

doi:10.7515/JEE201501007

安徽北部农村地区地下水重金属健康风险评价

王 曜¹, 林曼利², 齐晴晴¹, 王思维¹, 谢 哲²

(1. 宿州学院 环境与测绘工程学院, 宿州 234000; 2. 宿州学院 资源与土木工程学院, 宿州 234000)

摘 要: 为了解安徽北部农村地区地下水重金属污染对人类健康产生危害的风险, 采集了 26 个农村地下水样品, 测试分析了 Mn、Zn、Cu、Pb、Ni、Cr 和 Cd 七种重金属, 并采用美国环境保护局 (USEPA) 推荐的风险评价模型对健康风险进行了初步评价。结果表明: 非致癌污染物 Mn、Zn、Cu、Pb 和 Ni 的平均个人年风险分别为 $1.21 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}$ 、 $8.46 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$ 、 $2.93 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}$ 、 $8.29 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}$ 和 $2.89 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}$, 均远低于国际辐射防护委员会 (ICRP) 推荐的最大可接受值 ($5.0 \times 10^{-5} \text{ a}^{-1}$) 和 USEPA 推荐的健康风险等级标准 ($1 \times 10^{-4} \text{ a}^{-1}$), 基本不会对暴露人群构成明显危害; 致癌污染物 Cd 和 Cr 饮水途径健康危害平均个人年风险分别为 $1.44 \times 10^{-6} \text{ a}^{-1}$ 和 $1.93 \times 10^{-5} \text{ a}^{-1}$, 超出瑞典环境保护署、荷兰建设与环境部和英国皇家协会推荐标准 ($1 \times 10^{-6} \text{ a}^{-1}$), Cr 甚至超出 19 倍, 为研究区首要污染物, 应引起环境卫生部门的重视。

关键词: 农村地区; 地下水; 重金属; 健康风险评价; 安徽北部

中图分类号: X824 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-9901(2015)01-0054-06

Health risk assessment of heavy metals in the groundwater of rural area, northern Anhui Province

WANG Yao¹, LIN Man-li², QI Qing-qing¹, WANG Si-wei¹, XIE Zhe²

(1. School of Environment Science and Spatial Informatics, Suzhou University, Suzhou 234000, China;

2. School of Resources & Civil Engineering, Suzhou University, Suzhou 234000, China)

Abstract: To understand the risk of heavy metal pollution in the groundwater on human health in the northern rural area, Anhui Province, we have collected 26 groundwater samples, and analyzed seven heavy metals, including Mn, Zn, Cu, Pb, Ni, Cr and Cd. Moreover, a preliminary assessment on health risk has been done by using the risk assessment model recommended by the United States Environment Protection Agency (USEPA). The results show that the average personal annual risk of non-carcinogenic pollutants (Mn, Zn, Cu, Pb and Ni) are $1.21 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}$, $8.46 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$, $2.93 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}$, $8.29 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}$ and $2.89 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}$ respectively, which are much lower than the maximum acceptable value ($5.0 \times 10^{-5} \text{ a}^{-1}$) recommended by the International Commission on Radiological Protection (ICRP) and the health risk level standard ($1 \times 10^{-4} \text{ a}^{-1}$) recommended by the USEPA, therefore, basically no evident harm will be made to the exposed population; while the average personal annual risk of carcinogenic pollutants (Cd and Cr) via ways of drinking water are $1.44 \times 10^{-6} \text{ a}^{-1}$ and $1.93 \times 10^{-5} \text{ a}^{-1}$, which are beyond the standard ($1 \times 10^{-6} \text{ a}^{-1}$) recommended by the Swedish Environmental Protection Agency, the Dutch Ministry of Construction and Environment and the British Royal Society. Especially Cr, which is 19 times exceeded, and is taken as the primary pollutant in research area. So the local environmental health department should pay great attention to it.

收稿日期: 2014-10-10

基金项目: 安徽省高校自然科学基金项目 (KJ2013B291); 宿州学院科研平台开放课题 (2012YKF16); 国家级大学生创新创业训练计划项目 (201410379008); 宿州学院第八届大学生科研项目 (KYLXLKZD14-05)

通讯作者: 林曼利, E-mail: linmanli112@126.com

Key words: rural areas; groundwater; heavy metals; health risk assessment; north of Anhui Province

在我国, 约 61% 的城市以地下水作为饮用水源(中华人民共和国环境保护部, 2011), 70% 的人口以地下水作为饮用水源(张新钰等, 2011; 姜林等, 2012), 地下水对国民经济发展和饮水安全至关重要, 但当前我国地下水正面临量和质两方面的突出问题。一方面, 地下水供需矛盾日益突出。水利部统计资料表明, 全国 669 座城市中有 400 座供水不足, 110 座严重缺水(季谭, 2006), 且地下水资源开发利用量呈迅速增长态势, 已由 20 世纪 70 年代的 570 亿立方米/年, 增长到 2009 年的 1098 亿立方米, 三十年间增长了近一倍(中华人民共和国环境保护部, 2011)。另一方面, 在多种污染源作用下, 我国地下水污染严重。有关部门对 118 个城市连续监测数据显示, 约 64% 的城市地下水遭受严重污染, 33% 的地下水受到轻度污染, 基本清洁的城市地下水只有 3%(经济日报, 2013)。2013 年, “较差—极差”的地下水环境质量的监测点比例为 59.6%, 且与上年相比, 变差的监测点比例为 18.0%(中华人民共和国环境保护部, 2014)。另外, “城市向周边蔓延”已成为地下水污染的一个趋势, 农村地下水面临严峻挑战。

重金属是环境中普遍存在的一类污染物, 具有高稳定性、可累积性和毒性等特点(吴兴让等, 2010), 可以通过工农业及生活废水的排放、降水径流和大气沉降等途径进入水体, 积累到一定程度会对水中的动植物产生严重危害, 并可以通过饮水和食物链等途径直接或间接地影响到人类健康(罗凤基等, 1995)。长期的重金属积累, 对人体的神经系统和各个器官会产生极大危害(陈奔等, 2012)。除此之外, 重金属污染物中不少具有致突变、致畸、致癌作用。因此对饮用水水质进行健康风险评价是非常必要的。

研究区地处华北平原南部, 属暖温带季风气候, 包括六市(淮北市、亳州市、宿州市、蚌埠市、阜阳市、淮南市)五县(定远县、凤阳县、明光市、寿县、霍邱县), 面积 5.3 万平方公里, 2010 年末总人口 3633.5 万人, 分别占安徽全省的 38% 和 53.5%(安徽省人民政府网, 2012), 区内煤炭资源丰富, 在安徽省经济社会发展格局中占有重要地位。国内部分地区已有地下水健康风险评价的研究, 研究尺度多集中于城市供水水源, 针对农村地下水

健康风险评价的研究尚不多见。从目前研究现状看, 未有针对安徽北部农村地区地下水开展重金属健康风险的研究报道。农村地下水水质安全与人们息息相关, 开展安徽北部农村地区地下水重金属污染健康风险评价, 对提高人们饮用水安全意识, 以及区域地下水污染与防治有重要意义。

1 样品采集与测试

1.1 样品采集

地下水采样时间为 2013 年 5 月, 共采集 26 个样品, 采样点分布见图 1 所示。一般从村民家中压水井或潜水泵直接进行取样, 采样容器为事先已用蒸馏水清洗干净的聚乙烯塑料瓶, 取样前 5 min 先弃去水样, 然后用各采样点水样润洗采样瓶 3 次, 采集满瓶后密封, 采样量为 1000 mL, 于 24 h 内带回实验室。

1.2 指标测试

水温、pH 和电导率在现场测试。带回实验室的样品首先用 0.45 μm 微孔滤膜对所采水样进行抽滤, 然后加入优级纯 HNO_3 调 $\text{pH} \leq 2$ 。处理后的样品储存于 4 $^\circ\text{C}$ 冷藏柜中备用。采用原子吸收分光光度计(TAS-990)石墨炉法测定了 Cd、Cr、Cu、Pb 和 Ni 五种重金属, Mn 和 Zn 采用火焰法测定, 定量方法均采用外标法, 测试回收率依次为 93.64%、105.84%、101.83%、111.92%、95.50%、93.15% 和 96.96%。

2 结果与讨论

2.1 测试结果分析

通过测定, 地下水中 7 种重金属元素测试结果及特征统计列于表 1。

由表 1 可以看出, 七种重金属元素平均值大小依次为: $\text{Zn} > \text{Mn} > \text{Ni} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Cr} > \text{Cd}$ 。与生活饮用水卫生标准(GB5749-2006)相对照, 个别采样点中 Mn、Zn、Pb 和 Ni 四种重金属含量均有超标现象, 超标率依次为 11.538%, 3.846%, 3.846% 和 15.385%。研究区水样中 Cu、Cd 和 Cr 的含量范围低于 GB5749-2006 和 USEPA 饮用水质量标准。Mn、Zn 和 Ni 的含量平均值低于 GB5749-2006 和 USEPA 饮用水质量标准; Pb 的平均含量已超出了 GB5749-2006, 应予以关注。

饮水途径的单位体重日均暴露剂量 D_i 或 D_j 按公式 (3) 计算:

$$D_i = \frac{w \times C_i}{A}, D_j = \frac{w \times C_j}{A} \quad (3)$$

式 (3) 中, w 为日均饮水量, 成人一般取值 $2.2 \text{ L} \cdot \text{d}^{-1}$; C_i 为污染物 i 饮水途径的质量浓度, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$; C_j 为污染物 j 饮水途径的质量浓度, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$; A 为人均的人体体重, 成人取 70 kg 。

水中多种重金属对人体健康的危害累积效益有相加、协同和拮抗三种关系, 主要取决于与重金属混合物的组分、各组分的浓度以及作用的目标生物有关 (余斌, 2010)。假设重金属污染物对人体健康产生的危害程度呈累加关系成立, 则地下水中重金属污染物通过饮水途径产生的总的健康危害风险即为通过饮水途径导致的化学致癌物所致的总致癌

风险 (R^c) 与通过饮水途径导致的非致癌污染物所致的总致癌风险 (R^n) 之和, 公式为:

$$R_{\text{饮水总}} = R^c + R^n \quad (4)$$

$$R^c = \sum_{i=1}^m R_i^c, R^n = \sum_{j=1}^k R_j^n \quad (5)$$

2.2.2 参数选择

根据癌症研究机构 (IARC) 和世界卫生组织 (WHO) 等相关资料, Cd 和 Cr 为化学致癌物, Mn、Cu、Zn、Pb 和 Ni 为化学非致癌物。同时, 查得与此次评价有关的参数见表 2。

2.2.3 结果分析

根据健康风险评估模型, 模型参数以及 26 个采样点测得的数据, 计算出化学致癌物和化学非致癌物的饮水途径健康危害的平均个人年风险和总风险, 结果见表 3。

表 2 饮水暴露途径下模型参数 q_i 和 RfD_j 值
Table 2 Values of q_i and RfD_j of model parameters via drinking water

化学致癌物	q_i ($\text{mg} \cdot (\text{kg} \cdot \text{d})^{-1}$)	化学非致癌物	RfD_j ($\text{mg} \cdot (\text{kg} \cdot \text{d})^{-1}$)
Cd	6.1	Mn	1.4×10^{-1}
Cr	41	Cu	5.0×10^{-3}
		Zn	3.0×10^{-1}
		Pb	1.4×10^{-3}
		Ni	2.0×10^{-2}

由表 3 可以看出, 研究区地下水中非致癌污染物 Mn、Zn、Cu、Pb 和 Ni 通过饮用水途径产生的健康风险平均值分别为 $1.21 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}$ 、 $8.46 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$ 、 $2.93 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}$ 、 $8.29 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}$ 和 $2.89 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}$, 风险等级从高到低排序依次为 $\text{Pb} > \text{Cu} > \text{Ni} > \text{Mn} > \text{Zn}$ 。李祥平等 (2011) 对广州主要饮用水源中重金属研究结果表明, 西江下陈村和北江三水地段的重金属元素 Pb 的含量大于 Cu, 与本区域研究结果一致。胡英等 (2010) 对我国桂林毛村地下河重金属健康风险评估研究结果表明, 非致癌污染物 Pb、Cu 和 Zn 所引起的平均个人年风险分别为 $2.02 \times 10^{-8} \text{ a}^{-1}$ 、 $6.65 \times 10^{-9} \text{ a}^{-1}$ 和 $3.82 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$, 风险等级从高到低依次为 $\text{Pb} > \text{Cu} > \text{Zn}$ 。本研究非致癌物的健康风险平均值集中于 $10^{-11} \sim 10^{-10} \text{ a}^{-1}$, 远低于国际辐射防护委员会 (ICRP) 推荐的最大可接受值 $5.0 \times 10^{-5} \text{ a}^{-1}$ 和 USEPA 推荐的健康风险等级标准 $1 \times 10^{-4} \text{ a}^{-1}$, 基本不会对暴露人群构成明显危害。

致癌污染物 Cd 和 Cr 通过饮用水途径的健康风险平均值分别为 $1.44 \times 10^{-6} \text{ a}^{-1}$ 和 $1.93 \times 10^{-5} \text{ a}^{-1}$,

没有超过 ICRP 和 USEPA 的健康风险等级标准。孙超等 (2009) 对上海市饮用水研究结果表明, 陈行水库段各采样点致癌物质的风险大小均表现为 $\text{Cr} > \text{Cd}$, 与本研究结果一致。深圳七市主要水库由致癌物质所产生的健康风险的数量级为 $10^{-5} \sim 10^{-4}$ (黄奕龙等, 2006), 高于本研究的健康风险数量级。此外, 本研究中 Cd 和 Cr 的健康风险等级均已超过瑞典环境保护署、荷兰建设与环境部和英国皇家协会推荐的健康风险等级 ($1 \times 10^{-6} \text{ a}^{-1}$), 且 Cr 的健康风险等级超出 19 倍, 为主要污染物, 应引起卫生部门的重视, 并采取相应措施进行治理。

2.3 不确定性分析

本文仅选取了 Mn、Zn、Cu、Pb、Cd、Ni 和 Cr 等 7 种重金属, 没有考虑其他有毒有害物质对人体产生的危害, 并且暴露途径研究单一, 仅考虑了平均饮水摄入途径, 没有考虑其他暴露途径 (如皮肤接触等), 这实际上是低估了重金属暴露的危害风险 (吴兴让等, 2010)。由于参考剂量 RfD_j 是以动物为实验载体来推测对人类产生的

危害, 所以具有一定的偏差。此外, 致癌强度系数 q_i 会因为人类流行病学资料积累而不断更新, 使得化学致癌物的致癌强度系数也存在着不确定性 (秦雯雯等, 2011)。

表3 化学致癌物和化学非致癌物的饮水途径健康危害的平均个人年风险和总风险 (a^{-1})
Table 3 The health risk and total risk caused by the carcinogens, the chemical non-carcinogens by the drinking water pathway

样品编号	非致癌物					致癌物		总风险
	Mn	Zn	Cu	Pb	Ni	Cd	Cr	
S1	4.23×10^{-10}	4.17×10^{-12}	1.33×10^{-9}	2.30×10^{-9}	1.34×10^{-9}	5.48×10^{-6}	8.72×10^{-5}	9.26×10^{-5}
S2	4.40×10^{-10}	2.14×10^{-11}	1.32×10^{-9}	1.92×10^{-9}	1.68×10^{-9}	6.31×10^{-6}	1.37×10^{-11}	7.74×10^{-5}
S3	1.12×10^{-10}	4.17×10^{-12}	5.35×10^{-11}	6.87×10^{-10}	5.35×10^{-10}	1.59×10^{-6}	1.34×10^{-6}	2.93×10^{-6}
S4	8.03×10^{-11}	1.16×10^{-11}	2.32×10^{-10}	4.77×10^{-10}	1.37×10^{-11}	8.29×10^{-7}	1.34×10^{-6}	2.17×10^{-6}
S5	2.17×10^{-10}	4.17×10^{-12}	3.78×10^{-10}	8.34×10^{-10}	1.37×10^{-11}	1.24×10^{-6}	1.34×10^{-6}	2.59×10^{-6}
S6	8.66×10^{-10}	6.64×10^{-12}	2.11×10^{-11}	4.62×10^{-10}	1.37×10^{-11}	1.52×10^{-7}	1.34×10^{-6}	1.50×10^{-6}
S7	1.43×10^{-11}	6.64×10^{-12}	1.18×10^{-10}	4.68×10^{-10}	6.41×10^{-11}	1.37×10^{-6}	1.34×10^{-6}	2.72×10^{-6}
S8	1.05×10^{-11}	2.14×10^{-11}	1.18×10^{-10}	4.16×10^{-10}	8.09×10^{-11}	8.53×10^{-7}	1.34×10^{-6}	2.20×10^{-6}
S9	2.20×10^{-10}	2.14×10^{-11}	3.45×10^{-10}	1.11×10^{-9}	4.17×10^{-10}	3.43×10^{-6}	1.34×10^{-6}	4.78×10^{-6}
S10	4.89×10^{-12}	1.16×10^{-11}	2.02×10^{-9}	5.14×10^{-9}	2.86×10^{-9}	8.61×10^{-6}	1.72×10^{-4}	1.81×10^{-4}
S11	2.44×10^{-11}	1.40×10^{-11}	2.11×10^{-11}	3.26×10^{-10}	1.37×10^{-11}	3.58×10^{-7}	9.41×10^{-6}	9.77×10^{-6}
S12	1.43×10^{-11}	4.17×10^{-12}	2.11×10^{-11}	4.05×10^{-10}	1.37×10^{-11}	1.40×10^{-7}	1.34×10^{-6}	1.49×10^{-6}
S13	3.49×10^{-12}	1.90×10^{-11}	3.29×10^{-10}	3.45×10^{-10}	1.37×10^{-11}	1.01×10^{-7}	1.34×10^{-6}	1.45×10^{-6}
S14	6.98×10^{-12}	6.64×10^{-12}	3.73×10^{-11}	9.78×10^{-10}	1.37×10^{-11}	3.61×10^{-7}	3.36×10^{-5}	3.40×10^{-5}
S15	2.62×10^{-10}	1.77×10^{-9}	6.97×10^{-11}	4.94×10^{-10}	2.15×10^{-10}	1.69×10^{-6}	1.75×10^{-5}	1.92×10^{-5}
S16	4.89×10^{-11}	1.90×10^{-11}	2.15×10^{-10}	4.74×10^{-10}	1.37×10^{-11}	6.71×10^{-7}	4.03×10^{-6}	4.71×10^{-6}
S17	3.84×10^{-11}	6.83×10^{-11}	1.67×10^{-10}	4.99×10^{-10}	1.37×10^{-11}	1.01×10^{-7}	1.34×10^{-6}	1.45×10^{-6}
S18	1.75×10^{-11}	2.14×10^{-11}	2.15×10^{-10}	7.86×10^{-10}	9.77×10^{-11}	5.87×10^{-7}	1.34×10^{-6}	1.93×10^{-6}
S19	2.37×10^{-11}	4.17×10^{-12}	5.35×10^{-11}	4.02×10^{-10}	1.37×10^{-11}	2.89×10^{-7}	4.03×10^{-6}	4.32×10^{-6}
S20	2.79×10^{-11}	2.14×10^{-11}	6.97×10^{-11}	5.13×10^{-10}	1.37×10^{-11}	5.16×10^{-7}	1.34×10^{-6}	1.86×10^{-6}
S21	1.75×10^{-11}	1.40×10^{-11}	1.18×10^{-10}	3.65×10^{-10}	1.37×10^{-11}	3.10×10^{-7}	7.11×10^{-5}	7.14×10^{-5}
S22	6.63×10^{-11}	1.90×10^{-11}	1.51×10^{-10}	4.31×10^{-10}	1.37×10^{-11}	7.66×10^{-7}	1.34×10^{-6}	2.11×10^{-6}
S23	8.00×10^{-11}	6.34×10^{-11}	6.97×10^{-11}	4.68×10^{-10}	1.37×10^{-11}	2.56×10^{-7}	4.03×10^{-6}	4.29×10^{-6}
S24	8.73×10^{-11}	1.90×10^{-11}	4.86×10^{-12}	3.92×10^{-10}	1.37×10^{-11}	3.34×10^{-7}	6.73×10^{-6}	7.06×10^{-6}
S25	1.43×10^{-11}	1.40×10^{-11}	5.35×10^{-11}	3.92×10^{-10}	1.37×10^{-11}	3.97×10^{-7}	1.34×10^{-6}	1.74×10^{-6}
S26	2.10×10^{-11}	4.17×10^{-12}	6.97×10^{-11}	4.66×10^{-10}	1.37×10^{-11}	5.99×10^{-7}	1.34×10^{-6}	1.94×10^{-6}
均值	1.21×10^{-10}	8.46×10^{-11}	2.93×10^{-10}	8.29×10^{-10}	2.89×10^{-10}	1.44×10^{-6}	1.93×10^{-5}	2.07×10^{-5}

4 结论

(1) 研究区地下水中, 致癌污染物 Cd 和 Cr 对人体健康危害的个人年风险明显高于非致癌污染物 Mn、Zn、Cu、Pb 和 Ni 的年风险。

(2) 致癌污染物与非致癌污染物的健康风险等级均未超过 ICRP 和 USEPA 的标准, 但致癌污染物 Cd 和 Cr 的健康风险等级超过了瑞典环境保护署、荷兰建设与环境部和英国皇家协会推荐标准, 应引起有关部门的重视, 尤其加强对 Cr 的监测和控制。

参考文献

- 安徽省人民政府网. 2012-05-28. 皖北概况 [EB/OL]. <http://app2.ah.gov.cn/showcontent.asp?newsid={EAF575FC-38A2-43F4-A8E3-6F2E6D83C270}> [The People's Government website of Anhui Province. 2012-05-28. Wanbei Overview [EB/OL]. <http://app2.ah.gov.cn/showcontent.asp?newsid={EAF575FC-38A2-43F4-A8E3-6F2E6D83C270}>.]
- 安徽省统计局. 2013. 2012 年安徽妇女发展报告 [R]. [Anhui Provincial Bureau of Statistics. 2013. Development report of Anhui women in 2012 [R].]
- 陈奔, 王宪, 汪立宜, 等. 2012. 尤溪铅锌矿集区重金

- 属污染健康风险评价研究[J]. *厦门大学学报(自然科学版)*, 51(2): 245–251. [Chen B, Wang X, Wang L Y, et al. 2012. Heavy metal contamination and health risk assessment in the Zinc mine set area of Youxi, China [J]. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, 51(2): 245–251.]
- 胡 英, 祁士华, 张俊鹏, 等. 2010. 我国桂林毛村地下河重金属健康风险评价[J]. *环境化学*, 29(3): 392–396. [Hu Y, Qi S H, Zhang J P, et al. 2010. Health risk assessment of heavy metals in Maocun underground river of Guilin, China [J]. *Environmental Chemistry*, 29(3): 392–396.]
- 黄奕龙, 王仰麟, 谭启宇, 等. 2006. 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*, 13(3): 162–167. [Huang Y L, Wang Y L, Tan Q Y, et al. 2006. Environmental health risk assessment and management for urban water supply sources [J]. *Earth Science Frontiers*, 13(3): 162–167.]
- 季 谭. 2006-01-04. 水利部公报: 全国 669 座城市严重缺水 110 座[N]. 第一财经日报. [Ji T. 2006-01-04. Ministry of Water Resources Communique: The country's 699 cities had an acute shortage of water in 110 cities [N]. *First Financial Daily*.]
- 姜 林, 钟茂生, 贾晓洋, 等. 2012. 基于地下水暴露途径的健康风险评价及修复案例研究[J]. *环境科学*, 33(10): 3329–3335. [Jiang L, Zhong M S, Jia X X, et al. 2012. Case study on groundwater health risk assessment and remediation strategy based on exposure pathway [J]. *Environmental Science*, 33(10): 3329–3335.]
- 经济日报. 2013-06-08. 治理地下水污染刻不容缓[N]. [Economic Daily. 2013-06-08. Management of groundwater is urgently needed [N].]
- 罗凤基, 罗振东, 马 亮, 等. 1995. 呼和浩特西部地区黑河村居民富 As 饮水与恶性肿瘤发病关系的研究[J]. *中华流行病学杂志*, 16(5): 289–291. [Luo F J, Luo Z D, Ma L, et al. 1995. A study on relationship between drinking water with high Arsenic content and incidence of malignant tumour in Heihe village, western part of Huhhot, inner Mongolia [J]. *Chinese Journal of Epidemiology*, 16(5): 289–291.]
- 李祥平, 齐剑英, 陈永亨. 2011. 广州市主要研究水源中重金属健康风险的初步评价[J]. *环境科学学报*, 31(3): 547–553. [Li X P, Qi J Y, Chen Y H. 2011. Preliminary health risk assessment of heavy metals in the main drinking water sources of Guangzhou [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 31(3): 547–553.]
- 秦雯雯, 杨忠芳, 侯青叶, 等. 2011. 江西省鄱阳湖地区饮用水健康风险评价[J]. *现代地质*, 25(1): 182–188. [Qin W W, Yang Z F, Hou Q Y, et al. 2011. Health risk assessment of drinking water in Poyang Lake region in Jiangxi [J]. *GEO Science*, 25(1): 182–188.]
- 孙 超, 陈振楼, 张 翠, 等. 2009. 上海市主要饮用水源地水重金属健康风险初步评价[J]. *环境科学研究*, 22(1): 60–65. [Sun C, Chen Z L, Zhang C, et al. 2009. Health risk assessment of heavy metals in drinking water sources in Shanghai, China [J]. *Research of Environmental Sciences*, 22(1): 60–65.]
- 田裘学. 1997. 健康风险评价的基本内容与方法[J]. *甘肃环境研究与监测*, 10(4): 32–36. [Tian Q X. 1997. The basic contents and methods of health risk assessment [J]. *Gansu Environmental Study and Monitoring*, 10(4): 32–36.]
- 吴兴让, 尹平河, 李松涛, 等. 2010. 珠江广州段微表层和次表层水中重金属分布与风险的初步评价[J]. *暨南大学学报(自然科学版)*, 31(1): 85–88. [Wu X R, Yin P H, Li S T, et al. 2010. Health risk assessment of heavy metals in the water of surface and subsurface microlayers from Guangzhou section Pearl River [J]. *Journal of Jinan University (Natural Science)*, 31(1): 85–88.]
- 余 彬. 2010. 径惠渠灌区浅层地下水中重金属的健康风险评价[D]. 西安: 长安大学. [Yu B. 2010. Health risk assessment of heavy metals in groundwater in Jing/huiqu irrigation district [D]. Xi'an: Chang'an University.]
- 曾光明, 卓 利, 钟政林, 等. 1998. 水环境健康风险评价模型[J]. *水科学进展*, 9(3): 212–217. [Zeng G M, Zhuo L, Zhong Z L, et al. 1998. Assessment models for water environmental health risk analysis [J]. *Advances in Water Science*, 9(3): 212–217.]
- 张新钰, 辛宝东, 王晓红, 等. 2011. 我国地下水污染研究进展[J]. *地球与环境*, 39(3): 415–422. [Zhang X Y, Xin B D, Wang X H, et al. 2011. Progress in research on groundwater pollution in our country [J]. *Earth and Environment*, 39(3): 415–422.]
- 中华人民共和国环境保护部. 2011. 全国地下水污染防治规划(2011—2020年)[R]. [Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. 2011. The groundwater pollution prevention plan (2011–2020) [R].]
- 中华人民共和国环境保护部. 2014. 2013 中国环境状况公报[R]. [Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. 2014. Chinese Communique of Environmental Conditions in 2013 [R].]