

中国东北饮水型地方性氟中毒的地质环境特征及防治

蔡 贺 王长琪 张梅桂 李旭光 郭常来

(中国地质调查局沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034)

提要: 饮水型地方性氟中毒(简称地氟病)是由于长期饮用氟含量超标的水源而引发的地方性疾病,其流行原因主要是特定的自然环境、地质环境和生存环境等因素,本文论述了中国东北地区饮水型地氟病发生的地质环境特征,探讨了地氟病防治中存在的问题与改水建议。

关键词: 东北地区; 氟中毒; 地质环境; 防治措施

中图分类号: P641.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2010)03-0645-06

1 概 述

地方病是指具有严格的地方性区域特点的一类疾病。它主要发生在某一特定地区,同一定的自然环境有密切关系。饮水型地方性氟中毒是由于长期饮用氟含量超标的水源而引发的地方性疾病,它严重危害病区居民的身体健康。

中国东北地区是中国地方病的重病区之一,几乎每个行政区县都有不同程度的地方病分布,具有病区分布广、病人多、病情重、危害大的特点。松、辽平原地下潜水中氟含量普遍较高,当地群众长期饮用含氟量较高的地下水,引发氟中毒病流行。

氟中毒病流行的地区主要包括有辽宁省的建平、盘山、黑山、辽中、新民等县市,吉林省的通榆、长岭、白城、乾安、大安等县市,黑龙江省的肇源、肇州、肇东、安达、林甸等县市,内蒙古自治区满洲里、科左中旗、奈曼、库伦、阿鲁科尔沁等旗县,主要表现为氟骨症和氟斑牙症。据卫生部门 2005 年的统计资料,东北地区氟斑牙的患病人数约为 294 万人,氟骨症的患病人数约为 23.3 万人。这些地区在地貌上为低平原、高平原和山前扇形平原的低洼地带,居民用水

主要是第四纪浅层水,高氟区地下水氟含量一般为 1~3 mg/L,饮用高氟水是氟中毒的主要原因。

2 氟中毒的地质环境特征

2.1 区域地质、地貌特征

2.1.1 区域地质构造和地层岩性特征

从黑龙江省三肇地区的肇州、肇东、肇源,经吉林的白城、辽宁的康平、法库到内蒙的赤峰,是东北地方性氟中毒主要分布区。该区位于兴安岭—内蒙地槽褶皱区的松嫩中断(拗)陷带内,第四纪地层较发育,中、重病区基本都位于沉降幅度最大的冲湖积平原的中部,以第四纪特别是晚期的沉降运动与氟中毒的关系最为密切。

另外,病区的岩土性质都具有颗粒细,比表面积大的特点,岩性主要为黄土状粉质粘土、粉质粘土和淤泥质粉质粘土。非病区的主要为砂砾石和粉质粘土,砂砾石具有较高的孔隙率,透水能力强,不利于氟的富集。通过取样分析可以看出,不同的地层岩性中 F 的含量不同,分别引发不同程度的地氟病(表 1)。

2.1.2 地貌特征

地方性氟中毒流行病学的特点是呈灶状分布,

收稿日期:2009-02-04;改回日期:2010-04-12

基金项目:东北地方病严重区地下水勘查及供水安全示范项目(1212010634701)资助。

作者简介:蔡贺,男,1963年生,教授级高级工程师,从事水文地质环境地质研究;E-mail:hljcaihe@163.com。

表 1 黑龙江省肇源县土壤氟含量与岩性对比
Table 1 Comparative table of soil fluorine content and rock properties
in Zhaoyuan County, Heilongjiang Province

岩 性	粘 土	淤泥质土	黄土状土	砂土
土壤氟元素含量/ 10^{-6}	540~620	720	310~490	190
水溶氟含量/ 10^{-6}	12.6~28.88	12.25	<2.6	0
病 情	重病区	重病区	中病区	轻病区

在地貌上多分布在山前冲积扇的扇缘交接洼地和冲积平原区相对低洼的地区,即地形地貌的差异,氟中毒已呈现出不同的特点。正地形中病情相对较轻,负地形中病情相对较重,而且地形越低洼越易形成病区,同时病情也随之加重。比如肇州、肇源和乾安等处在松嫩盆地的中部,大部分为低平原区,氟中毒就比较严重;翁牛特旗和巴林右旗的氟中毒病区分布在山前冲积扇的山原交接洼地。而处在高平原之上的依安、克山、北安、五常等地几乎没有氟中毒的发生。

2.1.3 土壤地球化学特征

松嫩平原是世界三大苏打盐碱土集中分布区之一,盐渍化广泛分布于低平原的闭流洼地中。该区地势低洼平坦,地下水位高,气候相对干旱,土壤盐渍化现象比较普遍,以苏打型占绝对优势。在这种环境中,土壤中难溶性的氟化物如 CaF_2 , 在羟基作用下发生反应: $\text{CaF}_2 + 2\text{OH}^- = \text{Ca}(\text{OH})_2 + 2\text{F}^-$, 氟以离子形态活跃于土壤中。与此同时,土壤胶体和粘土吸附的氟,在高 pH 条件下解吸,把氟离子释放出来,使土壤中氟的活度增加。这部分活性氟,随水迁移或补给地下水、或补给地表水,参与环境中元素的再平衡。由于环境条件的差异,土壤碱化强度不同,氟的土壤地球化学行为在不同地区有所区别,也就造成氟在环境中的相对富集程度不同。据黑龙江省肇源县、肇源县地方病严重区水文地质专项调查报告,上述两地地处松嫩平原腹地,是第四系孔隙水的汇流区。该区多年平均降水量为 456 mm, 蒸发量为 943 mm, 属于黑龙江省蒸发的高值区及重点旱区。由于该区地下潜水埋藏浅,土壤颗粒细,毛细作用较强,地下水中的盐分被带入土壤表层,土壤盐渍化发育,分布有中、重度盐渍化土。调查结果表明,土壤水溶液中阴离子 $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^- \gg \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$, 阳离子 $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, 属苏打盐渍土。在雨季土壤饱水情况下,土壤水溶液呈碱性, pH 值 7.10~8.76。弱碱性的水文地球化学环境有利于氟元素从含氟矿物中析出并进入地下潜水中,因此在盐渍化发育地区,氟中毒的病情也

相对较重,盐渍化发育区也是地氟病的中、重病区。

2.2 区域水文地质特征

2.2.1 地下水补、径、排特征

在大、小兴安岭和长白山等基岩山区、山前冲洪积扇以及嫩江、松花江等河谷地区,属于地下水的补给区和排泄区,地下水径流条件好,水流交替迅速,氟离子处于强烈的迁移状态,缺少良好的储存条件,难以富集,氟中毒就轻或者没有;而位于地形平坦的低平原区,地下水径流微弱,水循环缓慢,以垂直交替为主,水中盐分不易运移,氟离子储存的条件优越,有利于氟的富集,形成高氟地下水,导致氟中毒比较严重。从调查看,松嫩平原的中部地势低洼,属于地下水的汇集区,地氟病就较重,而处在松嫩平原补给及径流区的四周与排泄区的河谷地带很少有地氟病的发生。另外,人工开采也影响着地下水中氟的富集,进而影响着地氟病的发生(图 1~2)。根据大庆油田 2000—2005 年监测资料,由于控制开采,水位在逐渐恢复,地下水中氟离子含量在逐渐升高。这也进一步证实,松嫩平原长期监测资料显示的地下水中氟离子含量在降低,是由于大规模、长期人工开采地下水引起的(松嫩平原长期观测资料)。对比 1989 年与 2007 年肇源县氟离子的监测数据,同样可以看出,氟离子的含量在降低。

2.2.2 水文地球化学特征

非病区的水化学类型比较单一,主要为重碳酸钙型水;病区的水化学类型比较复杂。比如在吉林省乾安县,轻病区地下水化学类型组合主要为 $\text{Cl}-\text{Ca}\cdot\text{Na}$ 和 $\text{HCO}_3\cdot\text{Cl}-\text{Na}\cdot\text{Ca}$ 型水组合,局部为单一的 $\text{HCO}_3-\text{Ca}\cdot\text{Na}$ 型。中病区地下水水化学类型组合主要为 $\text{HCO}_3\cdot\text{Cl}-\text{Na}\cdot\text{Ca}$ 、 $\text{HCO}_3-\text{Ca}\cdot\text{Na}$ 和 HCO_3-Na 型水组合,但以 $\text{HCO}_3\cdot\text{Cl}-\text{Na}\cdot\text{Ca}$ 型为主,次为 $\text{HCO}_3-\text{Ca}\cdot\text{Na}$ 型。重病区地下水化学类型主要组合为 $\text{HCO}_3-\text{Ca}\cdot\text{Na}$ 和 HCO_3-Na 型组合,以 $\text{HCO}_3-\text{Ca}\cdot\text{Na}$ 为主。

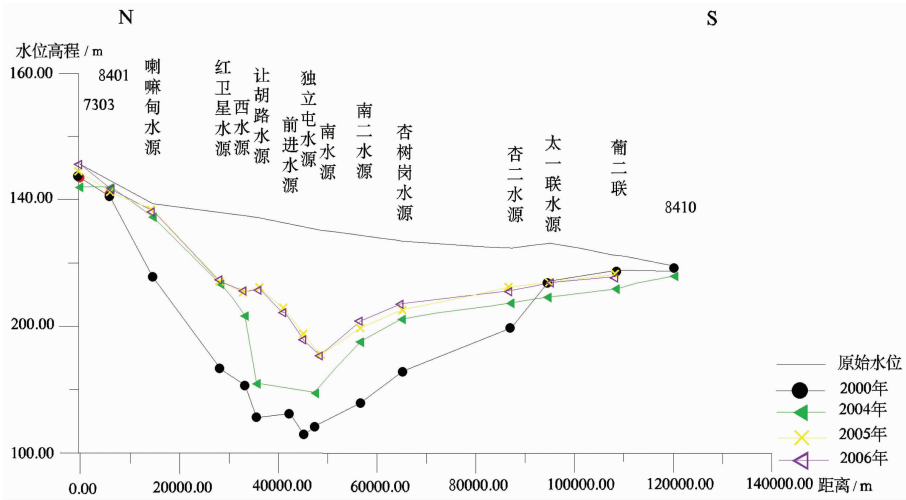


图 1 大庆西部地区泰康组含水层地下水水位降落漏斗剖面
 Fig.1 Funnel profile showing lowering groundwater table of the aquifer in Taikang Formation, Western Daqing

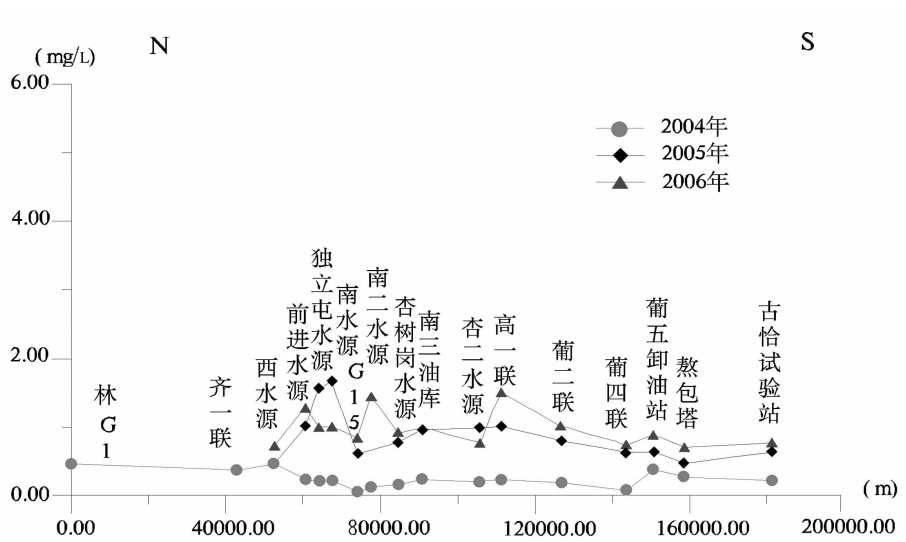


图 2 大庆西部地区泰康组含水层 2004-2006 年丰水期地下水氟离子含量剖面
 Fig.2 Profile of fluoride content of the aquifer in Taikang Formation in the high flow period of 2004-2006

2.2.3 地下水中氟含量特征

氟斑牙的发生与地下水氟含量基本呈正相关性,即水氟含量高的地区氟斑牙患病程度相对较高。在乾安县调查时发现氟斑牙初始出现的饮水氟含量为 1.06 mg/L,当饮水氟含量上升至 4.5 mg/L 时,氟斑牙的最高患病率可增至 70%;当饮水氟含量升至 7 mg/L 时,氟斑牙的最高患病率可增至 90%~95%;当饮水氟含量超过 7 mg/L 时,氟斑牙的最高患病

率可升至 100%。

氟骨症的发育与水氟含量也有相关性,水氟含量达到 1.5 mg/L 时即出现氟骨症,水氟含量超过 2.5 mg/L 时氟骨症患病率达到高峰。吉林省西部氟骨症与水氟含量调查结果表明,一般说饮水氟含量在 1~2 mg/L 为轻度氟中毒,2~4 mg/L 为中度氟中毒,超过 4 mg/L 为重度氟中毒。

综上所述,地方性氟中毒的发生与地质环境存

在着密不可分的关系。重病区和中病区主要分布在湖沼洼地密布的冲积湖积平原,常见岩性为细颗粒的黄土状土、淤泥质土,地下水化学类型主要为 $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Na}$ 和 $\text{HOC}_3\cdot\text{Cl-Na}\cdot\text{Ca}$ 型,地下水中氟的含量为 1.80~16.00 mg/L,一般在 4~6 mg/L。轻病区和非病区主要分布在湖沼洼地较少或没有的冲积湖积平原,常见岩性主要颗粒较粗的粉土、砂土等,地下水化学类型主要为 $\text{Cl-Ca}\cdot\text{Na}$ 和 $\text{HCO}_3\cdot\text{Cl-Na}\cdot\text{Ca}$,地下水氟的含量一般都低于 2 mg/L。这种一致性表明地质环境因素对地方性氟中毒的滋生和病情轻重起着控制性作用。但由于地质环境因素各自的属性所限,其对氟中毒的影响是不相同的。其中,地下水动力因素控制着地下水水文地球化学作用方向和水化学组分的集散,例如高氟水都出现在地下径流迟缓的或不受局部排泄或局部补给干扰的汇水区。地貌形态特征对水文地球化学作用方面的贡献:一是提供水化学组分集聚的场所,例如湖沼洼地密集的微波状冲积湖积平原,是本区最有利的水化学组分的富集场地;二是对地下水的淡化,例如霍林河漫滩区,由于河流对上更新统含水层地下水的季节性补给和排泄,将起着淡化作用。水化学特征和地下水氟含量则是地下水动力因素的结果和表征。

从各地质环境因素对本区水文地球化学作用功能看,影响东北氟中毒发生和病情轻重的各地质环境因素中,地下水的动力条件是首要的,其次是地貌因素,其他因素仅在此基础上加剧或淡化水文地球化学组分的分配。

另外,氟中毒的患病程度与年龄、性别、居住年限均有关。氟中毒的患病程度明显随年龄增长而逐渐严重,且女性患病率略高于男性,女性患病率随生育次数增加而增高。居住年限越长患病程度越重,骨关节功能障碍及残疾程度越高。

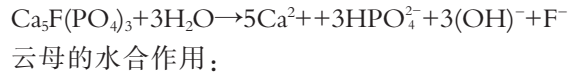
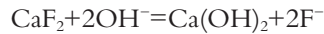
3 高氟水成因分析

3.1 地下水中氟的来源

东北地区地下水中的氟主要来源于含水围岩,因为氟在岩石、土壤中的含量比在地下水中的浓度要高出几个数量级,因此,在“岩石、土壤-地下水”系统中经常保持较高的浓度梯度,存在着氟从岩石、土壤中向地下水中转移的潜在可能性。在基岩地区,岩石在风化过程中,其中的氟化物被地下水所溶解,因此,水中氟含量的高低与所流经的岩石类型的富

氟程度有密切的关系。例如在松嫩平原西侧的大兴安岭一带,广泛分布有火山岩-次火山岩和萤石矿脉,构成典型的富氟地球化学环境区。据前人资料,松嫩平原地层中不同程度地含有磷灰石、角闪石、黑云母、电气石等含氟矿物,这些矿物中的 F^- 经溶滤作用或水合作用进入地下水中。

萤石和磷灰石的溶滤作用如下:



对于松散沉积物来说,其氟含量与颗粒组分关系密切。颗粒越细,总氟和水溶性氟含量越高,而且水溶性氟与总氟的比值也越大,因此,细颗粒的沉积物(主要是粘粒和粉粒),为地下水中氟的来源提供了丰富的物质基础。

3.2 高氟地下水的成因类型

根据高氟地下水形成的环境条件和化学作用,可划分为两种成因类型。

3.2.1 溶滤型

主要分布于富氟的岩浆岩地区,特别是萤石矿附近,呈不连续的星点状或小片状分布。由于地形切割破碎,地下水交替条件良好,溶滤作用不断地进行,因此,多为低矿化度的 $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Na}$ 型水。在这些地区,虽然氟源异常丰富,但由于淋失作用强烈,因此,地下水氟含量一般并不太高。仅在地形、构造不利于地下水交替的局部地段,出现较高的氟含量,有时大于 4 mg/L。这种类型主要分布于内蒙古东部的兴安盟、通辽市和赤峰市地区。

3.2.2 蒸发浓缩型

主要分布在平原和盆地中。其水化学作用的特点是,溶滤作用不甚充分,而阳离子交替吸附作用在含水层中广泛进行,这对改变地下水的化学成分和提高氟的活度具有重要意义;同时,浓缩作用对于氟的富集也有明显的影响。曹玉清等的研究证实了浅层地下水中各组分包括氟的行为是受蒸发作用控制的,控制的模式基本与理论模拟一致,尤其在淡水向 $\text{HCO}_3\text{-Na}$ 类型水演化阶段吻合较好;蒸发作用的影响在宏观上反映微地貌的水化学分带上。高氟区集中出现在苏打类型水存在范围区,对应的典型地

貌为湖沼洼地。低氟低矿化水集中在 $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ 、 $\text{HCO}_3\text{-Mg}$ 水区,对应地貌为岗地岗坡。低氟高矿化水则出现在 Cl-Na 水分布区,对应地貌为盐泡或盐泡边缘。这种类型主要分布于松嫩平原中部、下辽河平原和西辽河平原地区。

3.2.3 地热温泉型

与地热活动有关,其周围地带地下水氟含量普遍较高。矿泉中的化学成分主要来自于围岩的溶滤,热水对围岩中氟的溶滤作用更强,且温度越高,溶滤速度越快,氟在泉水中的富集量越高,几乎所有温泉氟含量都超标。水温高达 100°C 时,水氟最高达 29.2 mg/L 。这种类型分布局限且分散,辽宁地区现已查明有 34 个温泉型高氟水区,分布在丹东—凤城—岫岩,本溪—鞍山—熊岳—龙门汤,锦州—兴城—绥中—一带;内蒙古克什克腾旗的热水塘也属于这种类型。

4 存在问题

(1) 改水意识淡薄

贫困落后地区群众对地氟病危害认识不足,因此,改水不主动,不积极。出现等、靠、要的思想,改水工作很难开展,并且改水工程遭到严重破坏的现象屡见不鲜,严重地影响改水工程运行的质量和效益,一些地区地方性氟中毒仍有大量的新发病例,给人民的身心健康带来严重后果,阻碍了当地经济的发展。

(2) 防氟改水工程老化

目前东北现有改水工程大都是 20 世纪 70—80 年代修建的,多数已经停用或报废,只有少数在正常运转。病区居民再次受到高氟水的危害,致使一些地区地方性氟中毒病情有回升趋势。

(3) 缺乏科学的改水技术

现有的改水工程技术落后,工程质量差,且改水工程不够科学,没有兼顾到多方面的利益,导致防氟改水工程寿命短,造成资金浪费,影响改水工程效益。

(4) 改水方法单一

大多数的改水工程都是采用打防氟改水井,这种方法投入大、成本高,在居住分散和不发达地区,缺乏方便、实用、简便的除氟方法。

5 防治建议

饮水型地方性氟中毒是由于长期饮用氟含量超

标的水源引发的地方性疾病,只要切断或降低氟元素的摄入量,即能达到满意的效果。为此提出以下几个方面的防治建议:

(1) 加强宣传教育

加强领导,注重宣传,进一步提高认识。各级政府和群众要充分认识到氟中毒的严重危害以及防氟改水的重要性,防氟改水工作是一项长期、复杂、艰巨的任务。要把整治高氟水的计划和改水规划纳入到国民经济发展计划,认真地搞好防氟改水工作。

(2) 加强科学研究

饮水型地方性氟中毒病因清楚,研究重点应放在高氟水治理上。在无低氟水源地区、分散地区和近期没有条件打防并改水井的地区,应因地制宜采取不同的改水方法和改水模式。在水文地质条件和经济条件许可的地区,可就地打防病改水井,开采利用氟含量适宜的地下水作为饮用水源,这是防治地方性氟中毒的根本措施。

(3) 加强科学管理

加强对地方病防治工作的管理,建立一整套的调查、防治、评估体系;加强对水资源尤其是地下水资源的管理,开展地方病严重区专项水文地质调查及供水安全示范工作,指导地方政府和群众打井改水;加强病区患病人员和地下水质量的监测工作,建设流动和固定监测点,及时掌握地氟病的发生和居民饮用水水质情况,提供政府实施作出正确抉择。

参考文献(References):

- [1] 李延生,崔玉军. 黑龙江省松嫩低平原区盐渍化地球化学特征[J]. 现代地质, 2008, 22(6):934-938.
Li Yansheng, Cui Yujun. Geochemical distribution characteristics of salinization in the Song-Nen low plain[J]. Geoscience, 2008, 22(6): 934-938(in Chinese with English abstract).
- [2] 陈庆沐,刘玉兰. 氟的土壤地球化学与地方性氟中毒[J]. 环境科学, 1981, 2(6):5-9.
Chen Qingmu, Liu Yulan. Fluoride in soil geochemical and endemic fluorosis[J]. Environmental Sciences, 1981, 2(6):5-9(in Chinese).
- [3] 曹玉清,刘春国,宋乃志,等. 吉林西部高氟水的蒸发模型及其验证[J]. 工程勘察, 1997, 5:38-41,28.
Cao Yuqing, Liu Chunguo, Song Naizhi, et al. Evaporation model for high fluorine water in western Jilin and its verification[J]. Geotechnical Investigation and Surveying, 1997, 5:38-41, 28(in Chinese with English abstract).
- [4] 陈文,宋国利,藏淑英,等. 松嫩平原地氟病的环境地球化学特征与防治[J]. 哈尔滨师范大学自然科学学报, 2005, 21(5):94-96.
Chen Wen, Song Guoli, et al. The character and prevention on

- environmental geochemistry of endemic fluorosis in Songnen plain [J]. Natural Science Journal of Harbin Normal University, 2005, 21 (5):94-96(in Chinese with English abstract).
- [5] 章光新, 邓伟. 中国东北松嫩平原地下水水化学特征与演变规律 [J]. 水科学进展, 2006, 17(1):20-28.
Zhang Guangxin, Deng Wei. Hydrochemical characteristics and evolution laws of groundwater in Songnen plain, Northeast China [J]. Advances in Water Science, 2006, 17(1):20-28(in Chinese with English abstract).
- [6] 张红梅. 氟在土中运移规律的动态试验研究 [J]. 岩土工程学报, 2006, 28(9):1159-1162.
Zhang Hongmei. Dynamic experimental study on transport law of Fluoride in soils [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2006, 28(9):1159-1162(in Chinese with English abstract).
- [7] 郑照霞, 刘微, 赵伟光, 等. 辽宁省地方性氟中毒防治现状及建议 [J]. 中国地方病学杂志, 2006, 25(3):328-32.
Zheng Zhaoxia, Liu Wei, Zhao Weiguang, et al. Endemic fluorosis: current status of prevention and control in Liaoning [J]. Chinese Journal of Endemiology, 2006, 25 (3):328-32 (in Chinese with English abstract).

Geological environment characteristics of potable water endemic fluorosis areas in Northeast China and the prevention and control measures

CAI He, WANG Chang-qi, ZHANG Mei-gui, LI Xu-guang, GUO Chang-lai

(Shenyang Center of China geological Survey, Shenyang 110034, Liaoning, China)

Abstract: The potable water endemic fluorosis (called endemic fluorosis disease for short) is an endemic disease caused by drinking water which has had excessive fluorine content for a long time. The main factors responsible for the endemic fluorosis disease are the specific natural environment, geological environment, living environment etc. This paper has discussed the geological environments in which the endemic fluorosis disease has occurred in Northeast China, investigated the problem on the endemic fluorosis disease prevention and given some advices concerning water improvement.

Key words: Northeast China; fluorosis; geological environment; prevention and control measures

About the first author: CAI He, male, born in 1963, senior engineer, engages in the study of hydrogeology and environmental geology; E-mail: hljcaihe@163.com.