

山东省黄河下游部分县市 地氟病与地质环境的关系

高宗军¹ 庞绪贵² 王 敏¹ 边建朝³ 代杰瑞² 张兆香¹

(1. 山东科技大学, 山东 青岛 266510; 2. 山东省地质调查院, 山东 济南 250013;
3. 山东省地方病防治研究所, 山东 济南 250014)

摘要:笔者以山东省黄河下游地方性氟中毒流行地区的部分县市氟中毒的流行病学调查与生态地球化学调查结果为例,从土壤、饮用水及农作物三方面探索了地氟病与生态地球化学环境的关系,认为调查区内地方性氟中毒与土壤和饮用水关系密切。在回顾与总结以往地氟病地质工作的基础上,探索了当前地氟病防治方面存在的问题,提出尽快开展专门性地氟病地质工作的建议。

关键词:地氟病;土壤;饮用水;生态地球化学;黄河下游区域

中图分类号: X141; R599 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2010)03-0627-06

山东省黄河下游地区包括山东省西南、西北和北部的菏泽、聊城、德州、滨州、东营、济宁、济南、淄博、潍坊、泰安十市所辖部分县(市、区),是山东省政治、经济、文化中心,也是中国主要的农业、能源基地之一。该区地方性氟中毒危害较为严重、病区广、病情重、危害大。虽然以改水降氟为主要措施的防治工作已取得了显著的效果,但同经济社会发展的要求和广大病区人民对预防保健的需求还有较大差距^[1]。

大量的研究表明,地方病的出现主要是由人体中某些化学元素的缺乏或过剩造成的,而人体中这些化学元素的缺乏或过剩往往与地质地球化学环境有着一定的关系^[2]。区内地方性氟中毒的调查与研究表明,饮水氟超标严重是造成氟中毒流行的原因^[3]。研究氟元素在土壤、地下水和农作物等介质中的分布状况以及变化规律,探寻地氟病与生态地球化学环境之间的相关性,对地方性氟中毒防治工作具有指导意义。

1 地氟病分布现状

地方性氟中毒是一种地球化学性疾病,它是因

环境中含氟量过高,进入人体内的氟过多,蓄积而引起的全身慢性氟中毒^[4]。临床上主要表现为氟斑牙和氟骨症。地氟病分为饮水型氟中毒、饮茶型氟中毒、燃煤污染型氟中毒。

山东的氟中毒调查与研究开始于 20 世纪 60 年代,青岛医学院曹来宾教授发表了中国学者的第一篇氟骨症研究报告。20 世纪 80 年代初山东省以氟斑牙为线索进行了饮水氟含量测定和系统的定量流行病学调查,基本搞清了当时山东省地方性氟中毒的流行状况^[5]。

2000—2002 年,为了查清山东省地方性氟中毒的病区分布和危害程度,山东省地方病防治人员对全省改水降氟防治地方性氟中毒现状进行了 1 次比较全面系统的调查^[6]。调查结果表明,地方性氟中毒病区在逐渐增多,危害范围在不断扩大。地方性氟中毒病区涉及 17 个市 113 个县(市、区)11656 个村,病区总人口 979 万余人,其中轻病村 7102 个,人口 601 万余人;中病村 3840 个,人口 320 万余人;重病村 714 个,人口 57 万余人。地方性氟中毒病村又比 1987 年统计的病村增加了 3620 个,病区人口增加

收稿日期:2010-03-05;改回日期:2010-04-09

基金项目:中国地质调查局、山东省国土资源厅计划项目(1212010511206)资助。

作者简介:高宗军,男,1964 年生,教授,从事水文地质、环境地质、生态地质等领域研究;E-mail:gaozongjun@126.com。

了 327 万余人。增加的病村主要集中在潍坊、菏泽、滨州、济宁和济南等市,仅潍坊和菏泽两市就增加了 2000 多个病村,约占增加病村总数的 60%。其中山东省黄河下游区域内的地氟病区涵盖鲁西南、鲁西北及鲁北黄河冲积平原的 9 个市 48 个县(市、区),共有地氟病村 6701 个,受危害人口 565.50 万人,病村和受危害人口均占全省病村和病区人口的 57% 以上。

2006 年 8 月至 2007 年 8 月,为了解和掌握山东省黄河下游区域内地氟病病情现状,山东省地方病防治研究所采取抽样调查方法在省内黄河下游区域的地氟病病区进行了一次病情调查^[7]。调查选择菏泽市的郓城、济宁市的嘉祥和滨州市的博兴 3 个县为调查县,每个县选择 8~10 个村为调查点。调查内容包括饮水氟含量调查,儿童氟斑牙调查,成人氟骨症调查及尿氟含量测定。居民饮水氟含量共检测了 3 个县 27 个村,其中水氟含量均值≤1.00 mg/L 的村 2 个,占 7.41%;>1.00 mg/L 的村 25 个,占 92.59%;水氟含量均值最大的为 9.67 mg/L。地氟病病情调查结果如表 1 所示,表明病区的饮水氟含量水平和群体的尿氟含量水平普遍较高,高氟的危害仍然十分严重,防治形势依然十分严峻。

2 地氟病与土壤中氟相关性研究

土壤中的化学元素可以通过饮水和食物影响到人类健康。不同母岩、母质形成的土壤其元素特征亦不相同。

2.1 表层土壤中氟元素含量特征

在黄河下游区域选择菏泽市的郓城县、济宁市的嘉祥县和滨州市的博兴县为调查区,利用 1:25 万多目标区域地球化学调查结果,对表层土壤进行地

球化学参数统计,具体数据见表 2。总的来看,郓城、嘉祥、博兴 3 县表层土壤中氟含量普遍较高,平均值分别为 589.5×10^{-6} 、 622.7×10^{-6} 、 626.8×10^{-6} ,均高于山东省黄河下游区域土壤氟的背景值(554×10^{-6})和山东省全省土壤氟的背景值(506×10^{-6}),说明郓城、嘉祥、博兴 3 县表层土壤中氟的地质背景偏高。

2.2 地方性氟中毒与表层土壤中氟元素含量相关性

从黄河下游区域的郓城县、嘉祥县和博兴县表层土壤中氟含量分布特征对比分析,发现博兴县表层土壤中氟含量最高,嘉祥县次之,郓城县最低,均超过山东省背景值。与其对应,郓城、嘉祥和博兴 3 县 8~12 岁儿童氟斑牙总检出率、氟斑牙指数、尿氟含量平均值和成人氟骨症临床检出率、X 线检出率、尿氟含量平均值等地氟病指标也表现为博兴县最严重,嘉祥县次之,郓城县最轻,上述特征说明表层土壤中高氟含量与地方性氟中毒关系密切。

土壤表层的氟含量空间分布特征同样可以反映出表层土壤高氟分布区与地方性氟中毒关系密切。以郓城县为例,该县大部分地区表层土壤氟含量大于 506×10^{-6} ,仅局部地段低于山东省背景值。表层土壤氟含量大于 700×10^{-6} 的高值区主要分布在郓城县北部的候咽集镇周边、双桥—武安镇—丁里长镇南一带和黄堆集南;表层土壤氟含量低于 500×10^{-6} 的低值区分布较为零星,在程屯镇南、郓城县城西北、陈坡西北、三屯东、徐核周边、黄安周边等地段。土壤中氟含量高的地段与饮水氟含量高值区基本对应,如郓城县北部的候咽集镇周边、五界首周边和双桥东饮水氟含量均大于 2.0 mg/L(V 类水),对应较好,并且在这些地段,8~12 岁儿童氟斑牙总检出率、氟斑牙指数、尿氟含量平均值及成人氟骨症临床检出率、X 线检出率、尿氟含量平均值均高于其他地

表 1 山东省黄河下游区域部分地氟病村地方性氟中毒调查结果
Table 1 Results of investigation into endemic fluorosis at several fluorosis villages in the lower Yellow River basin, Shandong Province

| 县名 | 8~12 岁儿童 | | | | | | 30 岁以上成人 | | | | |
|----|----------|---------|-------|---------|-----|-------------------|----------|-------|------------|-----|-------------------|
| | 氟斑牙 | | | | 尿氟 | | 氟骨症 | | | 尿氟 | |
| | 人数 | 检出率 (%) | 氟斑牙指数 | 缺损率 (%) | 人数 | >1.50 mg/L 比例 (%) | 人数 | 临床检出率 | X 线检出率 (%) | 人数 | >1.50 mg/L 比例 (%) |
| 郓城 | 320 | 65.31 | 1.27 | 16.25 | 94 | 80.85 | 190 | 36.98 | 28.95 | 164 | 87.20 |
| 嘉祥 | 566 | 72.08 | 1.55 | 19.79 | 116 | 81.90 | 194 | 54.12 | 47.94 | 175 | 88.57 |
| 博兴 | 215 | 90.70 | 2.15 | 24.65 | 191 | 99.48 | 254 | 30.71 | 16.54 | 240 | 98.33 |
| 合计 | 1101 | 73.75 | 1.60 | 19.71 | 401 | 90.02 | 638 | 39.66 | 29.78 | 579 | 92.23 |

表 2 博兴、嘉祥和郓城 3 县表层土壤氟含量统计
Table 2 Statistics of F content of topsoil in Boxing, Jiexiang and Yuncheng Counties

| 地区 | 样品数 (件) | 实测数据 | | | |
|----|------------|-----------------------------|----------|----------|----------------------------|
| | | 变化范围 (10 ⁻⁶) | 变异 系数 | 标准 离差 | 平均值 (10 ⁻⁶) |
| 郓城 | 411 | 356~958 | 0.17 | 98.5 | 589.5 |
| 嘉祥 | 242 | 391~958 | 0.19 | 118 | 622.7 |
| 博兴 | 292 | 412~868 | 0.16 | 100 | 626.8 |

表 3 博兴、嘉祥和郓城 3 县饮用水氟含量统计
Table 3 Statistics of F concentration of potable water in Boxing, Jiexiang and Yuncheng Counties

| 地区 | 变化范围 (mg/L) | 变异 系数 | 标准 离差 | 平均值 (mg/L) | 样品数 |
|----|----------------|----------|----------|---------------|-----|
| 郓城 | 0.18~2.75 | 0.60 | 0.99 | 1.65 | 428 |
| 嘉祥 | 0.21~7.03 | 0.60 | 1.04 | 1.73 | 382 |
| 博兴 | 0.24~5.85 | 0.74 | 1.52 | 2.05 | 152 |

段。

综上分析,认为调查区土壤氟含量与地方性氟中毒病具有很好的正相关关系,土壤的氟含量高的地区,地方性氟中毒病重,土壤中的氟含量低的地区,地方性氟中毒病相对轻。

3 地氟病与水氟含量相关性研究

3.1 调查区饮水中氟元素含量特征

作为山东省黄河下游区域生态地球化学调查的专题之一,山东省地质调查院与山东省地方病防治研究所合作,对研究区地方性氟中毒进行饮水氟筛查和改水工程检测。在黄河下游区域范围内选择菏泽市的郓城县、济宁市的嘉祥县和滨州市的博兴县为调查点,实施氟中毒病村的饮水氟含量调查。利用各村测得的饮用水氟含量进行地球化学参数统计。统计结果如表 3 所示。

根据山东省黄河下游区域生态地球化学调查区 1944 件饮用水样品的分析结果,统计得出山东省黄河下游区域水氟含量背景值为 0.45。对比分析显示,氟中毒病区饮用水氟含量平均值远高于山东省黄河下游区域水氟含量的背景值。博兴县水氟含量最高,嘉祥县次之,郓城县最低,但均超过 1.00 mg/L。与其对应,郓城、嘉祥和博兴 3 县 8~12 岁儿童氟斑牙总检出率、氟斑牙指数、尿氟含量平均值和成人氟骨症临床检出率、X 线检出率、尿氟含量平均值等地氟病指标也表现为博兴县最严重,嘉祥县次之,郓城县最轻,上述特征说明高氟饮水与地方性氟中毒关系密切。

3.2 地方性氟中毒与饮水中氟元素含量相关性

人群尿氟水平是评估氟摄入量的主要指标,也是评价地方性氟中毒流行强度主要指标之一^[8]。为了分析地方性氟中毒与饮水中氟元素含量之间的联系,对研究区病村饮水氟含量与尿氟含量的相关性进行统计,可计算出尿氟含量与饮水氟含量的相关

程度。统计结果表明儿童尿氟含量与饮用水氟含量呈显著相关,相关系数 0.624,对二者的散点图(图 1)进行拟合,可以得到如下相关关系(细的实线):

$$Y=0.37X+2.32$$

成人尿氟与饮用水氟相关性相对较弱,相关系数 0.346,散点图如图 2。图中出现两个饮用水高氟而尿氟较低的异常点,可能的原因是这两个点已经改水,或者当地居民知道这样的水不能饮用,已经自己解决饮水问题。若将这两个点作为离群值去掉的话,则无论是儿童组还是成人组,其尿氟与水氟的相关性将显著增强(图 1 和图 2 中的点线)。尿氟与水氟的相关性从侧面证明了氟摄入主要来自饮用水,即饮水氟含量与地方性氟中毒密切相关。

综上所述,证实调查区饮水氟含量与地方性氟

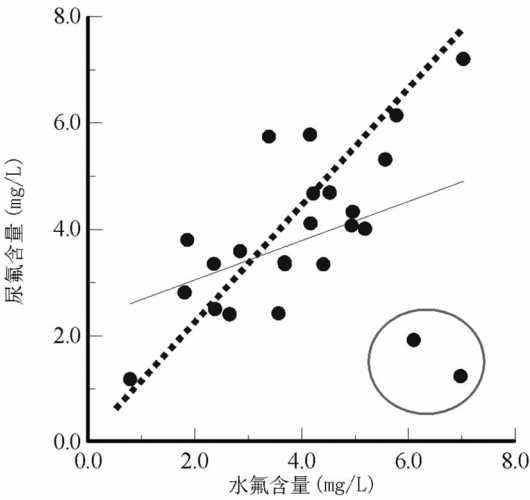


图 1 儿童尿氟与饮用水氟含量散点图
Fig.1 Scatter plot of the concentrations of fluoride in drinking water and children's urine

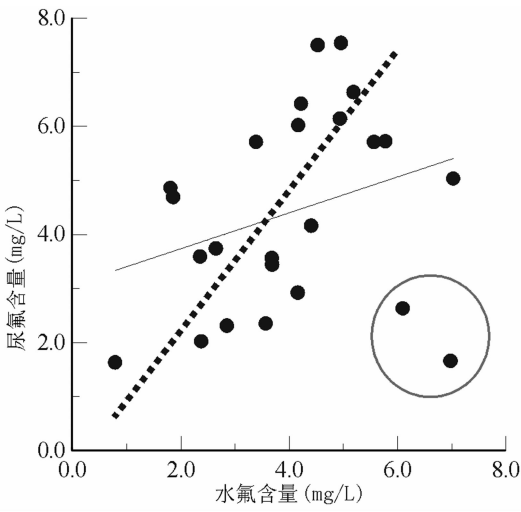


图 2 成人尿氟与饮用水氟含量散点图
Fig.2 Scatter plot of the concentrations of fluoride in drinking water and adults' urine

中毒病具有很好的正相关关系，饮水中的氟含量高的地区，地方性氟中毒病重，饮水中的氟含量低的地区，地方性氟中毒病相对轻。

4 关于地氟病地质工作的思考

4.1 高氟区的地形地貌及地质水文地质特征

氟是地球表面分布最广的元素之一，具有极强的亲和力和成矿能力，除惰性元素外，它几乎可以与所有元素相互作用，形成众多的化合物和络合物^[9]。环境中的氟主要通过饮水、食物和空气进入人体，机体内氟积蓄可引起生化和病理改变，进而导致地方性氟中毒发生^[10]。

由上述分析可知，黄河下游区域内部分县市的地氟病与地质背景关系密切，地氟病与土壤中氟含量、饮水氟含量具有非常好的正相关关系。病区内存在高氟地球化学区，该区在地形地貌上存在以下特点：

- 一是地形较为低洼，容易沉积颗粒较细小的冲积物；
- 二是地貌单元多处于山前冲洪积扇的前缘，或者处于平原区河道的两侧河漫滩区域；
- 三是地质年代不会太久远，且以岩浆岩风化产物为主要物源的沉积物为高氟聚集区；
- 四是病区内一般情况下地下水埋藏较浅，蒸发排泄为主要排泄方式，且具有较为充足的地下水补

给来源，地下水源于山谷、山前或者地势较高的河谷地带。

通过生态地球化学调查发现土壤高氟区域，与地下水高氟区域，尽管在大的地貌单元上一致，但在小的区域上却存在差异。地下水的运动，导致氟迁移、聚集，是造成这种差异的原因。

4.2 病村地氟病情变化原因分析

黄河下游区域内的地氟病主要致病因素是饮用高氟地下水。高氟病区在实施了改水工程后，地氟病情虽然得到了一定控制，但是病区受高氟的危害仍然比较严重。其主要原因与病区饮水水源变化及改水工程质量有关。

一方面，在 20 世纪 80 年代调查时，病村的饮水水源主要为浅层高氟水，取水主要以土井为主；90 年代以来，由于气候干旱和地表水污染严重，病区废弃了土井，居民在家中打了手压井（深度在 8 m 以上）或手拉井（深度在 15 m 以上），民众饮水由原来的浅层高氟井水，现多改为“清洁”的较深的井水；殊不知，这些较深的井水有时也是高氟水。在流行病调查中也发现，有的非病村由于打了深机井而变成了病村。

另一方面，某些改水工程老化造成了井管内浅层高氟水的渗漏；或者对当地的水文地质条件的认识不足，忽视了改水工程影响范围存在的弱透水层的作用，当工程取水后形成局部降落漏斗，致使上下含水层形成了越流补给。因此实行除氟改水的工程中仍然存在水氟含量超标现象，例如在对山东省改水降氟防治地方性氟中毒工作现状进行的全面调查中就发现，在改水工程运转基本正常的病村中，水氟>1.00 mg/L 的占 1/3 以上，最大值为 5.57 mg/L^[11]。

4.3 今后地氟病地质工作的建议

地氟病是山东省乃至中国、全球最为流行和最普遍的地方病，其对人类的危害极大。中国开展的宏大的除氟改水工程效果显著，但是由于有些改水工程质量较差，低氟水与高氟水混合；有些改水工程配套措施不够完善；有些氟病区找不到低氟水源；致使部分地区地氟病的危害依然严重。如何有效地防治仍是摆在人们面前的重大课题。要想彻底根除饮水型地氟病必须利用现代水文地质知识，特别是地下水流动系统理论，搞清不同埋藏深度含水层之间的关系，合理开发利用低氟地下水，才能彻底根除地氟病的危害。为此特提出以下建议：

(1)进行综合水文地质调查

不能够“头痛医头、脚痛医脚”,只解决浅层地下水高氟的问题;而要查清当地及区域的水文地质条件,摸清不同深度的含水层的氟含量情况,以便有的放矢地开展除氟改水工作。所以要下大力气,在病区及其周围较广大的范围内,以水文地质单元或地下水系统为单位,进行综合的水文地质调查,指导当地的除氟改水工作。

(2)制定规划、防治彻底

要以生态地质调查结果为依据,以区域水文地质条件为依托,选择优良的、可以长期开采的含水层作为供水的目的层,以实现有效、长期的供水;或者远距离调用优质淡水进行供水;或者进行有效处理后再实行供水。只有这样,才能够彻底根除饮用水高氟造成的地氟病的危害,造福于人民。

(3)统筹规划、科学发展

地方性氟中毒防治工作涉及社会多方面、多部门,是一项复杂的系统性社会大工程^[2],必须坚持政府领导、部门协作和全社会参与的改水降氟工作方针,逐步建立起适应社会主义市场经济条件下可持续发展的改水降氟管理机制和服务体系。对于山东目前正在实施的“村村通自来水工程”,应在科学论证和严格水质检测的基础上进行,避免新的氟中毒病区产生。

致谢: 山东省地方病防治研究所及有关单位地方病防治人员参与了此项工作,在此表示感谢。

参考文献(References):

- [1] 云中杰,陈培忠,边建朝,等. 山东省地方性氟中毒防治工作现状[J]. 中国公共卫生, 2004, 20(2):203-204.
Yun Zhongjie, Chen Peizhong, Bian Jianchao, et al. Present state of prevention and control for endemic fluorosis in Shandong Province[J]. Chinese Journal of Public Health, 2004, 20 (2):203-204 (in Chinese with English abstract).
- [2] 蒋辉. 环境水文地质学[M]. 北京:中国环境科学出版社, 1993.
Jiang Hui. Environmental Hydrogeology [M]. Beijing:China Environmental Science Press, 1993(in Chinese).
- [3] 陈培忠,云中杰,边建朝,等. 山东省 2007 年地方性氟中毒流行现状调查[J]. 中国地方病防治杂志, 2009, 24(2):126-128.
Chen Peizhong, Yun Zhongjie, Bian Jianchao, et al. Investigation on prevalent status of endemic fluorosis of Shandong Province in 2007 [J]. Chinese Journal of Control of Endemic Diseases, 2009, 24 (2):126-128(in Chinese with English abstract).
- [4] 黎昌健,蒙衍强,蒋才武. 地氟病在中国大陆的流行现状[J]. 实用预防医学, 200, 15(4):1295-1298.

- Li Changjian, Meng Yanqiang, Jiang Caiwu. Present state of endemic fluorosis in China mainland [J]. Practical Preventive Medicine, 200,15(4):1295-1298(in Chinese with English abstract).
- [5] 张旭,刘传蛟,王海明,等. 山东省地方病防治现状、存在问题及对策[J]. 地方病通报, 2003, 18(2):58-60.
Zhang Xu, Liu Chuanjiao, Wang Haiming, et al. Present state and problems of prevention and control for endemic fluorosis and its countermeasures in Shandong Province [J]. Endemic Diseases Bulletin, 2003, 18(2):58-60(in Chinese).
- [6] 云中杰,陈培忠,边建朝,等. 山东省地方性氟中毒流行现状[J]. 中国地方病防治杂志, 2004, 19(4):222-224.
Yun Zhongjie, Chen Peizhong, Bian Jianchao, et al. The current epidemic states of endemic fluorosis in Shandong Province [J]. Chinese Journal of Control of Endemic Diseases, 2004, 19(4):222-224(in Chinese with English abstract).
- [7] 云中杰,边建朝,陈培忠,等. 山东省黄河流域内地方性氟中毒病情调查[J]. 中国预防医学杂志, 2008, 9(6):468-471.
Yun Zhongjie, Bian Jianchao, Chen Peizhong, et al. Investigation on status of endemic fluorosis in the Yellow River basin in Shandong Province [J]. China Preventive Medicine, 2008, 9 (6): 468-471(in Chinese with English abstract).
- [8] 张莉,余波,朱新波,等. 氟斑牙患病率和流行指数与水氟尿氟的多元线性分析[J]. 中国地方病学杂志, 2004, 23(2):170-171.
Zhang Li, Yu Bo, Zhu Xinbo, et al. Multiple linear regression of the rate and index of dental fluorosis and fluoride content in drinking-water and urine [J]. Chinese Journal Of Endemiology, 2004, 23(2):170-171(in Chinese with English abstract).
- [9] 刘英俊,曹励明,等. 元素地球化学[M]. 北京:科学出版社, 1984.
Liu Yingjun, Cao Liming. Element Geochemistry [M]. Beijing: Science Press, 1984(in Chinese).
- [10] 李永华,王五一,侯少范. 我国地方性氟中毒病区环境氟的安全阈值[J]. 环境科学, 2002, 23(4):118-122.
Li Yonghua, Wang Wuyi, Hou Shaofan. Safety threshold of fluorine in endemic fluorosis regions in China [J]. Environmental Science, 2002, 23(4):118-122(in Chinese with English abstract).
- [11] 云中杰,陈培忠,边建朝,等. 山东省不同改水降氟情况的儿童氟斑牙调查结果比较分析 [J]. 中国地方病学杂志, 2005, 24(6): 659-661.
Yun Zhongjie, Chen Peizhong, Bian Jianchao, et al. Comparative analysis on child dental fluorosis under different circumstances of water-improvement and defluoridation in Shandong Province [J]. Chinese Journal of Endemiology, 2005, 24(6):659-661(in Chinese with English abstract).
- [12] 陈华英,詹玉亭. 安溪县光德村地氟病区生态地球化学特征[J]. 物探与化探, 2009, 33(1):77-79.
Chen Huaying, Zhan Yuting. Ecogeochemical features of epidemic fluorosis areas in guanged village of Anxi County[J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 2009, 33 (1):77-79 (in Chinese with English abstract).

The relationship between endemic fluoride disease and geological environment of several cities in the lower Yellow River basin of Shandong Province

GAO Zong-jun¹, PANG Xu-gui², WANG Min¹,
BIAN Jian-chao³, DAI Jie-rui², ZHANG Zhao-xiang¹

(1. Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, Shandong, China; 2. Shandong Institute of Geological Survey, Jinan 250013, Shandong, China; 3. Shandong Institute for Prevention and Treatment of Endemic Disease, Jinan 250014, Shandong, China)

Abstract: Exemplified by the result of endemic and eco-geochemical investigation in several cities of the lower Yellow River basin within Shandong Province, the authors studied the relationship between endemic fluoride disease and geological environment. It is shown that endemic fluoride disease has close relationship with soil and potable water. Based on a review of the past work on the prevention and treatment of local endemic fluoride disease as well as the existent problems, this paper suggests that the investigation and study of specialized endemic geological work should be carried out as soon as possible.

Key words: endemic fluoride disease; soil; potable water; eco-geochemistry; lower Yellow River basin

About the first author: GAO Zong-jun, male, born in 1964, professor, engages in the study of hydrogeology, environment geology and ecogeochemistry; E-mail: gaozongjin@126.com.