

Health Risk Assessment on Heavy Metal Pollution in the Water Environment of Dayihe River

Xia Yu, Wenbo Peng

Key Laboratory of Karst Environment and Geohazard Prevention, Guiyang
Email: yx880914@yeah.net

Received: Aug. 8th, 2013; revised: Aug. 22nd, 2013; accepted: Sep. 13th, 2013

Copyright © 2013 Xia Yu. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: The paper introduced the research of the water environmental health risk assessment of Cu, Pb, Cd, Zn, Mn in Dayihe River in Shandong province based on the model for water environmental health risk analysis recommended by the United States Environment Protection Agency. The levels of risk about chemical carcinogen and non chemical carcinogen were calculated respectively. The health risk caused by drinking water and dermal contact was evaluated. The results show that the order of risk is Cd > Pb > Cu > Mn > Zn, and the total health risk for individual person per year caused by five heavy metals is higher than the maximum tolerable value of $5.0 \times 10^{-5} \text{a}^{-1}$ recommended by ICRP. In order to decrease the damage to human health and maintain the ecological balance and sustainable development of human beings, the water quality should be improved.

Keywords: Dayihe River; Heavy Metals; Health Risk Assessment

曲阜市大沂河水体重金属污染及健康风险评价

于 霞, 彭文博

喀斯特环境与地质灾害防治教育部重点实验室, 贵阳
Email: yx880914@yeah.net

收稿日期: 2013 年 8 月 8 日; 修回日期: 2013 年 8 月 22 日; 录用日期: 2013 年 9 月 13 日

摘 要: 对山东曲阜市大沂河地表水中的铜、铅、镉、锌、锰 5 种重金属进行了健康风险评价, 应用美国环境保护局推荐的健康风险评价模型, 分别计算出化学致癌物和非致癌物的风险等级, 评价了各种重金属通过饮水途径及皮肤接触途径所致的健康风险。结果表明健康风险的大小依次为 Cd > Pb > Cu > Mn > Zn, 大沂河水体中此 5 种重金属所导致的年健康风险水平超过国际辐射防护委员会推荐的最大可接受风险水平 $5.0 \times 10^{-5} \text{a}^{-1}$, 因此应该提高水体质量, 以减少水体中重金属污染对人体健康的伤害, 维护生态平衡和人类的可持续发展。

关键词: 大沂河; 重金属; 健康风险评价

1. 引言

大沂河是曲阜市的水缸, 但是随着近些年, 人类的生产和生活活动, 将大量工业废水、生活污水、农业回流水及其它废弃物未经处理直接排入水体造成水

体的污染, 引起水质恶化, 对人体健康产生众多危害, 而且地表水体记录着河流环境变化的丰富信息, 其中重金属成分反映了流域工农业生产对河流环境的影响。由于铅会损害人体造血、神经、消化和神经系统;

镉可对人的肝和肾造成严重蓄积性伤害；过量铜可致儿童胆汁淤积、贫血、Wilson 氏症等；锌可致贫血、高血压、冠心病等；锰可致神经衰弱综合征和自主神经功能紊乱等。因而通过对河流水体中铜、铅、镉、锌、锰 5 种重金属的浓度的研究，可以评价人类生产生活活动造成的污染通过水体对人自身的影响。本文应用美国环保署(USEPA)推荐的健康风险评价模型及 Streng 等提出的皮肤接触计算模型进行年健康风险值计算，又通过国际辐射防护委员会推荐的最大可接受风险进行比较，以期探讨沂河水体现状以及对居民健康的状况的影响，为沂河水质安全控制和环境质量的综合评价提供科学依据。

2. 材料与方法

2.1. 样品采集与处理

根据河水采样标准，在市沂大河分别取地表水 10 个样(图 1)。采集样品用的 500 ml 聚乙烯瓶在使用前用 10%的硝酸水溶液浸泡 24 h，然后用去离子水冲洗干净。采集水样时先放水 5 min，用水样洗涤容器 3 次，再取水样密封运回实验室进行实验。

2.2. 样品测定

利用原子吸收分光光度计，分别采用火焰法在波长 324.7 nm 下测铜、在波长 283.3 nm 下测铅、在波长 228.8 nm 下测镉、在波长 213.8 nm 下测锌、在波长 279.4 nm 下测锰。实验所器皿在硝酸溶液中浸泡 24 小时以上，并用蒸馏水洗净后烘干，样品测定设定空白对照，分析过程所用试剂均为分析纯，实验用水为去离子水。

2.3. 健康风险评价模型

水环境健康风险评价主要包括两方面。1) 基因毒物质，包括放射性污染物和化学致癌物。对于放射性污染物，在一般水体中，其污染程度很轻，一般检测不出，因此，仅考虑化学致癌物。2) 躯体毒物质，即非致癌物和化学有毒物质^[1]。根据国际癌症研究机构(IARC)和世界卫生组织(WHO)编制的分类系统，水环境健康风险评价模型分为饮水途径所致健康风险模型和洗浴途径所致的健康风险评价模型，而此两个模型又包括化学致癌物健康风险模型和非致癌物健康



Figure1. Location of ten sampling sites

风险模型。

2.3.1. 饮水健康风险评价模型

$$R_i^e = [1 - \exp(-D_i \times q_i)] / L \quad (1)$$

1) 式为饮水途径致癌物所致健康风险模型，

R_i^e 为化学致癌物 i 经饮水途径产生的平均个人致癌年风险， a^{-1} ；

D_i 为化学致癌物 i 经饮水途径的单位体质量日均暴露剂量， $mg \cdot (kg \cdot d)^{-1}$ ；

q_i 为化学致癌物经饮水途径致癌强度系数， $kg \cdot d \cdot mg^{-1}$ ；

L 为人类平均寿命， a 。

$$R_i^n = (D_i / RFD_i) \times 10^{-6} / L \quad (2)$$

2) 式为饮水途径非致癌物所致健康风险模型

R_i^n 为非致癌物 i 通过饮水途径产生的个人平均年风险， a^{-1} ；

RFD_i 为非致癌物 i 通过饮水途径参考剂量， $mg \cdot (kg \cdot d)^{-1}$ ；

L 为人类平均寿命， a 。

$$D_i = (2.2 \times C_i) / W \quad (3)$$

3) 式为通过饮水途径单位体重日均暴露剂量

2.2 为成人每日平均饮水量， L ；

C_i 饮用水中各重金属的实测浓度， $mg \cdot L^{-1}$ ；

W 为人体重， kg 。

2.3.2. 皮肤接触途径的健康风险评价模型

$$R_i^p = [1 - \exp(-CDI \times q_i)] / L \quad (4)$$

4) 式为皮肤接触途径致癌风险的评价模型

R_i^p 为化学致癌物质 i 经皮肤接触途径所致健康危害的个人平均年风险， a^{-1} ；

CDI 为每日单位体重的摄入剂量， $mg \cdot (kg \cdot d)^{-1}$ 。

$$R_i^f = (CDI \times 10^{-6} / RFD_i) / L \quad (5)$$

5) 为皮肤接触途径非致癌风险评价模型

R_i^f 为非化学致癌物质 i 经皮肤接触途径所致健康危害的个人平均年风险, a^{-1} ;

皮肤接触途径单位体重日均接触剂量 CDI 可按下式计算^[2]:

$$CDI = I \times A_{sd} \times FE \times EF \times ED / (W \times AT \times f) \quad (6)$$

式中, I 为每次洗澡单位面积对污染物的吸附量, $mg/(cm^2 \cdot 次)$;

A_{sd} 为人体表面积, cm^2 ;

EF 为暴露频率, $d \cdot a^{-1}$;

ED 为暴露延时, a ;

W 为平均体重, kg ;

AT 为平均暴露时间, d ;

f 为肠道吸收比率;

k 为皮肤吸收参数, $cm \cdot h^{-1}$;

$$I = 2 \times 10^{-3} \times k \times C_i \times \sqrt{(6 \times \tau \times TE / \pi)} \quad (7)$$

2.4. 健康风险评价总体模型

各有毒物质对人体健康产生危害的累积效应应该呈相加关系、协同关系和拮抗关系。相加作用即其对机体所产生的毒性总效应等于各个有毒物质单独效应的总和;协同作用即各有毒物质交互作用于机体的总效应大于各单独化学物毒性效应的总和;拮抗作用即各有毒物质在体内交互作用的总效应低于各化学物各自单独效应的总和。由于一般水体中,各种重金属的浓度很低,很难产生协同和拮抗作用,因此,可以假设每种化学物质对人体产生的作用是相互独立的,即各种有毒物质通过不同途径对人体健康产生的危害风险应该是呈相加关系的^[3]。

水环境重金属总体健康风险 $R_{\text{总}}$ 可以表示为:

$$R_{\text{总}} = R^e + R^n + R^p + R^f \quad (8)$$

3. 沂河曲阜段水质评价

3.1. 大沂河水体现状概况

大沂河是曲阜市的第二大河流,发源于邹县城前镇凤凰山北麓,全长 58 公里,在曲阜境内 39 公里。沂河两岸生活着很多个村庄,农村的生活废水也有排入大沂河中,偶尔也能见到生活垃圾堆放在河边,且为了发展经济,在大沂河两岸建有一些小型化工厂、

污水处理厂、医药公司、化肥厂等,据调查,在 2006 年大沂河水体中的铅、镉超过国家地表水 V 类标准^[2],存在严重的重金属污染,后来在沂河建立了两家污水处理厂,水质情况稍微得到改善,加之干旱的原因,在曲阜城乡之间大沂河大量底泥裸露,生长出大量繁茂的植物,水位线低,近乎出现断流的危险。

3.2. 参数的选择

根据国际癌症研究机构(IARC)和世界卫生组织(WHO)通过全面评价化学物质致癌性可靠程度而编制的分类系统,Cd 为化学致癌物,化学致癌物致癌强度斜率因子是人体致癌风险评价的最基本、最关键的参数之一,它指终生持续暴露于某一单位浓度的化学致癌物中所导致的超额患癌风险。对于非致癌物所致的健康风险,参考剂量(RFD)是一个重要参数,它指人的一生暴露时间内化学物质进入人体并不会对人体造成不利影响的最高剂量。根据 US EPA 推荐的与评价有关的参考剂量值和斜率因子,Cd 的致癌强度系数(Q_{1g})为 6.1 kg·d/mg,非致癌物 Mn, Pb, Zn 和 Cu 的参考剂量见表 1^[4]。

根据山东省卫生厅统计数据显示 2012 年预期寿命已接近 77 岁,据国家统计局相关资料,山东省成人人均体重为 64.47 kg^[5]。本文所使用的参数参考杨全锁的相关研究成果^[6]:人体表面积 A_{sd} 取 16,600 cm^2 ;洗澡频率 FE 取 0.3 $次 \cdot d^{-1}$;暴露频率 EF 取 365 $d \cdot a^{-1}$;暴露延时 ED 对于非致癌物取 35a,致癌物质 77.10a;评价暴露时间 AT 对于非致癌物取 35a;即 12,775d,对于致癌物取 77.10a,即 28142d;肠道吸附比率 f 取 1;皮肤吸附参数 k 取 0.001 $cm \cdot h^{-1}$;每种污染物的延滞时间 τ 均取 1 h;洗澡时间 TE 取 0.4 h。

3.3. 曲阜段沂河地表水结果与分析

在 10 个采样点测得 5 种重金属的浓度,将数值及相关参数带入健康风险评价模型,可以计算出 2012 年曲阜段大沂河水体的 5 种重金属通过饮水途径和皮肤接触途径所导致的个人年健康风险。计算记过见表 2。

由表 2 可以看出,镉的浓度在 1 号采样点处最高,为 0.116 mg/L ;在 10 号采样点处最低,为 0.044 mg/L ,铜的浓度在 9 号采样点处最高,为 0.278 mg/L ;在 4 号采样点处最低,为 0.117,铅的浓度在 1 号采样点最

Table 1. Reference doses for noncarcinogens
表 1. 非化学致癌物的参考剂量

非化学致癌物	铜	铅	锌	锰
RFD mg/(kg·d)	5.0×10^{-3}	1.4×10^{-3}	0.3	0.14

Table 2. Concentrations of 5 heavy metals in the water sources of Dayihe in Qufu

表 2. 曲阜市大沂河水体 5 种重金属浓度

样品	镉(mg/L)	铜(mg/L)	铅(mg/L)	锌(mg/L)	锰(mg/L)
1	0.116	0.274	1.215	0.287	0.287
2	0.108	0.18	1.166	0.213	0.183
3	0.11	0.189	0.772	0.242	0.095
4	0.11	0.117	0.981	0.272	0.084
5	0.111	0.17	0.97	0.246	0.066
6	0.077	0.21	0.961	0.291	0.212
7	0.07	0.195	0.973	0.279	0.187
8	0.077	0.254	0.816	0.329	0.13
9	0.073	0.278	1.153	0.339	0.286
10	0.044	0.2	0.79	0.408	0.203

高 1.215 mg/L; 在 3 号采样点最低, 是 0.772 mg/L, 锌的浓度在 10 号采样点处最高, 为 0.408 mg/L; 在 2 号采样点处最低位 0.213 mg/L, 锰的浓度在 1 号采样点处最高 0.287 mg/L; 在 5 号采样点处最低, 为 0.066 mg/L。

由表 3 可知, 可致癌化学物质镉的通过饮水途径所致的年健康风险大于通过皮肤接触所导致的年健康风险, 总的风险值高达 $3.109 \times 10^{-4} a^{-1}$, 根据美国环保署对致癌物质可接受的风险水平得出, 曲阜市大沂河水体中的镉风险值处于 $10^{-6} \sim 10^{-4}$ 之间, 即有风险。镉的最高年风险处是 1 号采样点, 即京台高速公路下面的采样点, 也是水体进入曲阜市的始端, 而后的其他 9 个取水点的浓度均低于 10 号取水点, 但是均超过国际辐射防护委员会推荐的最大可接受风险水平 $5.0 \times 10^{-5} a^{-1}$, 说明该地的镉污染严重, 能导致的年健康风险最大, 镉污染需要受到关注并进行相应的治理。

由表 4 可知, 非致癌化学物质铜、铅、锌、锰通过饮水途径所致的年健康风险大于通过皮肤接触所导致的年健康风险, 在 1 号取水点处的年风险值最大, 与表 3 表述情况一致, 可见该处的污染情况较重。通观 10 个采样点所得非致癌物的两种途径的致癌风险,

Table 3. The health risk caused by carcinogens in the way of drinking and swimming
表 3. 化学致癌物质通过饮水和洗浴途径所致的健康风险(个人年风险)

采样点	致癌物质		总风险/ a^{-1}
	镉的致癌风险/ a^{-1}		
	饮水	洗浴	
1	3.098×10^{-4}	1.085×10^{-6}	3.109×10^{-4}
2	2.887×10^{-4}	1.010×10^{-6}	2.897×10^{-4}
3	2.940×10^{-4}	1.029×10^{-6}	2.950×10^{-4}
4	2.940×10^{-4}	1.029×10^{-6}	2.950×10^{-4}
5	2.966×10^{-4}	1.038×10^{-6}	2.976×10^{-4}
6	2.063×10^{-4}	0.720×10^{-6}	2.070×10^{-4}
7	1.879×10^{-4}	0.655×10^{-6}	1.886×10^{-4}
8	2.065×10^{-4}	0.720×10^{-6}	2.072×10^{-4}
9	1.958×10^{-4}	0.683×10^{-6}	1.965×10^{-4}
10	1.184×10^{-4}	0.412×10^{-6}	1.188×10^{-4}

其中铅的饮水所致的年风险和皮肤接触所致的年风险值都是最大的, 说明曲阜市的铅污染相对突出; 同样, 锌通过饮水所致的年健康风险和皮肤接触所致的年健康风险值都是最小的, 说明整条河流中锌的污染较轻。但是这 4 中非致癌化学物质的年健康风险水平小于国际辐射防护委员会推荐的最大可接受风险水平, 说明曲阜市大沂河水体中的铜、铅、锌、锰所致健康风险较小, 尚且不会对人体产生危害。

由图 5 可知, 在大沂河所采的 10 个点、5 种重金属通过饮水途径所致的年风险值要大于皮肤接触所致的年风险值, 致癌物质镉所致的年健康风险值远大于非致癌物质所致的年健康风险值, 从总的风险值看, 10 个采样点的总风险值超过国际辐射防护委员会推荐的最大可接受风险水平 $5.0 \times 10^{-5} a^{-1}$, 且曲阜市大沂河上游的年健康风险值要大于下游的健康风险, 说明上游需要加大治理力度, 来减少大沂河水体对人们健康的伤害, 维护环境健康稳定。

4. 结论

由实验结果可知 5 种重金属通过饮水途径所致的年健康风险值的大小依次为 $Cd > Pb > Cu > Mn > Zn$, 通过皮肤接触所导致的年健康风险值的大小依次是 $Cd > Pb > Cu > Mn > Zn$, 大沂河水体中此 5 种重金属所导致的

Table 4. Health risk caused by noncarcinogens in the way of drinking and swimming
表 4. 非致癌物质通过饮水和洗浴途径所致的健康风险(个人年风险)

采样点	非致癌物质所致风险/a ⁻¹										总风险/a ⁻¹
	铜		铅		锌		锰		饮水/a ⁻¹	洗浴/a ⁻¹	
	饮水	洗浴	饮水	洗浴	饮水	洗浴	饮水	洗浴			
1	2.429 × 10 ⁻⁸	8.405 × 10 ⁻¹¹	7.012 × 10 ⁻⁷	2.427 × 10 ⁻⁹	4.24 × 10 ⁻¹⁰	1.468 × 10 ⁻¹²	9.085 × 10 ⁻¹⁰	3.145 × 10 ⁻¹²	7.628 × 10 ⁻⁷	2.516 × 10 ⁻⁹	7.653 × 10 ⁻⁷
2	1.595 × 10 ⁻⁸	5.522 × 10 ⁻¹¹	3.691 × 10 ⁻⁷	1.278 × 10 ⁻⁹	3.146 × 10 ⁻¹⁰	1.089 × 10 ⁻¹²	5.793 × 10 ⁻¹⁰	2.005 × 10 ⁻¹²	3.859 × 10 ⁻⁷	1.287 × 10 ⁻⁹	3.872 × 10 ⁻⁷
3	1.675 × 10 ⁻⁸	5.797 × 10 ⁻¹¹	2.443 × 10 ⁻⁷	0.845 × 10 ⁻⁹	3.575 × 10 ⁻¹⁰	1.237 × 10 ⁻¹²	3.007 × 10 ⁻¹⁰	1.041 × 10 ⁻¹²	2.617 × 10 ⁻⁷	0.905 × 10 ⁻⁹	2.626 × 10 ⁻⁷
4	1.037 × 10 ⁻⁸	3.59 × 10 ⁻¹¹	3.106 × 10 ⁻⁷	1.075 × 10 ⁻⁹	4.018 × 10 ⁻¹⁰	1.391 × 10 ⁻¹²	2.659 × 10 ⁻¹⁰	0.92 × 10 ⁻¹²	3.216 × 10 ⁻⁷	1.113 × 10 ⁻⁹	3.227 × 10 ⁻⁷
5	1.507 × 10 ⁻⁸	6.751 × 10 ⁻¹¹	3.071 × 10 ⁻⁷	1.063 × 10 ⁻⁹	3.634 × 10 ⁻¹⁰	1.258 × 10 ⁻¹²	2.089 × 10 ⁻¹⁰	0.723 × 10 ⁻¹²	3.227 × 10 ⁻⁷	1.132 × 10 ⁻⁹	3.238 × 10 ⁻⁷
6	1.861 × 10 ⁻⁸	6.442 × 10 ⁻¹¹	3.042 × 10 ⁻⁷	1.053 × 10 ⁻⁹	4.299 × 10 ⁻¹⁰	1.488 × 10 ⁻¹²	6.711 × 10 ⁻¹⁰	2.323 × 10 ⁻¹²	3.239 × 10 ⁻⁷	1.121 × 10 ⁻⁹	3.250 × 10 ⁻⁷
7	1.728 × 10 ⁻⁸	5.982 × 10 ⁻¹¹	3.08 × 10 ⁻⁷	1.066 × 10 ⁻⁹	4.122 × 10 ⁻¹⁰	1.426 × 10 ⁻¹²	5.919 × 10 ⁻¹⁰	2.048 × 10 ⁻¹²	3.263 × 10 ⁻⁷	1.129 × 10 ⁻⁹	3.274 × 10 ⁻⁷
8	2.251 × 10 ⁻⁸	7.792 × 10 ⁻¹¹	2.583 × 10 ⁻⁷	0.894 × 10 ⁻⁹	4.861 × 10 ⁻¹⁰	1.682 × 10 ⁻¹²	4.115 × 10 ⁻¹⁰	1.425 × 10 ⁻¹²	2.817 × 10 ⁻⁷	0.975 × 10 ⁻⁹	2.827 × 10 ⁻⁷
9	2.464 × 10 ⁻⁸	8.53 × 10 ⁻¹¹	3.65 × 10 ⁻⁷	1.263 × 10 ⁻⁹	5.009 × 10 ⁻¹⁰	1.732 × 10 ⁻¹²	9.054 × 10 ⁻¹⁰	3.134 × 10 ⁻¹²	3.91 × 10 ⁻⁷	1.353 × 10 ⁻⁹	3.924 × 10 ⁻⁷
10	1.773 × 10 ⁻⁸	6.135 × 10 ⁻¹¹	2.501 × 10 ⁻⁷	0.865 × 10 ⁻⁹	6.026 × 10 ⁻¹⁰	2.086 × 10 ⁻¹²	6.426 × 10 ⁻¹⁰	2.224 × 10 ⁻¹²	2.691 × 10 ⁻⁷	0.931 × 10 ⁻⁹	2.700 × 10 ⁻⁷

Table 5. Total health risk from all carcinogens and noncarcinogens for one person
图 5. 有毒污染物所致健康个人总风险

采样点	化学致癌物		非致癌物质		饮水	洗浴	总风险
	饮水	洗浴	饮水	洗浴			
1	3.098 × 10 ⁻⁴	1.085 × 10 ⁻⁶	7.628 × 10 ⁻⁷	2.516 × 10 ⁻⁹	3.106 × 10 ⁻⁴	1.088 × 10 ⁻⁶	3.117 × 10 ⁻⁴
2	2.887 × 10 ⁻⁴	1.010 × 10 ⁻⁶	3.859 × 10 ⁻⁷	1.287 × 10 ⁻⁹	2.891 × 10 ⁻⁴	1.011 × 10 ⁻⁶	2.901 × 10 ⁻⁴
3	2.940 × 10 ⁻⁴	1.029 × 10 ⁻⁶	2.617 × 10 ⁻⁷	0.905 × 10 ⁻⁹	2.943 × 10 ⁻⁴	1.030 × 10 ⁻⁶	2.953 × 10 ⁻⁴
4	2.940 × 10 ⁻⁴	1.029 × 10 ⁻⁶	3.216 × 10 ⁻⁷	1.113 × 10 ⁻⁹	2.943 × 10 ⁻⁴	1.030 × 10 ⁻⁶	2.953 × 10 ⁻⁴
5	2.966 × 10 ⁻⁴	1.038 × 10 ⁻⁶	3.227 × 10 ⁻⁷	1.132 × 10 ⁻⁹	2.969 × 10 ⁻⁴	1.039 × 10 ⁻⁶	2.979 × 10 ⁻⁴
6	2.063 × 10 ⁻⁴	0.720 × 10 ⁻⁶	3.239 × 10 ⁻⁷	1.121 × 10 ⁻⁹	2.066 × 10 ⁻⁴	0.721 × 10 ⁻⁶	2.073 × 10 ⁻⁴
7	1.879 × 10 ⁻⁴	0.655 × 10 ⁻⁶	3.263 × 10 ⁻⁷	1.129 × 10 ⁻⁹	1.882 × 10 ⁻⁴	0.656 × 10 ⁻⁶	1.889 × 10 ⁻⁴
8	2.065 × 10 ⁻⁴	0.720 × 10 ⁻⁶	2.817 × 10 ⁻⁷	0.975 × 10 ⁻⁹	2.068 × 10 ⁻⁴	0.721 × 10 ⁻⁶	2.075 × 10 ⁻⁴
9	1.958 × 10 ⁻⁴	0.683 × 10 ⁻⁶	3.910 × 10 ⁻⁷	1.353 × 10 ⁻⁹	1.962 × 10 ⁻⁴	0.684 × 10 ⁻⁶	1.969 × 10 ⁻⁴
10	1.184 × 10 ⁻⁴	0.412 × 10 ⁻⁶	2.691 × 10 ⁻⁷	0.931 × 10 ⁻⁹	1.187 × 10 ⁻⁴	0.413 × 10 ⁻⁶	1.191 × 10 ⁻⁴

年健康风险水平比国际辐射防护委员会推荐的最大可接受风险水平整整高出一个数量级,说明大沂河的水体是重金属含量超标的,造成这种现象的原因极有可能是周围工厂排放的污染物质,为了保护人体健康曲阜市环保部门理应用合理的方式对沂河水体进行一定程度的修理和改善,例如严格控制污水处理厂排出水的浓度以及控制村民和工厂把生活垃圾,工业垃

圾,生活废水,工业废水倾倒入水体中,提高沂河水体质量,从而减小对人体的健康风险,保护人们的生命安全以及促进生态环境的可持续发展。

参考文献 (References)

[1] 孙树青等. 湘江干流水环境健康风险评价[J]. 安全与环境学报, 2006, (2): 12-15.
 [2] 宋春霞, 彭元成, 苏金铃. 火焰原子吸收分光光度法测大沂

曲阜市大沂河水体重金属污染及健康风险评价

- 河水体的重金属含量[J]. 广东微量元素科学, 2006, (3): 46-49.
- [3] 刘凤, 李梅等. 拉萨河流域重金属污染及健康风险评价[J]. 环境化学, 2012, 31(5): 580-585.
- [4] 孙树青, 胡国华, 王勇泽. 湘江干流水环境健康风险评价[J]. 安全与环境学报, 2006, 6(2): 12-15.
- [5] USEPA/540/186060. Superfund public health evaluation manual.
- [6] 杨全锁, 郑西来, 徐延营等. 青岛市黄岛区饮用水源健康风险评价[J]. 安全与环境学报, 2008, 8(2): 83-86.