

海河平原区地下水中砷的时空分布特征

缪萍萍¹, 刘德文¹, 张浩^{2,3}, 王欢⁴

(1. 海河水利委员会 水资源保护科学研究所, 天津 300170; 2. 海河流域水资源保护局, 天津 300170;
3. 河海大学 水文水资源学院, 南京 210098; 4. 河北省水利水电勘测设计研究院, 天津 300250)

摘要: 地下水是海河平原区的主要供水水源,于2014年3-11月采集了研究区内269个采样井的水样,检测了其中砷浓度。监测数据表明所有采样井的砷浓度均达到了Ⅲ类水水质要求。采用统计分析方法分析了海河平原区地下水中砷的时空变异特征。结果表明:砷的离散程度和变异系数均较高,在空间上呈现东高西低的趋势,砷浓度高的地区集中在天津、河北的环渤海地区以及河北省中部地区;在时间分布方面,夏季和秋季空间变异性较强,春季空间变异性中等,冬季空间变异性最弱;为预防砷中毒造成的危害,选择地下水开采井位时要避开富砷沉积物,井的上部妥善封闭。

关键词: 地下水; 砷; 时空分布; 海河平原区

中图分类号: X524 文献标识码: A 文章编号: 1672-643X(2017)04-00103-04

Temporal and spatial distribution characteristics of arsenic in groundwater in Haihe River Plain

MIAO Pingping¹, LIU Dewen¹, ZHANG Hao^{2,3}, WANG Huan⁴

(1. Institute of Water Resources Protection, Haihe River Water Conservancy Commission, Tianjin 300170, China; 2. Water Resources Protection Bureau of Haihe River Basin, Tianjin 300170, China; 3. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China; 4. Hebei Research Institute of Investigation & Design of Water Conservancy & Hydropower, Tianjin 300250, China)

Abstract: Groundwater is the main water supply source of Haihe River Plain. In this study, 269 samples were collected from March to November of 2014 in the study area, and the concentration of arsenic was detected. The monitoring data showed that the arsenic concentrations of all the samples met the requirement of Class III water quality. The temporal and spatial variation characteristics of arsenic in groundwater in Haihe River Plain were analyzed by the geostatistic method and the results show that the degree of dispersion and coefficient of variation were high, with the trend which was high in the East and low in the West in space, and areas with high concentrations of arsenic were concentrated in Tianjin, Hebei, Bohai and central Hebei. In the temporal distribution, the spatial variability of summer and autumn was strong, the spatial variability of spring was moderate, and the spatial variability was the weakest in winter. In order to prevent the harm caused by arsenic poisoning, the relevant departments should avoid the arsenic rich sediments when selecting the groundwater exploitation wells and the upper part of the well should be properly closed.

Key words: groundwater; arsenic; temporal and spatial distribution; Haihe River Plain

砷(As)是广泛分布于自然界的类金属元素^[1-2],过量饮用会对人的神经系统和呼吸系统产生危害^[3-4]。据统计,世界上有数以百万计的人口受到砷中毒的威胁。高砷地下水在世界6个大洲、70多个国家均有分布,在亚洲主要集中在孟加拉、

柬埔寨和中国^[5-6]。世界卫生组织(WHO)推荐的饮用水中砷的最大允许浓度为0.01 mg/L^[7],我国《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)^[8]规定的农村小型集中式供水和分散式供水中砷含量限值为0.05 mg/L,《地下水质量标准》(GB/T 14848-

收稿日期:2017-04-19; 修回日期:2017-05-18

基金项目:水利部公益性行业科研专项(201501008)

作者简介:缪萍萍(1986-),女,江苏如皋人,硕士研究生,工程师,主要从事水资源保护工作。

通讯作者:张浩(1986-),男,山东滕州人,博士研究生,工程师,主要从事水资源保护、水环境治理、水生态修复工作。

93)^[9]中Ⅲ类水水质要求砷浓度小于0.05 mg/L。海河平原区涉及北京、天津、河北、河南、山东等省、直辖市,面积 $13.1 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。当地地下水主要赋存于第四系含水岩层第一含水层组^[10]。海河平原农村地区主要以地下水作为主要生活水源,在供水和污水处理设施不完备的条件下,容易引发慢性砷中毒。根据卫生部2003年的地方性砷中毒调查,高砷暴露人口522 566人,查出砷中毒7 821人。北京、河北均发现砷超标现象^[11]。

目前,基于ArcGIS平台的地统计技术和经典统计学相结合,为研究砷含量的空间变异性提供了有效手段^[12]。在对原始数据进行探索性空间分析,采用克里金差值方法能够描述砷在空间上的分异规律^[13]。

1 材料与方法

本研究共布设地下水采样井269个(北京50个,天津15个,河北122个,山东54个,河南28个),采样井在研究区内大体呈均匀分布,采样井密度达到20.5个/100 km²,采样井分布见图1。每个采样井均采集水样2 L,装于4个聚乙烯瓶并密封保存,在48 h内送至海河流域水环境监测中心进行分析。水样采集后在实验室采用离子色谱仪分析,为便于分析砷的季节性变化,监测数据分为4个季度进行分析(3月为冬季、4-5月为春季、6-8月为夏季、9-11月为冬季)。

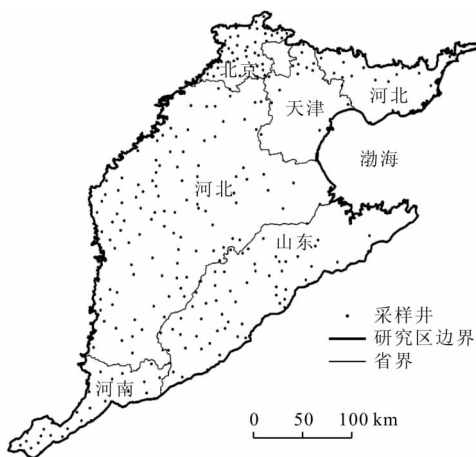


图1 研究区及采样井示意图

半变异函数是地统计学中研究空间变异性的主要工具,可以用来描述土壤、水体等空间性质的连续变异情况,反映不同距离观测值之间的变化^[14]。半变异函数 $r(h)$ 可以表示成和样本值及样本间距离有关的函数:

$$r(h) = \frac{1}{2} \sigma^2 [Z(x+h) - Z(x)] \quad (1)$$

式中: r 为半变异函数; Z 为随机函数; x 为样本值; h 为样本间距。

数据的统计分析采用SPSS软件进行。地统计分析采用ArcGIS10.2平台完成。

2 结果与讨论

2.1 统计特征

根据2014年监测数据,海河平原区地下水砷的浓度在0~0.0426 mg/L的范围内波动,年均值为0.0015 mg/L,所有监测井的监测数据均未超过《地下水质量标准》(GB/T 14848-93)中Ⅲ类水水质限值。全年监测数据的标准差为0.0035,偏态系数为7.316。因此,在研究区范围内,地下水中砷的浓度呈现较强的离散性。将数据做对数转换后,与正态分布做对比,见图2。图2中直线为正态分布,可以看出砷浓度的监测数据在低值和高值两个区域偏离正态分布的程度较大,中间部分数据点近似服从正态分布。

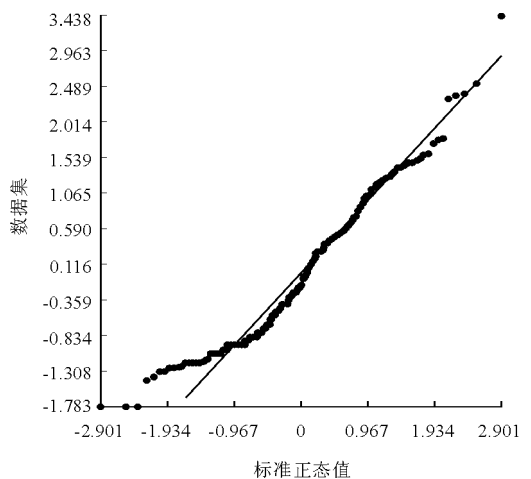


图2 砷浓度监测数据的非正态分布

2.2 空间分布

利用ArcGIS对砷的监测数据进行地统计分析,2014年各采样井砷浓度年均值的块金值为5.063,偏基台值为4.014,表明砷浓度年均值存在空间相关性。为了进一步揭示年均值的空间分布规律,根据研究区地下水中砷浓度年均值绘制空间分布示意图,见图3。地下水砷浓度高的地区集中在天津、河北的环渤海地区以及河北省中部地区。监测浓度在XZ面上的投影呈现上升的趋势(图3绿线),表明砷在研究区域内呈现自西向东的上升趋势。监测浓度在YZ面上的投影无明显趋势(图3蓝线),表明

砷在研究区域南北方向上无明显变化趋势。

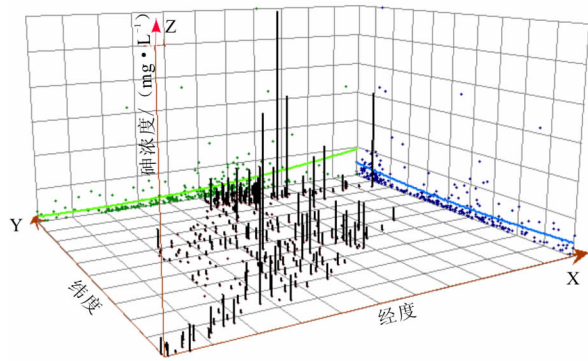


图3 海河平原区地下水中砷浓度空间分布示意图

2.3 时间分布

海河平原区地下水砷浓度季节变化特征见表1。由表1可以看出研究区内地下水砷浓度平均值为0.0012~0.0017 mg/L,季节差异不大。最大值呈

现了较大的季节差异,冬季砷浓度最大值为0.0099 mg/L,春季砷浓度最大值为0.0301 mg/L,夏季和秋季砷浓度最大值分别为0.0424和0.0426 mg/L。利用标准差衡量砷浓度的离散程度,不同季节砷浓度的离散程度均较高,其中冬季略低,夏季最高。

根据地统计分析结果,研究区内地下水砷浓度存在空间变异性,但冬季的空间变异性较弱,冬季的块金值和偏基台值分别为0.5405和0.2601。夏季和秋季砷浓度的空间变异性较强,夏季块金值和偏基台值分别达到8.3747和1.4014,秋季该两项指标的值分别为8.9413和1.3747。春季砷浓度具有中等程度的空间变异性,块金值和偏基台值分别为5.4809和4.1466。

夏季和秋季砷浓度的空间变异性最强,监测值也最高,地下水砷浓度高的地区与年均值的分布规律一致,仍然集中在天津、河北的环渤海地区以及河北省中部地区。

表1 海河平原区地下水砷浓度季节变化特征

季节	平均值/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	最大值/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	最小值/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	标准差/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	块金值	偏基台值
冬季	0.0012	0.0099	0	0.00147	0.5405	0.2601
春季	0.0017	0.0301	0	0.00318	5.4809	4.1466
夏季	0.0017	0.0424	0	0.00444	8.3747	1.4014
秋季	0.0012	0.0426	0	0.00391	8.9413	1.3747

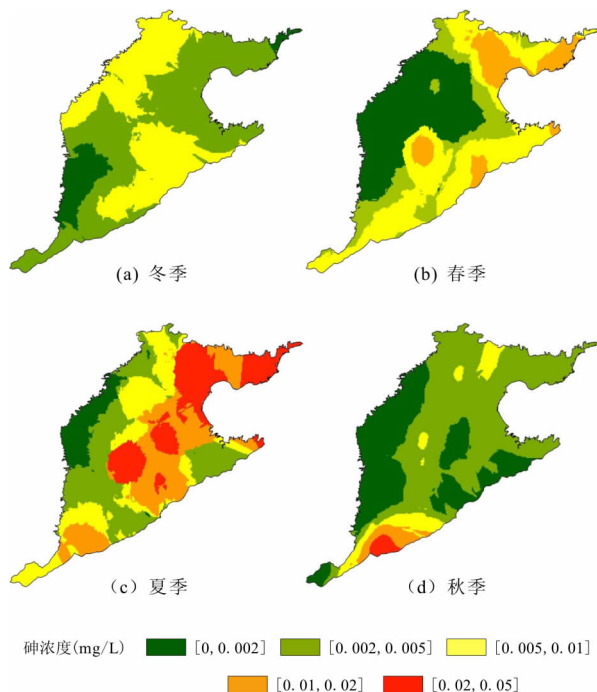


图4 海河平原区地下水中砷的季节变化图

3 结论

(1)根据海河平原区269个采样井2014年的监测,海河平原区地下水中砷平均浓度为0.0015 mg/L,最高浓度为0.0426 mg/L,均达到了《地下水质量标准》(GB/T 14848-93)中规定的Ⅲ类水水质标准。

(2)时间分布方面,研究区内地下水砷浓度在夏季和秋季空间变异性较强,春季空间变异性中等,冬季空间变异性最弱。空间分布方面,地下水砷浓度高的地区集中在天津、河北的环渤海地区以及河北省中部地区。砷浓度在研究区域内呈现自西向东的上升趋势。

(3)为预防砷中毒造成的危害,选择地下水开采井位时要避开富砷沉积物,井的上部妥善封闭。农业灌溉中要避免盐渍化,以减轻地方性砷病。对于砷超标的地下水,可以选用菱铁矿等经济高效的介质材料进行修复^[15-16]。

参考文献:

- [1] 赵凯,郭华明,高存荣. 北方典型内陆盆地高砷地下水的水化学特征及处理技术[J]. 现代地质, 2015, 29(2): 351-360.
- [2] Harvey C F, Swartz C H, Badruzzaman A B, et al. Arsenic mobility and groundwater extraction in Bangladesh [J]. Science, 2002, 298(5598): 1602-1606.
- [3] 史小红,赵胜男,李畅游,等. 乌梁素海水体砷存在形态模拟及影响因素分析[J]. 生态环境学报, 2015, 24(3): 444-451.
- [4] 伯英,罗立强. 内蒙古河套地区水体中砷的地球化学特征[J]. 生态与农村环境学报, 2010, 26(1): 31-34.
- [5] Herath Indika, Vithanage Meththika, Bundschuh Jochen, et al. Natural arsenic in global groundwaters: Distribution and geochemical triggers for mobilization [J]. Current Pollution Reports, 2016, 2(1): 68-89.
- [6] 王靖文,叶恒朋,熊培生,等. 江汉平原高砷地下水区地下水的化学特征及指示[J]. 环境污染与防治, 2014, 36(3): 35-39.
- [7] 朱巍,苏小四,唐雯,等. 松嫩平原地下水中氟、砷含量及其水化学影响因素[J]. 南水北调与水利科技, 2015, 13(3): 553-556.
- [8] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准管理委员会. GB 5749-2006 生活饮用水卫生标准[S]. 北京:中国标准出版社,2006.
- [9] 中国国家技术监督局. GB/T 14848-93 地下水环境质量标准[S]. 中华人民共和国地质矿产部,1993.
- [10] 张兆吉,雒国中,王昭,等. 华北平原地下水资源可持续利用研究[J]. 资源科学, 2009, 31(3): 355-360.
- [11] 金银龙,梁超轲,何公理,等. 中国地方性砷中毒分布调查(总报告)[J]. 卫生研究, 2003, 32(6): 519-540.
- [12] 师荣光,赵玉杰,周启星,等. 苏北优势农业区土壤砷含量空间变异性研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(1): 80-84.
- [13] 张慧,付强. 松嫩平原北部土壤砷水平空间分异及影响因素研究[J]. 东北农业大学学报, 2012, 43(8): 114-119.
- [14] 刘春华,张光辉,杨丽芝,等. 黄河下游鲁北平原地下水砷浓度空间变异特征与成因[J]. 地球学报, 2013, 34(4): 470-476.
- [15] 陈寻峰,李小明,陈灿,等. 砷污染土壤复合淋洗修复技术研究[J]. 环境科学, 2016, 37(3): 1147-1155.
- [16] 杨芬,朱晓东,韦朝阳. 陆地水环境中砷的迁移转化[J]. 生态学杂志, 2015, 34(5): 1448-1455.

喜 讯

《水资源与水工程学报》被中国科学引文数据库(Chinese Science Citation Database,简称CSCD)收录为2017-2018年度来源期刊。2017年又被中国科学评价中心(RCCE)、武汉大学图书馆和中国科教评价网联合完成的第五版《中国学术期刊评价报告(2017-2018)》评价为A类核心期刊。