熟分别晚 15—23 天, 9—19 天和 18—32 天。玉米抽雄、抽丝、成熟分别晚 4—15 天、9—19 天和 2—19 天。因高粱不能很好的成熟,以致影响了产量。但对玉米的产量并未发现有明显的影响。

麦类作物整个生长期短,气氟对其生育期影响不太明显。但是在开花期气氟对小麦单株粒重却有影响。

当气氟在 1 微克/分米²·天以上时,各试验点 30 株小麦粒重均值(28.4 克)较 1 微克/分米²·天以下时各地均值(39.9 克)低 28.8%。这是由于在开花期遇到高浓度大气氟化物,会增加畸形花粉粒、降低花粉发芽率,影响受精能力,使不实粒增加,导致千粒重、穗粒重减少。但对小麦总产量影响不大,因为氟化物浓度高,拔节时杀死了生长点,促进分蘖所致。

(五) 大气氟浓度对植物受害度的影响

在整个实验过程中,我们观察了受试植物的受害情况。除了对氟敏感的唐菖蒲外,其它作物均未发现肉眼可见的症状。

1. 大气氟对唐菖蒲受害程度的影响

由表 8 得知,唐菖蒲在三叶期和七叶期时,气氟含量在 1 微克/分米²·天不出现烧尖; 2.2 微克/分米²·天左右则出现 0.1—2.8 厘米的烧尖。但在开花期气氟为 0.6 微克/分米²·天时即可出现 1—3 厘米烧尖,在 0.6 微克/分米²·天以下则无可见受害症状。

1983 年我们做了唐菖蒲叶片受害度的调查,其结果完全表明了唐菖蒲在生殖生长期比营养生长期对氟更为敏感。

2. 大气氟对唐菖蒲生长、质量及产量的影响

据资料介绍^[4], Brewer 等把两种唐菖蒲暴露于 1.0—1.5ppm 的氟化氢中,与叶的受害同时,花的大小和质量以及球茎的大小和重量都有减少。对此我们也做了研究,结果是大气氟在 1 微克/分米²·天以上时延迟开

花 5—11 天,使花的大小及重量减少,叶片受害百分数及受害深度增大,并可促进球茎的有效分蘖,减少球茎的重量和大小。

三、小 结

(一) 大气氟浓度在 2.8 微克/分米²·天时,植物(大麦、小麦、高粱、玉米)叶氟,果氟有显著积累,低于此浓度时,积累缓慢。

(二) 紫花苜蓿在大气氟浓度为 1 微克/分米²·天以下时,生长 100 天,其叶氟含量在 27ppm 左右。

(三) 气氟浓度低于 2 微克/分米²·天对小麦、大麦生长性状无明显影响;高于此浓度则使其生长发育受阻,但不影响总产量。因此初步认为,保护小麦、大麦正常生长的大气氟阈值应为 2 微克/分米²·天,此时叶氟应在 25ppm 以下。

(四) 气氟浓度高于 2 微克/分米²·天时,可造成高粱减产,并延长高粱、玉米的生育期。初步认为保护高粱、玉米正常生长的气氟阈值应为 2 微克/分米²·天,此时叶氟应为 20ppm 以下。

(五) 气氟浓度在 1 微克/分米²·天左右时,三叶期和七叶期的唐菖蒲叶片不出现烧尖,而在开花期气氟为 0.5 微克/分米²·天以上就有烧尖出现。表明唐菖蒲在生殖生长期比营养生长期对氟更为敏感。气氟在 1 微克/分米²·天以上时还能影响花的大小、生长速度及球茎重量。

参 考 文 献

- [1] Hill, A. C., *J. Air Poll. Contr. Assoc.*, **19** (5), 331 (1969).
- [2] 日本公众卫生协会, 大气污染对植物影响に係る环境影响评价マニユアル(案), 866 页, 1981 年。
- [3] 江苏省植物研究所, 城市绿化与环境保护, 18 页, 中国建筑工业出版社, 1977 年。
- [4] Brewer, R. F. et al., The Effects of Atmospheric Fluoride on *gladiolus* Growth, Flowering and Corn Production, *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **88**, 631—634 (1966).