

橡胶苗对氟化氢(HF)的剂量反应及其急性伤害阈值

吴春华¹, 牛治宇², 唐文浩¹

(1. 华南热带农业大学农学院, 海南 儋州 571737; 2. 中国热带农业科学院橡胶栽培研究所, 海南 儋州 571737)

摘 要:通过熏气模拟试验研究了橡胶盆栽幼苗对 HF 的剂量反应。结果表明,熏气后,橡胶苗出现典型受害症状,熏气浓度越高,受害越严重,叶片氟的积累量也越高;幼叶总是先于老叶受害,并且老叶对于氟的累积量高于幼叶。根据不同熏气浓度、时间和伤害程度,确定了氟化物气体对橡胶叶片伤害的阈值。它们分别是:13. 211 9 $\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1} \times 2 \text{ h}$, 5. 306 1 $\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1} \times 4 \text{ h}$, 3. 765 9 $\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1} \times 6 \text{ h}$, 2. 025 4 $\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1} \times 8 \text{ h}$, 1. 625 3 $\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1} \times 10 \text{ h}$ 。
关键词:氟化氢; 橡胶苗; 急性伤害阈值
中图分类号:S131. 2 **文献标识码:**A **文章编号:**1000 – 0267(2002)04 – 0346 – 03

Dose – Response of Rubber Tree Seedling on Hydrogen Fluoride and Their Acute Injury Threshold

WU Chun-hua¹, NIU Zhi-yu², TANG Wen-hao¹

(1. Agronomy College, South China University of Tropical Agriculture (SCUTA), Danzhou, 5717372, China; 2. Rubber Cultivation Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, (CATAS), Danzhou, 571737, China)
Abstract: Dose – response of rubber tree seedling on hydrogen fluoride (HF) was studied through an experiment of HF – fumigation. Rubber tree seedling emerged with typical harm symptoms. The higher the concentration of HF, the more seriously the seedlings were injured, and the higher the accumulation of leaf fluoride took place. Young leaf was always injured earlier than old ones, and fluoride accumulation in old leaf was higher than that in young ones. The acute HF – injury threshold of rubber tree leaf was determined according to different concentration, time and harmful degree. they are 13. 211 9 $\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1} \times 2 \text{ h}$, 5. 306 1 $\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1} \times 4 \text{ h}$, 3. 765 9 $\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1} \times 6 \text{ h}$, 2. 025 4 $\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1} \times 8 \text{ h}$, 1. 625 3 $\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1} \times 10 \text{ h}$ respectively.
Keywords: hydrogen fluoride; rubber tree seedling; acute injury threshold

氟化物是重要的大气污染物之一。在我国,氟化物对农业生态系统的影响仅次于二氧化硫,它的排放量虽然没有二氧化硫那么多,但对植物的毒性要比二氧化硫大 20—300 倍,再加上氟化物被植物吸收后能在体内转移和积累,并可通过食物链进入人和动物体中,引起人和动物氟中毒。江苏、浙江、广东、云南、海南等省均发生过大气氟污染严重伤害植物造成巨大经济损失的事件,因此,大气氟污染问题受到人们的广泛关注。

大气氟化物对植物的影响已有广泛的研究,但是目前在对橡胶树的伤害试验研究方面尚未见报道。本文通过熏气模拟试验进行大气氟化物对橡胶树的影响研究,包括伤害症状、橡胶叶片对氟化物的积累和

叶片微结构的变化等,为橡胶区大气氟污染防治和环境管理及仲裁污染纠纷等提供科学依据。

1 供试材料与方法

1. 1 供试材料

橡胶袋装苗,品种为热研 7 – 33 – 97,移至盆钵生长 4 个月,该期间采用常规管理方法,生长正常后供试。

1. 2 试验研究方法与分析方法

1. 2. 1 熏气试验

熏气装置为由塑料薄膜做成的开顶式熏气室^[1-4],规格为 1. 5 m × 1. 5 m × 2. 8 m,供试气体由氟化钠与浓 H₂SO₄ 反应产生,以等量不同份数产生不同质量浓度的 HF 气体,熏气室内 HF 气体浓度由现场测定获得。

1. 2. 2 大气氟的采样和测定

大气氟的吸收采用碱性滤膜法(LTP 法)^[5],之后用氟离子选择电极法测定氟。

1.2.3 橡胶叶片氟的测定

按不同处理及老叶和幼叶分类采摘橡胶叶片,带回实验室,洗净,风干,置于鼓风干燥箱 80℃烘干,然后磨碎,供测定用。测定方法,采用硝酸和氢氧化钾浸提,氟离子选择电极法测定。

2 结果与分析

2.1 橡胶苗的氟受害症状

不同的 HF 浓度处理,随着熏气时间的延长,橡胶苗均出现严重伤害症状。一般情况下,幼叶先受害,顶尖部幼叶有轻微卷曲;症状是产生黄斑,接着黄斑增多,最后全部变黄;另外在伤害程度基本相同的情况下,熏气时间越长,所需浓度越低,而且在熏气时间较长情况下,叶片产生锈红斑;如本实验熏气 6 h 即开始出现锈红斑。具体情况见表 1、表 2、表 3、表 4、表 5。另外伤害程度分级指标为:无伤害(<5%)、轻度(5%—25%)、中度(25%—50%)、较重度(50%—80%)、重度(> 80%)。

表 1 HF 熏气 2 h 对橡胶叶片的伤害情况
Table 1 The harm of HF – fumigation to rubber tree leaf for 2 hours

处理	熏气浓度	伤害程度	出现症状
2 – 1	10. 805 0	<5%	—
2 – 2	13. 211 9	5%	个别幼叶有黄斑
2 – 3	18. 406 2	25%	幼叶有少量黄斑
2 – 4	25. 087 1	50%	幼叶全部变黄,老叶稍变黄
2 – 5	30. 105 9	75%	幼叶全部变黄发蔫,老叶产生大量黄斑

表 2 HF 熏气 4 h 对橡胶叶片的伤害情况
Table 2 The harm of HF – fumigation to rubber tree leaf for 4 hours

处理	熏气浓度	伤害程度	出现症状
4 – 1	4. 789 9	<5%	—
4 – 2	5. 306 1	5%	个别幼叶有少量黄斑
4 – 3	10. 724 3	25%	幼叶有少量黄斑
4 – 4	14. 664 0	60%	幼叶、老叶均受害
4 – 5	19. 818 0	75%	大部分老叶、幼叶均有黄斑

表 3 HF 熏气 6 h 对橡胶叶片的伤害情况
Table 3 The harm of HF – fumigation to rubber tree leaf for 6 hours

处理	熏气浓度	伤害程度	出现症状
6 – 1	2. 315 4	<5%	—
6 – 2	3. 765 9	10%	个别幼叶变黄
6 – 3	6. 121 2	25%	少量叶片出现锈红斑
6 – 4	8. 135 9	60%	幼叶有大量变黄,并出现锈红斑,老叶有少量锈红斑
6 – 5	10. 686 7	85%	幼叶、老叶均产生大量锈红斑

表 4 HF 熏气 8 h 对橡胶叶片的伤害情况
Table 4 The harm of HF – fumigation to rubber tree leaf for 8 hours

处理	熏气浓度	伤害程度	出现症状
8 – 1	1. 020 4	<5%	—
8 – 2	2. 025 4	5%	个别幼叶变黄
8 – 3	4. 664 2	25%	少量叶片出现锈红斑
8 – 4	6. 171 7	50%	老叶、幼叶大概有一半出现锈红斑
8 – 5	8. 335 8	80%	大部分叶片产生锈红斑

表 5 HF 熏气 10 h 对橡胶叶片的伤害情况
Table 5 The harm of HF – fumigation to rubber tree leaf for 10 hours

处理	熏气浓度	伤害程度	出现症状
10 – 1	0. 800 3	<5%	—
10 – 2	1. 625 3	5%	个别幼叶出现锈红斑
10 – 3	3. 562 9	25%	少量叶片出现锈红斑
10 – 4	4. 967 1	50%	开始时变黄,最后大概有一半叶片出现锈红斑
10 – 5	6. 627 7	85%	大部分叶片出现锈红斑

2.2 氟化物在叶片内积累

测定结果表明,随着熏气浓度的增加,叶片内的氟化物积累量明显增加,并且熏气浓度越高,植物叶片氟的含量越高;老叶积累量明显高于幼叶;另外,在同一伤害程度,熏气时间越短,所需的熏气浓度就越高,橡胶叶片氟的含量也越高。说明橡胶叶片对氟有

表 6 橡胶叶片氟化物含量(mg · kg⁻¹)
Table 6 Fluoride contents in rubber tree leaves

处理	叶片类型	氟含量	处理	叶片类型	氟含量
2 – 1	幼	2 303. 253	6 – 1	幼	732. 661
	老	4 729. 688		老	995. 327
2 – 2	幼	3 085. 025	6 – 2	幼	774. 582
	老	5 991. 427		老	1 005. 407
2 – 3	幼	3 681. 755	6 – 3	幼	787. 191
	老	6 022. 317		老	1 005. 407
2 – 4	幼	4 788. 807	6 – 4	幼	1 055. 486
	老	7 770. 857		老	2 089. 174
2 – 5	幼	10 316. 040	6 – 5	幼	2 331. 975
	老	12 896. 280		老	4 910. 907
4 – 1	幼	1 562. 306	8 – 1	幼	700. 761
	老	1 853. 110		老	851. 238
4 – 2	幼	1 971. 381	8 – 2	幼	764. 110
	老	2 170. 778		老	973. 884
4 – 3	幼	2 168. 601	8 – 3	幼	766. 541
	老	2 537. 350		老	1 269. 382
4 – 4	幼	2 560. 059	8 – 4	幼	1 047. 258
	老	3 191. 692		老	2 567. 331
4 – 5	幼	3 555. 430	8 – 5	幼	2 295. 676
	老	5 003. 023		老	3 941. 691
10 – 1	幼	768. 443	10 – 3	幼	866. 231
	老	863. 058		老	1 079. 883
10 – 2	幼	779. 771	10 – 4	幼	915. 256
	老	900. 185		老	2 015. 998
10 – 5	幼	1 891. 428	正常叶片	幼	9. 746

较强的吸收累积能力, 具体测定结果见表 6(熏气的浓度和时间如表 1、表 2、表 3、表 4、表 5)。

2.3 HF 对橡胶叶片伤害阈值的确定

通常以产生 5% 受害叶面积为标准, 用浓度 $\times$ 时间表示伤害阈值, 熏气处理设 5 个浓度梯度, 分别确定每个浓度梯度于不同时间(2 h、4 h、6 h、8 h、10 h)的伤害阈值, 具体结果见表 1、表 2、表 3、表 4、表 5, 据此确定出不同浓度、时间的 HF 熏气对橡胶叶片的伤害阈值分别为: $13.2119 \mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1} \times 2 \text{ h}$, $5.3061 \mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1} \times 4 \text{ h}$, $3.7659 \mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1} \times 6 \text{ h}$, $2.0254 \mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1} \times 8 \text{ h}$, $1.6253 \mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1} \times 10 \text{ h}$, 由于熏气 6 h 的伤害程度为 10%, 实际伤害阈值应比此值稍低。

3 讨论

3.1 大气氟化物进入植物体的途径

大部分氟化物气体是通过叶片的气孔进入植物的, 也有小部分是透过表皮渗透或茎上的皮孔进入的。关于氟化物能不能穿过表皮角质层进入叶片的问题研究很少^[6,7]。Maclean 研究指出, 当植物在黑暗中暴露于氟化氢中时, 叶片也吸收积累氟, 只是积累速度有所降低。在黑暗中暴露于氟化物的紫花苜蓿, 可以积累白天 40% 的氟, 因而从表皮角质层也能渗入小部分氟^[8,9]。在本试验中, 破损叶片之所以更易受害, 是因为破损的裂缝和破坏了的表皮角质层使氟化物更易进入, 因此, 叶片表皮角质层对氟化氢的伤害具有一定的防护作用。

3.2 氟化物在植物体内的分布积累规律

氟化物在植物体内的分布积累有两个显著性特征: 一是叶的积累量很高, 且其内部的氟化物很少向外运输; 二是从不同叶片看, 氟化物的分布是基部> 顶部> 中上部^[10]。本试验中, 橡胶叶片对氟化物的积累总是老叶高于幼叶, 表现了相同的规律。另外, 郭婉如等人的研究结果表明, 在不同的器官中, 氟化物的分布规律, 一般是叶> 茎> 根, 但当土壤污染时会出现根叶倒置情况^[11]。

3.3 氟化物对橡胶叶片伤害阈值的确定

HF 引起的橡胶叶片可见伤害程度, 由浓度和时间决定。伤害阈值从理论上讲, 应是一个常数, 但因受

到生物因子和环境因子的综合作用^[12,13], 实际情况有所变动。植物短时间内接触较低浓度 HF 时, 并不导致可见伤害症状, 说明低浓度 HF 引起橡胶叶片出现可见伤害症状需要一定的初始暴露时间, 即植物体本身有一定的生理抗性; 而高浓度熏气情况下, 短时间内即可超出植物本身的忍受能力, 出现严重的受害症状。这说明, 短时间、大剂量作用于橡胶苗时的伤害高于长时间、小剂量作用时的伤害, 对橡胶苗的伤害浓度因素大于时间因素。

参考文献:

- [1] Hitchcock A E, McCune D C, weinstein L H, et al. Effect of hydrogen fluoride fumigation on alfalfa and orchard grass: A summary of experiment from 1952 through 1965[J]. *Contrib Boyce Thompson Inst*, 1971, (24): 363 – 386.
- [2] Henvik saxen J. Relative sensitivity of greenhouse pot plants to long-term exposure of NO_3^- and NO_2^- containing air[J]. *Environ Pollut*, 1994, **85**(3): 283 – 290.
- [3] Anguissola scotti I, Benson N. Effects of ozone on grain quality of wheat grown in open-top chamber: three years of experiment[J]. *Environ Pollut*, 1994, **86**(1): 31 – 35.
- [4] Neumann H H. 李世奎译. 关于空气污染与植物伤害的研究近况[J]. 国外农业环境保护, 1986, (2): 37 – 40.
- [5] 城乡建设环境保护部环境保护局. 环境监测分析方法[M]. 重庆: 城乡建设环境保护部环境保护局出版社, 1983. 221 – 222.
- [6] 陈宜宜, 何增耀, 叶兆杰. 植物叶吸收气态氟化物的初步研究[J]. 农业环境保护, 1988, **7**(2): 19 – 22.
- [7] Chamel A, Garrec J P. Penetration of fluoride through isolate pear leaf cuticle[J]. *Environ Pollut*, 1977, (12): 307 – 310.
- [8] Maclean DC, Weinstein LH, McCune DC, et al. Fluoride-induced suture red spot in 'Elberta' peach[J]. *Environ Exp Bot*, 1984, (24): 353 – 367.
- [9] Maclean DC, Hensen KS, Schneider RE. Amelioration of aluminium toxicity in wheat by fluoride[J]. *New Phytol*, 1992, (121): 81 – 88.
- [10] 余叔文, 汪嘉熙. 大气污染伤害植物症状图谱[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1980. 11 – 13.
- [11] 郭婉如. 大气氟氯污染对农业的影响[J]. 农业环境保护, 1985 (2): 27 – 30.
- [12] McCune DC, Silberman DH, Weinstein LH. Effects of relative humidity and free water on the phytotoxicity of hydrogen fluoride and cryolite. Proc Fourth International Clean Air Congress JUAPPA Tokyo. 1997. 116 – 119.
- [13] McCune DC. Effects of airborne saline particles on vegetation in relation to variable of exposure and other factors[J]. *Environ Pollut*, 1991, (74): 176 – 203.