

氟监测植物的筛选及监测指标的研究*

高绪评 徐和宝 陈树元 赵树新 谢明云 王萍

(江苏省植物研究所, 南京 210014)

摘要 本文报道用开顶式熏气装置筛选大气氟监测植物, 研究监测植物在氟污染情况下的反应, 以确立监测指标和监测定量化。结果表明, 梅、唐菖蒲、赤胫散、火炭母、水杉、金荞麦、雪松、苹果等植物是良好的氟监测植物, 其中赤胫散、火炭母是国内筛选出来的监测植物, 可用来监测大气氟污染。受害浓度(阈值)、症状出现时间、受害叶面积%和叶片含氟量可作为植物的监测指标, 生理反应指标作为参考。

关键词 HF 熏气试验; 监测植物; 监测指标

The screen of monitoring plants for fluoride and study on monitoring index Gao Xu-Ping, Xu He-Bao, Chen Shu-Yuan, Zhao Shu-Xin, Xie Ming-Yun and Wang Ping (Jiangsu Institute of Botany, Nanjing 210014), *J. Plant Resour. & Environ.* 1992, 1(3): 28~34
In this paper the new monitor plants for fluoride were screened by means of open top field chamber. Some responses of monitor plants to fluoride exposure were investigated and the establishment and quantification on plant monitor index were discussed. The results showed that *Prunus mume*, *Gladiolus gandavensis*, *Polygonum runcinatum*, *Polygonum chinense*, *Metasequoia glyptostroboides*, *Fagopyrum cymosum*, *Cedrus deodara* and *Malus pumila* were fine monitoring plants for fluoride. From which the *P. runcinatum*, *P. chinense* and *P. mume* were newly domestically screened to monitor fluoride in atmosphere. The study on fluoride monitor index illustrated that the damage concentration threshold value, symptom appearance time, damaged leaf area (in %) and leaf fluoride content were four indexes of plant monitor for monitoring fluoride in atmosphere with the physiological index being used for reference.

Key words HF exposure test; monitoring plant; monitoring index

空气污染能引起植物的多种反应, 依据这些反应可以监测和评价环境污染。植物对环境污染的这种指示作用, 在国内外的环境监测与评价中得到了日益广泛的应用。但并非所有植物都能有此效用。因此, 筛选监测植物及研究监测指标就成为生物监测工作的一项首要内容。

本试验目的旨在通过开顶式熏气试验, 进一步研究植物在熏气条件下的各种反应, 探讨监测指标, 筛选新的监测植物, 为生物监测提供新材料与新方法。

一、材料和方法

1. 试验植物

从已筛选的对 HF 敏感的植物中, 选出比较敏感或需要进一步研究的植物 19 种, 于 1988 年早春在我所无污染苗圃中盆栽, 其中木本植物 9 种, 多为 2~5 年生; 草本植物 10 种, 有些是多年生宿根性植物。每种植物 20~50 盆。

2. 熏气方法

于 7 月和 9 月选生长整齐的正常植株用大型开顶式熏气装置(罩内空间体积为 17 m^3)进行熏气。罩体内的 HF 浓度根据植物对 HF 的敏感程度等因素来确定。HF 的产生是用压缩空气通入恒温的 HF 水溶液并在稳压计的控制下不断通入罩体内。每隔 30 min 至 1 hr 用滤膜法监测罩内 HF 浓度, 观察植物的受害反应和症状的发生与发展, 测定植物叶片的生理指标。熏气开始前和熏气结束后, 分别测定叶片含氟量及受害叶面积等。

3. 测定方法

熏气罩内 HF 浓度用滤膜-电极法测定; 叶片氟含量用酸浸提-氟电极法; 叶片受害面积用 Licor-3000 型叶面积仪; 叶片叶绿素含量用日产 SPAD-501 型叶绿素计; 叶片气孔阻抗和蒸腾强度用 Licor-1600 型气孔计测定。

二、试验结果

1. 夏季熏气试验

(1) 植物受害的 HF 浓度(阈值): 熏气时间在 7 月初, 植物正处旺盛生长期。用 4 个开顶式熏气罩, 熏气 8 hr, 供试植物 17 种。熏气结束后, 芝麻和枸杞在各罩内均未受害, 其它植物受害情况见表 1。

植物受害部位以叶缘、叶尖为主。受害较重时叶片中部也有块状伤斑。一般熏气后 48~72 hr, 伤斑的颜色、大小、受害程度和范围才充分显现。

(2) 症状出现时间 有些植物接触 HF 时间不长叶片就有受害反应, 症状发展快而明显, 另一些植物接触 HF 后要经过相当长时间才表现受害, 症状发展缓慢且不明显。如梅在 HF 浓度为 0.013 mg/m^3 中暴露 6 hr 叶片就明显受害, 接着水杉的嫩叶也发生较明显的伤害症状, 其它植物到第二天症状才逐渐显现。

(3) 叶片受害情况 熏气后取植株 1~6 位叶(由上向下计), 计算叶面积受害百分数, 针叶树则计算受害部分占针叶全长的百分数。熏气后各种植物叶片受害情况见表 2。结果表明, 梅、唐菖蒲、赤胫散、火炭母、水杉、韭菜、金荞麦等植物对 HF 敏感。

(4) 叶片含氟量 表 3 说明, 供试植物叶片都具有较强的吸氟能力, 如金荞麦暴露在 0.032 mg/m^3 的 HF 中 8 hr, 叶片的含氟量比对照增加 30 倍。所有植物叶片的含氟量与熏气的 HF 浓度成正相关。这种相关性为利用叶片含氟量监测大气氟污染提供了科学依据。

金荞麦、枸杞、芝麻、水杉、枫杨、赤胫散、火炭母等植物是吸氟能力强的监测植物。

表1 植物受害的HF浓度

Tab 1 HF concentration of damaged plants in chambers during exposing

植物名称 Species	HF 浓度(mg/m ³) [*] HF concentr. in chambers			
	D (ck) 0.0012	A 0.0024	B 0.013	C 0.032
梅 <i>Prunus mume</i>	-	+	+	+
水杉 <i>Metasequoia glyptostroboides</i>	-	+	+	+
唐菖蒲 <i>Gladiolus gandavensis</i>	-	+	+	+
赤胫散 <i>Polygonum runcinatum</i>	-	+	+	+
韭菜 <i>Allium tuberosum</i>	-	+	+	+
猕猴桃 <i>Vitis adstricta</i>	-	+	+	+
葡萄 <i>Vitis vinifera</i>	-	+	+	+
火炭母 <i>Polygonum chinense</i>	-	-	+	+
金荞麦 <i>Fagopyrum cymosum</i>	-	-	+	+
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	-	-	+	+
马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	-	-	+	+
爬山虎 <i>Parthenocissus tricuspidata</i>	-	-	-	+
旋复花 <i>Inula japonica</i>	-	-	-	+
枫杨 <i>Pterocarya stenoptera</i>	-	-	-	+
黑松 <i>Pinus thumbergia</i>	-	-	-	+

* “-”表示未受害; “+”表示受害

表2 HF 熏气后不同室内植物叶面积受害%

Tab 2 The damaged leaf area (in %) after exposing to HF

植物 Species	受害叶面积百分数 The damaged leaf area (in %)				显著性水平** Significant test (P)
	D(ck)	A	B	C	
梅 <i>Prunus mume</i>	0	10.31	64.42	37.92	>0.05
唐菖蒲 <i>Gladiolus gandavensis</i>	0	1.34	7.04	37.74	<0.05
赤胫散 <i>Polygonum runcinatum</i>	0	1.75	11.70	30.45	<0.01
韭菜 <i>Allium tuberosum</i>	2.90 [*]	5.11	14.70	27.61	<0.01
火炭母 <i>Polygonum chinense</i>	0	0	5.34	26.26	<0.05
水杉 <i>Metasequoia glyptostroboides</i>	0	10.49	20.85	22.69	>0.05
猕猴桃 <i>Vitis adstricta</i>	0	4.89	5.51	16.31	<0.05
金荞麦 <i>Fagopyrum cymosum</i>	0	0	2.72	15.0	<0.05
爬山虎 <i>Parthenocissus tricuspidata</i>	0	0	0	6.82	>0.05
旋复花 <i>Inula japonica</i>	0	0	0	6.50	>0.05
葡萄 <i>Vitis vinifera</i>	0	0.46	1.74	6.00	<0.01
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	0	0	0.77	1.80	<0.01
枫杨 <i>Pterocarya stenoptera</i>	0	0	0	0.82	>0.05
马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	0	0	4.92	20.48	<0.05
黑松 <i>Pinus thumbergia</i>	0	0	0	6.07	>0.05
芝麻 <i>Sesamum indicum</i>	0	0	0	0	未受害 No damage
枸杞 <i>Lycium chinense</i>	0	0	0	0	未受害 No damage

^{*} 自然枯黄 Naturally withering^{**} 熏气浓度与受害叶面积%的相关显著性 The correlation significance between the damaged leaf area (in %) and exposure HF concentration.

表3 HF 熏气后不同罩内植物叶片含氟量($\mu\text{g/g}$)
Tab 3 The leaf fluoride content ($\mu\text{g/g}$) after exposing to HF

植物 Species	叶片含氟量 The leaf fluoride content				显著性水平* Significant test* (P)
	D(ck)	A	B	C	
金荞麦 <i>Fagopyrum cymosium</i>	43.29	256.41	322.58	1250.00	<0.05
枸杞 <i>Lycium chinense</i>	21.37	106.38	175.44	526.32	<0.05
芝麻 <i>Sesamum indicum</i>	29.67	149.25	192.31	370.37	=0.05
水杉 <i>Metasequoia glyptostroboides</i>	26.25	55.44	227.27	344.83	<0.05
枫杨 <i>Pterocarya stenoptera</i>	30.96	86.96	175.44	303.03	<0.05
赤胫散 <i>Polygonum runcinatum</i>	17.48	76.92	163.93	243.90	<0.05
火炭母 <i>Polygonum chinense</i>	11.70	62.11	149.25	238.10	<0.05
旋复花 <i>Inula japonica</i>	18.94	56.82	128.21	204.08	<0.05
莓菜 <i>Vitis adstricta</i>	14.88	30.21	88.50	181.82	<0.01
韭菜 <i>Allium tuberosum</i>	16.78	49.50	106.38	175.44	<0.05
葡萄 <i>Vitis vinifera</i>	16.13	50.00	121.95	163.93	<0.01
爬山虎 <i>Parthenocissus tricuspidata</i>	11.48	34.48	92.59	142.86	<0.05
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	17.48	43.10	67.57	135.14	<0.05
梅 <i>Prunus mume</i>	16.46	64.52	82.64	106.38	>0.05
唐菖蒲 <i>Gladiolus gandavensis</i>	12.18	17.54	19.77	70.42	<0.05
黑松 <i>Pinus thunbergii</i>	12.43	23.70	44.96	47.85	>0.05
马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	12.18	27.70	35.71	44.76	>0.05

* 熏气浓度与叶片含氟量的相关显著性
The correlation significance between exposure HF concentration and leaf fluoride content

表4 HF 熏气后不同罩内植物叶片吸氟速率($\text{mg}/\text{dm}^2\cdot\text{hr}$)
Tab 4 The fluoride absorption rate of leaf after exposing to HF

植物 Species	叶片吸氟速率($\text{mg}/\text{dm}^2\cdot\text{hr}$) The fluoride absorption rate of leaf			
	D(ck)	A	B	C
梅 <i>Prunus mume</i>	0.19	2.90	4.93	6.75
水杉 <i>Metasequoia glyptostroboides</i>	0.86	2.39	13.61	20.71
火炭母 <i>Polygonum chinense</i>	0.05	2.30	6.06	11.93
赤胫散 <i>Polygonum runcinatum</i>	0.46	2.93	6.75	13.79
葡萄 <i>Vitis vinifera</i>	0.02	2.05	5.56	9.48
唐菖蒲 <i>Gladiolus gandavensis</i>	0.31	0.94	1.04	6.69
金荞麦 <i>Fagopyrum cymosum</i>	7.03	6.60	9.40	34.88
枫杨 <i>Pterocarya stenoptera</i>	1.11	4.39	9.05	17.32
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	0.47	3.04	4.29	10.08
韭菜 <i>Allium tuberosum</i>	0.52	2.65	6.52	12.36
莓菜 <i>Vitis adstricta</i>	0.00	0.68	4.15	9.78
芝麻 <i>Sesamum indicum</i>	0.53	4.02	5.36	10.89
枸杞 <i>Lycium chinense</i>	0.28	3.10	5.29	16.76
爬山虎 <i>Parthenocissus tricuspidata</i>	0.03	1.12	3.54	5.96
旋复花 <i>Inula japonica</i>	0.03	2.47	4.99	17.30
马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	0.46*	2.40*	3.40*	4.53*
黑松 <i>Pinus thunbergii</i>	0.62*	2.02*	4.68*	5.04*

* 单位为: $\text{mg}/\text{g}\cdot\text{hr}$ Unit: $\text{mg}/\text{g}\cdot\text{hr}$

(5) 叶片吸氟速率 叶片吸氟速率也是反映叶片吸氟能力的指标,测定结果见表4。金荞

麦、水杉、赤胫散、火炭母、枫杨、旋复花、韭菜、枸杞等植物吸氟速率较大。

(6) 植物监测指标的分级与综合 前面讨论的几种反应指标可分成敏感指标和吸污能力指标,前者包括受害浓度(阈值)、症状出现时间及叶面积受害百分数;后者即叶片含污量(或吸污量)。在筛选氟监测植物时,既要考虑单项指标,更要注意对多项指标都有较好指示作用的植物。为此,要对植物的反应指标进行分级与综合。目前,国内尚未对此进行研究,我们在这里作一些尝试。先将植物的单项指标按照某种标准进行分级或排序,然后将分级值或排序值累加,得出综合指标值,并进行分级。症状出现时间与综合指标分3级,受害浓度分4级,叶面积受害百分数与吸氟能力分10级。

表5说明,从综合指标来看,梅、火炭母、赤胫散、水杉、唐菖蒲、金荞麦、韭菜等7种植物是良好的氟监测植物。

表5 植物氟监测指标的分级与综合

Tab 5 The classified and complex in monitoring index of plant fluoride

植物 Species	单项指标 Single index				综合指标 Complex index
	受害浓度 Damage concentration	症状出现时间 Time of symptom appearance	叶面积受害% Damaged leaf area (in %)	吸氟能力 Degree of ability to absorb F	
梅 <i>Prunus mume</i>	1	1	1	8	I
水杉 <i>Melasequoia glyptostroboides</i>	1	1	5	4	I
火炭母 <i>Polygonum chinense</i>	2	2	4	6	I
赤胫散 <i>Polygonum runcinatum</i>	1	2	3	6	I
葡萄 <i>Vitis vinifera</i>	1	2	8	7	II
唐菖蒲 <i>Cladiolus gandavensis</i>	1	2	2	9	I
枫杨 <i>Pterocarya stanoptera</i>	3	2	9	4	II
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	2	2	9	8	III
韭菜 <i>Allium tuberosum</i>	1	2	4	7	I
菱莢 <i>Vitis astricta</i>	1	2	6	7	II
芝麻 <i>Sesamum indicum</i>	4	2	10	3	II
枸杞 <i>Lycium chinense</i>	4	2	10	1	II
金荞麦 <i>Fagopyrum cymosum</i>	2	2	6	1	I
爬山虎 <i>Parthenocissis tricuspidata</i>	3	2	8	8	II
旋复花 <i>Inula japonica</i>	3	2	8	6	I
马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	2	3	5*	10	II
黑松 <i>Pinus thunbergii</i>	3	3	8*	10	III

*按针叶受害长度%计算

Calculation based on the length (in %) of damaged needle

2. 秋季熏气试验

1988年9月中旬用3个大型开顶式熏气罩进行5天的HF熏气试验,熏气累计时间为30~36 hr, 试验植物7种, 结果如下:

(1) 植物受害的HF浓度(阈值) 试验结果见表6。A罩内(HF浓度为 0.0036 mg/m^3)暴露36 hr,水杉、赤胫散等均未受害,而7月这两种植物在HF浓度 0.0024 mg/m^3 下暴露8 hr即有受害反应。可见植物在不同生长季节HF危害阈值不同,生长旺盛期的植物易受伤害。

(2) 症状出现时间 熏气结果C罩和A罩内植物均未受害。B罩内腊梅和苹果未见伤害,其余植物伤害发生时间是:赤胫散7 hr,火炭母和金荞麦11 hr,水杉14 hr,雪松16 hr。与春季

熏气相比,水杉症状出现比赤胫散、火炭母、金荞麦晚,敏感性下降。

表 6 植物受害的 HF 浓度 (mg/m³)

Tab 6 HF concentration of damaged plants in chamber during exposing to HF (mg/m³)

植物 Species	HF 浓度 (mg/m ³) HF concentration			
	C(ck)	0.0008	A 0.0036	B 0.0111
火炭母 <i>Polygonum chinense</i>	—	—	—	+
赤胫散 <i>Polygonum runcinatum</i>	—	—	—	+++
水杉 <i>Metasequoia glyptostroboides</i>	—	—	—	+
金荞麦 <i>Fagopyrum cymosum</i>	—	—	—	+
雪松 <i>Cedrus deodara</i>	—	—	—	+++
腊梅 <i>Chimonanthus praecox</i>	—	—	—	—
苹果 <i>Malus pumila</i>	—	—	—	—

* “—” 未受害 No damaged; “+” 受害 Damaged; “+++” 受害严重 Seriously damaged

(3) 叶片受害情况 熏气开始后 8、16 及 24 hr 分别统计叶面积受害百分数(见表 7)。

表 7 HF 不同暴露时间 B 罩内植物叶面积受害 %

Tab 7 The damaged leaf area (in %) in different duration of exposure (B chamber)

植物 species	受害叶面积 % Damaged leaf area (%)		
	8 hrs	16 hrs	24 hrs
赤胫散 <i>Polygonum runcinatum</i>	11.60	49.71	50.04
火炭母 <i>Polygonum chinense</i>	—	8.47	15.86
金荞麦 <i>Fagopyrum cymosum</i>	—	—	11.41
水杉 <i>Metasequoia glyptostroboides</i>	—	—	9.01
雪松 <i>Cedrus deodara</i>	—	—	+

* 针叶受害严重 Needle damaged seriously

(4) 叶片含氟量 叶片含氟量随着熏气时间的延长而增加(见表 8),说明在秋季利用叶片含氟量监测大气氟污染也是可行的。金荞麦、水杉、赤胫散、火炭母、苹果、腊梅等吸氟能力都较强,可以用以监测大气氟污染。

表 8 HF 不同暴露时间 B 罩内植物叶片含氟量 (μg/g)

Tab 8 The leaf fluoride content in different duration of exposure (μg/g) (B chamber)

植物 Species	叶片含氟量 (μg/g) Leaf fluoride content (μg/g)			
	8 hrs	16 hrs	24 hrs	30 hrs
赤胫散 <i>Polygonum runcinatum</i>	29.3	49.3	52.6	83.3
火炭母 <i>Polygonum chinense</i>	36.3	44.6	53.0	77.0
金荞麦 <i>Fagopyrum cymosum</i>	/	/	/	1169.7
水杉 <i>Metasequoia glyptostroboides</i>	/	/	/	160.8
雪松 <i>Cedrus deodara</i>	/	/	/	83.8
腊梅 <i>Chimonanthus praecox</i>	/	/	/	192.7
苹果 <i>Malus pumila</i>	/	/	/	352.8

/表示未测定

(5) 生理反应指标 熏气后的第二天上午(接受 HF 暴露约 10~12 hr)测定了几种较敏感的植物叶片(由上向下第 3 位叶)的叶绿素含量、气孔阻抗和蒸腾强度,结果见表 9 及表 10。

表9 HF 熏气对叶片叶绿素含量(mg/dm²)的影响

Tab 9 The effects of HF exposure on chlorophyll content of leaf

植物 Species	叶绿素含量(mg/dm ²) Chlorophyll content		
	C(ck)	A	B
赤胫散 <i>Polygonum runcinatum</i>	2.70±0.17	2.55±0.19	2.32±0.55
火炭母 <i>Polygonum chinense</i>	2.89±0.26	2.61±0.16	2.32±0.48
金荞麦 <i>Fagopyrum cymosum</i>	2.36±0.30	2.20±0.34	2.25±0.23

表10 HF 熏气对气孔阻抗和蒸腾强度的影响

Tab 10 The effects of HF exposure on stomatal resistance and transpiration intensity

植物 Species	气孔阻抗 Stomatal resistance (s/cm)			蒸腾强度 Transpiration intensity (μg/cm ² ·s)		
	C(ck)	A	B	C(ck)	A	B
赤胫散 <i>Polygonum runcinatum</i>	0.435	0.594	0.858	44.94	25.69	33.18
火炭母 <i>Polygonum chinense</i>	0.287	0.158	0.626	50.80	68.08	31.14
金荞麦 <i>Fagopyrum cymosum</i>	0.165	0.103	0.201	73.40	83.98	62.96

三、小 结

1. 植物对 HF 的敏感性可用受害浓度(阈值)、症状出现时间、受害叶面积百分数等来表达,植物的生理反应指标可作为参考。植物叶片含氟量指标在生物监测工作中意义更重,因为它与所暴露的 HF 浓度具有显著的相关性,可使监测结果定量化。

2. 在相同 HF 暴露情况下,有的植物叶片伤害严重,但叶片含氟量不一定很高;有的植物叶片不受害或伤害轻,但叶片含氟量却显著增加。为此,可以根据植物各自的反应特点来选择所需的监测植物种类。

3. 植物在不同生长季节对 HF 的敏感性会发生变化,处在旺盛生长期的植物叶片比生长期末期的叶片敏感得多。

4. 熏气试验表明,梅、唐菖蒲、赤胫散、火炭母、水杉、金荞麦、雪松等植物对 HF 的敏感性较强。金荞麦叶片吸氟能力最强,枸杞、芝麻、水杉、枫杨、赤胫散、火炭母、苹果等也较强。从监测综合指标来看,赤胫散、火炭母、梅、金荞麦、唐菖蒲、水杉、雪松等植物是优良的氟监测植物。

5. 上述监测植物中,金荞麦和唐菖蒲是国内外公认的氟敏感植物;雪松和水杉是国内新发现的敏感树种;赤胫散、火炭母和梅是新筛选的敏感植物,其某些监测指标超过了金荞麦和唐菖蒲。尤其赤胫散,是国内首次发现的监测植物,对 HF 有较强的敏感性和吸污能力,且适应性强,繁殖容易,生长期短,作为一种新的生物监测材料,具有良好的应用价值。

参 考 文 献

- 1 李正方,高绪评,宋长铨,1981:环境污染与生态学文集,江苏科学技术出版社,南京,118~121页。
- 2 高绪评,李正方,徐和宝等,1982:南京中山植物园研究论文集,江苏科学技术出版社,南京,63~69页。
- 3 高绪评,1988:环境科学 9(5):65~69。