

·水质与健康·

黑龙江省农村饮用水水质健康风险评价*

唐行鹏 李二平[△] 刘宝玲

(哈尔滨工业大学城市水资源与水环境国家重点实验室 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘要 本文以黑龙江省农村饮用水为研究对象,调研分析了该地区农村饮用水水质状况和水质问题,筛选出三种可能造成人体健康风险的典型污染物:砷、氟化物、硝酸盐。在此基础上,选用了USEPA推荐的水质风险健康评价模型对三种污染进行了健康风险评价,评价结果表明砷的健康风险值大于最大可接受限值 $10^{-6} (a^{-1})$,存在较大人体健康风险,氟化物和亚硝酸盐人体健康风险较小。此外,根据水质健康风险评价结果,对保障黑龙江省农村饮用水实质安全提出了初步解决措施。

关键词 农村饮用水 水质 健康风险评价 氟化物

中图分类号: X824 **文献标识码**: Z **文章编号**: 1673-6273(2012)11-2182-04

Health Risk Assessment of Rural Drinking Water Quality for Heilongjiang Province*

TANG Xing-peng, LI Er-ping[△], LIU Bao-ling

(State Key Laboratory of Urban Water Resource and Environment, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090)

ABSTRACT: In this study, taking the rural drinking water in Heilongjiang province as the research object, we firstly surveyed the water quality status quo and problem of the rural drinking water. Then screened out three typical pollutants which may probably do harm to human body: arsenic, fluoride, and nitrate. Based on the above process, risk evaluation model of water quality health which was recommended by the USEPA was chosen to assess the three kinds of pollution. The results show that the health risks of arsenic is greater than maximum acceptable limits $10^{-6} (a^{-1})$, and there is greater risk to human health, while fluoride and nitrite have less risk to human health. In addition, according to the results of the water quality health risk assessment, a preliminary solution was proposed to protect the safety of drinking water in rural areas of Heilongjiang Province.

Key words: Rural drinking water; Water quality; Health risk assessment; Fluoride

Chinese Library Classification: X824 **Document code**: Z

Article ID: 1673-6273(2012)11-2182-04

前言

2004年水利部和卫生部联合颁布了《农村饮用水安全卫生指标体系》,该体系将水质列为农村饮用水安全四个指标(水质、水量、方便程度以及供水保证率)之首^[1]。近年来,由于我国选矿、冶金、造纸、建材、化工等行业排污和地下矿产的过量开采,对水资源造成了较为严重的破坏和污染,尤其对我过农村饮用水水质安全带来了严重的威胁。据统计,截止到2004年底,我国有1.9亿人饮水有害物质超标^[2]。调研数据表明,目前黑龙江省农村点源污染、面源污染严重,尤其是高氟水、高砷水、苦咸水、病毒污染及血吸虫等水质问题,全省农村的自来水普及率仅为51%,近半数农村人口仍在用传统方法饮用浅层地下水^[3]。对于浓度剂量较高污染物、病毒污染以及血吸虫等造成的水质问题,由于一般表现为急性毒性,病症明显,能引起当地居民和管理者的重视,而对低浓度低剂量的重金属和POPS污染所造成的危害往往是潜在的、长期的,可能导致饮水者发生病变,威胁到生命健康。因此,识别和筛选黑龙江省农村饮用

水典型污染物,开展水质健康风险评价是工作具有较大的现实意义。

水质健康风险评价模型兴起与二世纪80年代,最初主要用于评价饮用水源地的人体健康风险。1986年,美国华盛顿环境保护饮用水中心的C.R.Coothern^[4]等以饮用水中的TCE(Trichloroethyl-ene)为例,进行了致癌风险评估,并给出TCE浓度和影响寿命之间的关系。1996年,Michael L.Dourson^[5]针对非致癌性污染物进行风险评价,对如何减小由参数RfD、RfC导致的不确定性的影响进行了相关研究。随着水质风险评价的日臻成熟,M.F.Dahab^[6], Ronald E.Giachetti^[7], E.Kentel^[8]等针对评价中浓度、饮水量、体重等的不确定性,采用高斯正态分布模型和三角模糊函数,对传统水质健康风险评价模型进行修正,使评价结果更具可靠性。我国从上个世纪90年代起,就有了应用水质健康风险评价模型的先例。曾光明等应用该模型对河北保定饮用水源进行了评价^[9],尝试性地将其应用在突发性水环境风险评价模型事故泄漏行为的模拟分析中^[10]。

* 基金项目 "十一五" 国家科技支撑计划重大项目(2008BAJ08B13)

[△]通讯作者 李二平(1980-) 男,博士研究生,讲师,主要研究方向 环境管理,生物能。E-mail: lvtu1214@sina.com

(收稿日期 2011-10-09 接受日期 2011-11-05)

1 黑龙江省农村饮用水水质安全状况

1.1 黑龙江省农村饮用水水质现状

2004 年 11 月 -2005 年 6 月,水利部、国家发改委、卫生部在全国组织开展了以县为单位的农村饮水安全现状调查和逐级复核评估,共完成了 2674 个县级单位的调查报告^[11]。根据黑

龙江省各地市的调查成果,到 2004 年年底全省农村饮水安全和基本安全人口为 958.33 万人,占农村人口的 48.2%;其中,水质不达标人口为 640.27 万人,占饮水不安全人口 62.2%。饮用水水质超标已成为全省农村饮水安全面临的主要问题。部分问题见表 1。

表 1 黑龙江省农村饮水水质状况^[11]

Table 1 Water quality status quo of the rural drinking water in Heilongjiang province

水质不达标	农村人口(万)	占农村人口比例(%)
锰超标	89.07	4.5
氟超标	157.61	7.9
铁超标	276.04	13.9
未经处理的 Ⅲ类及超 Ⅲ类地表水	6.44	0.3
细菌学指标超标,未经处理的地表水	22.59	1.1
污染严重,未经处理的地下水	52.72	2.7
其他饮水水质问题	35.81	1.8

从调查结果可知,2004 年展开的农村饮水安全调查偏重于饮水安全的人口数量统计,对水质的调查偏重于化学指标和微生物指标,感官指标和毒理指标数据量较少。2008 年陈彦凤^[12]等人随机对黑龙江省农村地区国家监测点和农村饮水安全工程的监测点采集末梢水进行检测,共采集和检验水样 664

份,包括农村饮用水国家监测点的末梢水水样 200 份和农村饮水安全工程的出厂水、末梢水水样各 232 份。按照《生活饮用水卫生标准》(GB/T 5749-2006)中的“有 1 个项目不合格即判定该水样为不合格”的标准进行评价。其中合格水样 402 份,合格率为 60.5%。得到毒理指标情况如下表 2 所示:

表 2 黑龙江省农村地区水质监测数据^[12]

Table 2 Monitoring data of water quality of rural area of Heilongjiang province

检测指标 Detected indexes	超标数 Exceeding standard	超标率(%)Rate of exceeding standard	最高值(mg/L) Maximum limits	饮用水卫生标准(mg/L) Standard for drinking water
砷 Arsenic	1	0.2	0.1	0.01
氟化物 Fluoride	29	4.5	6.5	1.0
硝酸盐(以 N 计)Nitrate	11	1.7	96.0	10(地下水 20)

此外,2009 年黑龙江省卫生厅疾病预防控制中心^[13]对 2007 年和 2008 年间绥化市新建 209 眼农村饮用水水源井进行了水质进行监测分析,发现绥化市部分地区农村饮用水氟超标、铁锰超标的问题。其中,氟化物含量严重超标(1.2 mg/L)的占 3%,氟化物含量超标(1~1.2 mg/L)的占 3.5%,最大超标 3 倍;砷含量在 0.001~0.06 mg/L 之间超生活饮用水卫生标准(最大限值 0.01 mg/L)的占 33.3%;硝酸盐含量在 0.04~70 mg/L 之间超生活饮用水卫生标准(最大限值 20 mg/L)的约占 4.4%。

1.2 黑龙江省农村饮用水典型污染物分析

2004 年卫生部和水利部门联合调查结果^[11]显示,我国农村饮用水符合农村饮水卫生准则的比例仅为 66%,还有 34%的人口饮用水达不到要求。目前,水质问题成为影响我国农村水安全的重要问题。我国农村饮用水水质的主要污染物有^[14]细菌总数、重金属、氟化物、无机盐类等。如郑州市农村饮用水水质不达标因素主要是总硬度和溶解性总固体^[15],福建沿海地区农

村饮用水水质不达标因素主要是微生物、氟、锰铁等物质^[2];四川省农村饮用水水质不达标因素主要是细菌总数、混浊度、锰、总硬度、耗氧量、硝酸盐等指标^[16]。从表 1、表 2 可以表明黑龙江省农村饮用水水质不达标因素主要是铁、锰、氟化物、砷、硝酸盐等超标。一般来说,引用水中铁、锰元素轻微超标对人体健康影响较小,故本文不作为风险评价的对象;砷、氟化物毒性较强能引起一系列地方病,并且具有一定的致癌性;硝酸盐虽不具有致癌性,但硝酸盐在人体内也可被还原为剧毒物亚硝酸盐。基于以上理由,本文将氟化物、砷、硝酸盐三种黑龙江省农村饮用水典型污染物作为水质健康风险评价对象。

2 水质健康风险评价模型

进行水质健康风险评价通常将污染物分为致癌和非致癌两类分别进行评价。农村饮用水水质一般较稳定,黑龙江地区农村饮用水水质稳定,典型污染物浓度也较低,所以采用 2001 年美国环保局^[17]推荐的模型进行评价可避免部分不确定性。为

简化评价过程,其中饮水量和人均体重参数均采用推荐模型的推荐值。

2.1 化学致癌物所致健康危害的风险

化学致癌物的风险模型采用 USEPA 推荐的计算方法^[18]：

$$R^c = \sum_{i=1}^k R_{ig}^c$$

$$R_{ig}^c = [1 - \exp(-D_{ig} q_{ig})] / 70 \quad (1)$$

式中 R_{ig}^c -- 化学致癌物 i 经食入途径产生的平均个人致癌年风险(a-1)；

D_{ig} -- 化学致癌物 i 经食入途径的单位体重日均暴露剂量 (mg/(kg·d))；

q_{ig} -- 化学致癌物 i 经食入途径致癌强度系数 mg/(kg·d)；
70 -- 人类平均寿命(a)。

2.2 非致癌物所致健康危害的风险

化学非致癌物的风险模型也采用 USEPA 推荐的计算方法：

$$R^n = \sum_{i=1}^l R_{ig}^n$$

$$R_{ig}^n = \frac{(D_{ig} / RfD_{ig}) \times 10^{-6}}{70} \quad (2)$$

式中 R_{ig}^n -- 非致癌物 i 经食入途径所致健康危害的个人平均年风险(a-1)；

D_{ig} -- 非致癌物 i 经食入途径的单位体重日均暴露剂量 (mg/(kg·d))；

RfD_{ig} -- 为非致癌物 i 的食入途径参考剂量 (mg/(kg·d))；

70 -- 人类平均寿命(a)。

饮水途径的单位体重日均暴露剂量 D_{ig} 可按下式进行计算

$$D_{ig} = 2.2 \times C_i / 70 \quad (3)$$

式中 2.2 -- 成人每日平均饮水量(L)；

C_i -- 年均浓度增量(mg/L)；

70 -- 人均体重(kg)。

经食入途径致癌强度系数 q_{ig} 可以参考 IRIS 数据库,IRIS 数据库是美国环保署环境化学物危险度评价的主要信息源^[19], 内有危害鉴定和剂量 - 反应关系评价的主要参数。

3 黑龙江地区饮用水安全评价结果及解决措施

3.1 典型有毒物质的安全评价结果

利用 2008 年黑龙江省农村饮水水质监测数据 (表 2),按照 (1)(3) 式进行计算,其中由美国 IRIS 数据库^[20]获取,得到砷、硝酸盐、氟化物水质健康风险值 R。具体模型需要参数见表 3,取这三种污染物水质健康风险值 R 的负对数做柱状图,见图 1。

表 3 污染物的水质健康风险评价参数

Table 3 Parameter of health risk assessment on drinking water

物质 Pollutants	性质 Character	q_{ig}/RfD_{ig} mg/(kg·d)	最大暴露量(mg/L) Maximum exposure	最大接收值(a ⁻¹) Maximum acceptance
砷 Arsenic	致癌性 Oncogenicity	15	0.1	10 ⁻⁶
氟化物 Fluoride	非致癌性 Non-oncogenicity	0.06	6.5	10 ⁻⁶
硝酸盐 Nitrate	非致癌性 Non-oncogenicity	1.6	96.0	10 ⁻⁶

由图 1 可知,砷的健康风险值远大于远超过国际辐射防护委员会推荐的最大可接受限值 10⁻⁶(a⁻¹),并且具有致癌性,对采样点当地居民的健康风险很大,应立即采取有效措施清除污染源或者需找取代水源。硝酸盐和氟化物的健康风险值分别为 2.69*10⁻⁸ 和 4.86*10⁻⁸,低于国际辐射防护委员会推荐的最大可接受限值 10⁻⁶(a⁻¹),对采样点当地居民的健康可能带来的健康影响较小。但是由硝酸盐和氟化物的暴露浓度和超标率很高,对人体健康的潜在危害无法排除,所以应予以重视,加大监测当地水质质量。

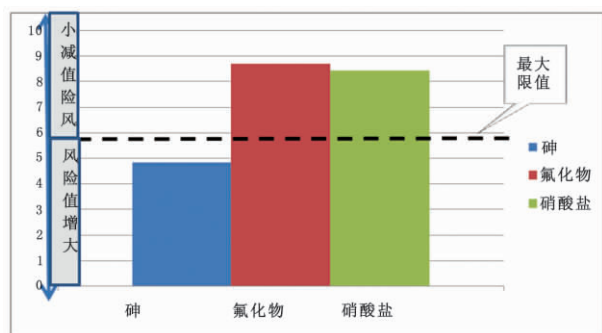


图 1 三污染物健康风险值的负对数

Fig. 1 Negative log of health risk value of three pollutants

3.2 黑龙江农村饮用水典型污染物的污染源解析及措施

导致黑龙江省农村地区水质中氟化物、砷、硝酸盐超标的主要原因有以下几方面：

- 1) 黑龙江地区含有大量的高氟矿,水对高氟矿的淋浴造成水体中氟的浓度超标。同时工业污染也可能造成氟浓度超标。
- 2) 黑龙江省农村地区大量的采矿厂、化工厂、造纸厂等企业的无秩序排放,入渗污染浅层地表水,导致水中砷含量超标。
- 3) 由于大量农药、化肥的使用和污水灌溉导致黑龙江地区农业面源污染较为严重,导致了饮用水中硝酸盐的严重超标。

为解决当前农村饮用水水质安全问题,我们应采取如下措施：

- 1) 加大农村的投资力度,加大农村的集中供水率。
- 2) 严格限制农村地区企业废水的乱排现象,制止城市污水直接排放到农村的行为,并且政府要提出相应的惩罚方案,如有发现必进行重罚。
- 3) 发展生态农业^[21],加强化肥和农药的安全管理,鼓励使用天然肥料和实施秸秆还田技术,减少农业面源污染。同时加强对非点源污染的控制,建设非点源污染监测体系,尽快实施对农业非点源污染的全面监测。

4 结论

本文首先分析了黑龙江省农村饮用水水质状况, 并采用 USEPA 推荐的对化学致癌物和非致癌物的水质健康风险评价模型对该地区典型有毒物质: 砷、氟化物、硝酸盐进行了水质健康风险评价, 评价结果表明砷的健康风险值为 6.57×10^{-4} , 高于国际辐射防护委员会推荐的最大可接受限值 $10^{-6}(\text{a}^{-1})$; 硝酸盐、氟化物的健康风险值略低于国际辐射防护委员会推荐的最大可接受限值 $10^{-6}(\text{a}^{-1})$ 。由此可知砷对样点当地居民的健康影响较大, 氟化物和硝酸盐对周围人口的健康影响较小。此外, 本文对所筛选的典型污染物进行了污染源解析, 并依据水质健康风险评价结果提出了针对性的解决措施。

参考文献(References)

- [1] 陶宁. 浅谈饮用水安全的法律保障 [J]. 河南水利与南水北调, 2008, (4): 47-49
Tao Ning. Briefly on the legal protection of drinking water safety [J]. Henan Water Resources & South-to-North Water Diversion, 2008, (4): 47-49
- [2] 王颖. 福建沿海地区农村饮用水安全的评价研究[D]. 厦门大学硕士论文, 2008: 2-3
Wang Ying. Study on Rural drinking water safety evaluation of coastal area in the Fujian province [D]. Xiamen: Xiamen University, 2008: 2-3
- [3] 中华人民共和国水利部. 黑龙江农村自来水普及率仅五成[R]. 中国建设信息(水工业市场), 2011(1): 3
Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. Heilongjiang rural water supply coverage is only five percent [R]. Information of China Construction(Water-Industry Market), 2011(1): 3
- [4] Cothern C R, Coniglio W A, Marcus W L. Estimating risk to human health[J]. Environ Sci Technol, 1986, 20(2): 111-116
- [5] Dourson M L, Robinson D. Evolution of science-based uncertainty factors in noncancer risk assessment [J]. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 1996, 24: 108-120
- [6] Dahab M F, Lee Y W, Bogardi I. A rule-based fuzzy-set approach to risk analysis of nitrate-contaminated groundwater [J]. Wat Sci Tech, 1994, 30(7): 45-52
- [7] Giachetta R E, Young R E. A parametric representation of fuzzy numbers and their arithmetic operators [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1997 (91): 185-202
- [8] Kentel E, Aral M M. 2D Monte Carlo versus 2D fuzzy Monte Carlo health risk assessment [J]. Stoch Environ Res Risk Assess, 2005, 19: 86-96
- [9] 曾光明, 卓利, 钟政林, 等. 水环境健康风险评价模型[J]. 水科学展, 1998, 9(3): 212-217
Zeng Guang-ming, Zhuo Li, Zhong Zheng-lin, et al. Assessment models for water environmental health risk analysis[J]. Advances In Water Science, 1998, 9(3): 212-217
- [10] 曾光明, 卓利, 钟政林, 等. 突发性水环境风险评价模型事故泄漏行为的模拟分析[J]. 中国环境科学, 1998, 18(5): 403-406
Zeng Guang-ming, Zhuo Li, Zhong Zheng-lin, et al. Assessment model about the accident water environment risk-modeling of the toxicant accident leakage [J]. China Environmental Science, 1998, 18 (5): 403-406
- [11] 霍鉴琳, 周翠宁, 孙淑玉, 等. 黑龙江省农村饮水安全现状及水源保护标准分析[J]. 水利科技与经济, 2008, 14(10): 835-836
Huo Jian-lin, Zhou Cui-ning, Sun Shu-yu, et al. Status of rural drinking water safety and water protection standard analysis for Heilongjiang province [J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2008, 14(10): 835-836
- [12] 陈彦凤, 苏华, 张剑峰, 等. 黑龙江省 2008 年农村饮用水卫生状况分析[J]. 中国公共卫生管理, 2011, 27(2): 185-186
Chen Yan-feng, Su Hua, Zhang Jian-feng, et al. Analysis of the health of rural drinking water for Heilongjiang province in 2008[J]. Chinese Journal of Public Health Management, 2011, 27(2): 185-186
- [13] 赵显波, 郎景波. 绥化市农村饮用水水质安全评价[J]. 东北水利水电, 2011, (8): 21-23
Zhao Xian-bo, Lang Jing-bo. Safety evaluation of rural drinking water quality for Suihua city [J]. Northeast water conservancy and hydropower, 2011, (8): 21-23
- [14] 徐兆进, 王焕明. 我国农村饮水安全存在的问题和解决措施[J]. 海河水利, 2009, (3): 67-68
Xu Zhao-jin, Wang Huan-ming. The problems and solutions of our country rural drinking water safety in China [J]. Haihe Water Resources, 2009, (3): 67-68
- [15] 刘新宇, 齐登红, 宁立波. 郑州市农村饮用水安全评价[J]. 湖南环境生物职业技术学院学报, 2007, 13(1): 13-15
Liu Xin-yu, Qi Deng-hong, Ning Li-bo. Evaluation of the security of drinking water in rural Areas in Zhengzhou City [J]. Journal of hunan environment-biological polytechnic, 2007, 13(1): 13-15
- [16] 金立坚, 朱鸿斌, 周自强, 等. 四川省农村生活饮用水监测结果分析[J]. 预防医学情报志, 2009, 25(1): 26-29
Jin Li-jian, Zhu Hong-bin, Zhou Zi-qiang, et al. Monitoring result of rural drinking water in Sichuan province [J]. Preventive medicine intelligence magazine, 2009, 25(1): 26-29
- [17] U. S. EPA. Risk assessment guidance for superfund: Volume 32 Process for Conducting Probabilistic Risk Assessment Chapter 1, Part A [R]. Washington, DC: Office of Emergency and Remedial Response U. S. EPA, 2001
- [18] USEPA. Risk Assessment Guidance for Superfund, vol. I: Human Health Evaluation Manual (Part A). USEPA 540/1-99/002. Washington D C. 1999
- [19] USEPA. Guidelines for Exposure Assessment. US Environmental Protection Agency, Risk Assessment Forum, USEPA 600Z-02/001 Washington D C, 2002
- [20] 美国 IRIS 数据库: <http://cfpub.epa.gov/ncea/iris/index.cfm?fuseaction=iris.showSubstanceList> The United States IRIS database: <http://cfpub.epa.gov/ncea/iris/index.cfm?fuseaction=iris.showSustanceList>
- [21] 谢霞. 农村水环境污染产生原因及防治对策[J]. 江西化工, 2008, (4): 227-229
Xie Xia. The causes of rural water pollution and control measures [J]. Jiangxi Chemical Industry, 2008, (4): 227-229