

长江流域江苏段饮用水源地水环境安全研究

开晓莉¹, 高良敏¹, 刘宁²

(1. 安徽理工大学地球与环境学院, 安徽淮南 232001; 2. 南京大学环境学院污染控制与资源化国家重点实验室, 江苏南京 210093)

摘要 选取 2007~2009 年长江流域江苏段饮用水源地水质监测数据, 利用水环境健康风险评估模型, 对长江流域江苏段由饮水途径引起的水环境健康风险进行了评价。评价结果表明, 2007~2009 年长江流域江苏段 10 个饮用水源地水环境对人体健康危害最大的是化学致癌物 Cr(VI), 但未超过国际辐射防护委员会(ICRP)推荐的最大可接受风险水平 $5.0 \times 10^{-5} \text{ a}^{-1}$; 由致癌物质所致健康风险数量级为 10^{-5} a^{-1} , 而非致癌物所致健康风险数量级为 10^{-9} a^{-1} , 致癌物质为优先控制污染物, 应作为风险决策管理的重点对象, 加大治理力度。

关键词 长江流域江苏段; 饮用水源地; 水环境健康风险

中图分类号 S181.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)14-06432-02

Research on the Water Environment Security of Drinking Water Sources in the Yangtze River Basin of Jiangsu Province

KAI Xiao-li et al (Earth and Environmental College, Anhui University of Science and Technology, Huainan, Anhui 232001)

Abstract Water environmental health risk assessment for the Yangtze River Basin of Jiangsu Province was conducted by the water environmental health risk assessment model and based on the water environment monitoring data from 2007 to 2009. The results showed that the maximal annual health risk for individual person from drinking water was Cr^{6+} which belongs to carcinogens, but the health risk of Cr^{6+} to the individual person per year was lower than its standard value $5.0 \times 10^{-5} \text{ a}^{-1}$ recommended by International Commission on Radiological Protection (ICRP). The health risk caused by gene toxic substances was 10^{-5} a^{-1} and caused by non-gene toxic substances ranges was 10^{-9} a^{-1} in 10 samples of drinking source water of the Yangtze River Basin. Therefore, gene toxic substances are the pollutants of highest control priority, and chemical carcinogens must be paid more attention to in the risk decision-making management.

Key words Yangtze River Basin of Jiangsu Province; Drinking water sources; Water environmental health risk

饮用水作为一类用途最为重要的水资源, 是人类的生命之源、生存之本^[1]。饮用水安全问题关系到人民群众的身体健康和经济社会的可持续发展, 是全面建设小康社会的重要支撑条件, 更是体现以人为本, 构建社会主义和谐社会的客观需要^[2]。饮用水中污染物的浓度可能很低, 但水是一个比较均一的媒介, 而且饮水对每个人都是必需的, 长期饮用仍然会严重地危害人体的健康^[3-4]。随着我国经济的持续发展, 水环境污染问题日益严重, 特别是饮用水安全受到严重威胁, 开展水环境健康风险评估将有利于充分了解水体污染状况、污染物迁移转化途径和对人体健康与生态的危害, 提高饮用水的安全性。随着我国“以人为本”、“社会、经济、环境和谐发展”战略的确定, 水环境健康风险评估工作必将提到十分重要的位置^[5]。健康风险评估是 20 世纪 80 年代以后发展起来的, 其主要特点是以风险度作为评价指标, 把环境污染与人体健康联系起来^[6], 将单项指标直接落实到人体健康上去, 用以确定主要污染物及治理的优先顺序, 从而为水源污染风险管理提供科学依据^[7]。目前, 健康风险评估在世界各国都得到一定的应用^[8]。

近年来, 江苏省经济的快速发展和传统制造业的分散布局^[9-10], 致使污染物排放量不断增加, 河湖水系的水环境质量不断恶化^[11], 并直接威胁到集中式饮用水源地安全^[12]。因此, 开展长江流域江苏段饮用水源地水环境安全研究, 探究水环境质量与公众健康的关系, 从而为江苏省水环境风险管理和水质的改善提出建议和依据, 科学指导产业的空

间, 促进区域全面协调可持续发展, 具有十分重要的现实意义。

1 水环境健康风险评估模型

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。根据污染物对人体产生的危害效应, 以及人类几十年来对有害物质的大量研究结果, 可建立起不同类型污染物(饮水途径)对人体健康危害影响的风险评价模型。

1.1 基因毒物质所致健康危害的风险 基因毒物质可分为放射性污染物和化学致癌物, 一般来说, 对于饮用水源地中的水体, 放射性污染物的污染程度很轻, 一般检测不出来。因此, 这里仅考虑化学致癌物, 化学致癌物所致健康危害的风险 R^c 可按下式计算^[13-16]:

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

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

$$D_i = 2.2L \times C_i \quad (3)$$

式中, R_i^c 为基因毒物质 i 通过食入途径对平均个人致癌年风险, a^{-1} ; k 为基因毒物质的个数; D_i 为基因毒物质 i 通过食入途径的单位体重日均暴露剂量, $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$; q_i 为基因毒物质通过食入途径致癌系数, $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$; 70 为人类平均寿命, a ; 2.2 为成人每日平均饮水量, L ; C_i 为基因毒质 i 的浓度, mg/L ; 70 为人体体重, kg 。

1.2 躯体毒物质所致健康危害的风险 躯体毒物质所致健康危害的风险 R^n 可按下式计算^[13-16]:

$$R^n = \sum_{i=1}^k R_i^n \quad (4)$$

$$R_i^n = (D_i / D_{iR}) \times 10^{-6} / 70 \quad (5)$$

基金项目 江苏省饮用水水源环境安全战略评估研究(2008022)。

作者简介 开晓莉(1986-), 女, 宁夏固原人, 助教, 硕士, 从事水污染控制、环境规划与管理方面的研究, E-mail: kxiaoli511@163.com。

收稿日期 2013-03-28

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} ; k 为躯体毒物质的个数; D_i 为躯体毒物质 i 通过食入途径的单位体重日均暴露剂量, $mg/(kg \cdot d)$; D_{ref} 为躯体毒物质 i 通过食入途径参考剂量, $mg/(kg \cdot d)$; 70 为人类平均寿命, a 。

公式(1)~(5)为水环境健康风险评价的基本模式。对于不同地区的不同对象,可以根据污染物浓度、成人每日饮用水量、人均体重以及人均寿命等因素变化来改进评价模型。

1.3 水环境健康风险 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,则水环境总的健康危害风险 $R_{总}^{[17]}$ 为:

$$R_{总} = R^c + R^n \quad (6)$$

1.4 评价参数的确定 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,确定基因毒物质致癌强度系数 q_i 和非致癌物的参考剂量 D_{ref} (饮水途径)。化学致癌物 Cd、As、Cr 的致癌系数分别为 6.1、15、41 $mg/(kg \cdot d)$; Pb、Hg、CN、 NH_3 、酚、Cu、氟、Zn、Fe、Mn、Se 的参考剂量分别为 0.001 4、0.000 3、0.037、0.97、0.1、0.005、0.06、0.3、0.3、0.14、0.005 $mg/(kg \cdot d)$ 。选取美国环境保护署(US EPA)推荐的最大可接受风险水平 $1.0 \times 10^{-4} a^{-1}$ 作为评价标准。

2 饮用水源地水环境健康风险评价

根据 2007~2009 年长江流域江苏段 10 个饮用水源地水

质监测数据、健康风险评价模型以及评价参数,计算得到该饮用水源地水环境中基因毒物质和躯体毒物质造成的个人年风险以及总风险的平均值(食入途径)(表 1)。由于在一般水体中,尤其是水源地水体中,各有毒物质的浓度很低,可以假定每种化合物的作用是独立的,因此计算总风险时,按照各有毒物质对人体健康危害的毒性作用呈相加关系进行处理。由表 1 可知,2007~2009 年长江流域江苏段饮用水源地水环境由致癌物质所致健康风险数量级为 $10^{-5} a^{-1}$,而非致癌物所致健康风险数量级为 $10^{-9} a^{-1}$,因此致癌物质为优先控制污染物;化学致癌物质通过食入途径所致健康风险因子主要为六价铬,饮用水源地的化学致癌物质通过食入途径所致健康危害的个人年风险从大到小的顺序为:Cr > As > Cd,通过饮水途径化学致癌物质 As、Cd、Cr 所造成的平均个人年风险均低于 $5.0 \times 10^{-5} a^{-1}$;非致癌物质所致健康风险均小于 $7.0 \times 10^{-9} a^{-1}$,低于国际辐射防护委员会(ICRP)推荐的最大可接受风险水平 $5.0 \times 10^{-5} a^{-1}$ 和瑞典环保局、荷兰建设和环境部推荐的最大可接受水平 $1.0 \times 10^{-6} a^{-1}$,同时也低于荷兰建设和环境部推荐的可忽略风险水平 $1.0 \times 10^{-8} a^{-1}$ 。另外,健康风险总值和化学致癌物健康风险值在同年基本保持一致,2007~2009 年长江流域江苏段饮用水源地水环境中化学致癌物所致健康风险平均值接近于 $1.0 \times 10^{-4} a^{-1}$ 。

表 1 2007~2009 年长江流域江苏段饮用水源地水环境健康风险

水源地	As $\times 10^{-5} a^{-1}$	Cr $\times 10^{-5} a^{-1}$	Cd $\times 10^{-6} a^{-1}$	化学致癌物 质// $\times 10^{-5} a^{-1}$	躯体毒物 质// $\times 10^{-9} a^{-1}$	总风险 $\times 10^{-5} a^{-1}$
江浦水厂取水口	2.69	3.68	1.66	6.53	6.08	6.53
城北水厂取水口	2.11	3.68	1.37	5.93	5.38	5.93
二水厂(扬子)取水口	2.69	3.68	1.37	6.50	5.24	6.50
瓜洲源水厂	2.34	3.68	1.37	6.16	5.06	6.16
三水厂取水口	2.21	3.68	1.90	6.08	5.73	6.08
魏村水厂	1.60	4.49	2.26	6.32	4.59	6.32
小湾水厂	0.61	3.68	0.31	4.31	3.53	4.31
海门水厂吸水口	1.69	3.68	1.19	5.49	3.37	5.49
长江取水口	2.69	3.68	0.27	6.40	3.93	6.40
芦泾港水厂取水口	2.69	3.68	1.37	6.50	4.24	6.50

3 结论与建议

2007~2009 年长江流域江苏段 10 个饮用水源地水环境健康风险平均值均低于美国环保署推荐的最大可接受风险水平 $1.0 \times 10^{-4} a^{-1}$,但接近该值,存在一定的风险。而且健康风险总值主要取决于化学致癌物健康风险值,化学致癌物 Cr 的健康风险值接近 $1.0 \times 10^{-4} a^{-1}$,是主要的健康风险因子,这与印染、纺织、电镀、冶金、造纸、化工等行业排污是分不开的。

确保饮用水环境安全的最终落脚点是充分保障人体健康,针对饮用水环境进行的健康风险评价,将为政府的决策管理以及公众参与提供更为深入的科学依据,引导风险管理逐步进入饮用水水质安全管理。为了做好饮用水源保护工作,提出以下建议:①通过对饮用水源地水环境的健康风险评价,从而确定优先控制污染物和重点防控的污染源,将有

限的资源集中在重点污染源的治理上,做到经济、有效地削减饮用水源地水环境的健康风险;②合理确定饮用水中不同污染物的风险可接受度,进一步确定饮用水中不同污染物的控制标准,进行水质分级风险控制;③有针对性地选择处理工艺和设备,并进行成本-风险分析,为相关部门的决策管理提供更为科学的依据;④广泛开展宣传教育,增强人民群众热爱和保护水源地意识,建立公众监督机制,加强舆论监督,积极鼓励群众参与水源地水质监督管理;⑤饮用水源地的取水安全与季节有明显关系,对重点取水水源地必须建立水质自动监测站,对水源地水质状况进行实时监测;⑥加大对饮用水源地保护研究,建立一套适应江苏省长江流域特点的合理、有效、适用的防治对策和方法,发挥高科技的作用,为饮用水源地保护提供优质服务;⑦长江流域江南沿江地区

扰脆弱度有较大影响,其中菏泽市城镇化率、人均GDP等指标均处于较低水平,其人为干扰脆弱度最大;省会济南市和青岛市虽然经济发展水平较高,但是人口密度较高、人均耕地面积有限,处于中度脆弱。只有综合分析生态潜在因素和人为干扰脆弱因素,才能对不同地区的生态脆弱性进行全面系统的评价。

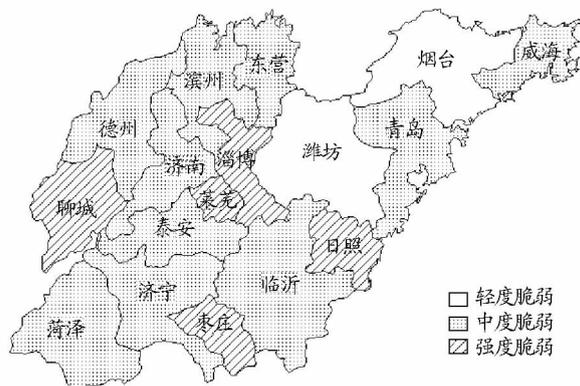


图1 山东省17个地市的生态脆弱性空间分布

通过对山东省17地市各个指标值的比较和综合评价结果可以看出,枣庄市人口密度和人口自然增长率太大,而湿地面积和植被覆盖率相对较低,应该采取相应措施,降低生态脆弱性;相对来说,烟台、潍坊是生态脆弱性最低的两个城市,植被盖度较高,且生态恢复力相对较好,多数指标处于全省较高水平;对于5个强度脆弱的地市,应该针对其弱项指标采取相应措施,摆脱强度脆弱的状态。

4 结论

根据山东省的生态环境、社会经济的特点,并依据当前

已有的生态脆弱性研究理论,对山东省17个地市进行生态脆弱性评价与分析,结论如下:

(1)采用生态潜在脆弱性-人为干扰脆弱性评价体系,综合选取16项评价指标,运用层次分析法进行各项指标权重的计算,进行多层次的评价分析,对于各地区确定生态脆弱性主导影响因子,并采取相应措施,具有重要的指导作用。

(2)总体来看,山东省17个地市的生态脆弱性指数集中分布在中度和强度脆弱带,占全省面积的81.0%,说明山东省整体生态脆弱性较高,有望通过采取针对性措施使生态脆弱性提升一个等级。对各评价指标进行统计分析得出,影响山东省生态脆弱性的主要因素是生态敏感性较强和经济活力较低。

(3)该方法适用于对省级、市级、县级地区生态脆弱性的综合评价,对各地区针对生态脆弱性强势因子采取相应措施来降低生态脆弱度具有借鉴作用,对各地区实现可持续发展具有重要意义。

参考文献

- [1] 卢亚灵, 颜磊, 许学工. 环渤海地区生态脆弱性评价及其空间自相关分析[J]. 资源科学, 2010, 32(2): 303-308.
- [2] 蒙古军. 土地评价与管理[M]. 2版. 北京: 科学出版社, 2011: 199.
- [3] 钟晓娟, 孙保平, 赵岩, 等. 基于主成分分析的云南省生态脆弱性评价[J]. 生态环境学报, 2011, 20(1): 109-113.
- [4] 乔青, 高吉喜, 王维, 等. 生态脆弱性综合评价方法与应用[J]. 环境科学研究, 2008, 21(5): 117-123.
- [5] 孟猛, 倪健, 张治国. 地理生态学的干燥度指数及其应用评述[J]. 植物生态学报, 2004, 28(6): 853-861.
- [6] 李瑛, 曾磊, 赵贵章. 基于层次分析法的苏贝淖流域植被生态脆弱性评价[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(24): 12158-12160.
- [7] 史振华, 程婕, 王百田. 天津市生态脆弱性评价[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(6): 74-78.
- [8] 王秋莲, 张震, 刘伟. 天津市饮用水源地水环境健康风险评估[J]. 环境科学与技术, 2009, 32(5): 187-190.
- [9] 毛小琴, 刘阳生. 国内外环境风险评估研究进展[J]. 应用基础与工程科学学报, 2003, 11(3): 266-273.
- [10] 陆大道. 中国工业布局的理论与实践[M]. 北京: 科学出版社, 1990: 1-12.
- [11] 王翔, 邵毅, 李东. 中国有色金属产业布局特征及对江苏的启示[J]. 南京社会科学, 2009(9): 28-33.
- [12] 张利民, 夏明芳, 王春, 等. 江苏省12大湖泊水环境现状与污染控制建议[J]. 环境监测管理与技术, 2008, 20(2): 46-50.
- [13] 李娜, 开晓莉, 刘宁, 等. 基于饮用水健康风险评估的江苏省产业结构调整对策研究[J]. 环境保护科学, 2011, 37(5): 59-62.
- [14] DRISHNAN K, PATERSON J, WILLIAMS D T. Health risk assessment of drinking water contaminants in Canada: The applicability of mixture risk assessment methods[J]. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 1997, 26: 179-187.
- [15] EPA. Superfund public health evaluation manual[S]. EPA/540/186060, 1986.
- [16] EPA. Supplement risk assessment Part 1. Guidance for public health risk assessment[S]. EPA. 601/5289-2001, 1989.
- [17] 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.
- [18] 闫欣荣, 周航, 邱涛. 城市饮用水源地水质健康风险评估[J]. 环境科学与管理, 2008, 33(4): 164-166.

(上接第6433页)

水环境压力相对较大,且水环境容量趋于饱和,长江流域苏中沿江地区,经济社会发展水平仍有很大的提升空间,且水环境容量潜力巨大,水体纳污能力强,是未来制造业集聚的主要区域。因此合理地调整产业结构,引导产业布局,有利于缓解水环境压力,优化产业组织,提高产业集中度,发挥产业集聚经济效应,增强核心竞争力;⑧建立健全流域管理机制体制,并强力推进产业结构调整,以促进形成高增长、高效益、低消耗、低排放的增长方式^[12]。

参考文献

- [1] JIANG C H. Empirical study on protection of drinking water in China[J]. Meteorological and Environmental Research, 2012, 3(5): 35-38, 42.
- [2] 翟浩辉. 把握重点, 统筹规划, 保障城市饮用水水源地安全[J]. 南水北调与水利科技, 2006, 4(5): 1-3.
- [3] TEUNIS P F M, MEDEMA G J, KRUIDENIER L, et al. Assessment of the risk the infection by Cryptosporidium or Giardia in drinking water from a surface water source[J]. Water Research, 1997, 31(6): 1333-1346.
- [4] KARMAN C C. The role of time in environmental risk assessment[J]. Spill Science & Technology Bulletin, 2006, 6(2): 159-164.
- [5] 王丽萍, 周晓蔚, 黄小锋. 饮用水水源地健康风险评估[J]. 水资源保护, 2008, 24(4): 14-17.
- [6] 苏伟, 刘景双, 王洋. 第二松花江干流水环境健康风险评估[J]. 自然资