

不同类型饮用水中重金属元素和消毒副产物健康风险评价

李晓迪¹, 刘华², 关玥¹, 孔海南¹, 刘曦¹, 林燕¹

摘要:

[目的] 对管网末梢水和两种不同类型净水机出水中重金属元素和消毒副产物进行健康风险评价,了解不同类型饮用水中这两类物质对人体健康的潜在影响和不同类型净水机对饮用水健康风险的改善效果。

[方法] 选取管网末梢水和以末梢水为原水的两种不同类型净水机出水,于2017年4—6月采集水样共计25份,对水样中6种重金属元素、Al元素和5种消毒副产物进行检测和分析,并结合“四步法”健康风险评价模型对通过饮水途径所引起的健康风险进行评价。

[结果] 对于重金属元素:三种类型饮用水的致癌风险均以Cr为主,风险排序为超滤出水>末梢水>铜锌合金(KDF)净水机出水(简称KDF出水);非致癌风险均以Pb和Cd为主,风险排序为末梢水>超滤出水>KDF出水。对于消毒副产物:管网末梢水和超滤出水致癌风险以一溴二氯甲烷为主;管网末梢水非致癌风险以一溴二氯甲烷为主,超滤出水非致癌风险以三氯甲烷为主,KDF出水不存非致癌风险。管网末梢水总致癌风险以消毒副产物为主,总非致癌风险以重金属元素为主。两种净水机出水的致癌风险和非致癌风险均以重金属元素为主。

[结论] 不同人群通过三种类型饮水途径暴露于重金属元素和消毒副产物的健康风险均在可接受范围内。两种类型净水机均使总致癌风险和总非致癌风险有所降低,KDF净水机的效果优于超滤净水机。

关键词: 饮用水; 健康风险评价; 重金属元素; 消毒副产物

引用: 李晓迪, 刘华, 关玥, 等. 不同类型饮用水中重金属元素和消毒副产物健康风险评价[J]. 环境与职业医学, 2018, 35(7): 642-647. DOI: 10.13213/j.cnki.jeom.2018.17709

Health risk assessment of heavy metal elements and disinfection by-products in different kinds of drinking water LI Xiao-di¹, LIU Hua², GUAN Yue¹, KONG Hai-nan¹, LIU Xi¹, LIN Yan¹ (1.School of Environmental Science and Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China; 2.Department of Cardiology, Shanghai Jiao Tong University Affiliated Chest Hospital, Shanghai 200240, China). Address correspondence to LIN Yan, E-mail: linyan2002@sjtu.edu.cn • The authors declare they have no actual or potential competing financial interests.

Abstract:

[Objective] To assess the health risks of heavy metal elements and disinfection by-products in tap water and water produced from two types of water purifiers, and understand the potential effects of the two kinds of substances on human health and the effects of selected water purifiers on drinking water health risk improvement.

[Methods] A total of 25 samples of tap water and the tap water treated with two types of water purifiers were collected from April to June in 2017. The concentrations of six heavy metal elements, Al and five disinfection by-products in the water samples were detected and analyzed. Furthermore, the health risks of heavy metal elements and disinfection by-products via drinking water were assessed based on the “four-step” health risk assessment model recommended.

[Results] For heavy metal elements: the carcinogenic risks in all three kinds of drinking water were dominated by Cr, and the order of the risks from high to low were ultrafiltration water>tap water>kinetic degradation fluxion (KDF) water; the non-carcinogenic risks were dominated by Pb and Cd, and the order of the risks were tap water>ultrafiltration water>KDF water. For disinfection by-products: the carcinogenic risks in tap water and ultrafiltration water were dominated by bromodichloromethane; the non-carcinogenic risk in tap water was dominated by bromodichloromethane, that in ultrafiltration water was dominated by

·作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

[基金项目] 上海卫计委局级课题(编号: 201640085)

[作者简介] 李晓迪(1993—), 女, 硕士生; 研究方向: 饮用水安全评价; E-mail: lixiaodi@sjtu.edu.cn

[通信作者] 林燕, E-mail: linyan2002@sjtu.edu.cn

[作者单位] 1. 上海交通大学环境科学与工程学院, 上海 200240; 2. 上海交通大学附属胸科医院心内科, 上海 200240

trichloromethane, and KDF water had no non-carcinogenic risk of disinfection by-products. The total carcinogenic risk of tap water was dominated by disinfection by-products, and the total non-carcinogenic risk was dominated by heavy metal elements. Both carcinogenic risk and non-carcinogenic risk in the drinking water treated with the two types of water purifiers were dominated by heavy metals.

[Conclusion] The health risks of heavy metal elements and disinfection by-products via the three kinds of drinking water are within acceptable limits. Both types of water purifiers can reduce total carcinogenic risk and total non-carcinogenic risk. The effect of KDF water purifier is better than that of ultrafiltration water purifier in terms of the health risk assessment.

Keywords: drinking water; health risk assessment; heavy metal elements; disinfection by-product

Citation: LI Xiao-di, LIU Hua, GUAN Yue, et al. Health risk assessment of heavy metal elements and disinfection by-products in different kinds of drinking water[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2018, 35(7): 642-647. DOI: 10.13213/j.cnki.jeom.2018.17709

WHO的调查显示,89%的人群以处理后的水源地水作为饮用水^[1]。然而,由于水源污染、化学品使用、管网破损等原因,此类饮用水仍存在一定的健康风险^[2-3]。饮用水中的重金属元素由于其高毒性、持久性和生物积累性而被认为是对生命体最具有危险性的污染物质^[4],三卤甲烷和四氯化碳被认为是致癌物质^[5]。我国大部分城市饮用水中的重金属元素和三卤甲烷浓度均低于GB 5749—2006《生活饮用水卫生标准》(以下简称《标准》)^[6-8];但仅与水质标准比较,并不能完全评价污染物质经口暴露后对人体健康产生的危害程度。事实上,某些达标的化学物质即使在饮用水中浓度很低,长期的低剂量暴露也会对人体健康产生危害^[9]。环境风险健康评价可以把环境污染与人体健康联系起来,能够定量描述一个人暴露于污染环境中受到危害的风险^[10]。

目前,关于家用终端净水机健康风险评价的研究较少,因此本研究对居民常用的两种不同类型的家用净水机出水和自来水进行检测,并使用模型评估三类饮用水的健康风险。

1 材料与方法

1.1 水样采集

本研究选取管网末梢水(简称末梢水)、铜锌合金(KDF)净水机出水(简称KDF出水)、超滤净水机出水(简称超滤出水)三种水样进行重金属元素和消毒副产物的检测和分析。其中,末梢水以黄浦江为水源,经臭氧-生物活性炭深度处理后供给居民用户。KDF出水以自来水为原水,经KDF净水机处理后出水供用户直接饮用;该净水机的主要净水单元是活性炭和铜锌合金滤料,其工作压力为0.14~0.35 MPa,净水流为16.7 L/min。超滤出水同样以自来水为原水,经超滤净水器处理后供用户直接饮用;该净水器依靠活性炭、中空纤维超滤膜净化自来水,过滤精度0.1 μm,

流量1.6 L/min,最小工作水压0.07 MPa。

为确保检测数据的稳定性和代表性,本实验于2017年4—6月,每月对末梢水、KDF出水、超滤出水三种水进行样品的采集和检测。共采集水样25份。其中:自来水水样9份,均采自同一水龙头;KDF出水水样9份,均采自同一台KDF净水机;超滤出水水样7份,均采自同一台超滤净水器。

1.2 检测方法

水样的采集、保存和检测均按照GB/T 5750—2006《生活饮用水标准检验方法》^[8]进行。每种水样均取1 L,装于聚乙烯瓶后并立即用硝酸(优级纯)酸化(使水样pH小于2),放于冰箱保存(4℃,避光)。选取6种重金属元素[Pb、Zn、Cd、Al、Cu、Cr(六价)、Fe]及Al元素(为便于描述,本文后统述为重金属元素);选取5种消毒副产物检测指标,分别为三氯甲烷(trichloromethane, TCM)、一溴二氯甲烷(bromodichloromethane, BDCM)、二溴一氯甲烷(dibromo monochloromethane, DBCM)、三溴甲烷(tribromomethane, TBM)和四氯化碳(carbon tetrachloride, CCl₄)。

1.3 质量控制

在每次采样中,同时采集平行样和空白对照,以确保检测的准确性。经检验,待测物质的相对标准偏差均低于10%,符合美国环境保护署(Environmental Protection Agency, EPA)的要求(<30%)。对检验结果异常的样品进行复检,保证所有检测结果真实可靠。

1.4 统计学分析

采用SPSS 19.0进行统计分析。因为数据呈非正态分布,因此,通过中位数、最小值、最大值描述数据特征,对数据进行Mann-Whitney U检验,检验水准 $\alpha=0.05$ 。

1.5 健康风险评价方法

鉴于我国尚未有完善的健康风险评价模型,本文采用“四步法”,即危害鉴定、剂量反应评估、暴露评

估、风险描述的健康风险评价模型,结合2013年环境保护部出版的《中国人群暴露参数手册》(成人卷、儿童卷)^[11-12]对三种类型饮用水中的重金属元素和消毒副产物进行健康风险评价。

根据国际癌症研究中心和美国综合风险信息系统,利用权重分类的方法将化学物质按致癌性质分为5类^[13-14],判定所研究的重金属元素中Cu、Zn、Cd、Al、Fe具有非致癌效应,而Cr和Pb两种重金属元素以及TCM、BDCM、DBCM、TBM和CCL₄五种消毒副产物既具有致癌效应,也具有非致癌效应。因此,在对其进行健康风险评价时同时考虑致癌风险和非致癌风险。

通过饮水途径暴露的化合物日均摄入剂量计算公式如下:

$$CDI = (Cw \times IR \times EF \times ED) / (BW \times AT)$$

式中: CDI指经口暴露的日均摄入剂量,单位为mg/(kg·d); Cw指水中目标污染物的质量浓度,单位为mg/L; IR指饮用水摄入量,根据《中国人群暴露参数手册》^[11-12]推荐,成人为1.85L/d,儿童为1.00L/d; EF指暴露频率,无论成人还是儿童,因饮用水每天都要摄入,故此参数取值都为365d/年; ED指暴露持续的时间,成人推荐为70年,儿童推荐为12年; BW指暴露人群的体重,成人为60.9kg,儿童为26.8kg; AT指平均接触时间,成人为25550d,儿童为4380d。成人和儿童的参数差异主要体现在日均饮用水摄入量和体重。

饮水途径暴露的单项致癌风险和总致癌风险的计算公式如下:

$$R_i = SF \times CDI,$$

$$TR = \sum_{i=1}^k R_i$$

式中: R_i指发生某种特定有害健康效应而造成等效死亡的终生危险度,即单项致癌风险,无量纲; SF指由动物推导出的人的致癌强度系数,单位为mg/(kg·d),所选的2种具有致癌效应的重金属元素Pb、Cr的SF值分别为0.0085、0.5mg/(kg·d)^[2, 15],所选5种消毒副产物TCM、BDCM、DBCM、TBM和CCL₄的SF值分别为0.01、0.062、0.0084、0.0079和0.07mg/(kg·d); CDI指致癌化合物的日均摄入剂量,单位为mg/(kg·d); TR指总致癌风险,无量纲。

饮水途径暴露的非致癌风险通过危害商(hazard quotient, HQ)来评价。单项危害商和总危害商计算公式如下:

$$HQ_i = CDI / RfD,$$

$$THQ = \sum_{i=1}^j HQ_i$$

式中: HQ_i指发生某种特定非致癌健康效应而造成的终生危险度,即单项危害商,无量纲; CDI指非致癌化合物的日均摄入剂量,单位为mg/(kg·d); RfD指非致癌化合物的日均暴露参考剂量,单位为mg/(kg·d),所选的七种具有非致癌效应的重金属元素Cd、Cr、Pb、Zn、Cu、Al和Fe的RfD值分别为0.0005、0.003、0.0035、0.3、0.04、1、0.7mg/(kg·d),所选的5种消毒副产物TCM、BDCM、DBCM、TBM和CCL₄的RfD值分别为0.01、0.02、0.02、0.02、0.004mg/(kg·d); THQ指总的终生危险度,无量纲。

1.6 健康风险评价标准

对于致癌物风险,美国EPA规定风险值在1×10⁻⁶~1×10⁻⁴范围内时是可以接受的,致癌物风险值在1×10⁻⁶以下时认为不对人体健康产生危害,在1×10⁻⁴以上时认为危害不可接受;对于非致癌物风险,以危害商<1作为评价标准^[2, 16]。

2 结果

2.1 不同类型饮用水中重金属元素和消毒副产物的浓度

末梢水、KDF出水和超滤出水中重金属元素检测结果如表1所示。从表中可见,不同类型饮用水中Cu、Fe、Al、Zn、Pb、Cd、Cr的浓度范围分别为0.53~15.66、15.27~73.67、20.32~98.15、8.73~49.61、1.92~9.64、0.04~1.35、0.00~1.99μg/L。不同类型饮用水中各重金属元素浓度均未超出《标准》规定的限值。而超滤出水中除Zn和Cr外,其他重金属元素的浓度均低于末梢水;除Cr外,KDF出水中其他重金属元素的浓度均低于末梢水。

表1 不同类型饮用水中重金属元素的浓度(μg/L)

[M(Min, Max)]

元素	末梢水(n=9)	KDF出水(n=9)	超滤出水(n=7)
Cu	3.20(2.00, 15.66)	1.19(0.53, 5.14) ^a	2.49(1.34, 4.12) [#]
Fe	41.28(20.39, 60.72)	33.45(15.27, 73.67) ^a	35.93(15.61, 62.25) ^{a*}
Al	60.63(38.46, 98.15)	39.03(20.32, 59.99) ^a	30.78(28.94, 43.80) ^a
Zn	15.19(10.63, 26.09)	10.24(8.73, 25.07) ^a	23.92(10.21, 49.61) ^b
Pb	5.75(2.03, 9.64)	3.53(1.92, 4.31) ^a	4.81(2.51, 7.48) [#]
Cd	0.36(0.05, 1.35)	0.07(0.04, 0.98) ^a	0.20(0.06, 0.73) ^a
Cr	0.16(0.00, 0.52)	0.12(0.02, 0.70)	0.24(0.01, 1.99) ^b

[注]与末梢水相比, a: 低于末梢水; b: 高于末梢水; *: 均P<0.05。与KDF出水相比, #: 低于KDF出水; #: 高于KDF出水; 均P<0.05。

末梢水、KDF出水和超滤出水中消毒副产物的检测结果如表2所示。从表中可见,不同类型饮用水中各消毒副产物质量浓度均未超出《标准》规定的限值。末梢水中,BDCM和DBCM在选取的消毒副产物中浓度较高;超滤出水中,TCM和BDCM在选取的消毒副产物中浓度最高;两种净水机出水中各消毒副产物浓度较末梢水都降低。KDF出水中几乎检测不到消毒副产物。

**表2 不同类型饮用水中消毒副产物浓度($\mu\text{g/L}$)
[$M(\text{Min}, \text{Max})$]**

消毒副产物	末梢水($n=6$)	KDF出水($n=6$)	超滤出水($n=6$)
TCM	0.94(0.10, 11.23)	0.00(0.00, 0.00) ^a	0.21(0.00, 1.00) ^{a#}
BDCM	2.23(0.50, 21.25)	0.00(0.00, 0.00) ^a	0.21(0.00, 1.73) ^{a#}
CCL ₄	0.71(0.22, 1.54)	0.00(0.00, 0.03) ^a	0.00(0.00, 0.03) ^a
DBCM	1.33(0.23, 17.75)	0.00(0.00, 0.00) ^a	0.00(0.00, 1.63) ^a
TBM	0.02(0.00, 22.74)	0.00(0.00, 0.02) ^a	0.00(0.00, 0.02) ^a

[注]a: 低于末梢水, $P<0.05$ 。#: 高于KDF出水, $P<0.05$ 。

2.2 不同类型饮用水重金属元素和消毒副产物的健康风险评价

2.2.1 重金属元素的健康风险 不同类型饮用水中重金属元素的致癌和非致癌健康风险如表3所示。Cr所引起的致癌风险高于Pb,但两种物质的风险值均在美国EPA规定的 $1\times 10^{-6}\sim 1\times 10^{-4}$ 范围内。在非致癌风险方面,不同类型饮用水中各金属的 HQ 均 <1 。并且,不同类型水样中非致癌风险均以Pb和Cd为主,且Pb大于Cd。成人和儿童经饮水途径引起的末梢水中重金属元素的非致癌风险顺序为Pb>Cd>Cu>Al>Fe>Cr>Zn; KDF出水的非致癌风险顺序为Pb>Cd>Fe>Cr>Al>Zn>Cu; 超滤出水的非致癌风险顺序为Pb>Cd>Zn>Cr>Cu>Fe>Al。另外,无论是致癌风险还是非致癌风险,不同类型水样中儿童的风险值均大于成人。

表3 不同类型饮用水中重金属元素健康风险评价结果

指标	末梢水		KDF出水		超滤出水	
	成人	儿童	成人	儿童	成人	儿童
R_i						
Pb	1.48×10^{-6}	1.82×10^{-6}	0.91×10^{-6}	1.12×10^{-6}	1.24×10^{-6}	1.52×10^{-6}
Cr	2.41×10^{-6}	2.96×10^{-6}	1.85×10^{-6}	2.27×10^{-6}	3.60×10^{-6}	4.42×10^{-6}
HQ_i						
Cu	2.43×10^{-3}	2.98×10^{-3}	0.91×10^{-3}	1.11×10^{-3}	1.89×10^{-3}	2.32×10^{-3}
Fe	1.79×10^{-3}	2.20×10^{-3}	1.45×10^{-3}	1.78×10^{-3}	1.56×10^{-3}	1.92×10^{-3}
Al	1.84×10^{-3}	2.26×10^{-3}	1.19×10^{-3}	1.46×10^{-3}	0.94×10^{-3}	1.15×10^{-3}
Zn	1.54×10^{-3}	1.89×10^{-3}	1.04×10^{-3}	1.27×10^{-3}	2.42×10^{-3}	2.97×10^{-3}
Pb	4.99×10^{-2}	6.12×10^{-2}	3.06×10^{-2}	3.76×10^{-2}	4.17×10^{-2}	5.12×10^{-2}
Cd	2.17×10^{-2}	2.67×10^{-2}	0.41×10^{-2}	0.50×10^{-2}	1.23×10^{-2}	1.51×10^{-2}
Cr	1.60×10^{-3}	1.97×10^{-3}	1.23×10^{-3}	1.52×10^{-3}	2.40×10^{-3}	2.95×10^{-3}

2.2.2 消毒副产物的健康风险 不同类型饮用水中消毒副产物的健康风险如表4所示。由表4可见,末梢水和超滤出水的致癌风险中BDCM居首位。无论成人还是儿童,不同类型饮用水中消毒副产物的致癌风险均在美国EPA规定的 $1\times 10^{-6}\sim 1\times 10^{-4}$ 范围内或低于 1×10^{-6} ,即风险可接受或可忽略不计。三种饮用水类型的非致癌风险也均在评价标准 $HQ<1$ 的范围内。在末梢水中非致癌风险以BDCM为主,其成人和儿童的 HQ 分别为 3.38×10^{-3} 和 4.15×10^{-3} ,其次为TCM。而超滤出水的非致癌风险以TCM为主,成人和儿童的 HQ 分别为 0.64×10^{-3} 和 0.78×10^{-3} 。

表4 不同类型饮用水中消毒副产物健康风险评价结果

指标	末梢水		KDF出水		超滤出水	
	成人	儿童	成人	儿童	成人	儿童
R_i						
TCM	0.28×10^{-6}	0.35×10^{-6}	无	无	0.06×10^{-6}	0.08×10^{-6}
BDCM	4.19×10^{-6}	5.15×10^{-6}	无	无	0.40×10^{-6}	0.49×10^{-6}
CCL ₄	1.52×10^{-6}	1.86×10^{-6}	无	无	无	无
DBCM	0.34×10^{-6}	0.42×10^{-6}	无	无	无	无
TBM	0.01×10^{-6}	0.01×10^{-6}	无	无	无	无
HQ_i						
TCM	2.84×10^{-3}	3.49×10^{-3}	无	无	0.64×10^{-3}	0.78×10^{-3}
BDCM	3.38×10^{-3}	4.15×10^{-3}	无	无	0.32×10^{-3}	0.39×10^{-3}
CCL ₄	1.08×10^{-3}	1.33×10^{-3}	无	无	无	无
DBCM	2.02×10^{-3}	2.48×10^{-3}	无	无	无	无
TBM	0.17×10^{-3}	0.20×10^{-3}	无	无	无	无

2.2.3 饮水途径的总致癌风险和总非致癌风险 通过饮用水途径暴露于重金属元素和消毒副产物的总致癌风险如图1所示。由图1可见,三种类型的饮用水中,儿童的致癌风险均大于成人,且总风险均在美国EPA规定的 $1\times 10^{-6}\sim 1\times 10^{-4}$ 范围内。无论是成人还是儿童,三种类型饮用水总致癌风险排序均为末梢水>超滤出水>KDF出水。末梢水的致癌风险主要由消毒副产物引起,KDF出水和超滤出水的致癌风险主要由重金属元素引起。

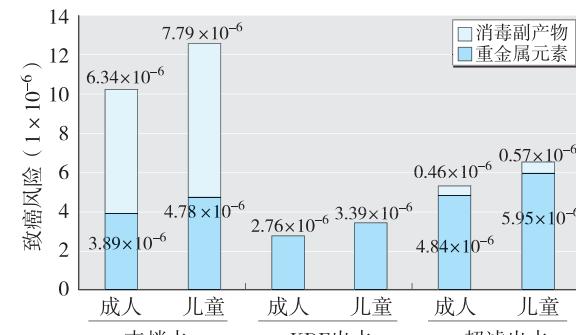


图1 通过饮用水途径暴露于重金属元素和消毒副产物的总致癌风险

通过饮用水途径暴露于重金属元素和消毒副产物的总非致癌风险如图2所示。由图2可见,三种类型的饮用水中,儿童的非致癌风险均大于成人,且 $THQ < 1$ 。无论是成人还是儿童,三种类型饮用水总非致癌风险排序均为末梢水>超滤出水>KDF出水。三种类型饮用水的非致癌风险均主要由重金属元素引起。

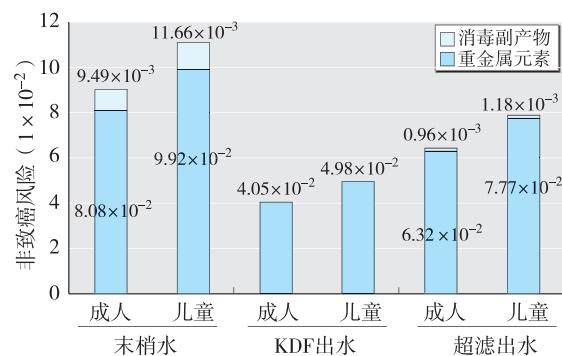


图2 通过饮用水途径暴露于重金属元素和消毒副产物的总非致癌风险

3 讨论

本研究结果显示,两种类型的净水机对管网末梢水水质都有所改善,但改善效果不同。KDF净水机以活性炭和铜锌合金滤料为主要净水单元,对除Cr以外的其他指标均有所改善,尤其是对消毒副产物的去除效率非常高。超滤净水器以活性炭和超滤膜为主要净水单元,经过其处理后,Cr和Zn浓度较末梢水提高,其他指标均下降。两种净水机对Cu、Al、Cd、CCL₄、DBCM和TBM的改善效果无差别,超滤净水机对Fe的改善效果优于KDF净水机,KDF净水机对Pb、TCM和BDCM的改善效果优于超滤净水机。活性炭吸附有机物效果明显^[17],两种净水机均置有活性炭,可能是两种净水机均对消毒副产物有良好去除效果的原因之一。但超滤净水机是龙头式的,体积小,活性炭含量有限,故对部分消毒副产物的去除效果不及KDF净水机。由于活性炭质量不一,推测部分活性炭中可能含有重金属,导致超滤净水机处理后,某些金属指标浓度反而升高。此外,KDF对重金属良好的去除效果^[18]、超滤净水机中空纤维膜受污染等,都可能是KDF净水机对某些指标的净化效果优于超滤净水机的原因。

从本研究检测结果可以看出,无论管网末梢水、KDF出水还是超滤出水,所检测的重金属元素和消毒副产物浓度均符合《标准》,并且远低于标准中规定的限值,说明居民的饮用水符合国家卫生要求。

相比于以标准限值作为评价饮用水安全的方法,通过对不同人群暴露于水中污染物进行健康风险评价的方法可直接得出污染物对人体健康的危害程度,也可以客观地判定污染物的主次和治理的优先顺序,从而为饮用水安全的风险管理奠定基础^[19]。

水中重金属元素Cr、Pb等暴露具有显著的生物毒性,能导致肾脏损伤、精神疾病、腹部疼痛和癌症等^[20]。Cr是机体必需的微量元素,但也是人体中生物毒性最强的微量元素之一,能引发肝癌和皮肤癌^[21]。Pb能够干扰人体的性腺分泌^[22]。根据国际癌症研究中心和美国综合风险信息系统的分类,Cr与Pb均属于I类致癌物,应重点关注这两种金属元素对人体所产生的健康风险。

本研究不同类型水样中金属元素的致癌风险均以Cr为主,与相关研究结果相似^[23]。即人群暴露于水中重金属元素Cr的致癌风险较大,应优先控制其在水中的浓度。KDF净水机对金属元素致癌风险的降低作用不大。超滤净水机反而使金属元素致癌风险升高。超滤出水的Cr浓度反而高于末梢水,这可能与超滤净水机使用时间较长,中空纤维滤膜上截留的Cr元素释放到出水中有关。

两种净水机主要通过降低消毒副产物的致癌风险来降低末梢水的总致癌风险。KDF净水机对致癌风险和非致癌风险的改善均优于超滤净水机。管网末梢水的致癌风险主要由消毒副产物引起,总体来说KDF净水机对消毒副产物的去除效果高于超滤净水机,且超滤净水机对金属元素致癌风险没有改善。管网末梢水非致癌风险主要由金属元素非致癌风险引起,超滤净水机对非致癌风险的改善比KDF净水机弱。

无论是致癌风险还是非致癌风险,儿童的风险值均大于成人。因此,在健康管理研究中,应重点考虑易感人群暴露于水中污染物质的健康风险。使用两种终端水处理设备后,不同人群暴露于水中物质的总风险有所下降,因此可以认为,通过一定的终端处理,可一定程度上降低人群经口暴露于污染物的风险。

虽然本研究中一些暴露参数的选取是基于中国环保部发布的中国人群暴露参数的数值,但由于国内没有成熟的健康风险模型而采用美国EPA推荐的健康风险模型,风险估值仍不能完全准确、全面地反映确定或不确定因素下中国人群饮用水中污染物健康风险的真实状态。因此,国内还需要通过大量的研究

进行健康风险相关内容的开发和完善。另外,由于一些消毒副产物的沸点低,其暴露途径除经口摄入外,经皮肤接触、呼吸道蒸汽吸入等也不可忽视,本研究实际上低估了消毒副产物暴露的风险。

参考文献

- [1] WHO/UNICEF. Progress on sanitation and drinking-water [R]. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2010: 233-238.
- [2] AB RAZAK NH, PRAVEENA SM, ARIS AZ, et al. Quality of Kelantan drinking water and knowledge, attitude and practice among the population of Pasir Mas, Malaysia [J]. Public Health, 2016, 131: 103-111.
- [3] KIOKO KJ, OBIRI JF. Household attitudes and knowledge on drinking water enhance water hazards in peri-urban communities in Western Kenya [J]. Jàmbá J Disaster Risk Stud, 2012, 4(1): 49.
- [4] KHAN S, SHAH IA, MUHAMMAD S, et al. Arsenic and heavy metal concentrations in drinking water in Pakistan and risk assessment: a case study [J]. Human Ecol Risk Assess Int J, 2015, 21(4): 1020-1031.
- [5] GRAZULEVICIENE R, NIEUWENHUIJSEN MJ, VENCLOVCIENE J, et al. Individual exposures to drinking water trihalomethanes, low birth weight and small for gestational age risk: a prospective Kaunas cohort study [J]. Environ Health, 2011, 10: 32.
- [6] 孙中兴, 姜永根. 上海某区学校超滤直饮水水质评价及影响因素 [J]. 环境与职业医学, 2015, 32(5): 436-440.
- [7] 郝莉鹏, 孙乔, 刘晓琳, 等. 上海市浦东新区饮用水三卤甲烷和卤乙酸含量及其健康风险评价 [J]. 环境与职业医学, 2014, 31(6): 442-447.
- [8] 生活饮用水卫生标准: GB 5749—2006 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [9] 丁克颖, 应圣洁, 张佳维, 等. 上海闵行区城市供水水质健康风险评价 [J]. 环境与职业医学, 2010, 27(6): 349-352.
- [10] 于云江. 环境与健康的主要研究进展与管理模式 [M]. 北京: 中国环境出版社, 2014: 7-8.
- [11] 赵秀阁, 段小丽. 中国人群暴露参数手册(成人卷): 概要 [M]. 北京: 中国环境出版社, 2014.
- [12] 环境保护部. 中国人群暴露参数手册(儿童卷: 6~17岁) [M]. 北京: 中国环境出版社, 2016.
- [13] U.S. Environmental Protection Agency. Integrated risk information system [EB/OL].[2017-06-10]. <http://cfpub.epa.gov/ncea/iris/index.cfm>.
- [14] RAIS. EPA human health risk assessment guidance [EB/OL].[2017-05-07]. http://rais.ornl.gov/guidance/epa_hh.html.
- [15] YANG X, DUAN J, WANG L, et al. Heavy metal pollution and health risk assessment in the Wei River in China [J]. Environ Monit Assess, 2015, 187(3): 111.
- [16] 杨洛贤, 滕卫林, 王强, 等. 2014年杭州市主城区饮用水中消毒副产物的分布及其健康风险 [J]. 环境与职业医学, 2016, 33(3): 237-242.
- [17] 关卫平. 选择净水机用活性炭至关重要 [J]. 中国卫生监督杂志, 2011, 18(4): 398-400.
- [18] 关卫平, 吴涌. KDF与粒状活性炭组合在家用净水机中的应用 [J]. 净水技术, 2004, 23(S1): 19-21.
- [19] AB RAZAK NH, PRAVEENA SM, ARIS AZ, et al. Drinking water studies: a review on heavy metal, application of biomarker and health risk assessment (a special focus in Malaysia) [J]. J Epidemiol Glob Health, 2015, 5(4): 297-310.
- [20] NAWAB J, KHAN S, ALI S, et al. Health risk assessment of heavy metals and bacterial contamination in drinking water sources: a case study of Malakand Agency, Pakistan [J]. Environ Monit Assess, 2016, 188(5): 286.
- [21] CATALANI S, FOSTINELLI J, GILBERTI M E, et al. Application of a metal free high performance liquid chromatography with inductively coupled plasma mass spectrometry (HPLC-ICP-MS) for the determination of chromium species in drinking and tap water [J]. Int J Mass Spectrom, 2015, 387: 31-37.
- [22] GUARIGLIA SR, JENKINS JR E C, CHADMAN KK, et al. Chlorination byproducts induce gender specific autistic-like behaviors in CD-1 mice [J]. Neuro Toxicology, 2011, 32(5): 545-553.

(收稿日期: 2017-12-04; 录用日期: 2018-02-24)

(英文编辑: 汪源; 编辑: 王晓宇; 校对: 汪源)