

DOI: 10.19797/j.cnki.1000-0852.20200113

大伙房水质健康风险评估

王永东, 夏春龙

(辽宁省抚顺水文局, 辽宁 抚顺 113005)

摘要:通过健康风险评估模型,对大伙房水源地水质通过饮水途径和皮肤暴露所致健康风险进行了评估。结果表明:饮水途径所致健康风险高于皮肤暴露所致健康风险;无论哪种途径,基因毒物质的健康风险均高于躯体毒物质,基因毒物质所致健康风险表现为六价铬>砷>镉,躯体毒物质中氟所致健康风险最高,挥发酚最低;躯体毒物质所致健康风险为可忽略水平。因此在大伙房水源地管理上应重视基因毒物质的总量控制,加强饮用水净化处理。

关键词:水质;健康风险评估;大伙房

中图分类号:X824

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2021)04-0102-07

0 引言

水质健康风险评估是把水环境污染物与人体健康联系起来,以风险度作为评价指标,定量描述对人体产生健康危害风险的一种评价方法^[1]。人类通过多年来对基因毒物质和躯体毒物质的大量研究,建立起不同类型污染物通过各种途径对人体健康危害影响的风险评价模型,目的在于评估水环境中的特定因子对人体健康造成损坏的可能性及其程度,其中饮水健康备受关注。目前国内水质研究重点仍侧重于对水体污染程度的定性描述,仅从水质的好坏对饮用水做出判定,对于水质与健康风险关系的研究较少^[2-3]。目前,水质健康风险评估最为常用的方法是美国环保署(USEPA)推荐的环境健康风险评估模型。张丽^[4]等利用该方法对三峡库区重庆段水质健康风险进行评估,发现镉和铅的健康风险较大,但对暴露人群不构成危害。针对地下水水质的健康风险,相关研究也采用该评估模型^[5-6],发现重金属对儿童和成人风险不同。本文依据近十年的水质监测数据,使用健康风险评估模型对水库水质健康风险进行初步研究,为饮用水健康风险管控提供参考。

1 水质健康风险评估方法

1.1 研究区域与数据

大伙房水库位于浑河中上游(见图1),抚顺市境

内,是以防洪、灌溉、供水为主,兼以发电、养鱼等多种功能的水利枢纽工程。总库容 $21.87 \times 10^8 \text{ m}^3$,东西长约 35 km,水面最宽处达 4 km,是一个带状河谷型水库。最大蓄水面积为 114 km^2 ,控制流域面积 $5\,437 \text{ km}^2$ 。是国家重要饮用水源地,为沈阳、抚顺等辽宁中、南城市群的主要饮用水源地,供水人口达到 2 300 万人。

本文数据来源为 2010-2019 年大伙房水库常规监测数据,取样断面为大伙房水库坝前,是水功能区

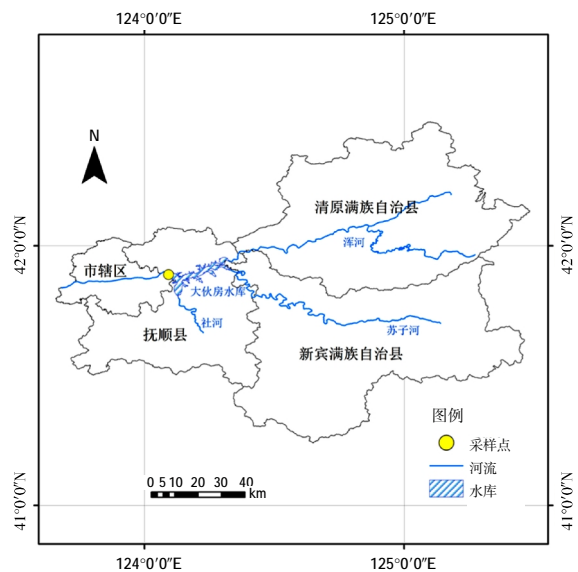


图1 大伙房水库区示意图

Fig.1 Diagram of the location of Dahuofang Reservoir

收稿日期:2020-5-19

作者简介:王永东(1979—),男,辽宁葫芦岛人,学士,高级工程师,主要从事水环境检测与评价方面的工作。E-mail:156961313@qq.com

代表断面。按《水环境监测规范》(SL219-2013)规定,常规采样使用有机玻璃采样器;相关指标采用《水和废水监测分析方法》规定方法检测分析。监测频次为每月1次。

1.2 评价方法

水环境健康风险评估主要是针对水环境中对人体有害的物质,一般可分为基因毒物质(放射性污染物和化学毒物质)和躯体毒物质两类。基因毒物质一般指能引起基因突变或引起遗传性改变的物质,往往具有致癌性,躯体毒物质指能引起躯体中毒性表现的物质,不具致癌性。风险评估中,放射性污染物在饮用水体中检测不出来,因此放射性污染一般不考虑,只考虑基因毒物质(六价铬、砷、镉)和躯体毒物质(主要是氨氮、氟化物、汞、铅、氰化物、挥发酚、铁、锰)。这两类物质可通过饮水和皮肤暴露两种途径对健康产生风险。本文采用US EPA(美国环保署)推荐的健康风险评估模型评价健康风险。

1.2.1 饮水途径的健康风险评估

基因毒物质所致健康危害风险评估按式(1)~(3)计算。

$$D_i = 2.2L \times C_i / (70kg) \quad (1)$$

$$R_i^c = [1 - \exp(-D_i q_i)] / (70a) \quad (2)$$

$$R^c = \sum_{i=1}^k R_i^c \quad (3)$$

式中: D_i 为*i*物质通过饮水途径的单位体重日均暴露剂量(mg/(kg·d)); R_i^c 为*i*物质平均个人致癌年风险, a^{-1} ; q_i 为基因毒物质通过饮水途径致癌系数(mg/(kg·d)),镉、砷、六价铬本文分别采用6.1、15、41^[7]; C_i 为浓度(mg/L); $70a$ 为区域平均寿命; $70kg$ 为区域人均体重; $2.2L$ 为成人日均饮水量。

躯体毒物质所致健康危害风险评估按式(4)计算。

$$R_i^n = (D_i / D_{irf}) \times 10^{-6} / (70a) \quad (4)$$

式中: R_i^n 为躯体毒物质*i*通过饮水途径对平均个人产

生的健康危害年风险(a^{-1}); D_{irf} 为参考剂量(mg/(kg·d)),如表1所示。

表1 躯体毒物质的参考剂量^[7] (mg/(kg·d))

躯体毒物质	氨氮	氟	汞	挥发酚	氰化物	铁	锰	铅
D_{irf}	0.97	0.06	0.0003	0.1	0.037	0.3	0.14	0.0014

1.2.2 皮肤暴露的健康风险评估

经皮肤暴露途径产生的健康风险按公式(5)~(7)计算。

污染物通过皮肤接触的日均暴露剂量 ADD:

$$ADD = (C \times Sa \times K_p \times ET \times EF \times ED \times 0.001) / (70 \times AT) \quad (5)$$

$$\text{基因毒物质: } R_{dermal} = q_i \times ADD_{dermal} \quad (6)$$

$$\text{躯体毒物质: } R_{dermal} = \frac{ADD_{dermal}}{D_{irf}} \times 10^{-6} \quad (7)$$

式中: C 为污染物浓度(mg/L); Sa 为皮肤接触面积(cm^2),手部和全身分别为800和16000; K_p 为皮肤吸收系数(cm/h),见表2; ET 为暴露时间(h/d),手部和全身分别为1.00和0.17; EF 为暴露频率(d/a),为365; ED 为暴露持续时间(a),为77.04; AT 为平均暴露时间(d),本文中 $AT = ED \times 365$;0.001为体积转换系数(L/m^3);70为区域人均体重(kg)。以上数据选自《中国人群暴露参数》。

2 健康风险评估结果

2.1 水质监测结果分析

2010~2019年大伙房水库水质监测结果见表3。躯体毒物质中,氨氮年均值变化范围为0.056~0.250mg/L,满足《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中II类水质标准,均值最大值出现在2016年;氟年均值变化范围为0.117~0.336mg/L,满足I类水质标准;汞

表2 污染物皮肤吸收系数^[8] (cm/h)

Table2 Permeability of human skin to contaminant

躯体毒物质	氨氮	氟	汞	挥发酚	氰化物	铁	锰	铅
K_p	0.001	0.001	0.001	0.001*	0.001*	0.001	0.001	0.00004
基因毒物质	砷	六价铬	镉					
K_p	0.0018	0.002	0.001					

注:*表示该污染物在参考文献中无 K_p 值记录,以0.001带入计算。

表3 2010~2019年大伙房水库水质监测结果(mg/L)
Table3 Water quality monitoring results of Dahuofang reservoir in 2010~2019

年度	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	历年平均
氨氮	0.212	0.062	0.111	0.113	0.107	0.186	0.250	0.073	0.056	0.079	0.1249
氟	0.125	0.117	0.250	0.275	0.336	0.185	0.199	0.153	0.150	0.164	0.1954
汞 $\times 10^{-5}$	1.46	1.08	1.63	1.42	2.29	0.96	0.54	0.63	0.50	0.54	1.105
铅	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013
氰化物	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
挥发酚	0.00018	0.00233	0.00088	0.00023	0.00052	0.00025	0.00043	0.00030	0.00046	0.00036	0.00060
铁	0.198	0.029	0.015	0.214	0.114	0.015	0.023	0.015	0.015	0.015	0.0653
锰	0.022	0.020	0.032	0.029	0.023	0.015	0.005	0.018	0.008	0.005	0.0177
六价铬	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
镉	0.0003	0.0003	0.0004	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.00031
砷	0.0014	0.0003	0.0001	0.0012	0.0003	0.0004	0.0005	0.0006	0.0006	0.0005	0.00059

注:监测指标未检出时,按二分之一检出项参与计算。

年均值变化范围为 $5.0 \times 10^{-6} \sim 2.29 \times 10^{-5} \text{mg/L}$, 满足 I 类水质标准, 2015 年后稳定在较低水平; 铅和氰化物多年均处于未检出状态; 挥发酚年均值变化范围为 $0.00018 \sim 0.00233 \text{mg/L}$, 最大值出现在 2011 年, 该年份为 III 类水质标准, 其它年份均满足 I 类水质标准; 铁锰也均满足相应的标准限值。基因毒物质中, 六价铬与镉基本处于未检出状态, 满足 I 类水质标准; 砷年均值变化范围为 $0.0001 \sim 0.0014 \text{mg/L}$, 满足 I 类水质标准。监测结果评价显示水库多年水质状况满足 II 类水质标准。

2.2 饮用水途径的健康风险

表 4 多年评估结果显示, 大伙房水库水中基因毒物质六价铬、砷和镉健康危害个人风险分别为 $3.74 \times 10^{-5} \text{a}^{-1}$ 、 $3.87 \times 10^{-6} \text{a}^{-1}$ 和 $7.28 \times 10^{-7} \text{a}^{-1}$, 总风险为 $4.20 \times 10^{-5} \text{a}^{-1}$ 。基

表4 基因毒物质健康危害个人风险(饮用水途径)(a^{-1})

Table4 Personal risk of health hazards from genotoxicity substances (from drinking Water)

年度	六价铬 $\times 10^{-5}$	镉 $\times 10^{-7}$	砷 $\times 10^{-6}$	总风险 $R \times 10^{-5}$
2010	3.68	6.85	9.23	4.67
2011	3.68	6.85	2.24	3.97
2012	3.68	11.1	0.67	3.86
2013	3.68	6.85	7.91	4.54
2014	3.68	6.85	1.68	3.91
2015	3.68	6.85	2.75	4.02
2016	3.68	6.85	3.14	4.06
2017	3.68	6.85	4.10	4.16
2018	3.68	6.85	3.82	4.13
2019	4.29	6.85	3.20	4.68
历年均值	3.74	7.28	3.87	4.20

因毒物质通过饮水途径所致健康危害个人年风险中以六价铬最大, 砷次之, 镉最小。近 10 年统计中, 三种基因毒物质的健康危害风险值基本处于三个数量级, 六价铬、砷和镉分别处于 10^{-5} 、 10^{-6} 和 10^{-7} 数量级。从环境风险值的可接受程度来看, 一般取自然灾害风险值, 即 $10^{-6}/\text{a}$ 为背景值; $10^{-5}/\text{a}$ 为遭受火灾、淹死及中毒等的风险值, 是一种可接受风险值。因此, 六价铬和砷的健康风险是属于可接受水平, 镉的健康风险属于可忽略水平。单一基因毒物质健康危害个人风险值满足国际辐射防护委员 (ICRP) 推荐的最大可接受风险水平 ($5 \times 10^{-5} \text{a}^{-1}$) 的要求, 但六价铬的健康危害风险水平较高, 应引起重视。这与史玉强等^[2]对大伙房水库 2000~2009 年饮水途径的基因毒物质健康风险评估结果顺序一致, 均表现为六价铬的风险较高, 但近 10 年的风险水平降低, 降幅达到一个数量级, 说明近年来饮用水水环境保护成果显著, 降低了饮水健康风险。

表 5 可知, 2010~2019 年健康风险评估显示, 躯体毒物质平均总风险为 $2.12 \times 10^{-9} \text{a}^{-1}$ 。躯体毒物质通过饮水途径所致健康危害的风险由高到低的顺序为: 氟 > 铅 > 铁 > 氨氮 > 锰 > 氰化物 > 汞 > 挥发酚。氟和铅是主要的躯体毒物质。氰化物所致健康危害风险数量级基本在 $10^{-9}/\text{a}$, 铅所致健康危害风险数量级为 $10^{-10}/\text{a}$, 其余躯体毒物质所致风险的数量级更低。单种躯体毒物质所致风险均远低于国际辐射防护委员 (ICRP) 推荐的最大可接受风险水平 ($5 \times 10^{-5} \text{a}^{-1}$), 甚至低于英国皇家协会 ($1 \times 10^{-7} \text{a}^{-1}$) 和荷兰建设和环境部 ($1 \times 10^{-8} \text{a}^{-1}$) 推荐的可忽略风险水平。单种躯体毒物质的健康风险处于可忽略水平。

表5 躯体毒物质健康危害个人风险(饮水途径)(a⁻¹)

Table5 Personal risk of health hazards from non-gene toxic substances (from drinking Water)

年度	氨氮×10 ⁻¹¹	氟×10 ⁻⁹	汞×10 ⁻¹¹	挥发酚×10 ⁻¹²	氰化物×10 ⁻¹¹	铁×10 ⁻¹¹	锰×10 ⁻¹¹	铅×10 ⁻¹⁰	总风险 R ^a ×10 ⁻⁹
2010	9.82	0.94	2.18	0.80	2.43	29.68	7.08	4.01	1.85
2011	2.88	0.87	1.62	1.05	2.43	4.37	6.28	4.01	1.46
2012	5.15	1.87	2.43	3.95	2.43	2.26	10.34	4.01	2.50
2013	5.24	2.06	2.12	1.03	2.43	32.05	9.17	4.01	2.97
2014	4.97	2.51	3.43	2.32	2.43	17.02	7.35	4.01	3.27
2015	8.62	1.38	1.43	1.10	2.43	2.24	4.81	4.01	1.98
2016	11.57	1.49	0.81	1.94	2.43	3.37	1.60	4.01	2.09
2017	3.38	1.14	0.93	1.35	2.43	2.24	5.88	4.01	1.69
2018	2.60	1.22	0.75	2.06	2.43	2.24	2.41	4.01	1.63
2019	3.68	1.23	0.81	1.63	2.43	2.24	1.74	4.01	1.74
历年平均	5.79	1.47	1.65	1.72	2.43	9.77	5.67	4.01	2.12

比较可知,基因毒物质通过饮水途径对健康危害的个人风险远远高于躯体毒物质所带来的风险。近10年,基因毒物质所致健康危害的年平均总风险为 $4.20 \times 10^{-5} a^{-1}$,最大值为2019年的 $4.68 \times 10^{-5} a^{-1}$,满足国际辐射防护委员(ICRP)推荐的最大可接受风险水平($5 \times 10^{-5} a^{-1}$)的要求,但已经接近限值,需引起重视。躯体毒物质所致健康危害的年平均总风险为 $2.12 \times 10^{-9} a^{-1}$,最大值为2014年的 $3.27 \times 10^{-9} a^{-1}$,远低于国际辐射防护委员(ICRP)推荐的最大可接受风险水平($5 \times 10^{-5} a^{-1}$)和瑞典环保局、英国皇家协会推荐的最大可接受水平 $1 \times 10^{-6} a^{-1}$,甚至也低于荷兰建设和环境部推荐的可忽略风险水平 $1 \times 10^{-8} a^{-1}$ 。

在本文的评价中,大伙房水源地通过饮水途径的健康危害总风险低于ICRP的推荐值,基因毒物质风险较大,风险因子为六价铬,而在2000~2009年的健康风险评估中^[2],总风险水平超过ICRP的推荐值,但依旧是基因毒物质风险大,风险因子也是六价铬,可见,近十年间,大伙房水源地健康危害总风险降低,但导致健康风险的因子没有改变。比较已报道的国内其它饮用水源地健康风险评估结果,西部地区的林芝市水源地^[9]健康危害的总风险超过ICRP的推荐值,主要风险因子为镉;银川市南郊、北郊水源地^[10]健康危害总风险均低于ICRP推荐值,风险以基因毒物质为主,风险污染物为砷;中山市饮用水源地^[11]、柳江流域饮用水源地^[12]和东南沿海某典型水库型饮用水源地^[13]的健康危害总风险均低于ICRP推荐值,关键风险污染物为六价铬和砷;黄河下游浅型山区和引黄水库饮用水源地^[14]、沈河^[15](渭南市饮用水源地)健康风险较高,超过

ICRP推荐值,风险因子为六价铬。可见,受地域特征和环境因素影响,不同区域饮用水源地的健康风险差别较大,环境健康管理中对健康危害总风险和风险因子都应进行关注。

2.3 皮肤接触的健康风险评估

基因毒物质皮肤暴露下健康危害评估结果见表6。多年评估结果显示,基因毒物质皮肤暴露的健康风险顺序为六价铬>砷>镉。三种基因毒物质的健康风险值基本处于三个数量级,六价铬、砷和镉分别处于 10^{-6} 、 10^{-7} 和 10^{-8} 数量级,手部和全身暴露历年总风险的平均值分别为 $2.10 \times 10^{-6} a^{-1}$ 和 $7.14 \times 10^{-6} a^{-1}$ 。单一基因毒物质健康危害个人风险值和总风险值均小于国际辐射防护委员(ICRP)推荐的最大可接受风险水平($5 \times 10^{-5} a^{-1}$)的要求。但六价铬健康风险和总的风险值超过瑞典环保局和英国皇家协会推荐的最大可接受水平($1 \times 10^{-6} a^{-1}$)。

比较表7和表8可知,躯体毒物质通过手部暴露所致健康危害的风险由高到低的顺序为:氟>铁>锰>氨氮>氰化物>汞>铅>挥发酚,手部暴露所致健康风险的数量级为 10^{-14} ~ 10^{-11} 。全身暴露所致健康危害的风险由高到低的顺序氟>铁>氨氮>锰>氰化物>汞>铅>挥发酚,全身暴露所致健康风险的数量级为 10^{-13} ~ 10^{-10} 。从皮肤接触的方式来看,全身接触的健康风险高于手部接触的风险。躯体毒物质的皮肤暴露健康危害均表现为氟化物的风险最大,挥发酚的健康风险最低。无论是单种躯体毒物质还是总的风险水平通过皮肤暴露所致风险均远低于国际辐射防护委员(ICRP)推荐的最大可接受风险水平($5 \times 10^{-5} a^{-1}$),甚至低于英国皇家

表6 基因毒物质健康危害个人风险(皮肤暴露)(a⁻¹)

Table6 Personal risk of health hazards from genotoxicity substances (dermal exposure)

年度	六价铬×10 ⁻⁶		镉×10 ⁻⁸		砷×10 ⁻⁷		总风险×10 ⁻⁶	
	手部	全身	手部	全身	手部	全身	手部	全身
2010	1.87	6.37	1.74	5.92	4.24	14.43	2.32	7.87
2011	1.87	6.37	1.74	5.92	1.03	3.50	1.99	6.78
2012	1.87	6.37	2.83	9.65	0.31	1.05	1.93	6.57
2013	1.87	6.37	1.74	5.92	3.63	12.33	2.25	7.66
2014	1.87	6.37	1.74	5.92	0.77	2.62	1.97	6.69
2015	1.87	6.37	1.74	5.92	1.26	4.28	2.01	6.86
2016	1.87	6.37	1.74	5.92	1.44	4.90	2.04	6.92
2017	1.87	6.37	1.74	5.92	1.88	6.38	2.08	7.07
2018	1.87	6.37	1.74	5.92	1.75	5.95	2.07	7.03
2019	2.19	7.43	1.74	5.92	1.46	4.98	2.35	7.99
历年均值	1.90	6.48	1.85	6.29	1.78	6.04	2.10	7.14

表7 躯体毒物质健康危害个人风险(手部暴露)(a⁻¹)

Table7 Personal risk of health hazards from non-gene toxic substances (hands exposed)

年度	氨氮×10 ⁻¹²	氟×10 ⁻¹¹	汞×10 ⁻¹³	铅×10 ⁻¹³	氰化物×10 ⁻¹³	挥发酚×10 ⁻¹⁴	铁×10 ⁻¹²	锰×10 ⁻¹²	总风险×10 ⁻¹¹
2010	2.50	2.38	5.56	4.08	6.18	2.05	7.56	1.80	3.73
2011	0.73	2.22	4.13	4.08	6.18	26.63	1.11	1.60	2.74
2012	1.31	4.76	6.19	4.08	6.18	10.05	0.57	2.63	5.39
2013	1.33	5.24	5.40	4.08	6.18	2.62	8.16	2.33	6.58
2014	1.27	6.40	8.73	4.08	6.18	5.90	4.33	1.87	7.34
2015	2.19	3.52	3.65	4.08	6.18	2.81	0.57	1.22	4.06
2016	2.94	3.79	2.06	4.08	6.18	4.95	0.86	0.41	4.34
2017	0.86	2.90	2.38	4.08	6.18	3.43	0.57	1.50	3.33
2018	0.66	2.86	1.90	4.08	6.18	5.24	0.57	0.61	3.17
2019	0.94	3.13	2.06	4.08	6.18	4.14	0.57	0.44	3.45
历年平均	1.47	3.72	4.21	4.08	6.18	6.78	2.49	1.44	4.41

表8 躯体毒物质健康危害个人风险(全身暴露)(a⁻¹)

Table8 Personal risk of health hazards from non-gene toxic substances (all exposed)

年度	氨氮×10 ⁻¹²	氟×10 ⁻¹¹	汞×10 ⁻¹³	铅×10 ⁻¹³	氰化物×10 ⁻¹³	挥发酚×10 ⁻¹⁴	铁×10 ⁻¹²	锰×10 ⁻¹²	总风险×10 ⁻¹¹
2010	8.50	0.81	1.89	1.39	2.10	0.70	25.69	6.13	1.27
2011	2.49	0.76	1.40	1.39	2.10	9.05	3.78	5.44	0.93
2012	4.46	1.62	2.10	1.39	2.10	3.42	1.95	8.95	1.83
2013	4.54	1.78	1.83	1.39	2.10	0.89	27.74	7.93	2.24
2014	4.30	2.17	2.97	1.39	2.10	2.01	14.73	6.36	2.50
2015	7.46	1.20	1.24	1.39	2.10	0.96	1.94	4.16	1.38
2016	10.01	1.29	0.70	1.39	2.10	1.68	2.91	1.39	1.48
2017	2.92	0.99	0.81	1.39	2.10	1.17	1.94	5.09	1.13
2018	2.25	0.97	0.65	1.39	2.10	1.78	1.94	2.08	1.08
2019	3.18	1.06	0.70	1.39	2.10	1.41	1.94	1.50	1.17
历年平均	5.01	1.27	1.43	1.39	2.10	2.31	8.46	4.90	1.50

协会($1 \times 10^{-7} a^{-1}$)和荷兰建设和环境部($1 \times 10^{-8} a^{-1}$)推荐的可忽略风险水平。因此皮肤接触的健康风险可以忽略。

此外,基因毒物质通过皮肤接触对健康危害的个人风险远远高于躯体毒物质所带来的风险。近10年,基因毒物质所致健康危害的年平均总风险为 $7.14 \times 10^{-6} a^{-1}$,不可忽略,处于可接受水平。躯体毒物质所致健康危害的年平均总风险为 $1.5 \times 10^{-10} a^{-1}$,基本可以忽略。从不同暴露途径的来看,皮肤接触所致健康风险低于饮水途径所致健康风险。

3 结论

(1) 大伙房饮用水源地水质中各类污染物通过饮水途径所致健康总风险为 $4.2 \times 10^{-5} a^{-1}$,通过皮肤暴露(手部和全身)所致健康总风险为 $9.24 \times 10^{-6} a^{-1}$,均低于国际辐射防护委员(ICRP)推荐的最大可接受风险水平($5 \times 10^{-5} a^{-1}$),但超过瑞典环保局和英国皇家协会推荐的最大可接受水平($1 \times 10^{-6} a^{-1}$)。

(2) 饮水途径所致健康风险高于皮肤暴露所致健康风险,全身暴露所致健康风险高于手部暴露所致健康风险。因此应对水库饮用水加强净化处理。

(3) 无论哪种途径,基因毒物质的健康风险高于躯体毒物质,基因毒物质所致健康风险顺序为六价铬>砷>镉,躯体毒物质中氯化物的健康风险最大,挥发酚最低。躯体毒物质饮水途径和皮肤暴露所致健康风险均处于可忽略水平。因此在管理上应注意控制基因毒物质的总量。

参考文献:

- [1] 胡二邦. 环境风险评估实用技术和方法[M]. 北京:中国环境科学出版社, 2000. (HU Erbang. Practical Techniques and Methods of Environmental Risk Assessment [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2000. (in Chinese))
- [2] 史玉强,刘建东,金永民,等. 辽宁大伙房水库水质健康风险评估[J]. 中国环境监测, 2013,29(3):60-64. (SHI Yuqiang, LIU Jiandong, JIN Yongmin, et al. Water quality assessment of health risks of Dahuofang reservoir [J]. Environmental Monitoring in China, 2013,29(3):60-64. (in Chinese))
- [3] 杨海君,许云海,刘亚宾,等. 湘江流域衡阳水口山段水环境健康风险评估[J]. 环境化学, 2018,37(9):2060-2070. (YANG Haijun, XU Yunhai, LIU Yabin, et al. Water environmental health risk assessment in the Shuikoushan section of Hengyang River basin, Xiang River [J]. Environmental Chemistry, 2018,37(9):2060-2070. (in Chinese))
- [4] 张丽,胡天鹏,张慧迪,等. 三峡库区重庆段城区沿江水质特征与健康风险[J]. 湖北理工学院学报, 2019,35(4):18-23. (ZHANG Li, HU Tianpeng, ZHANG Huidi, et al. Water quality characteristics and health risk assessment of the Three Gorges Reservoir Area of Chongqing along the Yangtze River [J]. Journal of Hubei Polytechnic University, 2019,35(4):18-23. (in Chinese))
- [5] 刘圣锋,黄军,周媛,等. 广西容县地下水水质调查与健康风险评估[J]. 人民珠江, 2019,40(12):6-12. (LIU Shengfeng, HUANG Jun, ZHOU Yuan, et al. Quality investigation and health risk assessment of groundwater in Rongxian County, Guangxi [J]. Pearl River, 2019,40(12):6-12. (in Chinese))
- [6] 吴小宏,孙刚锋. 泾惠渠灌区地下水水质对人体健康的影响[J]. 人民黄河, 2020,42(S1):42-44. (WU Xiaohong, SUN Gangfeng. Effect of groundwater quality on human health in Jinghuiqu Irrigation Area [J]. Yellow River, 2020,42(S1):42-44. (in Chinese))
- [7] 李莹莹,张永江,邓茂,等. 武陵山区域典型生态保护城市饮用水源地水质人体健康风险评估[J]. 环境科学研究, 2017,30(2):282-290. (LI Yingying, ZHANG Yongjiang, DENG Mao, et al. Water quality health risk assessment in urban drinking water sources of typical ecological protection areas in Wuling Mountain [J]. Research of Environmental Sciences, 2017,30(2):282-290. (in Chinese))
- [8] US EPA. EPA/600/8-91/011B, Dermal exposure assessment: principles and applications [S]. Washington, DC: U. S. EPA, 1992.
- [9] 段小龙,郝凯越,黄德才,等. 林芝市饮用水源地健康风险评估[J]. 水资源与水工程学报, 2020,31(3):97-101. (DUAN Xiaolong, HAO Kaiyue, HUANG Decai, et al. Health risk assessment of drinking water sources in Linzhi City [J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2020,31(3):97-101. (in Chinese))
- [10] 彭晓云. 银川市集中式饮用水源地水质健康风险评估[J]. 工程建设与设计, 2019(24):152-153. (PENG Xiaoyun. Environmental health risk assessment of the drinking water sources of Yinchuan [J]. Construction & Design for Project, 2019(24):152-153. (in Chinese))
- [11] 邓春拓,何伦发,郭艳,等. 2015年中山市饮用水源水中化学污染物健康风险评估[J]. 环境与健康杂志, 2018,35(8):722-725. (DENG Chuntuo, HE Lunfa, GUO Yan, et al. Health risk assessment of chemical contaminants in drinking water sources in Zhongshan in 2015 [J]. Journal of Environment and Health, 2018,35(8):722-725. (in Chinese))
- [12] 张清华,韦永著,曹建华,等. 柳江流域饮用水源地重金属污染与健康风险评估[J]. 环境科学, 2018,39(4):1598-1607. (ZHANG Qinghua, WEI Yongzhu, CAO Jianhua, et al. Heavy metal pollution of the drinking water sources in the Liujiang River Basin, and related health risk assessments [J]. Environment Science, 2018,39(4):1598-1607. (in Chinese))
- [13] 陈汉,王振峰,梅琨,等. 东南沿海某水源地水质健康风险评估[J]. 环境化学, 2019,38(5):1161-1170. (CHEN Han, WANG Zhenfeng, MEI Kun, et al. Water quality health risk assessment in a drinking water source in southeast coastal area of China [J]. Environmental Chemistry, 2019,38(5):1161-1170. (in Chinese))
- [14] 侯伟,孙韶华,李桂芳,等. 黄河下游浅型山区和引黄水库水环境健康

风险评价[J].水资源与水工程学报, 2016,27(4):31-37. (HOU Wei, SUN Shaohua, LI Guifang, et al. Risk assessment of water environmental health for shallow mountainous and Yellow River reservoirs in lower reaches of Yellow river [J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2016,27(4):31-37. (in Chinese))

[15] 权轻舟. 沈河水体重金属含量分析与健康风险评估[J]. 干旱区资源与环境, 2019,33(5):119-125. (QUAN Qingzhou. Analysis of heavy metals contents and health risk assessment of Youhe River [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2019,33(5): 119-125. (in Chinese))

Health Risk Assessment of Water Quality in Dahuofang Reservoir

WANG Yongdong, XIA Chunlong

(Fushun Hydrologic Bureau of Liaoning Province, Fushun 113005, China)

Abstract: Through the health risk assessment model, the health risk caused by drinking water route and dermal exposure in water source area of Dahuofang was evaluated. The results show that the health risk of water route is higher than that of dermal exposure. And the health risk of genotoxicity substances is higher than that of non-gene toxic substances. The health risk of genotoxicity substances are as follow: chromium (Cr^{6+})>arsenic>cadmium; in the non-gene toxic substances, fluoride is the highest health risk and volatile phenol is the lowest, while non-gene toxic substances are the negligible health risk. Therefore, the total amount control of genotoxicity substances need to be emphasized and the purification of drinking water should be strengthened.

Key words: water quality; assessment of health risks; Dahuofang Reservoir

(上接第 101 页)

Assessment of Drought Characteristics for the Semiarid Western Heilongjiang Province

Mahmoud M. Hassanien^{1,2}, HUANG Jinbai¹, WANG Bin³, GU Zhun¹

(1. College of Hydraulic Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China; 2. Ministry of Water Resources and Irrigation (MWRI), Assiut 71515, Egypt; 3. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Northeast Agriculture University, Harbin 150030, China)

Abstract: Research on the regional climate change has a great significance in protecting the regional ecological environment and sustainable development. The main objective of this study is to assess the main characteristics of drought for the semiarid western Heilongjiang Province. The Standardized Precipitation Index (SPI) and the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) were estimated for various time scales (1, 3, 6, 12, and 24 months) using the meteorological data of six stations in a time span of 1961–2015. Linear Regression Analysis Models (LRA) were developed to evaluate the impacts of the main meteorological factors on precipitation and the linear fitting degree between SPI and SPEI. The results indicate that (1) SPI and SPEI for different time scales exhibit the similar change processes, that show slight wetting trends; (2) the evaluation results of extreme meteorological events are consistent with the years of historical extreme meteorological events in the study area; (3) SPI and SPEI are more suitable for drought assessment for a time scale of 12 months; (4) temperature has the greatest impact on precipitation among the temperature, solar radiation, humidity and wind speed; (5) the fitting degree between SPI and SPEI of time scale of 12 month is more than 80%.

Key words: Western Heilongjiang; drought; Standardized Precipitation Index (SPI), Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI)