

烟台市城市饮用水源地水环境健康风险评价

王松松¹, 王玖², 刘磊¹, 李芸¹, 张艺¹, 于桂梅¹

1. 烟台市疾病预防控制中心, 山东 烟台 264003; 2. 滨州医学院, 山东 烟台 264003

摘要: **目的** 监测评估 2015—2017 年烟台市城市饮用水源地水环境健康风险。**方法** 2015—2017 年, 对烟台全市 17 个市政水厂水源水监测点开展监测, 监测频率为每季度 1 次, 共检测 204 份水样。采用 Excel 2007 建立数据库, 使用 SPSS 17.0 进行统计学分析, 运用环境健康风险评价模型计算总健康风险。**结果** 烟台地区饮用水源地水体总体合格率为 86.71%, 健康风险由大到小的顺序依次为氟化物>硝酸盐>锰>铁>锌>氨氮>(铜、铅、汞、硒)。成人和儿童的总健康危害风险分别为 $23.78 \times 10^{-6}/\text{年}$ 、 $32.43 \times 10^{-6}/\text{年}$, 均为非致癌物质所致。**结论** 烟台市市政水源水中健康风险儿童高于成人, 均为非致癌物质所致, 硝酸盐和氨氮为主要的超标物质, 氟化物所造成的平均个人健康风险较高。

关键词: 水源水; 监测; 环境健康风险评价; 致癌物; 非致癌物

中图分类号: R123 文献标识码: A 文章编号: 1006-3110(2020)06-0686-03 DOI: 10.3969/j.issn.1006-3110.2020.06.013

Environmental health risk assessment of urban drinking water supply sources in Yantai city

WANG Song-song¹, WANG Jiu², LIU Lei¹, LI Yun¹, ZHANG Yi¹, YU Gui-mei¹

1. Yantai Municipal Center for Disease Control and Prevention, Yantai, Shandong 264003, China;

2. Binzhou Medical University, Yantai, Shandong 264003, China

Corresponding author: YU Gui-mei, E-mail: wangss008@qq.com

Abstract: **Objective** To monitor and evaluate the environmental health risks of urban drinking water supply sources in Yantai city from 2015 to 2017. **Methods** From 2015 to 2017, source water monitoring stations of 17 municipal waterworks in Yantai city were monitored. The monitoring frequency was once per quarter, and a total of 204 water samples were detected. Excel 2007 was used for establishing a database, SPSS 17.0 software for statistical analysis, and the environmental health risk assessment model for calculating the total health risk. **Results** The overall qualified rate of water from the sources of drinking water supply in Yantai was 86.71%. The health risks in descending order were as follows: fluoride, nitrate, manganese, iron, zinc, ammonia-nitrogen (copper, lead, mercury and selenium). The total health risks for adults and children were $23.78 \times 10^{-6}/\text{year}$ and $32.43 \times 10^{-6}/\text{year}$, respectively, which were caused by non-carcinogenic substances. **Conclusions** The health risks induced by source water of the municipal waterworks in Yantai city are higher in children than in adults, and all the risks are caused by non-carcinogenic substances. Nitrate and ammonia nitrogen are the main over-standard substances, and the average personal health risk caused by fluoride is high.

Key words: source water; monitoring; environmental health risk assessment; carcinogen; non-carcinogen

饮用水是人们生存的命脉和基础, 城市生活饮用水源地水质的优劣与人民群众的生活质量和身体健康息息相关^[1]。环境中存在大量人工合成的化学物质, 这些物质有可能干扰人体器官的正常功能^[2], 水质污染严重危害人体健康^[3], 同时破坏环境。毒理学

基金项目: 2017 年度山东省医药卫生科技发展计划 (编号: 2017WS570)

作者简介: 王松松 (1985-), 男, 本科, 主管医师, 研究方向: 环境卫生。

通信作者: 于桂梅, E-mail: wangss008@qq.com。

指标, 如硝酸盐、铅、汞、六价铬等污染物具有难降解、稳定等特点, 并且易在生物体内富集, 威胁生命安全。健康风险评价 (health risk assessment, HRA)^[4] 是近年来常用的将环境污染与人体健康相关联的一种评价方法, 其通过估计环境有害因素对人体产生的不良反应的概率来评估暴露于该因子人体所受的健康影响。健康风险评价包括致癌和非致癌健康风险评价两部分^[5]。本文分析 2015—2017 年烟台市城市饮用水源地水质监测结果, 对硝酸盐、镉、砷、六价铬等 13 种化学污染物进行了健康风险评价。

1 材料和方法

1.1 试验材料 2015—2017年,烟台市疾病预防控制中心(简称疾控中心)对烟台市17个市政水厂水源水监测点开展监测,监测频率为每季度1次,2015—2017年共检测204份水样。按照水源类型区分,包括水库水、地下水两种类型,其中水库水水源地有13个,地下水水源地4个。水样的采集、保存、运输和检验按照《生活饮用水标准检验方法》(GB/T 5750-2006)进行。质控工作涵盖了样品采集、保存、运输、实验室检验的全过程。

1.2 环境健康风险评估模型 健康风险包括非致癌风险和致癌风险,二者的计算公式分别为^[6]:

$$R_n = \sum R_{ni} = \sum (D_i/RfD_i) \times 10^{-6}/70$$

$$R_c = \sum R_{ci} = \sum [1 - \exp(-D_i \cdot Q_i)]/70$$

公式中, R_{ni} 、 R_{ci} 分别为非致癌物、致癌物*i*通过饮用水途径产生的年平均健康风险(a^{-1}); D_i 为毒性物质*i*的单位体重日均暴露剂量[$\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$]; Q_i 为致癌物*i*通过饮用水途径产生的致癌强度系数[$(\text{kg} \cdot \text{d})/\text{mg}$]; RfD_i 为非致癌物*i*通过饮用水途径被人体摄入的参考剂量[$\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$];70为人类平均寿命(a)。

成年人、儿童通过饮用水途径进入人体的毒性物质日均暴露剂量(D_i)计算公式分别为:

$$D_i = 2.2 \times C_i/70。$$

$$D_i = 1.0 \times C_i/23.24。$$

公式中,2.2为成年人每日平均饮水量(L); C_i 为饮用水中污染物质浓度(mg/L),是每份水样的检测结果;70为成年人人均体重(kg),1.0为未成年人(81月龄)每日平均饮水量(L),23.24为未成年人(81月龄)人均体重(kg)。本研究假设各个毒性物质不存在协同或拮抗关系,则水中各毒性物质通过饮用水途径对人体产生的总健康风险为: $R_{\text{总}} = R_c + R_n$ 。

1.3 评价参数 本研究中致癌强度系数和非致癌物饮水暴露的参考剂量均参照美国环境保护署(US EPA)标准^[7],非致癌污染物和致癌污染物通过饮水途径的参考剂量见表1。

表1 污染物饮水途径参考剂量

指标	参考剂量[$\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$]
铁	3.0×10^{-1}
锰	1.4×10^{-1}
铜	5×10^{-3}
铅	1.4×10^{-3}
锌	3×10^{-1}
汞	3×10^{-4}
硒	5×10^{-3}

续表1

指标	参考剂量[$\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$]
硝酸盐	1.6
氨氮	9.7×10^{-1}
氟化物	6×10^{-2}
砷	15
镉	41
铬	6.1

1.4 评价标准的确定 根据国际上推荐的最大可接受风险水平为 $1 \times 10^{-6}/\text{年}$ 与 $1 \times 10^{-4}/\text{年}$ 之间^[8],高于 $1 \times 10^{-4}/\text{年}$ 的风险水平被认为不可接受,低于 $1 \times 10^{-6}/\text{年}$ 的风险水平被认为可以接受,而 $1 \times 10^{-5}/\text{年}$ 的风险水平可接受程度较为适中。因此,本研究将环境健康风险划为低($<1 \times 10^{-6}$)、较低($1 \times 10^{-6} - 1 \times 10^{-5}$)、中等($1 \times 10^{-5} - 5 \times 10^{-5}$)、较高($5 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-4}$)、高($>1 \times 10^{-4}$)5个等级。

1.5 数据分析 本研究采用Excel 2007建立数据库,使用SPSS 17.0进行统计学分析。

2 结果

2.1 烟台地区饮用水源地水体合格率、13种化学污染物浓度 根据《地下水质量标准》(GB/T 14848-2017)Ⅲ类水、《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)Ⅲ类水规定的标准限值,烟台地区饮用水源地水体总体合格率为86.76%(177/204),主要不合格指标为硝酸盐、耗氧量、菌落总数。13种化学污染物指标浓度见表2。其中铜、铅、汞、硒、砷、镉、铬等均未检出。此外毒理学指标硝酸盐平均值虽未超标,但其有22.55%(46/204)的监测值超过标准限值。

表2 烟台地区水源水水体中化学污染物质量浓度($\mu\text{g}/\text{L}$)

指标	铁	锰	锌	硝酸盐	氨氮	氟化物
标准值	300	100	1 000	10 000	500	1 000
$\bar{x} \pm s$	50 ± 13	25 ± 3	10 ± 2	$6 000 \pm 2 930$	14 ± 9	400 ± 135
Min	25	25	10	200	10	50
P ₂₅	40	25	10	3 500	11	296
P ₅₀	50	25	10	6 000	14	400
P ₇₅	59	25	10	8 800	20	503
Max	90	90	90	20 700	860	960
超标率(%)	0	0	0	8.23	1.90	0

注:铜、铅、汞、硒、砷、镉、铬等均未检出。

2.2 健康风险评估

2.2.1 水中非致癌物健康风险评估 将水源水中非致癌污染物的健康风险按照由大到小的顺序排列,依

次为氟化物>硝酸盐>锰>铁>锌>氨氮>(铜、铅、汞、硒)。上述非致癌物对成人和儿童的健康风险分别为 $23.78 \times 10^{-6}/\text{年}$ 和 $32.43 \times 10^{-6}/\text{年}$, 其中个人年风险首位污染物指标为氟化物,成人和儿童的健康风险指数(Rn)分别为 $14.67 \times 10^{-6}/\text{年}$ 和 $20 \times 10^{-6}/\text{年}$, 分别占出厂水总风险的 61.69% 和 61.67%; 其次为硝酸盐,成人和儿童的健康风险指数分别为 $8.25 \times 10^{-6}/\text{年}$ 和 $11.25 \times 10^{-6}/\text{年}$, 占出厂水总风险均为 34.69%。见表 3。

表 3 烟台市市政供水水源水非致癌物健康风险评价

非致癌物	成年人($\times 10^{-6}$)		儿童($\times 10^{-6}$)	
	范围	平均值	范围	平均值
铁	0.18~0.66	0.37	0.25~0.9	0.50
锰	0.39~1.41	0.39	0.54~1.93	0.54
铜	0	0	0	0
铅	0	0	0	0
锌	0.07~0.66	0.07	0.1~0.9	0.1
汞	0	0	0	0
硒	0	0	0	0
硝酸盐	0.275~28.46	8.25	0.375~38.8	11.25
氨氮	0.02~1.95	0.03	0.03~2.66	0.04
氟化物	1.83~35.2	14.67	2.5~48	20
合计	2.77~68.34	23.78	3.80~93.19	32.43

2.2.2 烟台市市政供水水源水中致癌物健康风险评价 本研究中,致癌物砷、六价铬和镉均未检出,因此,本文将砷、六价铬和镉对成人和儿童的致癌健康风险列为 0。

3 讨论

烟台市是苹果等经济作物的重要产区,使用化肥农药较多,这些均可能造成市政水水源水上游流域的污染,使得硝酸盐、氨氮等浓度升高。通过对水质健康风险的评价,可以得出人体健康危害的年风险,从而推断出环境质量的综合结论。个人健康危害的总风险为基因毒物质和躯体毒物质所造成的健康风险之和^[10]。根据烟台水源水水体中各物质浓度以及引起的平均个人年健康风险可知烟台水源水中硝酸盐和氨氮为主要的超标物质,氟化物未出现超标的情况。然而在健康风险评价中,氟化物所造成的平均个人健康风险高于硝酸盐和氨氮,成为本研究健康风险的重要来源,这可能与不同元素的毒性大小有关。提示仅仅依赖于水质评价虽可准确得到污染情况,却无法直观的反映污染物对于人体健康的危害程度。因此,将水质评价与健康风险评价相结合将会更好地掌握饮用水水源地对人

体健康的影响。

本研究表明,13种化学物质的个人年健康风险水平在国际辐射防护委员会(ICRP)规定的最大可接受风险水平($5.0 \times 10^{-5}/\text{年}$)范围内^[11]。烟台市水源水13种化学物质对成人和儿童的总健康危害风险分别为 $23.78 \times 10^{-6}/\text{年}$ 和 $32.43 \times 10^{-6}/\text{年}$, 躯体毒物质的健康危害占总风险的 100%, 儿童的健康风险高于成人。其中以氟化物和硝酸盐的危害最大,氟化物在水源水中浓度均值为 $400 \mu\text{g}/\text{L}$ ($50 \sim 960 \mu\text{g}/\text{L}$),硝酸盐的均值为 $6000 \mu\text{g}/\text{L}$ ($200 \sim 20700 \mu\text{g}/\text{L}$)。躯体毒物质可能对人体健康造成不同程度的危害,如适当含量的氟是人体所必需的,但过量氟化物的摄入可引起氟中毒^[12]。

本研究使用了美国环境保护署推荐的健康风险评价模型对烟台市饮用水源地水体中污染物潜在健康风险水平进行了评估,并没有考虑居民实际使用的末梢水是经过处理后的水,这可能高估了风险。本研究只考虑了饮用水暴露途径,没有考虑食物和皮肤接触等途径,所以本研究还有待于进一步探讨。

参考文献

- [1] 白晓燕,位帅,时序,等.特大城市群城市集中饮用水源地水质时空变化特征[J].水电能源科学,2018,36(3):42-45.
- [2] 丁新良,张洁,张琦,等.基于报告基因试验的饮用水雌激素内分泌干扰活性分析[J].中华预防医学杂志,2017,51(2):180-182.
- [3] 孟昭伟,雷佩玉,郑晶利,等.2015年陕西省农村饮水工程水质卫生监测结果分析[J].实用预防医学,2018,25(11):1321-1324.
- [4] Jeffery S, Dianne K, Yang M. A new approach to criteria for health risk assessment [J]. Environ Impact Asses, 2012, 32:118-122.
- [5] 赵怡楠,罗书全,向新志,等.2015年重庆市农村集中式供水化学污染指标健康风险评价[J].实用预防医学,2018,25(7):833-836.
- [6] 张光贵,张屹.洞庭湖区城市饮用水源地水环境健康风险评价[J].环境化学,2017,36(8):1812-1820.
- [7] US EPA.Exposure Factors Handbook: 2011 Edition[S]. EPA/600/R-09/052A, Washington DC, 2011.
- [8] 梁云燕.泉州市某水库型水源水重金属健康风险评价[J].化学工程与装备,2017,46(2):277-280.
- [9] 张思强,徐承香,杨惠瑛,等.铜仁矿区农村地下水重金属含量与健康风险评价[J].中国农村水利水电,2019,61(3):41-49.
- [10] Thomas MB, Amy CS, Aaron MB, et al. Ecological and human health risk assessment[J]. Water Environ Res, 2011,83(10):1876-1905.
- [11] Emrah C. Health risk assessment for trace metals, polycyclic aromatic hydrocarbons and trihalomethanes in drinking water of Cankiri, Turkey [J]. E-J Chem, 2012, 9(4):1976-1991.
- [12] 张磊,赵亮,王睿,等.农村儿童水氟健康风险评估[J].公共卫生与预防医学,2018,29(4):57-60.