

黄河下游浅型山区和引黄水库 水环境健康风险评价

侯伟, 孙韶华, 李桂芳, 李伟, 贾瑞宝

(山东省城市供排水水质监测中心, 山东 济南 250021)

摘要:为研究黄河下游山区和引黄水库水质状况及潜在的健康风险,确定主要污染物及治理的优先顺序,采用美国环境保护署推荐的水环境健康风险评价模型,对5座典型水源水中有毒污染物通过饮水途径引起的水环境健康风险进行了评价。结果表明:各水库基因毒物质的平均浓度范围分别为Cd: $0.25 \times 10^{-3} \sim 1.6 \times 10^{-3}$ mg/L、As: $0.24 \sim 3.5 \times 10^{-3}$ mg/L、Cr(VI): $0.0020 \sim 0.0170$ mg/L; 躯体毒物质浓度较低。5座水库中基因毒物质由饮水途径所致健康危害的个人年风险大小排序均为Cr(VI) > Cd > As, 躯体毒物质的个人年风险按大小排序为Pb > NH₄⁺ > Hg > CN⁻¹ > 挥发酚, 前组水平远大于后组。5座水库各污染物所致个人年总风险基本大于国际辐射防护委员会推荐的最大可接受值 $5 \times 10^{-5} \text{ a}^{-1}$, 其中以卧虎山和玉清水库污染最严重, 各类污染物所致健康危害的个人年总风险基本在 10^{-4} a^{-1} 水平; Cr(VI) 是5座水库的优先控制污染物。

关键词: 山区水库; 引黄水库; 健康风险评价模型; 有毒污染物; 人体健康

中图分类号: X524

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2016)04-0031-07

Risk assessment of water environmental health for shallow mountainous and Yellow River reservoirs in lower reaches of Yellow River

HOU Wei, SUN Shaohua, LI Guifang, LI Wei, JIA Ruibao

(Urban Water Monitoring Center of Shandong Province, Jinan 250021, China)

Abstract: The paper employed the risk assessment model of water environmental health of US EPA in order to study the potential health risks, situation of water quality in the lower reaches of Yellow River and reservoir, and determine the main pollutants and priority order of governance. It evaluated the health risks of water environment caused by the drinking water of 5 typical water sources and clarify priority control of pollutants. The results indicated that the concentrations of the genomic carcinogens in reservoirs are $2.5 \times 10^{-4} \sim 1.6 \times 10^{-3}$ mg/L for cadmium (Cd), $2.4 \times 10^{-4} \sim 3.5 \times 10^{-3}$ mg/L for arsenic (As), $0.0020 \sim 0.0170$ mg/L for six chromium (Cr(VI)), while concentrations of physical health hazards are generally lower. Water quality in the health hazards caused by genotoxic risk of the individual in descending order for the hexavalent were Cr(VI) > Cd > As, while physical health hazards caused by toxic substances in the risk of individuals descending order of Pb > NH₄⁺ > Hg > CN⁻¹ > volatile phenol. The health risks caused by the carcinogens in drinking water are generally greater than the maximum allowance levels recommended by International Agency for Research on Cancer (ICRP, $5 \times 10^{-5} \text{ a}^{-1}$). The largest health risks are found in Wohushan and Yuqing reservoirs, where health risk levels were almost at 10^{-4} a^{-1} . Six chromium is the pollutant of priority control in the five reservoirs.

Key words: mountainous reservoir; Yellow River reservoir; health risk assessment model; toxic pollutant; human health

收稿日期: 2016-03-23; 修回日期: 2016-05-13

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07404-003); 国家科技惠民工程(2013GS370202); 山东省泰山学者建设工程专项(ts200640025); 山东省自然科学基金项目(BS2014HZ018, ZR2014CP019)

作者简介: 侯伟(1984-), 女, 山东德州人, 博士, 工程师, 主要从事水质风险评估及保障研究。

通讯作者: 贾瑞宝(1968-), 男, 山东费县人, 博士, 研究员, 主要从事饮用水安全保障技术研究。

1 研究背景

水环境受各种污染物的严重破坏,有毒污染物通过各种途径进入水体,这些污染物多具有内分泌干扰、致癌、致畸、致突变作用^[1-2],因此,供水水库的水环境直接关系到饮用人群身体健康。水环境健康风险评价以风险度为评价指标,把水环境质量与公众健康危害联系起来,定量评价人暴露在污染环境时受到危害的可能性及程度大小,已成为环境科学的一个新兴研究领域。目前,该方法主要以美国国家科学院(NAS)和美国环境保护署(US EPA)的研究为依据。我国已有学者采用该方法分别对北京^[3]、上海^[4]、深圳^[5]等地饮用水源地的有毒污染物的污染健康风险进行了评价。但唐阵武等^[6]指出目前对水环境健康风险进行评价时仅参考美国环保局推荐的人类平均水平,较少考虑水源所在地的人群状况。

黄河是我国重要的水源地,也是世界上泥沙量最大的河流之一^[7],但工业污染、农业面源污染已使其水质恶化,大量有毒物质已使黄河水质安全受到严重威胁^[8-9]。据统计,2012年黄河流域废水排放总量高达 4.474×10^9 t,其中工业废水 2.803×10^9 t,生活废水 1.238×10^9 t^[10]。研究发现,1960至2000年间,黄河流域尤其是下游灌溉区一些离子浓度已明显增加^[11]。该地区水库水位较低,并且冬春两季降雨少,入库径流量小,蓄水量少,属浅型水库。该类水库水质调节能力较差,对污染物稀释能力低,污染强度增高,一旦水环境恶化将难以恢复。济南市位于黄河下游地区,按水源类型分,该市水库由山区和引黄两种组成。山区水库的水源主要来自降雨和地表径流,黄河水是引黄水库最重要的水源,黄河水经过引黄闸提取、清污和沉沙后进入水库,流域内的地表径流不直接排入。两种水库承担了该市90%的城市供水量,为保障工农业生产和生活饮用水发挥关键作用。近20年来,水库库区及流域开发了大量耕地、蔬菜种植基地和娱乐设施,水库面临一系列水质问题,比如氮含量高、蓝藻水华、水体缺氧^[12-13]等。本研究针对黄河下游地区高污染风险、多水源切换的供水水库及当地人群实际状况,选取3座山区水库和2座引黄水库作为研究对象,分析水中典型的有毒污染物,从饮水途径评价人体暴露健康风险,为该地区供水水库中有毒污染物的风险管理和污染控制提供参考。

2 材料与方法

2.1 区域概况

研究所选狼猫山、卧虎山、锦绣川、鹊山和玉清水库均位于黄河下游地区,是济南市重要饮用水源地,具有饮用水、水产养殖、工农业用水、旅游和调节城市气候等功能,其水质状况关乎几十万人的饮水安全。其中,狼猫山、卧虎山和锦绣川水库为山区水库,位于市区南部,属天然蓄水的大中型水库,库容分别为 $1\ 214 \times 10^4$ m³、 $11\ 700 \times 10^4$ m³和 $2\ 414 \times 10^4$ m³,流域面积较大,分别为82、557和166 km²。鹊山和玉清位于黄河北岸,为中型引黄水库,库容分别为 $4\ 600 \times 10^4$ m³和 $4\ 850 \times 10^4$ m³。

2.2 样品采集及测定

在5座水库敞水区设3个采样点作为重复,每个采样点隔30~50 m,于水体表面以下0.5 m处采样。于2007-2012年对水库的理化指标进行野外采样监测。监测指标包括氨氮(NH₄⁺)、氰化物(CN⁻)挥发酚、砷(As)、汞(Hg)、镉(Cd)、铅(Pb)和六价铬(Cr(VI)),以一年内多次采样的平均浓度作为该年的平均值。样品中加入HNO₃-KBrO₃-KBr消解后测定Hg的浓度,加入抗坏血酸-硫脲后测定As的浓度,两者均采用原子荧光光度计(AFS-930)进行测定。Cd、Pb、Cr(VI)采用电感耦合等离子体质谱(ICP-MS,美国Perkin Elmer公司)。挥发酚和CN⁻用流动注射仪(德国布朗卢比,AA3)测定。

2.3 评价模型

健康风险评价主要针对水环境中对人体健康有危害的物质,这些物质分为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,一般水体中放射性污染物污染程度很轻,因此基因毒物质仅考虑化学致癌物;后者则指非化学致癌物。本研究中As、Cr(VI)和Cd属基因毒物质,挥发酚、CN⁻、NH₄⁺、Hg和Pb则属躯体毒物质。

基因毒物质通过饮水途径所致个人健康危害风险计算模型为:

$$R^C = \sum_{i=1}^k R_{ij}^C \quad (1)$$

$$R_{ij}^C = [1 - \exp(-D_{ij}q_{ij})]/a \quad (2)$$

$$D_{ij} = 2.2C_i(x)/65.92 \quad (3)$$

式中: R_{ij}^C 为基因毒物质通过饮水途径对平均个人致癌年风险, a^{-1} ; D_{ij} 为基因毒物质通过饮水途径的单位体重日均暴露剂量, mg/(kg·d); q_{ij} 为基因毒物

质通过饮水途径致癌系数, $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$; $C_i(x)$ 为致癌物质的年均浓度, mg/L ; 2.2 为成人每日平均饮水量, L ; a 为人均寿命, 70; 62.95 为 2006 年山东省人口普查的成年人平均体重, kg ; R^c 为基因毒物质经饮水途径所致的个人平均健康危害年风险, a^{-1} 。

躯体毒物质通过饮水途径所致平均个人健康危害计算模型为:

$$R_{ij}^n = (D_{ij} \times \frac{10^{-6}}{R_j D_{ij}}) / 70 \quad (4)$$

$$R^n = \sum_{i=1}^s R_{ij}^n \quad (5)$$

式中: R_{ij}^n 为躯体毒物质 i 经饮水途径所致健康危害的个人平均年风险, a^{-1} ; D_{ij} 为 i 区域内非躯体毒物质 i 通过饮水途径的单位体重日暴露剂量, $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$; $R_j D_{ij}$ 为躯体毒物质经饮水途径的参考剂量, $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$; 70 为人类平均寿命, a ; R^n 为躯体毒物质经饮水途径所致的个人平均健康危害年风险, a^{-1} 。

假设各种有毒物质对人体健康危害的毒性作用呈相加关系, 则饮用水中各种有毒物质引起的总健康风险为 $R_{\text{总}}$:

$$R_{\text{总}} = R^n + R^c \quad (6)$$

式中: 根据美国 EPA《超级基金公众健康评价手册》(1986 年), 基因毒物质通过饮水途径的致癌强度系数 (q_{ij}) 及躯体毒物质的参考剂量 ($R_j D_{ij}$), 详见表 1。

表 1 基因毒物质致癌强度系数及躯体毒物质参考剂量 $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$

基因毒物质			躯体毒物质				
As	Cd	Cr(VI)	Hg	Pb	NH_4^+	CN^{-1}	挥发酚
15	6.1	41	0.0003	0.0014	0.97	0.037	0.1

国际上各机构最大可接受健康风险为 $10^{-6} \sim 10^{-4} \text{ a}^{-1}$, 可忽略风险水平为 $10^{-8} \sim 10^{-7} \text{ a}^{-1}$ [4,14]。其中, 美国环保局推荐的饮用水中各类污染物所致健康危害个人年风险限制为 $1.0 \times 10^{-4} \text{ a}^{-1}$, 国际辐射防护委员会 (ICRP) 推荐的个人年总风险最大可接受值为 $5.0 \times 10^{-5} \text{ a}^{-1}$ (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 ≤ 500 人), 瑞典环保局、荷兰建设和环境部推荐的最大可接受水平为 $1.0 \times 10^{-6} \text{ a}^{-1}$ 。

3 结果与分析

3.1 水库有毒污染物含量分布特征

本次评价采用 2007 - 2012 年济南市狼猫山、卧虎山、锦绣川、鹊山和玉清 5 座水库的监测结果, 取每个水源地每月数据的平均值作为当年该指标的平均浓度。结果显示, 基因毒物质在各水库的平均浓度范围分别为 Cd: $2.5 \times 10^{-4} \sim 1.6 \times 10^{-3} \text{ mg}/\text{L}$ 、As: $2.4 \times 10^{-4} \sim 3.5 \times 10^{-3} \text{ mg}/\text{L}$ 、Cr(VI): $0.0020 \sim 0.0170 \text{ mg}/\text{L}$ 。Cd 在各水库的浓度主要集中在 $4 \times 10^{-4} \sim 5 \times 10^{-3} \text{ mg}/\text{L}$, 仅 2007 年玉清水库 Cd 浓度较高, 为 $1.6 \times 10^{-3} \text{ mg}/\text{L}$ 。2007 - 2012 年 5 座水库基因毒物质毒物质含量 (表 2) 表明, As 在各水库的浓度范围为 $5 \times 10^{-4} \sim 1.5 \times 10^{-3} \text{ mg}/\text{L}$, 时间上呈逐年上升趋势; 空间上, 鹊山 > 玉清 > 卧虎山 > 锦绣川 > 狼猫山水库, 且引黄水库的 As 浓度显著高于山区水库 (One-way ANOVA, $P < 0.05$), 表明两种类型水库可能受流域人类活动类型、水源等影响呈现不同的 As 污染特征。

该 5 座水库中的基因毒物质含量与北京市饮用水中含量相近^[3]; 但 As 浓度远低于长江口南通地区 ($0.0047 \sim 0.0136 \text{ mg}/\text{L}$), Cd 浓度较南通地区高 ($5 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-4} \text{ mg}/\text{L}$)^[15]。Cr(VI) 的浓度范围为 $0.002 \sim 0.034 \text{ mg}/\text{L}$, 基本低于 2005 - 2008 年广州水源地 ($0.0064 \text{ mg}/\text{L}$)^[16] 及 2000 - 2009 年辽宁大伙房水库 ($0.0087 \text{ mg}/\text{L}$) 中 Cr(VI) 的含量^[17]; 空间上, 卧虎山水库的 Cr(VI) 含量最高, 平均为 $0.0066 \text{ mg}/\text{L}$, 其余 4 座水库平均浓度基本在 $0.0040 \sim 0.0050 \text{ mg}/\text{L}$ 。张桂芹等^[18]报道了 Cd、Cr(VI) 和 As 是济南市地表水表层沉积物中的重要污染物, 其含量呈随时间增加的趋势, 并指出流域内工业和生活污染源输入是其重要来源。

躯体毒物质在 5 座水库的平均浓度范围分别为: Hg: $3 \times 10^{-5} \sim 4 \times 10^{-5} \text{ mg}/\text{L}$ 、 NH_4^+ : $0.14 \sim 0.30 \text{ mg}/\text{L}$ 、Pb: $3 \times 10^{-4} \sim 4 \times 10^{-4} \text{ mg}/\text{L}$ 、 CN^{-1} : $9 \times 10^{-4} \sim 1.4 \times 10^{-3} \text{ mg}/\text{L}$ 、挥发酚在所有水库均为 $0.001 \text{ mg}/\text{L}$ (表 2)。空间上, 5 座水库中 Hg、Pb、 CN^{-1} 和挥发酚无显著差异, 但卧虎山水库的 NH_4^+ 含量显著高于其他 4 座水库 (One-way ANOVA, $p < 0.05$), 表明该水库受流域污水排放或氮肥施用造成氮污染较严重。与我国热带亚热带地区水库相比, 北方地区水库中 NH_4^+ 含量明显较低^[19]。

表2 2007-2012年5座水库基因毒物质和躯体毒物质含量

mg/L

水库	年份	基因毒物质			躯体毒物质				
		As	Cd	Cr(VI)	Hg	Pb	NH ₄ ⁺	CN ⁻¹	挥发酚
狼猫山	2007	0.0004	0.0005	0.0047	0.00002	0.0005	0.187	0.001	0.001
	2008	0.0003	0.0005	0.0053	0.00003	0.0005	0.120	0.001	0.001
	2009	0.0005	0.0005	0.0028	0.00004	0.0004	0.098	0.001	0.001
	2010	0.0002	0.0005	0.0047	0.00005	0.0003	0.167	0.001	0.001
	2011	0.0020	0.0005	0.0035	0.00002	0.0003	0.095	0.001	0.001
	2012	0.0008	0.0005	0.0043	0.00003	0.0003	0.230	0.001	0.001
卧虎山	2007	0.0004	0.0005	0.0035	0.00002	0.0004	0.318	0.001	0.001
	2008	0.0008	0.0005	0.0080	0.00004	0.0003	0.543	0.001	0.001
	2009	0.0011	0.0005	0.0020	0.00004	0.0003	0.240	0.004	0.001
	2010	0.0009	0.0005	0.0170	0.00005	0.0003	0.390	0.001	0.001
	2011	0.0018	0.0005	0.0040	0.00004	0.0003	0.108	0.001	0.001
	2012	0.0009	0.0005	0.0053	0.00003	0.0003	0.200	0.001	0.001
锦绣川	2007	0.0004	0.0005	0.0030	0.00004	0.0004	0.182	0.001	0.001
	2008	0.0004	0.0005	0.0050	0.00004	0.0003	0.223	0.001	0.001
	2009	0.0007	0.0005	0.0020	0.00004	0.0003	0.253	0.001	0.001
	2010	0.0009	0.0005	0.0093	0.00004	0.0003	0.367	0.001	0.001
	2011	0.0016	0.0005	0.0025	0.00002	0.0003	0.080	0.001	0.001
	2012	0.0008	0.0005	0.0030	0.00002	0.0003	0.137	0.001	0.001
鹊山	2007	0.0009	0.0005	0.0043	0.00003	0.0003	0.187	0.001	0.001
	2008	0.0010	0.0005	0.0040	0.00003	0.0007	0.138	0.001	0.001
	2009	0.0020	0.0005	0.0020	0.00007	0.0003	0.130	0.001	0.001
	2010	0.0015	0.0005	0.0110	0.00003	0.0003	0.248	0.001	0.001
	2011	0.0023	0.0005	0.0063	0.00002	0.0003	0.128	0.001	0.001
	2012	0.0035	0.0005	0.0020	0.00002	0.0003	0.240	0.001	0.001
玉清	2007	0.0009	0.0005	0.0070	0.00004	0.0003	0.253	0.001	0.001
	2008	0.0009	0.0005	0.0040	0.00005	0.0007	0.138	0.001	0.001
	2009	0.0013	0.0005	0.0020	0.00016	0.0003	0.130	0.001	0.001
	2010	0.0013	0.0005	0.0073	0.00003	0.0003	0.337	0.001	0.001
	2011	0.0028	0.0005	0.0080	0.00002	0.0003	0.133	0.001	0.001
	2012	0.0017	0.0005	0.0043	0.00002	0.0003	0.190	0.001	0.001

3.2 水环境健康风险评价

应用表2的数据结果,根据健康风险评价模型和模型参数,计算出5座水库各物质通过饮水途径所致个人年风险及总健康风险,结果见表3和图1~3。结果显示,各水库由基因毒物质所引起的个人健康年风险均以Cr(VI)最大,致癌风险水平主要集中在 $10^{-5} a^{-1}$;Cd次之,As最小,两者的致癌水平集中在 $10^{-6} a^{-1}$ 。该结果与我国某城市重要供水湖泊^[20-21]及深圳市7个饮用水库^[5]研究结果一致。

空间上,基因毒物质引起的平均健康风险顺序为:卧虎山>玉清>鹊山>狼猫山>锦绣川水库(图1)。5种躯体毒物质所引起的个人健康风险远低于基因毒物质引起的平均健康风险,与其他研究结果一致^[5],其中以Pb最大,危害水平在 $10^{-10} a^{-1}$ 水平(表3),表明每千万人口中因饮用水水质的躯体毒物质而受到健康危害或死亡的人数不到1人;各物质按大小排序依次为Pb>NH₄⁺>Hg>CN⁻¹>挥发酚。5座水库中躯体毒物质所致健康风险排序为:

玉清 > 卧虎山 > 狼猫山 > 锦绣川 > 鹊山水库(图2)。

以美国环保局推荐的饮用水中各类污染物所致健康危害个人年风险限值 $1.0 \times 10^{-4} \text{ a}^{-1}$ 评价,5座水库均有 Cr(VI) 超过限值,其均值以卧虎山水库最高($1.3 \times 10^{-4} \text{ a}^{-1}$),其次是玉清水库($1.1 \times 10^{-4} \text{ a}^{-1}$),以狼猫山水库最低($8.2 \times 10^{-5} \text{ a}^{-1}$)。以

ICRP 推荐的最大可接受值 $5.0 \times 10^{-5} \text{ a}^{-1}$ 评价,采样期间基本所有批次的 Cr(VI) 均超过限值,其他参数均在限值内;而以瑞典环保局、荷兰建设和环境部推荐的最大可接受水平为 1.0×10^{-6} 评价,则所有批次的基因毒物质均超过限值。时间上,5座水库的 Cr(VI) 和 NH_4^+ 所致健康风险均在 2009 年呈现较低水平,而在 2010 年危害水平较高(表3)。

表3 基因毒物质和躯体毒物质通过饮水途径的个人年风险

a^{-1}

水库	年份	基因毒物质			躯体毒物质				
		As/ 10^{-5}	Cd/ 10^{-5}	Cr(VI)/ 10^{-5}	Hg/ 10^{-11}	Pb/ 10^{-10}	NH_4^+ / 10^{-11}	CN $^{-1}$ / 10^{-11}	挥发酚/ 10^{-12}
狼猫山	2007	0.11	0.20	9.09	5.62	5.80	6.18	1.08	4.99
	2008	0.11	0.36	10.23	6.45	5.35	5.02	1.15	4.99
	2009	0.15	0.17	5.37	8.04	8.92	8.58	1.35	4.99
	2010	0.15	1.39	9.09	2.50	8.92	4.63	1.35	4.99
	2011	0.15	0.60	6.83	4.58	8.92	5.15	1.35	3.12
	2012	0.15	0.60	8.45	4.72	8.92	11.84	1.35	1.25
卧虎山	2007	0.11	0.30	6.83	3.95	5.80	16.34	1.25	4.99
	2008	0.11	0.57	15.55	6.03	5.35	27.92	1.05	4.99
	2009	0.11	0.77	3.90	7.28	5.35	12.35	5.06	4.99
	2010	0.15	0.62	32.85	8.60	8.92	20.07	1.35	4.99
	2011	0.15	1.25	7.80	5.82	8.92	5.53	1.35	4.06
	2012	0.15	0.62	10.39	4.72	8.92	10.29	1.35	1.25
锦绣川	2007	0.12	0.29	5.85	6.16	6.42	9.37	1.27	4.99
	2008	0.11	0.30	9.74	5.82	5.35	11.45	1.35	4.99
	2009	0.11	0.46	3.90	6.45	5.35	13.00	1.35	4.99
	2010	0.15	0.67	18.13	6.10	8.92	18.87	1.35	4.99
	2011	0.15	1.11	4.88	3.54	8.92	4.12	1.35	4.06
	2012	0.15	0.60	5.85	2.50	8.92	7.03	1.35	2.16
鹊山	2007	0.12	0.61	8.45	6.38	8.92	9.61	1.35	28.29
	2008	0.11	0.71	7.80	4.78	6.69	7.08	1.28	4.99
	2009	0.07	1.39	3.90	10.82	1.78	6.69	1.35	4.99
	2010	0.15	1.05	21.34	5.20	8.92	12.74	1.35	4.99
	2011	0.15	1.63	12.17	2.50	8.92	6.56	1.35	4.06
	2012	0.15	2.50	3.90	2.50	8.92	12.35	1.35	1.25
玉清	2007	0.47	0.62	13.62	18.10	15.60	16.21	1.35	6.24
	2008	0.11	0.64	7.80	7.70	6.69	7.08	1.25	4.99
	2009	0.07	0.93	3.90	26.63	1.78	6.69	1.35	4.99
	2010	0.15	0.91	14.26	4.44	8.92	17.33	1.35	4.99
	2011	0.15	1.98	15.55	2.50	8.92	6.86	1.35	4.99
	2012	0.15	1.22	8.45	2.50	8.92	9.78	1.35	1.25

采样期间,各有毒物质通过饮水途径所致健康危害的总风险与基因毒物质所致健康风险水平及空间排序基本一致(图1,3)。

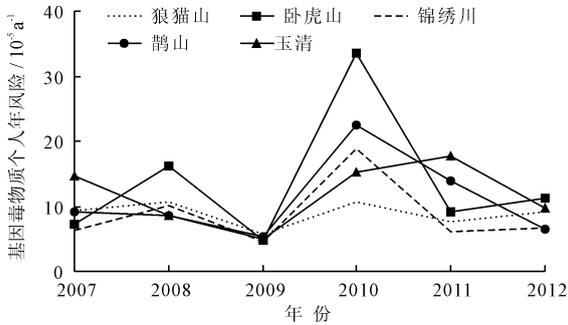


图1 2007-2012年5座水库中基因毒物质所致健康个人年风险

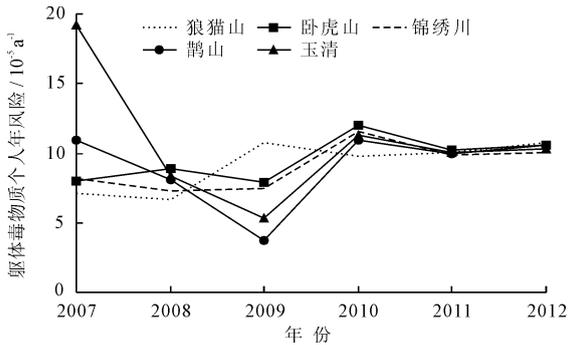


图2 2007-2012年5座水库中躯体毒物质所致健康个人年风险

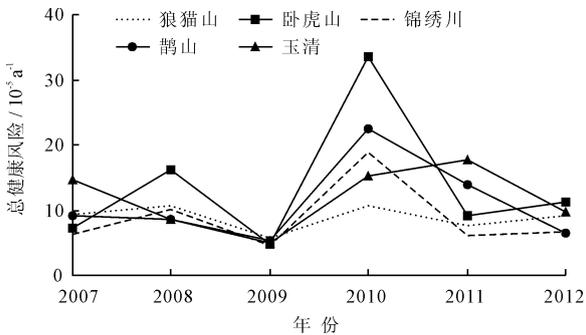


图3 2007-2012年5座水库中总健康风险

以美国环保局推荐的饮用水中各类污染物所致健康危害个人年风险限值 $1.0 \times 10^{-4} a^{-1}$ 评价,部分批次污染物所致总健康风险超过限值。以ICRP推荐的最大可接受值评价,采样期间90%批次的污染物总健康风险超过限值,其他参数均在限值内;而以瑞典环保局、荷兰建设和环境部推荐的最大可接受水平评价,则所有批次的污染物质均超过限值。以上结果表明基因毒物质尤其是Cr(VI)是5座水库对人体健康产生危害的主要有毒污染物,应引起重视并作为风险决策管理的重点对象,躯体毒物质所

引起的健康风险很小,不会对暴露人群构成明显危害。空间上,以卧虎山水库的污染物所致健康危害的平均个人年风险为最高,这主要与近年来流域内较多的工业和生活污染源的输入有关,需要当地政府今后加以重视,保障饮水健康。

4 结论

通过对济南市2类5座浅型水库进行水环境健康风险评价,研究了水源地水环境健康风险问题,得出以下结论:

(1)5座水库由基因毒物质所产生的健康风险水平为 $10^{-6} \sim 10^{-4} a^{-1}$,由躯体毒物质所产生的健康风险的水平为 $10^{-11} \sim 10^{-9} a^{-1}$,基因毒物质为优先控制污染物。

(2)对于基因毒物质,Cr(VI)是5座水库的优先控制污染物;对于躯体毒物质,按照健康风险大小排序依次为 $Pb > NH_4^+ > Hg > CN^{-1} > \text{挥发酚}$ 。

(3)2007-2012年,5座水库中各类污染物所致健康危害的个人年总风险90%超过ICRP推荐的最大可接受值,所有批次的污染物质所致健康危害的个人总风险超过瑞典环保局、荷兰建设和环境部推荐的最大可接受水平。其中以卧虎山和玉清水库污染最严重,各类污染物所致健康危害的个人年总风险基本在 $10^{-4} a^{-1}$ 水平,应将其作为水污染治理的重点。

参考文献:

- [1] Wang Ningxin, Li Yan, Deng Xihai, et al. Toxicity and bioaccumulation kinetics of arsenate in two freshwater green algae under different phosphate regimes [J]. Water Research, 2013, 47(7): 2497-2506.
- [2] Asante F, Agbeko E, Addae G, et al. Bioaccumulation of heavy metals in water, sediments and tissues of some selected fishes from the red volta, Nangodi in the Upper East Region of Ghana [J]. British Journal of Applied Science & Technology, 2014, 4(4): 594-603.
- [3] 高继军, 张力平, 黄圣彪, 等. 北京市饮用水源水重金属污染物健康风险的初步评价[J]. 环境科学, 2004, 25(2): 47-50.
- [4] 李丽娜. 上海市多介质环境中持久性毒害污染物的健康风险评价[D]. 上海: 华东师范大学, 2007.
- [5] 黄奕龙, 王仰麟, 谭启宇, 等. 城市饮用水源地水环境健康风险评价及风险管理[J]. 地学前缘, 2006, 13(3): 162-167.
- [6] 唐阵武, 程家丽, 张化永, 等. 长江武汉段水体有机污染物的健康风险评价[J]. 水利学报, 2009, 40(9): 1064-

- 1069.
- [7] Wang Houjie, Yang Zuosheng, Saito Y, et al. Stepwise decreases of the Huanghe (Yellow River) sediment load (1950–2005): Impacts of climate change and human activities [J]. *Global and Planetary Change*, 2007, 57(3–4): 331–354.
- [8] Hao Fanghua, Zhang Xuesong, Yang Zhifeng. A distributed non-point source pollution model: calibration and validation in the Yellow River Basin [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2004, 16(4): 646–650.
- [9] Xing Ying, Lu Yonglong, Dawson RW, et al. A spatial temporal assessment of pollution from PCBs in China [J]. *Chemosphere*, 2005, 60(6): 731–739.
- [10] 水利部黄河水利委员会. 黄河水资源公报[R]. 郑州: 水利部黄河水利委员会, 2012.
- [11] Chen Jingsheng, He Dawei, Cui Shubin. The response of river water quality and quantity to the development of irrigated agriculture in the last 4 decades in the Yellow River Basin, China [J]. *Water Resources Research*, 2003, 39(3): HWC 1–11. DOI: 10.1029/2001WR001234.
- [12] 李倩, 王惠, 王利红, 等. 济南卧虎山水库上游河流氮素含量时空变化特征研究[J]. *山东化工*, 2012, 41(4): 29–32+35.
- [13] 徐兴礼, 宋涛, 曹向华, 等. 引黄水库藻类污染现状及处理技术[J]. *水科学与工程学报*, 2012, (2): 41–43.
- [14] 倪彬, 王洪波, 李旭东, 等. 湖泊饮用水源地水环境健康风险评价[J]. *环境科学研究*, 2010, 23(1): 74–79.
- [15] 徐爱兰, 陈敏, 孙克遥. 长江口南通地区饮用水源地健康风险评价[J]. *中国环境监测*, 2012, 28(6): 9–14.
- [16] 李祥平, 齐剑英, 陈永亨. 广州市主要饮用水源中重金属健康风险的初步评价[J]. *环境科学学报*, 2011, 31(3): 547–553.
- [17] 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.
- [18] 张桂芹, 王兆军. 济南地表水浅层沉积物中重金属污染风险评价[J]. *环境与可持续发展*, 2010, (5): 40–44.
- [19] Hou Wei, Gu Binhe, Lin Qiuqi, et al. Stable isotope composition of suspended particulate organic matter in twenty reservoirs from Guangdong, southern China: Implications for pelagic carbon and nitrogen cycling [J]. *Water Research*, 2013, 47(11): 3610–3623.
- [20] 倪彬, 王洪波, 李旭东, 等. 湖泊饮用水源地水环境健康风险评价[J]. *环境科学研究*, 2010, 23(1): 74–79.
- [21] 钱家忠, 李如忠, 汪家权, 等. 城市供水水源地水质健康风险评价[J]. *水利学报*, 2004, 38(8): 90–93.

(上接第30页)

- [2] 张千千, 王效科, 郝丽岭, 等. 重庆市不同材质屋面径流水质特性[J]. *环境科学研究*, 2012, 25(5): 579–586.
- [3] Zhang Mulan, Chen Hao, Wang Jizhen, et al. Rainwater utilization and storm pollution control based on urban runoff characterization [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2010, 22(1): 40–46.
- [4] 董欣, 杜鹏飞, 李志一, 等. 城市降雨屋面、路面径流水文水质特征研究[J]. *环境科学*, 2008, 29(3): 607–612.
- [5] 何强, 柴宏祥. 绿色建筑小区雨水资源化综合利用技术[J]. *环境工程学报*, 2008, 2(2): 205–207.
- [6] 程江, 丁敏, 潘炜, 等. 上海城市屋面雨水利用设施长期运行效率分析[J]. *中国给水排水*, 2010, 26(16): 43–47.
- [7] 杨劲松, 王祥勇, 侯改娟. 绿色低碳生态小区雨水利用系统设计实例[J]. *南水北调与水利科技*, 2012, 10(4): 144–146.
- [8] 余步存, 蒋岚岚, 郑思伟, 等. 无锡某别墅区雨水利用工程设计实例[J]. *水处理技术*, 2012, 38(8): 128–130.
- [9] Herrman T, Schmida U. Rainwater utilization in Germany: efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects [J]. *Urban Water*, 2000, 1(4): 307–316.
- [10] 中国气象数据网. 中国地面气候资料日值数据集(V3.0) [EB/OL]. [2016–01–01]. <http://data.cma.cn/> data/detail/data code/ SURF_CLI_CHN_MUL_DAY_CES_V3.0. html.
- [11] 翟俊, 王帅, 肖海文, 等. 绿色住宅区水资源综合利用方案设计[J]. *中国给水排水*, 2012, 28(16): 45–48+54.
- [12] Gikas G D, Tsihrintzis V A. Assessment of water quality of first-flush roof runoff and harvested rainwater [J]. *Journal of Hydrology*, 2012, 466(21): 115–126.
- [13] Liu Wen, Chen Weiping, Peng Chi, et al. A water balance approach to assess rainwater availability potential in urban areas the case of Beijing, China [J]. *Water Science & Technology: Water Supply*, 2015, 15(3): 490–498.
- [14] Zhang Wei, Li Simin, Tang Fengbing. Estimating runoff coefficient for quantity assessment of roof rainwater harvesting system [J]. *Journal of Southeast University (English Edition)*, 2014, 30(2): 220–224.
- [15] 重庆市城乡建设委员会. 关于发布重庆市主城区暴雨强度修订公式的通知[G]. 渝建[2013]625号, 2014–01–02.
- [16] 《建筑与小区雨水利用工程技术规范》编制组. 建筑与小区雨水利用工程技术规范实施指南[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.