

我国地方性氟中毒病区环境氟的安全阈值

李永华,王五一,侯少范(中国科学院地理科学与资源研究所,北京 100101)

摘要:概述了我国地方性氟中毒的 4 个流行区域及其环境特征,揭示地方性氟中毒的流行与地球化学环境密切相关,研究了不同氟中毒病区氟从外环境到人体的传输途径及其剂量-效应关系,选择氟斑牙检出率 5% 作为病区划分标准,确定了不同病区环境氟的安全阈值,为氟的环境风险评价提供科学依据。

关键词:氟中毒;区域分异;剂量-效应;安全阈值;环境风险评价

中图分类号:R599 文献标识码:A 文章编号:0250-3301(2002)04-05-0118

Safety Threshold of Fluorine in Endemic Fluorosis Regions in China

Li Yonghua, Wang Wuyi, Hou Shaofan(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: Four endemic fluorosis regions in China and their environmental epidemiological characteristics were summarized in this paper. It shows that the epidemiology of endemic fluorosis is closely related to geochemical parameters of local environment. The food-web and dose-effect relationship of fluoride from environment to human body in different types of endemic fluorosis regions were studied. And the safety threshold of fluoride in different regions was determined. The results have provided a scientific basis for environmental risk assessment of fluoride in China.

Key words: endemic fluorosis; regional differentiation; safety threshold; dose-effect; environmental risk assessment

地方性氟中毒属典型的地球化学性疾病,在我国分布面积广、危害严重。全国现有病区县 1226 个,受威胁的病区人口 1 亿多^[1]。但地方性氟中毒又具有明显的地理规律,主要发生于西北干旱、半干旱地区,东南湿润地区流行范围小,病情较轻。流行病学调查资料也证实,不同地区引起氟中毒的环境氟阈值不尽相同^[2~5]。尽管国内外对环境氟含量与地方性氟中毒的关系的研究报道较多,但系统阐明氟对机体影响的剂量-效应的研究并不多。本文在前人研究的基础上,对我国地方性氟中毒地区进行区划,并系统地研究了不同病区地方性氟中毒的环境流行特征及环境氟的安全阈值,研究成果可应用于病区的划分以及环境氟的风险评价。

1 我国地氟病的环境流行特征

地方性氟中毒在我国流行时间长,但对本病的认知还是近百年以来的事^[2]。上世纪 60 年代,我国医学防疫部门对本病进行了流行病学调查并开展防治工作,但对环境要素了解不多。70 年代以来,由于各学科之间的协作和渗透,对地方性氟病在我国流行的特点、类型及其与

环境要素的关系有了一定的研究^[2,6~8]。根据环境要素大致可以将我国的地方性氟中毒病区划分为以下 4 个相对集中的区域,其地区分布如下:

I 区:本区大致自东北走向西南再转向西北,呈宽带状分布。具体包括从黑龙江的安达和三肇地区(肇东、肇州、肇源)经吉林的三安地区(农安、乾安、大安),内蒙古的锡林郭勒、包头,河北阳原,山西大同、忻州,至陕西的三边地区(靖边、安边、定边)和宁夏的盐池、灵武,再折向新疆的吐鲁番盆地、阿克苏和塔里木河流域。

II 区:主要分布于黄淮海平原局部高氟地区,如渤海湾附近,山东的潍坊、泰安,以及河南的夏邑、杞县、洛阳等地。

III 区:地处东南沿海部分地区,包括浙江的义乌、武义、青田,经闽西南至广东的丰顺、汕头等地。

基金项目:国家自然科学基金项目(40171006);中国科学院创新基金资助项目(编号 CXIOG A00-01)

作者简介:李永华(1971~),男,湖南衡南人,博士研究生,主要从事环境生命元素与健康研究。

收稿日期:2001-04-28;修订日期:2001-08-28

IV区:主要流行于西南山区,如陕南安康地区等,各区地方性氟中毒的环境流行特点见表1。鄂西北、贵州大部分地区、滇东及滇西北地 1。

表 1 我国地方性氟中毒的环境流行特点

Table 1 The environmental epidemic characteristics of endemic fluorosis in China				
环境要素	区域 I	区域 II	区域 III	区域 IV
分布规律	地带性分布为主	地带性分布为主	非地带性分布为主	非地带性分布为主
主要生态环境类型	高氟地下水型 高氟茶水型	高氟地下水型 高氟岩矿水型	高氟地下水型 高氟岩矿水型 高氟温泉水型	燃煤污染型 高氟岩矿水型 高氟茶水型
气候	温带(以中温带为主)干旱半干旱大陆性气候,年均降雨量一般<400 mm	暖温带半干旱、半湿润大陆季风气候,年均降雨量400~700 mm	亚热带温湿气候,年均降雨量1000~2000 mm	亚热带温湿气候,年均降雨量约900~1400 mm
地貌、地质背景	第四纪山前/河前冲洪积平原和第四纪黄土堆积,酸性火山岩及侵入岩较发育	第四纪滨海沉积和河流冲积平原,分布着砂、砾石、粘土等松散岩类	流水侵蚀山地区,主要分布有中生代火山岩系,含磷地层	海相、浅海相石灰岩溶蚀山地和流水侵蚀山地区,广泛分布有二叠系煤层和寒武、奥陶纪石煤
地表水化学组成	$\text{HCO}_3^- - \text{CO}_3^{2-} - \text{Ca}^{2+}$; $\text{Cl}^- - \text{Na}^+$	$\text{SO}_4^{2-} - \text{Na}^+$; $\text{HCO}_3^- - \text{CO}_3^{2-} - \text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+}$	$\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+$	$\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}$
土壤类型	硫酸盐-苏打、小苏打盐土型草甸土为主,内陆极干旱区地表积聚着氯化钠盐盘	大多属于氯化物硫酸盐盐土或硫酸盐氯化物盐土,并伴有次生盐渍化。	湿润富铁铝风化土	淋溶土、半湿润富铁铝风化土

综上所述,我国地方性氟中毒有饮水型和燃煤污染型 2 大类。其中饮水型地方性氟中毒是我国分布范围最广的地方性氟中毒类型,在 4 个病区均有分布。根据饮用水水源的不同,饮水型地方性氟中毒又可分为浅层高氟地下水型、深层高氟地下水型、高氟温泉水型、高氟岩矿水型和高氟茶水型等。燃煤污染型氟中毒是 70 年代后期确认的我国特有的病区类型,主要分布于病区 IV。该区煤炭资源丰富,并伴有许多裸露的富氟石煤地层,是当地居民的主要生活燃料。受山地气候的影响,区域 IV 内云雾天气和阴雨天明显增多,相对温度大,当地居民惯用煤火烘干粮食并悬挂于灶梁上贮藏,粮食氟含量成倍增加。生活在冷湿环境下的居民,煤火长年不熄,平均燃煤 2~3 t/户,而燃煤中的氟可气化成各种含氟气体,如氟化氢(HF)、四氟化硅(SiF₄)、氟硅酸(H₂SiF₄)和氟粉尘等,导致室内空气含氟量高。这些氟化物可长时间滞留在室内,或通过呼吸道直接进入人体,或通过飘尘富集于食物并经食物链进入人体。

2 氟从外环境到人体的传输途径及剂量-效应关系

2.1 氟从外环境到人体的传输途径

环境中的氟主要通过饮水、食物和空气传输进入人体,机体内环境氟累积可引起生化和病理改变,进而导致地方性氟中毒发生。其传输途径如图 1。

2.2 饮水氟与地方性氟中毒的剂量-效应关系及饮水氟的安全阈值

饮水是地方性氟中毒的主要传输途径,早在 1916 年人们就已经认识到水氟对牙齿的损害。从流行病学调查可见,水氟含量与地方性氟中毒病发病率的关系较为复杂,在水氟含量大致相同的条件下,不同地区地氟病的发病率差异较大。但对同一地区来说,饮水氟含量越高发病率亦越高,水氟含量与发病率基本上呈正相关。考虑环境要素在不同区域上的差异性,我们对主要由饮水氟含量过高而引起地氟病的病区 I 和病区 II、III 进行研究,分别探讨其饮水氟含量与居民氟斑牙患病率的剂量-效应关系。

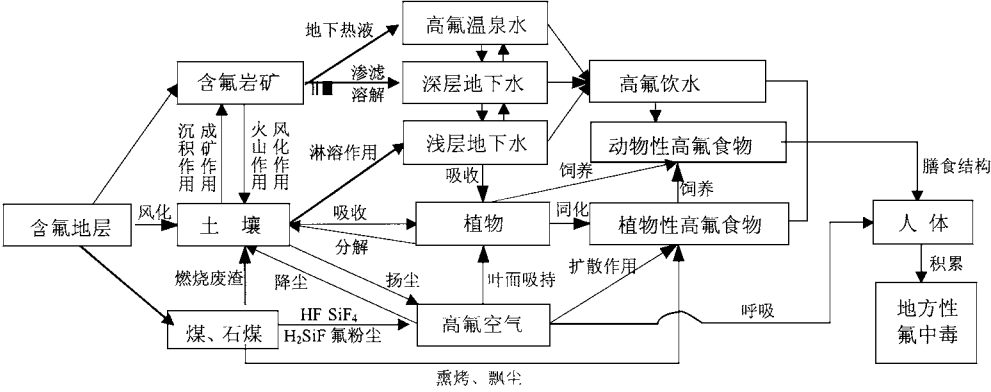


图 1 外环境中的氟进入人体内环境的可能途径

Fig.1 The possible transmitting channels of fluorine from environment to human body

表 2 病区 I 内饮水氟含量与居民氟斑牙患病率^[9,10]

Table 2 The incidence of dental fluorosis of inhabitant and the content of fluoride in drinking water in disease-affected region I

饮水氟含量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	氟斑牙患病率/%
0.23	13.92
0.36	32.46
0.48	12.69
0.48	18.18
0.64	67.29
1.16	47.20
1.35	90.07
1.86	83.72
2.70	85.63
3.03	97.57
4.70	99.57

表 2 是病区 I 内饮水氟含量与居民氟斑牙检出率的对应关系.将饮水氟含量与氟斑牙患病率作相关分析,结果表明,饮水氟含量与氟斑牙患病率呈明显的剂量-效应关系,相关系数 $r = 0.847$, $p < 0.01$.以饮水氟含量为自变量 X ,氟斑牙患病率为因变量 Y 作回归分析,发现它们之间存在很好的对数相关关系, $Y = 56.192 + 31.635 \ln X$, $r = 0.922$, $p < 0.01$.根据回归方程计算,病区 I 内居民患氟斑牙的最低饮水氟含量为 $0.17 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,当饮水氟含量增加到 $0.82 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,氟斑牙患病率急剧提高到

50%,当饮水氟含量达到 $4.00 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,几乎所有居民都患有不同程度的氟斑牙.考虑存在临床误诊和模糊判定因素,以 5%的居民氟斑牙患病率作为病区划分的标准,病区 I 内饮水中氟的安全阈值为 $0.20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

表 3 病区 II、III内饮水氟含量与居民氟斑牙患病率^[5,11,12]

Table 3 The incidence of dental fluorosis of inhabitant and the content of fluoride in drinking water in disease-affected region II and III

饮水氟含量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	氟斑牙患病率/%
0.41	14.30
0.43	1.04
0.47	11.39
0.78	69.94
0.82	49.40
0.88	42.17
1.68	69.60
1.72	61.45
1.98	80.69
2.00	63.39
2.60	86.20
2.70	79.93
3.20	86.26
3.28	88.30
4.15	87.90

表 3 是病区 II、III内饮水氟含量与居民氟斑牙检出率的对应关系.饮水氟含量与氟斑牙

患病率也呈明显的剂量-效应关系($r = 0.854, p < 0.01$).以饮水氟含量为自变量 X ,氟班牙患病率为因变量 Y 作回归分析, $Y = 47.183 + 35.113 \ln X, r = 0.934, p < 0.01$.根据方程计算,病区 II、III内居民患氟班牙的最低饮水氟含量为 $0.26 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,当饮水氟含量增加到 $1.08 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,氟班牙患病率高达 50%,当饮水氟含量达到 $4.50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,居民都患有不同程度的氟班牙.以 5% 的居民氟班牙患病率作为病区划分的标准,病区 II、III内饮水中氟的安全阈值为 $0.30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

与病区 I 内相比,病区 II、III内引起居民患氟班牙的饮水氟含量有不同程度的提高,这与它们所处的地理环境有关.如表 1 所示,病区 I 内为温带(以中温带为主)干旱、半干旱大陆性气候,炎热、多风和干旱为其特征,居民通过大量饮水来适应外界的恶劣环境,其结果导致饮水摄氟量增加.据调查,当地居民日饮水量约为 5 L.因此,即使在水氟含量不高的地区也可能因大量饮水而导致日摄氟量超标.据高洪信等报道^[9],吐鲁番地区成人通过饮水平均摄入的氟量一般可达 $8 \sim 18 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$,少数人达 $10 \sim 23 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$,分别为允许上限($4 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$)的 2~6 倍.而病区 II、III内分别为暖温带半干旱、半湿润大陆季风气候和亚热带温湿气候,雨、热适中.与病区 I 内相比水体中氟的蒸发浓缩作用减弱,饮水中氟含量有所降低;同时,当地居民日饮水量一般不超过 3 L,显然只有较高的饮水氟含量时才能使氟在人体内蓄积到有害剂量.因此,在确定饮水氟适宜浓度时要充分考虑到地域环境和人文因素.

2.3 煤炭氟与地方性氟病的剂量-效应关系及煤炭氟的安全阈值

燃烧高氟煤炭是引起地方性氟中毒的又一重要途径,也是病区 IV内居民氟中毒的主要原因.燃煤型病区氟的传输途径比饮水型的复杂,除燃煤烘烤的粮食和蔬菜外,还涉及到水、气及煤炭开采利用过程中对外环境所形成的污染等,如在煤炭工业区,大气降水中的氟主要来自煤炭燃烧时释放的氟.流行病调查结果表明,因

食用煤烟熏烤的高氟粮食而引起饮食型地方性氟中毒和因吸入污染空气所致的燃煤污染空气型地方性氟中毒已成为燃烧高氟煤炭所引起的 2 种主要氟中毒类型.

表 4 病区 IV内煤炭氟含量与居民氟班牙患病率^[13]
Table 4 The incidence of dental fluorosis of inhabitant and the content of fluoride in coal in disease-affected region IV

煤炭氟含量/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	氟班牙患病率/ %
57.50	0
159.00	6.84
186.00	0
244.00	4.30
534.00	16.54
646.00	22.72
697.50	16.54
725.00	22.00
1165.00	92.20
1193.50	93.90
1391.50	90.59
1668.00	96.40

表 4 是病区 IV内煤炭氟含量与居民氟班牙检出率的对应关系.由表中数据可知,燃煤型氟病区居民氟班牙患病率高低分布与煤炭含氟量的多寡相一致(相关系数 $r = 0.943, p < 0.01$).以煤炭氟含量为自变量 X ,氟班牙患病率为因变量 Y 作回归分析,其回归方程为: $Y = 161.92 + 32.27 \ln X (r = 0.811, p < 0.01)$.根据回归方程计算,居民氟班牙患病率为 0 的煤炭氟含量为 $151 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,以 5% 的氟班牙患病率作为病区划分的标准,病区 IV内煤炭氟的安全阈值为 $176 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,这与流行病学调查煤氟含量在 $200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以下长期使用不引起氟中毒的结果相符合^[14].

病区内病情的轻重主要取决于煤炭含氟量.此外,病情的轻重与居民生活习俗如年用煤量、暴露年限及个体、营养上的差异等有关.根据鄂西典型燃煤污染型地氟病区的调查资料^[15],显示当地居民氟骨症患病率与燃煤量和燃煤时间都呈显著正相关(相关系数分别为 0.891 和 0.962,样点数均为 10).

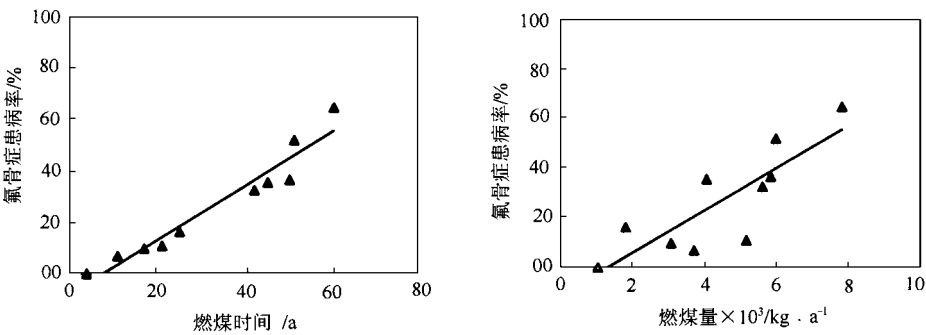


图 2 燃煤污染型地氟病区居民氟骨症患病率与燃煤时间及数量的关系

Fig.2 The relationship between the incidence of inhabitant skeletal fluorosis and the years/ mounts of coal combustion in disease-affected region IV

已有关于环境氟剂量-效应反应的研究均以居民氟斑牙检出率或氟骨症检出率为指标, 以此得到环境氟的安全阈值, 这对于病区的确定和环境氟健康风险的评价提供了依据. 近年来的研究表明, 慢性地氟病是一种全身性疾病, 过量的氟进入机体几乎可以引起机体各系统的损伤. 尽管有时并没有出现典型的特异性病变症状(如氟斑牙和氟骨症等), 不能确诊为氟中毒病人, 但病人已发生肝脏、心脏、内分泌系统、神经系统等的损伤或组织病理学上的改变, 这在预防医学上应引起足够的重视.

参考文献:

1 卫生部疾病控制司. 全国地方病防治工作年报表[M]. 2000 .
2 谭见安主编. 中华人民共和国地方病与环境图集[M]. 北京: 科学出版社, 1989. 156 ~ 193 .
3 江远福. 生活燃煤污染型地方性氟中毒研究进展. 中国地方病防治杂志[J], 1994, 9(12) : 104 ~ 106 .
4 Bower C A, Hatcher J T. Adsorption of fluoride by soils and minerals[J]. Soi. Sci., 1967, 103(3) : 151 ~ 154 .
5 全国地方性氟中毒重点监测组. 饮水型地方性氟中毒全国重点监测汇总分析(1996 ~ 1997)[J]. 中国地方病学杂志, 2000, 19(5) : 359 ~ 364 .

6 刘东生, 陈庆沐, 余志成等. 我国地方性氟病的地球化学问题[J]. 地球化学, 1980, 1: 13 ~ 21 .
7 陈庆沐, 刘玉兰. 氟的土壤地球化学与地方性氟中毒. 环境科学, 1981, 2(6) : 5 ~ 9 .
8 李日邦, 谭见安, 王丽珍等. 我国不同地理条件下耕作土中的氟及其与地方性氟中毒的关系[J]. 地理研究, 1985, 4(1) : 30 ~ 40 .
9 高洪信, 戴国钧, 马春林等. 潜水型地氟病区岛状分布成因的研究[J]. 中国地方病防治杂志[J], 1987, 2(5) : 261 ~ 266 .
10 刘鸿德, 李晓玲, 王新中等. 吐鲁番地区地氟病的流行特征[J]. 中国地方病防治杂志[J], 1990, 5(2) : 82 ~ 84 .
11 周燕. 不同水氟浓度对脱齿影响的调查[J]. 中国地方病防治杂志, 1994, 9(2) : 106 .
12 邹华章. 泗阳县地方性氟中毒调查(摘要)[J]. 中国地方病防治杂志, 1987, 2(5) : 315 ~ 316 .
13 朱臣凯, 左世明, 柯家静等. 黔南州燃煤地区地方性氟中毒流行病学调查[J]. 中国地方病学杂志, 2000, 19(5) : 369 ~ 370 .
14 周代兴, 傅强, 王志良等. 拌煤粘土含氟量与燃煤污染型氟中毒关系的调查[J]. 中国地方病防治杂志[J], 1991, 6(4) : 243 ~ 244 .
15 蹇新华, 李华兵, 蹇曾山. 燃煤污染型氟中毒与环境氟关系的调查[J]. 中国地方病防治杂志, 1988, 3(6) : 368 ~ 369 .