

河北省某市农村地区集中式供水水质及健康风险分析

郭占景, 范尉尉, 陈风格, 王君霞, 赵伟, 白萍, 杨军

摘要: [目的] 了解河北省石家庄市农村地区集中式供水的水质卫生状况及其健康风险水平。[方法] 于2012年枯水期(4月)和丰水期(7月)分别采集该农村地区10个县的245个行政村的地下水出厂水水样, 检测其砷、镉、铬、铅、汞、氟化物、硝酸盐等16项指标, 采用美国环保局推荐的健康风险评估模型对饮用水中的8个指标经饮水途径所引起的健康风险作出初步评价。[结果] 石家庄市农村饮用水的总合格率为71.84%, 不合格的指标有氟化物、硫酸盐、硝酸盐、总硬度、菌落总数和总大肠菌群, 其中微生物为主要不合格指标; 砷、镉、铬3种污染物所引起的个人年致癌风险水平由高至低依次为铬($7.38 \times 10^{-5}/a$)>镉($0.68 \times 10^{-5}/a$)>砷($0.67 \times 10^{-5}/a$), 总风险值为 $8.73 \times 10^{-5}/a$, 超过国际辐射防护委员会(ICRP)推荐的最大可接受值($5.0 \times 10^{-5}/a$)。非致癌风险中8种污染物的个人年健康危害风险由高到低依次为砷>氟化物>硝酸盐>铬>镉>铅>锰>汞, 总风险值为 $1.30 \times 10^{-8}/a$, 低于ICRP推荐的最大可接受值。[结论] 石家庄市农村部分县饮用水中铬可能存在一定的健康风险。

关键词: 农村; 饮用水; 污染物; 健康风险评估

Drinking Water Quality of Centralized Water Supply and Health Risk Assessment in Rural Areas of a City of Hebei Province GUO Zhan-jing, FAN Wei-wei, CHEN Feng-ge, WANG Jun-xia, ZHAO Wei, BAI Ping, YANG Jun (Shijiazhuang Municipal Center for Disease Control and Prevention, Hebei 050011, China)
• The authors declare they have no actual or potential competing financial interests.

Abstract: [Objective] To evaluate the drinking water quality of centralized water supply in rural areas of Shijiazhuang City, Hebei Province, and assess its health risks. [Methods] Finished water samples from water treatment plants using underground water as sources were collected from totally 245 villages of 10 counties in the city during dry (April) and wet (July) seasons of 2012, and tested for 16 indicators including As, Cd, Cr, Pb, Hg, fluoride, and nitrate. The health risk assessment model recommended by US Environmental Protection Agency (US EPA) was used to preliminarily assess the health risks caused by eight indicators through drinking water. [Results] The total qualified rate was 71.84% for drinking water in the investigated rural areas. Unqualified indicators included fluoride, sulfate, nitrate, total hardness, total bacterial count, and total coliform, and microform was the leading unqualified indicator. The individual levels of cancer risk were $7.38 \times 10^{-5}/a$ for Cr, $0.68 \times 10^{-5}/a$ for Cd, and $0.67 \times 10^{-5}/a$ for As. The total level of cancer risk was $8.73 \times 10^{-5}/a$, higher than the maximum tolerable value of $5.0 \times 10^{-5}/a$ recommended by International Committee of Radiological Protection (ICRP). The individual levels of non-cancer risk caused by the eight pollutants ranked from high to low as follows: As>fluoride>nitrate>Cr>Cd>Pb>Mn>Hg, and the total level of non-cancer risk was $1.30 \times 10^{-8}/a$, lower than the maximum tolerable value recommended by ICRP ($5.0 \times 10^{-5}/a$). [Conclusion] Cr in drinking water may pose potential health risks in some rural counties of Shijiazhuang City.

Key Words: rural area; drinking water; pollutant; health risk assessment

水污染是介水传染病和多种急慢性中毒甚至肿瘤发生的重要风险因素之一^[1]。地下水是石家庄市农村生活饮用水的主要来源。近几年来石家庄市农村工业发展迅速, 导致地下水受到不同程度的污染, 且农村地区的地下水多数未经处理直接饮用, 使得作为水环境中潜在的有毒污染物无法被去除, 长期饮用会严重危害人体健康^[2], 而以往研究常以饮用水卫生标准为依据判定污染物是否超标, 但不能评价对人体的健康危害风险程度, 目前石家庄市还缺乏农村地区饮用水人体健康危害的风险评估资料, 为掌握该市农村地区地下水污染物对健康

危害的风险情况, 本研究拟采用美国环保局推荐的健康风险评估模型^[3]对石家庄市10个农村县的地下饮用水进行监测及健康风险评估, 以便确定污染物的主次及治理的优先程度, 为指导农村生态系统管理和降低农村饮用水污染风险提供依据。

1 材料与方法

1.1 对象及抽样方法

研究对象为石家庄市农村集中式供水站, 该市共有23个县(市)区。其中有16个农村县, 结合地理位置、经济水平、供水范围等因素选取其中10个县作为观察点(A县、B县、C县、D县、E县、F县、G县、H县、I县、J县), 根据国家和省级监测点要求抽取行政村, 每村再选取1个集中式供水点, 作为监测点, 本调查共采集245个监督点出厂水样本490份。

DOI: 10.13213/j.cnki.jeom.2014.0233

[作者简介] 郭占景(1975—), 男, 硕士, 副主任医师; 研究方向: 环境流行病学; E-mail: jikongchu@yahoo.cn

[作者单位] 石家庄市疾病预防控制中心, 河北 050011

1.2 水样的采集与检测

于 2012 年枯水期(4 月)和丰水期(7 月)分别对各监测点的出厂水进行采集检测,水样的采集、保存和检测按照 GB/T 5750—2006《生活饮用水卫生标准检验方法》^[4]进行。检测指标包括菌落总数、总大肠菌群、砷、镉、铬、铅、汞、铁、锰、氟化物、硝酸盐、氯化物、硫酸盐、溶解性总固形物、总硬度和耗氧量,共计 16 项常规指标。

1.3 评价方法

检测结果按照 GB 5749—2006《生活饮用水卫生标准》^[5]进行评价。若有 1 项指标不合格即为该水样不合格。

1.4 健康风险评价

完整的健康风险模型包括食入、吸入和皮肤接触 3 种暴露途径进入人体对人体健康产生危害的评价^[6]。本研究主要是利用健康风险模型对通过饮水途径摄入的数种化学物质对人体产生的健康风险进行定量评价,以进一步掌握石家庄市农村饮用水主要的健康危害因子。不同类型化学物质引起的健康风险包括致癌物所致风险和非致癌物所致风险,事实上致癌物也可致非致癌风险,其评价也相应包括致癌和非致癌风险评价。本研究采用美国环保局推荐的健康风险评价模型^[3],结合污染物毒理资料及超标情况选择砷、镉、铬、铅、汞、锰、氟化物、硝酸盐等 8 项指标进行健康危险度特征分析。污染物健康危害风险评价分为致癌风险评价和非致癌风险评价两类。

1.4.1 致癌风险评价 该风险评价模型为: $R^c = \sum_{i=1}^k R_i^c$, 式中, $R_i^c = [1 - \exp(-D_i SF_i)]/70$, 即 R_i^c 为致癌物质 i 通过饮水途径所致平均个人健康危害年风险(a^{-1}); D_i 为致癌物质 i 通过饮水途径的单位体重日均暴露剂量(mg/kg), 即 $D_i = 2.2(L) \times C_i/7(kg)$, 该式中 2.2L 为成人每日平均饮水量, C_i 为致癌物质 i 的浓度, mg/L , 70kg 为成人平均体重; SF_i 为致癌物质通过饮水途径致癌斜率系数 [$mg/(kg \cdot d)$]; 70 为人类平均寿命(a)。

1.4.2 非致癌风险评价 该风险评价模型为: $R^n = \sum_{i=1}^l R_i^n$, 其中 $R_i^n = (D_{ip} \times 10^{-6}/RfD_i)/70$, 即 R_i^n 为非致癌物质 i 通过饮水途径所致个人的健康危害年风险(a^{-1}); D_{ip} 为非致癌物质 i 通过饮水途径的单位体重日均暴露剂量(mg/kg); RfD_i 为非致癌物质通过饮水途径的参考剂量 [$mg/(kg \cdot d)$]; 70 为人类平均寿命(a)。

假设有毒物质对人体健康危害的毒性作用呈相加关系,而非协同或拮抗关系,则饮用水污染物的健康危害风险为:

$$R_{总} = R^c + R^n$$

致癌物质的致癌斜率系数 SF_i 和非致癌物质的参考剂量 RfD_i 参考美国环保局的公众健康评估手册^[3], 见表 1。

表 1 污染物的致癌斜率因子和参考剂量 [$mg/(kg \cdot d)$]

污染物名称	致癌斜率(SF_i)	非致癌参考剂量(RfD_i)
砷	15.0	0.0003
镉	6.1	0.0005
铬	41.0	0.0030
铅	—	0.0014
汞	—	0.0004
氟化物	—	0.0600
硝酸盐	—	1.6000
锰(水中)	—	0.0200
铁	—	0.3000

2 结果

2.1 饮用水水质卫生状况

本次共采集水样 490 份,总合格率为 71.84%,丰水期与枯水期水质卫生合格率差异无统计学意义($P > 0.05$)(表 2)。各单项指标合格情况为:砷、镉、铬、铅、汞、铁、锰、氯化物、溶解性总固形物和耗氧量合格率均为 100%;氟化物、硫酸盐、硝酸盐、总硬度、菌落总数和总大肠菌群合格率分别为 98.57%、97.55%、96.73%、94.08%、91.84% 和 81.43%。

表 2 石家庄市农村饮用水水质卫生状况

监测时期	监测份数	合格份数	合格率(%)	χ^2	P
枯水期	245	180	73.47	0.646	>0.05
丰水期	245	172	70.20		
合计	490	352	71.84		

除 E 县和 J 县水质卫生合格率为 100% 外,其他 8 个县水质合格率由高到低顺次为 G 县(96%)、F 县(95%)、A 县(90%)、B 县(85%)、D 县(75%)、I 县(58.75%)、C 县(37.5%)、H 县(10%)。

2.2 农村饮用水部分水质指标含量

对 490 份水样选择进行健康风险评价的 8 项水质卫生指标的检测,结果见表 3。

表 3 石家庄市不同地区农村饮用水部分水质指标状况

县名称	监测份数	汞($\mu g/L$)		锰($\mu g/L$)		氟化物(mg/L)		硝酸盐(mg/L)	
		范围	中位数	范围	中位数	范围	中位数	范围	中位数
A	20	0.10	0.10	25.00	25.00	0.11~0.62	0.27	1.30~15.20	2.25
B	60	0.03~0.90	0.05	25.00~60.00	25.00	0.21~0.77	0.46	0.25~6.87	0.55
C	80	0.03~0.25	0.10	0.03~50.00	50.00	0.14~0.66	0.30	3.17~40.90	13.05
D	20	0.10~0.50	0.30	2.00~5.00	5.00	0.20~0.48	0.35	0.53~7.20	2.95
E	60	0.50	0.50	2.50~50.00	37.50	0.18~0.78	0.50	0.80~4.80	2.30
F	20	0.01	0.01	25.00	25.00	0.10~0.40	0.30	0.29~18.10	3.30
G	50	0.50	0.50	12.50~125.00	12.50	0.21~0.47	0.33	4.64~6.42	5.27
H	40	0.05	0.05	25.00	25.00	0.10~2.34	0.40	4.70~18.60	10.60
I	80	0.05~0.62	0.08	1.00~95.00	25.00	0.05~1.00	0.20	0.25~0.98	0.25
J	60	0.05~0.10	0.08	1.50~3.00	2.25	0.08~0.90	0.72	0.95~13.00	4.40
合计	490	0.01~0.90	0.10	0.03~125.00	25.00	0.05~2.34	0.37	0.25~40.90	2.92

续表 3

县名称	监测份数	砷(μg/L)		镉(μg/L)		铬(μg/L)		铅(μg/L)	
		范围	中位数	范围	中位数	范围	中位数	范围	中位数
A	20	5.00	5.00	2.50	2.50	2.00	2.00	5.00	5.00
B	60	0.25~0.50	0.50	0.05~0.40	0.13	2.00~19.00	7.00	0.05~0.70	0.25
C	80	0.25~5.00	5.00	0.03~2.50	0.25	2.00	2.00	0.05~0.80	1.25
D	20	0.50~4.00	1.75	2.50	2.50	2.00	2.00	0.05~0.90	5.00
E	60	5.00	5.00	1.50~5.00	3.75	2.00~4.00	3.00	0.05~0.10	5.00
F	20	0.50	0.50	0.25	0.25	2.00	2.00	0.05~0.11	1.25
G	50	5.00~25.00	5.00	0.25~2.00	0.25	11.00~26.00	16.00	0.05~0.12	2.50
H	40	0.50~25.00	5.00	0.25~0.50	0.38	5.00	5.00	0.05~0.13	3.75
I	80	0.50	0.50	1.00~5.00	2.50	2.50~47.80	22.90	0.05~0.14	3.75
J	60	0.50~1.00	0.75	0.25~0.50	0.38	0.25~20.00	4.00	0.05~0.15	1.88
合计	490	0.25~25.00	1.00	0.03~5.00	0.25	0.25~20.00	4.00	0.05~0.16	2.50

2.3 农村饮用水水质健康危害风险评价

由表 4 可见,该地区农村饮用水中 3 种污染物的个人年致癌风险由高到低的顺序为铬>镉>砷,但只有铬个人年患癌风险($7.38\times 10^{-5}/a$)高于国际辐射防护委员会(ICRP)推荐的有毒有害物质健康危害风险最大可接受水平($5.0\times 10^{-5}/a$);非致癌风险中 8 种污染物的个人年健康危害风险由高到低的顺序依次为砷>氟化物>硝酸盐>铬>镉>铅>锰>汞,均低于 ICRP 推荐的最大可接受水平。

表 4 石家庄市农村饮用水部分污染物健康危害风险评价

县名称	致癌风险(R^c)($10^{-5}/a$)				非致癌风险(R^n)($10^{-10}/a$)								
	砷	铬	镉	合计	砷	铬	镉	铅	汞	锰	氟化物	硝酸盐	合计
A	3.37	3.69	0.68	7.74	74.83	2.99	2.24	16.01	1.12	5.61	22.41	7.84	133.05
B	0.34	12.95	0.04	13.33	5.67	11.32	1.15	0.85	2.52	5.74	33.84	1.92	63.01
C	3.37	3.69	0.07	7.13	43.65	2.99	6.30	5.84	1.38	6.20	22.73	42.21	131.30
D	1.18	3.69	0.68	5.55	29.18	2.99	22.42	16.02	3.37	1.09	24.68	8.98	108.73
E	3.37	5.53	1.03	9.93	74.83	4.49	33.54	16.02	5.61	8.33	36.87	6.31	186.00
F	0.34	3.69	0.07	4.10	74.83	2.99	2.24	4.01	0.11	5.61	21.04	13.84	124.67
G	3.37	29.77	0.07	33.21	86.80	24.13	2.88	8.18	5.61	3.31	25.43	15.26	171.60
H	3.37	9.24	0.10	12.71	41.16	7.48	3.37	12.04	3.09	5.61	46.57	29.53	148.85
I	0.34	42.80	0.68	43.82	7.48	36.91	23.14	12.13	2.44	9.53	19.16	1.10	111.89
J	0.50	7.38	0.10	7.98	11.22	4.90	3.37	6.01	0.84	0.51	49.06	14.75	90.66
均值	0.67	7.38	0.68	8.73	39.10	12.49	11.13	9.01	2.73	5.65	30.70	15.10	125.91

3 讨论

本次调查结果显示,石家庄市农村集中式供水水质不合格指标主要为总大肠菌群,分析其可能的原因是与农村水源选址不合理、卫生防护较差、未采取消毒措施等原因有关。该地 10 个县中 I 县、C 县和 H 县水质合格率较低,其中,C 县和 H 县属于半山区县,浅井较多,很容易受到周围环境的污染,而 I 县距离市区较近,化工企业较多而且曾经是农田污水灌溉区,这些可能是造成该 3 县饮用水不合格率较高的原因。为保障农村饮水安全需加强饮水消毒处理,倡导良好的饮水卫生习惯。

健康风险评价不同于当前依据国家标准限值来评价水质是否合格的方法,较传统的水质等级评价体系能够更直观地表征水体中各污染物对人体健康的潜在危害,有利于明确水体污染物治理的优先顺序,为水环境管理提供科学依据,更有现实意义^[7-8]。

由结果可知,10 个县中砷、铬、镉 3 种致癌物质通过饮水途径所致个人年总致癌风险超过 ICRP 推荐的最大可接受水平的有 9 个县,占 90%,8 种非致癌物质通过饮水途径所致个人

年健康危害风险均低于 ICRP 推荐的最大可接受水平,表明该市农村饮用水污染物存在的健康风险主要是致癌风险,其中,由铬引起的致癌风险水平较高(平均致癌风险 $7.38\times 10^{-5}/a$),占总风险度($8.73\times 10^{-5}/a$)的 84.53%,说明铬是石家庄市农村饮用水中产生健康危害风险的主要污染物,为优先控制污染物,在以后的监测和治理工作中应以铬为重点。这与沈阳^[9]、河北^[10]农村地下饮用水中重金属健康风险评价结果一致。I 县和 G 县个人年患癌风险水平较高,I 县达 $43.82\times 10^{-5}/a$,表示每年每千万人口中因饮用含铬的地下水而受到的健康危害或死亡威胁的人数为 4 382 人。I 县和 G 县距市区较近,辖区内化肥厂、化工厂、制药厂、铬盐厂等化工企业较多,而且 I 县曾是农田污水灌溉区,农田土壤严重受到重金属污染,这可能是造成 I、G 两县饮用水中铬含量较高的原因。

8 种非致癌物质通过饮水途径所致健康危害的个人年总风险远低于 ICRP 推荐的最大可接受水平,表明石家庄市农村饮用水中非致癌物质所引起的健康危害风险较低,不会对居民健康构成危害,与致癌物质相比非致癌物质对人体健康危害的个

人年风险水平低 4 个数量级, 因此, 非致癌物质引起的健康危害风险可以忽略, 致癌物质为优先控制污染物。与安徽^[11]、重庆^[12]、广东^[13]地下水污染物健康风险评价结果基本一致。

本研究采用的健康危险度评价法存在不确定性, 如暴露途径仅考虑了饮水摄入, 没有考虑其他暴露途径(如食物摄入、吸入和皮肤接触)^[14], 评价过程中会涉及到难以确切测定而需要估算的参数等。另外, 由于本次调查还有许多其他有害物质未监测, 也未考虑污染物实际的联合作用方式等不确定因素^[15], 因此本次对饮用水的健康风险的评价是初步的, 目的仅为政府部门对农村集中式供水水质管理采取治理措施提供科学依据。

·作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

参考文献:

- [1] 张岚. 饮水安全与健康知识问答[M]. 北京: 化学工业出版社, 2013.
- [2] 范尉尉, 陈风格, 郭占景, 等. 2011 年石家庄市农村饮用水卫生调查与分析[J]. 环境卫生学杂志, 2012, 2(4): 174-178.
- [3] US EPA. EPA/630/P-03/001F. Guidelines for carcinogen risk assessment [R]. Washington DC: US EPA, 2005.
- [4] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 5750—2006 生活饮用水标准检验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [5] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. GB 5749—2006 生活饮用水卫生标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [6] US EPA. EPA/540/1-89/002. Risk assessment guidance for superfund volume I human health evaluation manual (Part A) [R]. Washington DC: US EPA, 1989.
- [7] 邹滨, 曾永年, BENJAMIN FZ, 等. 城市水环境健康风险评价[J]. 地理与地理信息科学, 2009, 25(2): 94-95.
- [8] 胡冠九, 孙成, 杨敏娜, 等. 长江江苏段主干断面污染物健康风险评价[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(8): 771-772.
- [9] 温海威, 吕聪, 王天野, 等. 沈阳地区农村地下饮用水中重金属健康风险评价[J]. 中国农学通报, 2012, 28(23): 242-247.
- [10] 赵晓风, 李振山, 张汉松. 河北省农村饮用水水质健康危害的风险度评价[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(26): 14614-14617.
- [11] 王嘉, 周晓铁, 孙世群, 等. 饮用水水源地重金属健康风险实例评价[J]. 安徽化工, 2010, 36(2): 48-50.
- [12] 李珊珊, 田考聪. 饮用水源水中重金属的健康风险评价[J]. 重庆医科大学学报, 2008, 33(4): 450-456.
- [13] 曲亚斌, 林立丰, 张建鹏, 等. 广东省十城市饮用水中部分元素健康风险评价[J]. 环境与健康杂志, 2012, 29(5): 434-437.
- [14] US EPA. EPA 601/5289-2001. Supplement risk assessment Part 1: guidance for public health risk assessment [R]. Washington DC: US EPA, 2005.
- [15] 于云江, 向明灯, 孙朋. 健康风险评价中的不确定性[J]. 环境与健康杂志, 2011, 8(9): 835-837.

(收稿日期: 2013-09-22)

(英文编辑: 汪源; 编辑: 洪琪; 校对: 徐新春)

【EHP 专栏】

孕期体重增加与新生儿持久性有机污染物暴露

Esther Vizcaino, Joan O. Grimalt, Berit Glomstad, Ana Fernández-Somoano, Adonina Tardón

摘要: [背景] 胎儿发育期间持久性有机污染物 (POPs) 暴露可以增加儿童期不良健康影响的风险。产妇的特征和妊娠期间的生理变化, 例如孕期体重增加 (GWG), 可能对新生儿的 POPs 总负荷有一定影响。然而, 尚无研究充分阐明 GWG 与 POPs 浓度之间的关联。[目的] 校正孕前母体的体质指数 (BMI) 和其他影响 POPs 转移进入新生儿体内的潜在决定因素之后, 研究 GWG 与脐带血清 POPs 浓度之间的关联。参考美国医学研究所 (IOM) 的指南对妊娠妇女进行分组, 并估算 GWG 值。[方法] 测定一个西班牙出生队列中 325 份脐带血清样本中 14 种有机氯杀虫剂、7 种多氯联苯 (PCBs) 和 14 种多溴联苯醚 (PBDEs) 的水平。采用多变量模型估算 GWG、孕前 BMI 和其他产妇的决定性因素与脐带血清 POPs 浓度的关联。[结果] 在校正了年龄、孕前 BMI、受教育程度以及鱼类消费等因素后, 新生儿的 POPs 浓度与 GWG 呈负性相关。平均而言, 与 GWG 不足的母亲所生的新生儿相比, 符合 IOM 建议的 GWG 妇女所生的新生儿具有较低的 POPs 浓度。[结论] 目前的研究结果提示新生儿 POPs 暴露与怀孕期间 GWG 不足之间存在关联。鼓励怀孕妇女达到 IOM 指南推荐的 GWG, 可能会降低 POPs 在新生儿中的蓄积。

原文详见 *Environmental Health Perspectives*, 2014, 122(8): 873-879.