维普资讯 http://www.cqvip.com

论 著 文章编号:0253-3626(2008)04-0450-04

饮用水源水中重金属的健康风险评价

李珊珊,田考聪

(重庆医科大学公共卫生学院卫生统计教研室,重庆 400016)

【摘 要】目的:评价饮用水源水中重金属对人群健康带来的风险大小,为国家卫生、环保部门制定相应标准提供依据。方法:根据 M 市饮用水源水质实测数据,计算饮用水源水中的 As、Hg、Cr^{6+}、Pb、Cd 和 Cu 的年平均浓度,并应用美国环保局推荐的健康风险模型对 M 市 37 个区县 43 个监测点饮用水中的重金属通过饮水途径所引起的健康风险作初步评价。结果:(1)基因毒物质由饮水途径所致健康危害的个人年风险按大小排列为 Cr^{6+}>As>Cd;而躯体毒物质的个人年风险按大小排列为 Pb>Cu>Hg,前组的影响远大于后组;(2)饮用水源各类污染物所致健康危害的个人年总风险 2003 年为 7.18×10^{-5} 人/年,2004 年为 2.12×10^{-4} 人/年,2005 年为 2.28×10^{-4} 人/年,均超过国际辐射防护委员会(ICRP)推荐的最大可接受值 5.0×10^{-5} 人/年,远远超过瑞典环保局、荷兰建设和环境部推荐的最大可接受水平 1.0×10^{-6} 人/年。结论:本研究对城市饮用水源风险管理和水环境保护措施的制定具有参考价值。

【关键词】重金属;饮用水源水;健康风险评价

【中国图书分类法分类号】R123.5 【文献标识码】A 【收稿日期】2007-09-18

Health risk assessment of chemical pollutants in drinking water

LI Shan-shan, et al

(*Department of Health Statistics, College of Public Health, Chongqing Medical University*)

【Abstract] *Objective*: To assess the health risk of the chemical pollutants in drinking water for humans to present the basis for interrelated department in making the related water quality standard. *Methods*: A USEPA health risk assessment model was used to assess health risk associated with concentrations of chemical pollutants in drinking water after investigating concentrations of As、Hg、Cr^{6+}、Pb、Cd and Cu in drinking warter in 37 counties of M city based on 43 random samples, according to the practical data of drinking water resources. *Results*: (1)The health risk comparisons caused by gene toxic substances was Cr^{6+}>As>Cd, and risk comparisons caused by body toxic substances was Pb>Cu>Hg.The health risk of gene toxic substances was more distinct than that body toxic substances. (2)The total health risk of all pollutants in drinking water was $7.18\times10^{-5}a^{-1}$ in 2003, $2.12\times10^{-4}a^{-1}$ in 2004 and $2.28\times10^{-4}a^{-1}$ in 2005, all of which exceeded $5.0\times10^{-5}a^{-1}$, the value recommended by ICRP, and greatly exceeded the standards recommended by the Sweden Bureau of 2 Environment Protection and the Holland Ministry of Building and Environment Protection. *Conclusions*: There is reference value in our research for risk management of drinking water resources and water enviroment poretcting measures.

【Key word] Heavy metals; Drinking water; Health risk assessment

水是自然界一切生命的重要基础,是人类赖以生存和发展必不可少的物质之一。然而,水在自然界的循环过程中,由于人类的活动和工农业的发展,往往受到不同程度的污染,因此水又往往成为人们疾病发生和传播的重要媒介。改革开放的二十多年来,我国经济和社会得到迅猛发展,已迅速从一个以农业生产为主、工业基础薄弱的国家,发展成为仅次于美、日、德的世界第 4 大经济体。在取得巨大经济成就的同时,水资源短缺和水污染已成为制约我国经济社会可持续发展的瓶颈,并且水污染已严重威胁广大人民群众的健康。2005 年的统计显示[1],由于环境污染的加剧,全国城市水域受污染率已高达 90%以上,不少城市已很难找到合格水源地。珠江三角洲、长江三角洲,已出现了因水体污染而导致的水质型缺水。

环境健康风险评价以风险度作为评价指标,把环境污染与人体健康联系起来,定量描述一个人在

作者介绍:李珊珊(1983-),女,硕士,研究方向:多元统计分析方法在医疗卫生领域中的应用。

通讯作者:田考聪,男,教授,E-mail:tkc5155@126.com。

维普资讯 http://www.cqvip.com

污染环境中暴露时受到危害的风险。通过水环境健康风险评价,可以将水环境质量和公众的健康危害联系起来,并定量地描述环境污染对公众健康危害的程度;通过环境健康风险评价,可以直接得出环境质量的综合结论(以对人体健康危害的年风险来表示),确定污染物的主次及治理的优先权,从而为环境风险管理提供科学依据和主要决策对象[2,3]。

1 资料与方法

1.1 资料

本研究选取 M 市 37 个区县 43 个监测点连续 3 年的(2003 年 7 月 ~ 12 月、2004 年和 2005 年)的饮用水源水质检测数据,对饮用水源水中的砷、汞、铬(六价)、铅、镉和铜的年平均浓度进行了调查研究,所有数据见表 1。并应用美国环保局推荐的健康风险模型对 M 市 43 个样本点的重金属通过饮水途径所引起的健康风险作了初步评价。

表 1 水源水质检测数据(单位 mg/L)

项目	2003 年	2004 年	2005 年
砷	0.005 74	0.006 54	0.005 17
汞	0.000 03	0.000 03	0.000 04
铬(六价)	0.008 81	0.006 71	0.007 85
铅	0.006 79	0.008 48	0.008 23
镉	0.000 99	0.001 02	0.001 37
铜	0.007 99	0.006 43	0.011 56

1.2 研究方法

水环境健康风险评价主要是针对水环境中对人体有害的物质,这种物质一般可分为 2 类:基因毒物质和躯体毒物质,前者包括放射性污染物和化学致癌物;后者则指非致癌物,此次研究数据中所涉及的镉、砷和六价铬为基因毒物质;汞、铅和铜为躯体毒物质。

1.2.1 基因毒物质所致健康危害的风险 化学致癌物所致健康危害的风险可按下式计算[4~7]

$$R_c=\sum_{i=1}^{k} R_i^c$$

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

式中:R_i^c 为基因毒物质通过食入途径对平均个人致癌年风险(a^{-1});D_i 为基因毒物质通过食入途径的单位体重日均暴露剂量 [mg/(kg·d)];q_i 基因毒物质通过食入途径致癌系数 $[mg/(kg·d)]^{-1}$;70a 为人类平均寿命。评价参数的选择污染物致癌强度系数可由美国环保局出版的资料中查到。q_i 的取值见表 2。

饮水途径的单位体重日均暴露剂量 D_i[mg/(kg·d)] 可按下式进行计算:

表 2 基因毒物质化学致癌物致癌强度系数(食入途径)

$[mg/(kg·d)]^{-1}$

基因毒物质	砷	铬(六价)	镉
q	15	41	6.1

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

式中:2.2L 为成人每日平均饮水量;C_i 为基因毒物质 i 的浓度(mg/L);70kg 为美国成年人平均体重。根据 2002 年 M 市人口普查结果,成年人平均体重为 56kg,因此将公式调整为

$$D_i=2.2L\times C_i/(56kg) \qquad (2)$$

1.2.2 躯体毒物质所致健康危害的风险

$$R_i^n=(D_i/RfD_i)\times 10^{-6}/70 \qquad (3)$$

式中:R_i^n 为躯体毒物质 i 通过食入途径对平均个人产生的健康危害年风险(a^{-1});D_i 为躯体毒物质通过食入途径的单位体重日均暴露剂量[mg/(kg·d)];RfD_i 为躯体毒物质 i 通过食入途径参考剂量[mg/(kg·d)];70 为人类平均寿命(a)。RfD_i 的取值见表 3。

表 3 躯体毒物质参考剂量(食入途径) [mg/(kg·d)]$^{-1}$

基因毒物质	汞	铅	铜
RfD	3.0×10^{-4}	1.4×10^{-3}	5×10^{-3}

公式中的计算如下:

$$D_i=2.2L\times E_i/(56kg) \qquad (4)$$

式中:2.2L为成人每日平均饮水量;E_i 为躯体毒物质的浓度(mg/L);56kg 为 2002 年 M 市人口普查的成年人平均体重。

目前,对于饮用水中各有毒物质所引起的整体健康风险,假设各有毒物质对人体健康危害的毒性作用呈相加关系,而不是协同或拮抗关系,则饮用水总的健康危害风险 $R_{总}$ 为:

$$R_{总}=R^c+R^n \qquad (5)$$

式(5)为饮用水中化学污染物质的整体健康风险评价模型。

2 结 果

2.1 健康危害的风险计算

根据健康风险评价模型和评价参数,可以计算出 2003 ~ 2005 年各年通过饮水途径,基因毒物质和躯体毒物质造成的平均个人年风险。计算结果见表 4~6。

水环境健康危害的总风险为基因毒物质和躯体毒物质所产生的健康风险之和。2003 ~ 2005 年的总风险结果见图 1。

维普资讯 http://www.cqvip.com

表 4 基因毒物质饮水途径健康危害的风险(个人年风险,a^{-1})

污染物	2003 年	2004 年	2005 年
砷	4.83×10^{-5}	5.50×10^{-5}	4.34×10^{-5}
铬(六价)	2.01×10^{-4}	1.54×10^{-4}	1.80×10^{-4}
镉	3.40×10^{-6}	3.49×10^{-6}	4.68×10^{-6}

表 5 躯体毒物质饮水途径健康危害的风险(个人年风险,a^{-1})

污染物	2003 年	2004 年	2005 年
汞	6.49×10^{-11}	6.13×10^{-11}	5.90×10^{-11}
铅	2.72×10^{-9}	2.72×10^{-9}	3.30×10^{-9}
铜	8.96×10^{-10}	7.22×10^{-10}	1.30×10^{-9}

表 6 各有毒污染物所致健康危害的总风险(个人年风险,a^{-1})

污染物	2003 年	2004 年	2005 年
基因毒物质	7.18×10^{-5}	2.20×10^{-4}	2.28×10^{-4}
躯体毒物质	4.27×10^{-9}	3.50×10^{-9}	4.66×10^{-9}
合计	7.18×10^{-5}	2.12×10^{-4}	2.28×10^{-4}

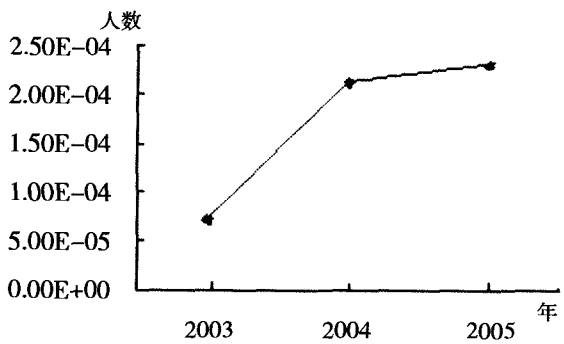


图 1 水环境健康危害的总体风险(个人年风险,a^{-1})

从表 4 可以看出,基因毒物质由饮水途径所致健康危害的个人年风险以六价铬最大,砷次之,镉最小。以 2005 年为例,三者所致健康危害分别占该类年总风险的 78.9%,19.1%及 2%。

从表 5 可以看出,躯体毒物质由饮水途径所致健康危害的个人年风险以铅最大,铜次之,汞最小。

从表 6 可以看出,基因毒物质对人体健康危害的个人年风险远远超过躯体毒物质的年风险。躯体毒物质引起的风险甚微。以 2005 年为例,基因毒物质的化学致癌物(镉、砷和六价铬)对人体健康危害的年风险为 2.28×10^{-4},而躯体毒物质(汞、铅、铜)对人体健康危害的年风险仅为 4.66×10^{-9}。

水环境健康危害的总风险为基因毒物质和躯体毒物质所产生的健康风险之和。由表 4 分析发现:基因毒物质所产生的健康风险的数量级为 $10^{-6}\sim10^{-4}$,而由躯体毒物质所产生的健康风险的数量级为 $10^{-11}\sim10^{-9}$。因此总风险的数量受基因毒物质所产生的健康风险影响较大,总风险的年度变化特点也与基因毒物质所产生的健康风险变化格局相似,呈现逐年增高的趋势。

国际辐射防护委员会(ICRP)推荐的最大可接受值为 $5.0\times10^{-5}a^{-1}$(即每年每千万人口中因饮用水中各类污染物而受到健康危害或死亡的人数不能超过 500 人),2003 ~ 2005 年,M 市饮用水源中六价铬所致健康危害的个人年风险数量级在 10^{-4},远超过此标准。因此六价铬是该市饮用水产生风险的主要污染物,应作为风险决策的重点对象。砷污染所致的健康危害的个人风险 2004 年为 5.496×10^{-5} 超过了 ICRP 推荐的最大可接受值,虽然 2003,2005 年没有超过此接受值,但是两年的结果与此接受值已很接近,也应作为治理的对象。2003 ~ 2005 年,镉均未超过此标准。若与瑞典环保局、荷兰建设和环境部推荐的最大可接受水平 $1.0\times10^{-6}a^{-1}$ 相比,2003 ~ 2005 年,M 市饮用水中六价铬,砷和镉均超过了此标准。以 2005 年为例,六价铬超标了 180 倍,砷超标了 43 倍,镉超标了 4.7 倍。

3 讨 论

本研究运用了美国环保局推荐的健康风险评价模型对 M 市 43 个区县饮用水中重金属所引起的健康风险作了初步评价。M 市饮水中由基因毒物质所产生的健康风险的数量级为 $10^{-6}\sim10^{-4}$,而由躯体毒物质所产生的健康风险的数量级为 $10^{-11}\sim10^{-9}$。因此,基因毒物质为优先控制污;物;对于铬(六价)、砷、镉这 3 种基因毒物质,优先控制污染物为铬(六价)>砷 > 镉;对于躯体毒物质,优先控制污染物 Pb。

由于暴露途径仅考虑了平均饮水摄入,没有考虑有机物及其它有毒物质和暴露途径,如通过皮肤接触和以蒸汽形式吸入,饮食摄入等途径。实际上低估了饮用水中各种化学污染物暴露的风险。因此对 M 市的水污染更应该积极采取相应的措施,针对几个主要的污染物进行处理。

通过饮水暴露风险还与自来水在家庭管网中的停留时间、消费者的生活方式、消费习惯以及职

(下转第 456 页)

维普资讯 http://www.cqvip.com

善是否有相关性,有待进一步探讨。

综上所述,本研究中发现甲状腺功能异常患者较正常人群焦虑、抑郁症状更明显,甲状腺功能可能与甲亢伴发情感症状有一定关系。在临床工作中有必要关注甲状腺功能异常等内分泌疾病患者伴发的精神症状情况,在积极治疗其甲状腺功能的同时,对症治疗精神症状,促进患者身心康复。

参 考 文 献

[1] 张明园. 精神科评定量表手册[M]. 第 2 版. 长沙:湖南科学技术出版社,1998.121-126.

[2] Bauer M,Heinz A,Whybrow PC. Thyroid hormones,serotonin and mood:of synergy and significance in the adult brain[J]. Mol Psychiatry,2002;7(2):140-156.

[3] Placidi GP,Boldrini M,Patronelli A,et al. Prevalence of psychiatric disorder in thyroid disease patients[J]. Neuropsychobiology,1998;38(4):222-225.

[4] Cleare AJ,McGregor A,O'Keane V. Neuroendocrine evidence for an association between hypothyroidism,reduced central 5-HT activity and depression[J]. Clin Endocrinol,1995;43(6):713-719.

[5] Marques-Deak A,Cizza G,Sternberg E. Brain-immune interactions and disease susceptibility[J]. Mol Psychiatry,2005;10(3):239-250.

[6] Suwalska A,Lacka K,Lojko D,et al. Quality of life,depressive symptoms and anxiety in hyperthyroid patients[J]. Rocz Akad Med Bialymst,2005;50(11):61-63.

[7] Kathol RG,Delahunt JW. The relationship of anxiety and depression to symptoms of hyperthyroidism using operational criteria [J]. Gen Hosp Psychiatry,1986;8(1):23-28.

[8] Trzepacz PT,McCue M,Klein I,et al. A psychiatric and neuropsychological study of patients with untreated Grave's disease [J]. Gen Hosp Psychiatry,1988;10(1):49-55.

[9] Farid M,Roch-Levecq AC,Levi L,et al. Psychological disturbance in graves ophthalmopathy[J]. Arch Ophthalmol,2005;123(4):491-496.

[10] Aslan S,Ersoy R,Kuruoglu AC,et al. Psychiatric symptoms and diagnoses in thyroid disorders:a cross-sectional study[J]. International Journal of Psychiatry in Clinical Practice,2005;9(3):187-192.

[11] 于江媛,李亚明,尹雅芙,等. Graves 病患者抑郁和焦虑状态及其脑血流量变化[J]. 中华核医学杂志,2006;26(3):162-164.

[12] 沈渔邨. 精神病学[M]. 第 4 版. 北京:人民卫生出版社,2005.327-329.

[13] 姜佐宁. 现代精神病学[M]. 第 2 版. 北京:科学出版社,2001.129-132.

[14] Bunevicius R,Velickiene D,Prange AJJ. Mood and anxiety disorders in women with treated hyperthyroidism and ophthalmopathy caused by Graves's disease[J]. Gen Hosp Psychiatry,2005;27(2):133-139.

[15] 杨继鹤,朱 洁,任建民. 舍曲林治疗 Graves 病患者伴发抑郁症状的疗效观察[J]. 中国心理卫生杂志,2004;18(5):339-341.

(责任编辑:冉明会)

(上接第 452 页)

业类型密切相关,这需要更加客观的复杂的评价方法。因此,本研究对 M 市饮用水暴露风险的研究是初步的。

我国政府明确提出加快建设资源节约型、环境友好型社会,促进人与自然和谐发展的战略,饮用水安全形势受到空前的重视。水环境质量对人类健康与社会经济的可持续发展显示出越来越大的影响。本研究对城市饮用水源风险管理和水环境保护措施的制定具有一定的参考价值。下一步将进行建立水源水中污染物预测模型的研究。

参 考 文 献

[1] 国家环保总局.2005 年中国环境状况公报[EB/OL]. http://www.sepa.gov.cn/plan/zkgb/0gb/,2006-07-27.

[2] 曾光明,卓 利,钟政林,等. 水环境健康风险评价模型及应用[J]. 水电能源科学,1997;15(4):28-33.

[3] 陈鸿汉,谌宏伟,何江涛,等. 污染场地健康风险评价的理论和方法[J]. 地学前缘,2006;13(1):216-223.

[4] Drishnan K,Paterson J,Williams DT. Health risk assessment of drinking water contaminants in Canada:the applicability of mixture risk assessment methods[J]. Regulatory Toxicology and Pharm acology,1997;26(3):179-187.

[5] EPA/540/186060,Superfund public health evaluation manual [S].

[6] EPA.601/5289-2001,Supplement risk assessment Part 1. Guidance for public health risk assessment[S].

[7] 王大坤,李建新.健康危害评价在环境质量评价中的应用[J]. 环境污染与防治,1995;17(6):9-12.

(责任编辑:谭乐勤)