

大气氟污染对达乌尔黄鼠及其 环境的影响*

刘 喜 悦

(中国科学院动物研究所)

刘 焕 文

(包头市环境保护科学研究所)

摘 要

本文研究大气氟污染对达乌尔黄鼠及其环境的影响。研究区内的钢厂为大气氟污染的点源。在研究区内选6个取样点,分别取黄鼠大腿骨骨样、植物样和土样。

黄鼠大腿骨骨灰、植物和土壤的含氟量是随与污染源的距离和方向的不同而变化的,离污染源愈远各样品的含氟量愈低。污染源西北方向,靠近污染源的取样点污染特别严重。但是,黄鼠体重与其大腿骨骨灰含氟量间没有明显相关。黄鼠可认为是对氟污染的“耐干扰种”。

在研究区内,氟污染对植物群落的种类、生物量和群落的多样性没有明显地影响。大腿骨骨灰和植物含氟量间存在一定的回归关系,其关系式为 $Y = 27.16X^{1.02}$ 。

氟在自然界中以氟化钠的形式存在,它有增进骨骼和牙齿强度的功能。有人用大白鼠做实验,在喂给高纯氨基酸食物并控制痕量元素的情况下,其食物中加氟化钾1、2.5、7.5ppm,使其得到氟,收到了理想的生长效果,体重增长分别为17%、30.8%和27.9%,并且也使门齿色素沉淀进一步得到了改善(Klaus Schwarz *et al.*, 1972)。氟虽不是一种生命攸关的元素,但缺乏它常会致病;过度摄入,则更会危及机体,轻则使牛羊等家畜牙齿变色,出现斑釉齿,重则牙齿坏裂,关节肿大而跛行,骨质变脆,甚至造成死亡。

有关氟对动物的影响,一般多见于对家畜和大小白鼠的实验,而对野生啮齿类的影响方面的工作,所见甚少。Robel等(1972)认为,小型啮齿类对杀虫剂有强的代谢能力,它们接受杀虫剂后,会很快代谢掉,甚至在体内找不到残留。而氟化物对小型啮齿类的影响又是如何呢?为此,1981年我们在包头地区进行了点源性大气氟污染在不同距离和方向上对达乌尔黄鼠(*Citellus dauricus mongolicus* Milne-Edwards)及其环境引起的生态效应的研究。

一、环境条件

包头地区北靠东西走向的大青山和乌拉山,东为土默特右旗,西接乌拉特前旗,南濒黄河。本区地形东西狭长,北高南低。北为山前冲积扇形成的坡地,南部平缓地区为砂质土,

* 朱靖先生审阅文稿,工作中蒙孙崇璐、钟文勤、王淑卿、辛曼华、曹小平、陈燕、周美英、王丽、张宇、高德等同志帮助,一并致谢。

已垦为农田。北部山前淡栗钙土的 针茅-隐子草荒漠草原带上有达乌尔黄鼠的分布。本区年平均降雨量为 300 多毫米。冬季多西北风, 夏季盛行东南风。钢厂在烧结冶炼过程中, 大量含氟废气排入大气, 随风飘散, 成为本地区的主要氟污染源。由于北部高山形成了天然屏障, 夏季烟囱排出的含氟漂尘随风吹向污染源西北方向, 飘尘遇山阻拦, 大部分降落在山前冲积扇草原地带; 冬季烟尘被西北风吹向东南方。此外, 东北一侧的山前冲积扇草原以及其他各个方向也受到了不同程度的污染。含氟漂尘污染了植物, 植物积累氟化物, 然后达乌尔黄鼠通过食物链体内也积累了氟化物。

二、材料与方法

在黄鼠分布的荒漠草原上, 从污染源由近及远向西北方向选 3 个取样点; 向东北方向选两个取样点。另在大青山和乌拉山相接处的昆都伦河谷北口选 1 取样点 (图 1)。春秋两

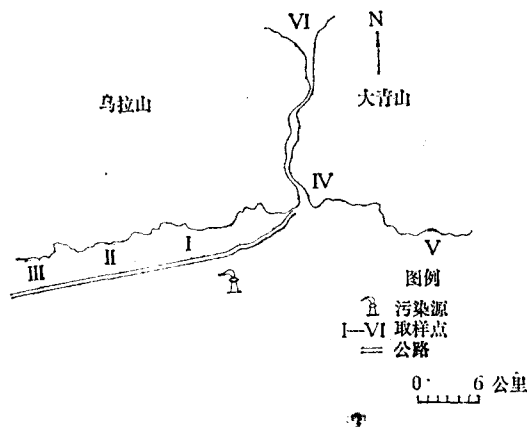


图 1 取样点示意图

季, 在以上各点分别采黄鼠 20 余号, 做常规体测后, 剔取大腿骨为骨样, 取表土土样 3—4 号, 风干过筛; 早春, 植物刚刚萌芽, 无法取样, 秋季, 选 1 平方米样方, 每点取 3 块, 剪取植物地面上部分, 作为植物样本, 并记录种名、株数、湿重和自然风干后的干重。以上样品经前处理后, 以氟离子选择性电极分别测出骨和植物的氟残留量以及土壤水溶氟含量。

三、结果和讨论

在点源性大气氟污染的不同取样点上, 根据我们所采得的动物、植物和土壤样品, 分别测定其含氟量, 结果如表 1。

1. 氟污染对黄鼠的影响

从表 1 可以看出, 不论是春季还是秋季, 在污染的不同方向和不同距离上, 黄鼠的骨氟残留量是不同的。在西北方向 5 公里处, 其骨氟含量春季为 3,021.38ppm, 秋季为 2,108ppm; 而远至 18 公里处, 则春秋两季分别降为 1,874.51ppm 和 1,121ppm, 表中 3 个取样点上骨氟含量是有统计学上的差异的。也就是说, 离污染源越近, 黄鼠骨氟含量越高, 越远其残留量

表 1 达乌尔黄鼠大腿骨、植物和土壤含氟量 (平均数±标准误, ppm)

取样点 编 号	离污染源距离 (公里)	黄 鼠 骨 氟 浓 度		植 物 氟 浓 度		土 壤 氟 浓 度	
		春	秋	春	秋	春	秋
I	西北 5	3021.38±216.63	2108.39±176.08	—	105.80±14.14	9.49±0.20	9.44±0.59
II	西北 11	3260.29±203.23	1711.01±227.52	—	92.00±12.68	7.42±0.89	4.13±0.23
III	西北 18	1874.51±153.98	1121.85±175.61	—	77.40±9.05	5.71±0.08	3.90±0.14
IV	东北 10	1612.33±150.47	1181.84±122.20	—	43.20±4.48	4.48±0.42	3.42±0.58
V	东北 18	1436.13±125.49	1180.07±124.08	—	44.68±5.35	3.71±0.15	2.15±0.25
VI	北 22	930.45±127.97	588.26±7.08	—	44.77±4.71	3.38±0.26	3.48±0.23

逐渐降低。以骨氟残留量为指标, 其污染程度在距离上有着明显地梯度差异。污染在方向上也有差异性。西北方向受到的污染较东北方向为重, 其差异也是显著的, 而污染源的北方又较这两个方向为轻。虽然此方向污染较轻, 但含氟漂尘从北部屏障相接处的昆都伦河谷穿过, 远至22公里, 黄鼠骨氟含量, 春季尚有930.45ppm, 而秋季为588.26ppm。

受大气氟污染的植物, 可以吸收氟化物, 并积累和富集它。春天植物刚刚萌芽长出时, 由于受氟化物污染的时间短, 再加上植物迅速生长, 植物体内含氟量较低。随着时间的推移, 植物在不断吸收积累氟化物, 至秋末达到最高值(蔡宏道, 1981)。以含氟植物为食的黄鼠, 通过食物链进一步富集氟化物, 使体内骨氟含量不断增高。冬眠前, 黄鼠为积存蛰期所需脂肪, 大量摄取含氟植物, 至9月份骨氟已达到相当高的含量(表1), 尔后, 至入洞蛰眠时, 它们体内含氟量将是最高值。牛羊等受氟害的动物, 当把它们放入非氟污染区饲养, 停止了含氟饲草的摄入, 其体内氟化物会通过排泄逐渐减少, 骨氟含量逐渐降低。黄鼠冬眠后, 虽然停止了摄食含氟植物, 但这时其生理过程非常缓慢, 基本上没有便尿排泄(Калабухов, 1959), 而氟化物排泄的主要途径是经过肾脏由尿排出。所以黄鼠虽然在长达6个多月冬眠中停止了氟摄入, 但此时由便尿代谢掉的氟又微乎其微, 因此直至第二年春它们复苏出蛰, 体内骨氟残留量仍能代表上一年秋末入蛰时达到的最高氟水平。此时在污染源西北方向的5公里处(I), 黄鼠骨氟含量为3,021.38ppm。同期我们在远离污染源, 无污染的锡林郭勒草原上, 捕捉达乌尔黄鼠20号做为对照, 测得其骨氟含量仅为177.95ppm, 污染区取样点I的黄鼠骨氟含量为对照组的17倍。

不同距离上黄鼠骨氟残留量虽然有着显著差异, 但与其体重的关系, 经统计学检验, 二者间不存在明显地相关。只是在污染较重的取样点I, 体重较大的个体, 其骨氟残留水平也高, 有一定的相关($P<0.05$)。这就是说, 3,000ppm的骨氟水平, 已是羊的中毒水平, 而对黄鼠似乎安全无恙, 并没有影响黄鼠的生长。Robel等的实验证明, 小型啮齿类对杀虫剂有较强的抗性和代谢能力。我们的实验同样表明黄鼠对氟化物残留虽然不能很快代谢掉, 但对它有较强的忍耐力。因此, 我们同样可把达乌尔黄鼠看作是一种对氟化物的“耐干扰种”(Weedy species)。

在氟污染区生活的达乌尔黄鼠, 由于长年连续不断地受到氟污染, 它们种群^[1]的繁殖^[2]时期、繁殖能力、寿命以及种群动态受到什么样的影响, 有待长期观察, 进一步研究。

2. 氟污染对植物的影响及植物含氟量与黄鼠骨氟含量的关系

在氟污染区我们进行了植物取样, 记录了单位面积植物的种类、株数, 称量了湿重和干重, 以比较氟污染对不同距离上植物的影响。结果列于表 2。

表 2 各取样点 3 平方米内出现的植物 (有 +, 无 -)

植 物 名 称	I	II	III	IV	V	VI*
针 茅 <i>Stipa sp.</i>	+	+	+	+	+	+
禾本科一种	+	+	+	+	+	+
糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i>	+	+	+	+	+	+
达乌里胡枝子 <i>Lespedeza davurica</i>	+	+	+	+	+	+
达乌里黄芪 <i>Astragalus dahuricus</i>	+	+	+	+	+	+
黄 蒿 <i>Artemisia scoparia</i>	+	+	+	+	+	+
画 眉 草 <i>Eragrostis pilosa</i>	+	+	+	+	+	+
猪 毛 菜 <i>Salsola collina</i>	+	+	+	+	+	+
阿尔泰紫菀 <i>Aster altaicus</i>	+	+	+	+	+	+
蒺 藜 <i>Tribulus terrestris</i>	+	+	+	+	-	-
虱 子 草 <i>Tragus berteronianus</i>	+	+	+	-	+	-
苦 蕒 菜 <i>Ixeris chinensis</i>	-	+	-	+	+	+
细 叶 葱 <i>Allium tenuissimum</i>	-	+	-	+	-	+
菊叶委陵菜 <i>Potentilla tanacetifolia</i>	-	+	-	-	+	+
巴 锡 葵 <i>Bassia dasyphylla</i>	+	-	+	+	-	-
达乌里苕芭 <i>Cymbaria dahurica</i>	-	-	-	-	-	+
地 梢 瓜 <i>Cynanchum thesioides</i>	+	+	-	-	-	-
黄 花 苜 蓿 <i>Medicago falcata</i>	-	-	-	+	-	+
黄毛沙生棘豆 <i>Oxytropis ochrantha</i>	-	-	-	+	-	+
木 地 肤 <i>Kochia prostrata</i>	+	-	-	+	-	-
分 枝 雅 菴 <i>Scorzonera divaricata</i>	-	+	-	-	-	-
阿 氏 旋 花 <i>Convolvulus ammannii</i>	+	-	-	-	-	-
早 熟 禾 <i>Poa annua</i>	+	+	-	-	-	-
地 薔 薇 <i>Chamaerhodos erecta</i>	+	-	-	-	-	-
沙 茴 香 <i>Ferula bungeana</i>	-	-	-	-	-	+
冰 草 <i>Agropyron desertorum</i>	-	-	-	-	-	+
羊 草 <i>Leymus chinensis</i>	-	-	-	-	-	+
薊 <i>Cirsium sp.</i>	-	-	-	-	-	+
狗 尾 草 <i>Setaria viridis</i>	-	-	-	-	-	+
百 蕊 草 <i>Thesium chinensis</i>	-	-	-	-	-	+
细 叶 鸢 尾 <i>Iris tenuifolia</i>	-	-	-	+	-	-
蒙 古 葱 <i>Allium mongolicum</i>	-	-	-	+	-	-
绿 珠 葵 <i>Chenopodium acuminatum</i>	-	-	+	-	-	-

* 此取样点剪草样 2 平方米

为了比较氟污染在不同距离上对植物种类的影响是否存在差异, 我们以群落相似性系数 (S) 进行了测验 (Turner et al., 1974; 夏武平等 1978), 其公式如下:

$$S = 2j / a + b$$

式中 a, b 为对比的两取样点物种数; i 为对比的两取样点相同的物种数。
根据以上公式求得的相似性系数值列于表 3。

表 3 各取样点植物相似性系数

取样点编号	Ⅵ	V	Ⅳ	Ⅲ	Ⅱ
I	0.450	0.667	0.686	0.813	0.718
Ⅱ	0.667	0.743	0.600	0.703	
Ⅲ	0.526	0.714	0.667		
Ⅳ	0.634	0.581			
V	0.611				

根据公式可知, 相似性系数最大值为 1。由表 3 可见, 各样点间相似性系数, I 与Ⅲ为其最高者, 相似性系数达 0.813。I 与Ⅱ为 0.718, Ⅱ与Ⅲ为 0.703。这就是说, 在污染源西北方向的 I、Ⅱ、Ⅲ三个取样点彼此间的相似性系数为各取样点较高者。距污染源较近的取样点 I 与距污染源较远的取样点Ⅲ相似性系数最高, 说明受污染的轻重对植物种类并没有产生影响。如果将所得各取样点间相似性系数按不同等级水平加以归纳, 以 Lockhart 等 (1970) 的方法, 作一树状图 (图 2), 可以更清楚地比较各取样点间所处的相似性水平。

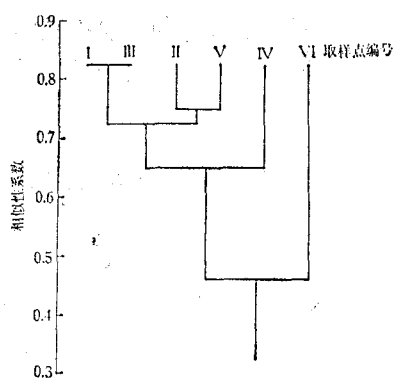


图 2 各取样点相似性系数分析图

取样点Ⅵ所处的地理位置与 I、Ⅱ、Ⅲ取样点山前冲积扇荒漠草原不同, 其地形、地貌、和植被也就与这 3 个取样点有所差异, 因此Ⅵ与 I、Ⅱ、Ⅲ植物群落的相似性系数较低; 反言之, 它们的相异性系数较高。但这并非污染所致, 乃是环境条件不同的缘故。

取样点 I、Ⅱ、Ⅲ在污染源的同一方向, 其地形地貌相同, 植被也是一样的, 但受氟污染重且植物含氟量高的 I 与受污染较轻, 植物含氟量较低的Ⅲ植物群落相似性系数最高, 亦即它们的相异性系数最低 (0.187), 说明氟污染并没有使不同取样点上植物群落种类受到影响。

以群落相似性系数比较了植物种类的差异后, 我们再分析一下不同取样点植物的总株数与产草量的差异情况, 结果列于表 4。

以 F 测验检查各取样点总株数有无显著性差异, $F = 2.36$, 小于 $F_{0.05} = 3.20$ 之值, 说明各取样点 1 平方米内植物的株数没有显著性差异。各取样点植物的干重, 经 F 测验得 $F =$

表 4 各取样点内植物数量及产草量 (平均值 ± 标准误)

取样点编号	总 株 数	总 湿 重 (克)	总 干 重 (克)
I	301.00 ± 23.63	134.43 ± 9.58	92.37 ± 6.05
II	302.67 ± 44.71	154.83 ± 6.49	97.60 ± 4.82
III	362.67 ± 58.21	175.77 ± 18.25	115.10 ± 1.71
IV	480.33 ± 94.34	189.73 ± 36.99	122.27 ± 27.20
V	427.33 ± 30.80	127.17 ± 6.99	75.93 ± 6.31
VI	590.50 ± 159.50	128.35 ± 30.55	71.90 ± 16.70

2.18, 也小于 $F_{0.05} = 3.20$, 说明差异也不显著。以上结果表明, 受氟污染程度不同的取样点内, 植物的株数和产草量并没有表现出明显地差异。

在检验了各取样点间植物种类、株数与产草量没有显著性差异后, 现在进一步看看植物群落种的多样性受到氟污染后在群落组成上有没有变化和影响。群落多样性的测定, 采用 Shannon-Wiener 多样性指数 D (Cox, 1972), 其公式为:

$$D = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i$$

式中, p_i 为第 i 个种的株数占群落中所有种的总株数的比例; n 为植物种数。

种的多样性与种间个体分布的均匀度有关, 均匀性指数 $J = D/D_{max}$, D_{max} 为 D 的最大理论值。将各取样点计算结果列于表 5。

表 5 各取样点植物群落种的多样性指数与均匀性指数

取样点编号	n	D	D_{max}	J
I	17	2.616	4.087	0.640
II	22	2.944	4.459	0.660
III	15	2.480	3.907	0.635
IV	18	2.804	4.170	0.672
V	13	2.504	3.700	0.677
VI*	23	2.421	4.524	0.535

* 本取样点做 1 平方米样方 2 块

从表 5 看到, 各取样点的多样性指数和均匀性指数都近于相同的水平, 只有取样点 VI 较低, 这可能是和该取样点所做样方少以及其生境与其他取样点不太相同有关。

总而言之, 受氟污染的各取样点中, 植物群落的多样性指数和均匀性指数差异不大。

植物是达乌尔黄鼠赖以生存的食物, 含氟植物通过食物链使物质由初级生产者进入次级生产者。各取样点植物的含氟量见表 1, 经 F 检验它们之间的差异非常显著, $F = 9.25$, 大于 $F_{0.05} = 3.38$ 。经 t 检验, I 与 II 差别不显著, I 与 III 显著, II 与 III 不显著, 但东北与西北两向的植物含氟量有明显的差异。

为了了解各取样点植物含氟量与黄鼠骨氟含量的关系，我们以秋季所采植物测得的植物含氟量，做为上年同期的植物含氟量与当年春季刚出蛰黄鼠骨氟含量（如前所述，此值可代表上年秋季入蛰时的最高氟水平）作回归分析，结果表明二者存在一定的回归关系（图 3）。其关系式为：

$$Y = 27.16X^{1.02} \quad (r = 0.88, p < 0.05)$$

式中 Y 为骨氟含量(ppm)， X 为植物氟含量(ppm)。

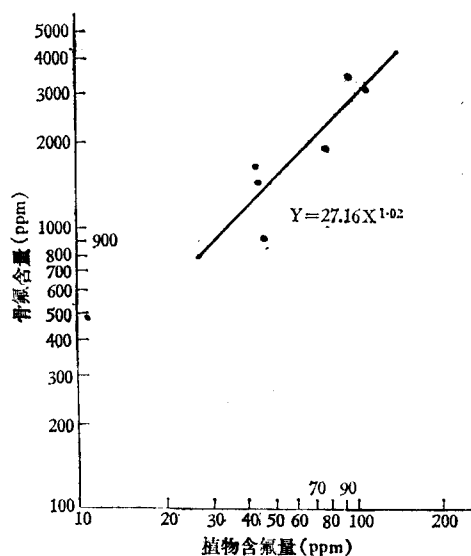


图 3 各取样点植物含氟量与骨氟含量的关系曲线

3. 氟污染与土壤含氟量的关系

大气氟污染不仅污染了植物，同时降下的含氟飘尘也污染了土壤。在各取样点，采集地表土测土壤水溶氟，结果见表 1。从表 1 可以看到不论是春季还是秋季，在西北方向的 3 个取样点，或东北方向的 2 个取样点，其土壤含氟的平均值均有距离差异。用统计学方法检验，春季西北向的 I、II、III 3 个取样点土壤含氟量有显著差异，东北向 IV、V 差异不显著；秋季西北向取样点 I 与 II、III 有差异，II、III 差异不显著，东北向取样点 IV、V 差异不显著。总之，取样点 I 在西北主风向上，又距污染源较近，因此其土氟含量不论春季还是秋季，总是较高的。春季土氟含量较秋季为高，春季土氟含量在逐渐积累的过程中，经夏季雨水冲溶，会略有下降，至秋季再积累，其含量又会逐渐增高。至春季，土氟值可推论为其最高代表值。

四、小 结

1. 大气氟污染对达乌尔黄鼠的骨氟残留量有明显地影响。离污染源近，骨氟残留量高，远离污染源，骨氟残留量逐渐降低。从方向上看，西北方向黄鼠骨氟残留量较东北方向为高，说明西北方向污染较重，在污染区内，不同取样点上黄鼠骨氟残留不同，但对其体重的影响不明显，却有体重大的个体其骨氟含量亦高的趋势。

2. 在氟污染区不同取样点上, 植物含氟量是有显著地距离差异的。但氟污染对不同取样点上植物群落的种类、产草量和植物群落的多样性影响不大。各取样点黄鼠骨氟残留量与植物含氟量存在一定的回归关系。

3. 氟污染区土壤含氟量同黄鼠骨氟含量和植物氟含量一样, 亦有相似的梯度差异, 即离污染源近含氟量高, 离污染源远含氟量低。并有显著性差异。

参 考 文 献

夏武平、钟文勤 1978 黄鼠洞口与其周围植物群落的关系。动物学报 24(4) 335—343。

蔡宏道 1981 环境污染与卫生监测。人民卫生出版社。101—102。

Cox, G.W. (蒋有绪译) 1979 普通生态学实验手册。120—123, 科学出版社。

Калабыхов, Н.И. (罗河清译) 1959 动物的休眠。科学出版社。

K.Schwarz and D.B.Milne 1972 Fluorine requirement for growth in the rat. *Bioinorg. Chem.* 4(1):331—338.

Lockhart, W.R. and J.Liston(eds.) 1970 Methods for numerical taxonomy. p. 50—57. Am. Soc. Microbiol.

Robel, R. J., C. D. Stalling, M. E. Westfahl, and A. M. Kadoum 1972 Effects of insecticides on populations of rodents in Kansas-1965-69. *Pestic. Monit. J.* 6(2):115—121.

Turner, B.D. and E.Broadhead 1974 The diversity and distribution of psocid population on *Mangifera indica* L. in Jamaica and their relationship to altitude and micro-epiphyte diversity. *J. An. Ecol.* 43(1):173—190.

EFFECTS OF AIR FLUORIDE POLLUTION ON THE GROUND SQUIRREL AND ITS HABITAT

Liu Xiyue

(Institute of Zoology, Academia Sinica)

Liu Huanwen

(Batou Institute of Environmental Protection)

The present paper deals with effects of air fluoride pollution on the ground squirrel (*Citellus dauricus mongolicus* Milne-Edwards) and its habitat. The steel factory in our study area is a point source of air fluoride pollution. Six sites were selected in the area for collecting the samples of ground squirrel femurs, herbs and soil.

The fluoride concentration in the femur ash of the ground squirrel, in herbs and in soil varied with the distance and direction from the fluoride source. The farther the location from the source of fluoride pollution, the lower the F-concentration in all samples. Especially, all samples collected in the vicinity towards northwest of the pollution source were highly contaminated by fluoride. But there was no clear relationship between the body weight of the ground squirrel and its F-concentration in the femur ash. the Ground squirrel may be a weedy species for fluoride contamination.

There was no clear influence of fluoride pollution on the species, biomass and diversity of plants in the study area. There is a significant relationship of F-concentration between the femur ash and herbs expressed by the equation $Y = 27.16X^{1.02}$.