

宿州市新汴河重金属污染特征及其生态风险分析

姜晓庆¹, 彭位华^{1,2*}, 余伶俐¹, 陈然¹, 刘佳利¹, 赵雪蓉¹, 孙文波¹

¹宿州学院资源与土木工程学院, 安徽 宿州

²矿井水资源化利用安徽普通高校重点实验室(宿州学院), 安徽 宿州

Email: *pengwei huapwh@126.com

收稿日期: 2021年7月19日; 录用日期: 2021年8月16日; 发布日期: 2021年8月26日

摘要

为研究宿州新汴河水环境重金属污染特征及其生态风险, 2019年12月至2020年11月期间对新汴河9个样点进行了连续采集分析。在测定六种重金属(As, Cd, Cu, Cr, Pb, Zn)的基础上, 分别采用内梅罗综合污染指数和商值法对重金属污染水平及其生态危害风险进行评价。结果表明: 新汴河六种重金属总体含量较低, 含量依次为As ($5.40 \pm 3.65 \mu\text{g/L}$) > Zn ($3.20 \pm 1.74 \mu\text{g/L}$) > Cu ($0.88 \pm 0.75 \mu\text{g/L}$) > Cr ($0.14 \pm 0.07 \mu\text{g/L}$) \geq Pb ($0.10 \pm 0.08 \mu\text{g/L}$) > Cd ($0.03 \pm 0.03 \mu\text{g/L}$)。与《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002) III类水质限值相比, 所测重金属含量均未超标, 重金属平均污染情况均为安全风险水平; 但与《生活饮用水卫生标准》(GB 5749-2006)相比, As超标占比8.3%; 风险商值(RQ)计算结果表明: 六种重金属RQ由大到小依次为: Cu (0.419 ± 0.357) > As (0.106 ± 0.072) > Zn (0.101 ± 0.055) > Cr (0.061 ± 0.033) > Pb (0.008 ± 0.007) > Cd (0.004 ± 0.004), 其中Cu、As和Zn的RQ均值为中度生态风险(RQ > 0.1), RQ超过0.1的占比分别为98.1%、43.5%和46.3%。鉴于Cu的RQ在8月达到峰值(0.941), 其在夏季的生态风险更应引起重视。

关键词

重金属, 生态风险评价, 内梅罗污染指数, 商值法, 新汴河

Pollution Characteristics and Ecological Risk of Heavy Metals in Xinbian River of Suzhou

Xiaoqing Jiang¹, Weihua Peng^{1,2*}, Linghui Yu¹, Ran Chen¹, Jiali Liu¹, Xuerong Zhao¹, Wenbo Sun¹

¹School of Resources and Civil Engineering, Suzhou University, Suzhou Anhui

²Key Laboratory of Mine Water Resource Utilization of Anhui Higher Education Institutes, Suzhou University, Suzhou Anhui

Email: *pengwei huapwh@126.com

作者简介: 彭位华, 安徽临泉人, 出生于1984年10月, 博士, 副教授, 主要从事重金属污染化学与生物修复教科研工作。

*通讯作者。

文章引用: 姜晓庆, 彭位华, 余伶俐, 陈然, 刘佳利, 赵雪蓉, 孙文波. 宿州市新汴河重金属污染特征及其生态风险分析[J]. 水资源研究, 2021, 10(4): 416-425. DOI: 10.12677/jwrr.2021.104045

Received: Jul. 19th, 2021; accepted: Aug. 16th, 2021; published: Aug. 26th, 2021

Abstract

To study the pollution characteristics of heavy metals and their ecological risk in Xinbian River of Suzhou city, nine samples were collected and analyzed continuously from December 2019 to November 2020. Based on the measurement of six heavy metals (As, Cd, Cu, Cr, Pb and Zn), the Nemerow comprehensive pollution index and the quotient method were used to evaluate the pollution level and ecological hazard risk of heavy metals, respectively. The results show that the total contents of six heavy metals in Xinbian River are low, and the contents are As ($5.40 \pm 3.65 \mu\text{g/L}$) > Zn ($3.20 \pm 1.74 \mu\text{g/L}$) > Cu ($0.88 \pm 0.75 \mu\text{g/L}$) > Cr ($0.14 \pm 0.07 \mu\text{g/L}$) \geq Pb ($0.10 \pm 0.08 \mu\text{g/L}$) > Cd ($0.03 \pm 0.03 \mu\text{g/L}$). Compared with Class III level of the Environmental Quality Standard for Surface Water (GB 3838-2002), the content of the selected heavy metals do not exceed the standard, and the average pollution of heavy metals is at safety risk level. However, when compared with the Standard for Drinking Water Quality (GB 5749-2006), the exceeding proportion of As is 8.3%. The results of risk quotient value (RQ) showed that the RQ of the six heavy metals from the largest to the smallest is: Cu (0.419 ± 0.357) > As (0.106 ± 0.072) > Zn (0.101 ± 0.055) > Cr (0.061 ± 0.033) > Pb (0.008 ± 0.007) > Cd (0.004 ± 0.004). The mean RQ of Cu, As and Zn belong to the medium ecological risk level (RQ > 0.1), and the RQ > 0.1 proportion of these there heavy metals accounted for 98.1%, 43.5% and 46.3%, respectively. Since the RQ of Cu reaches its peak in August (0.941), the ecological risk of Cu should be paid more attention in summer.

Keywords

Heavy Metals, Ecological Risk Assessment, Nemerow Pollution Index, Quotient Value Method, Xinbian River

Copyright © 2021 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着城市化和工业化进程加快,城市水体普遍面临不同程度的水环境污染,主要污染物包括氮、磷、有机化合物和重金属[1]。一些重金属(如砷、镉、铬、铜、汞、铅、镍和锌)具有难降解、生物积累性和食物链放大等效应,对水生生物和水体生态环境健康危害较大[2][3]。若用重金属含量过高的地表水灌溉农田,会造成农作物中重金属富集,甚至通过食物链对人体健康产生风险。尤其是当地表水作为生活饮用水水源地时,水质重金属污染更是事关人们的日常饮水安全。因此,地表水重金属污染及其生态风险受到社会和学者的广泛关注。

宿州市位于安徽省北部,介于东经 $116^{\circ}09' \sim 118^{\circ}10'$ 、北纬 $33^{\circ}18' \sim 34^{\circ}38'$ 之间,是国家规划的13个大型煤炭基地之一,煤炭探明储量 $60 \times 10^8 \text{ t}$,占淮北煤田储量的75%以上[4]。地下水是宿州市目前唯一饮用水水源地,近年来随着经济社会发展和人口增加,长期使用地下水已造成地下水沉降和地下漏斗的形成,水资源短缺的现象日益显露。当前,相关部门拟通过新建第四水厂来缓解水资源量不足的现状。第四水厂水源拟采用淮水北调及新汴河水。据悉,第四水厂的水源工程取水头部就位于新汴河引河段,此河段正是本研究所关注的河段。前人针对新汴河的研究主要集中于水化学特征、水质的评价[5]和水文过程[6],以及基础水质污染评价、底泥沉积物重金属污染、非金属各项指标测定分析评价等,如余铭明等[7]通过测定总氮、总磷、化学需氧量、氨氮、叶绿素a等对新汴河水水质现状开展了评价;吴明鑫等[8]对新汴河流域周边深层和表层的土壤重金属含量特征进行污染评价;李其华等[9]综合1980年至2000年的历史水质资料对新汴河流段的氨氮、亚硝酸盐氮、耗氧量等水

质指标进行污染分析;余永琪等[10]运用了地累积指数法和综合指数法对新汴河的底泥重金属污染程度和分布特征进行评价。从目前研究现状来看,针对新汴河重金属年内污染特征以及生态风险的研究尚不多见。

基于此,本研究在新汴河拟建地表水取水头部附近布设了 9 个采样点,开展了为期一整年的连续采集和分析。重点测定水体中六种主要重金属(As, Cd, Cu, Cr, Pb, Zn)的含量,并利用内梅罗综合污染指数法和商值法相结合的方法对新汴河水体重金属污染状况及其生态风险进行了评价。主要目的包括:1) 探究新汴河六种重金属的时间和空间变化特征,及其可能影响因素;2) 通过综合污染评价和生态风险评价,筛选出优控污染物。研究成果可为区域水环境污染防治及管理提供参考。

2. 材料与方法

2.1. 研究区概况

新汴河位于安徽淮北平原、淮河北岸,横贯皖、苏两省,是安徽省宿州市和江苏省宿迁市泗洪县境内的一条当代人工河流,属于淮河流域洪泽湖水系。新汴河 1966 年 10 月动工兴建,1970 年竣工,主要用于解决外洪内涝灾害,兼顾农业灌溉与航运开发。宿州地表水系统相对发达,区域内河流众多,最大的是新汴河,其次是沱河[6]。新汴河全长 127.2 公里,西起自安徽省宿州市西北的威岭子,经灵璧县、泗县、江苏省泗洪县,于洪泽湖西缘注入洪泽湖西端的溧河洼[11]。新汴河为沿河地区的灌溉、航运、供水、水产养殖提供了水源,改善了生态环境。

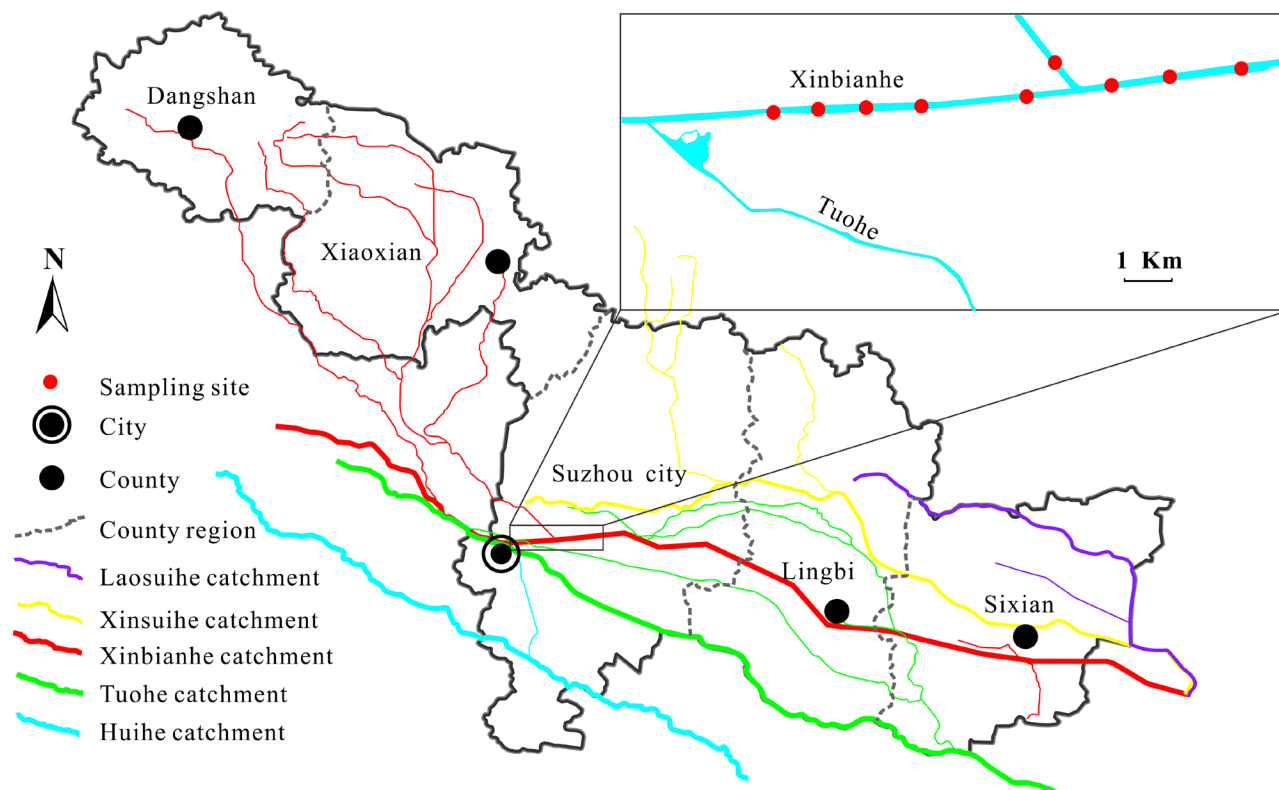


Figure 1. Location of study area and sampling points

图 1. 研究区及采样点位置图

2.2. 样品采集与分析

2.2.1. 样品采集

根据新汴河干流及主要支流的环境特点和水文基本特征,本次监测设置了 9 个采样点断面(图 1),于 2019

年 12 月至 2020 年 11 月每月中旬定点采样一次, 严格按照《地表水和污水监测技术规范》(HJ/T91-2002) 进行水样的采样、预处理、保存等。每个采样点用清洗干净的直立式采水样器在水面下 0.5 m 处采集水样, 储存于润洗过三次的聚乙烯瓶中密封保存。现场测试指标有: 温度(T)、溶解氧(DO)、溶解性固体总量(TDS)、电导率(EC)、pH、氧化还原电位(ORP)。

2.2.2. 样品分析

所采水样于 24 小时内带回实验室, 经 0.45 μm 水系微孔滤膜过滤后, 调 $\text{pH} < 2$ 。样品分析采用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS, Shimadzu ICPMS-2030LF)来测定水样中 As、Cu、Cd、Cr、Pb、Zn 等六种重金属的浓度。水样标准 GBW (E) 081531 用于质量控制。As、Cd、Cr、Cu、Pb 和 Zn 的回收率分别为 97.3%、99.5%、95.1%、89.9%、99.6% 和 94.6%。平行样品之间的标准偏差小于 5%, 标准物质测试值与实际值的误差小于 5%, 结果满足质量控制要求[12]。

2.3. 水体重金属污染水平分析

采用内梅罗综合污染指数法对重金属污染水平进行分析。首先根据重金属含量的实测值求出对应的单因子污染指数, 然后再计算得出相应的多因子综合污染指数。该方法能够反映水体重金属污染的现状以及各种重金属对复合污染的不同贡献, 并能甄别出主要污染物, 是水体重金属污染评价的常用方法[13]。单因子污染指数和多因子综合污染指数计算过程分别见式(1)和式(2):

$$P_i = C_i / S_i \quad (1)$$

$$P_n = \sqrt{\frac{\max(P_i)^2 + \text{ave}(P_i)^2}{2}} \quad (2)$$

式中, P_i 为各重金属的单因子污染指数; P_n 为金属多因子综合污染指数; C_i 为重金属 i 的实测的浓度; S_i 为相应的水质标准, 其采用 GB 3838-2002 中的 III 类水质标准作为参比($\text{Cu} = 1.0$, $\text{As} = 0.05$, $\text{Cr} = 0.05$, $\text{Cd} = 0.005$, $\text{Pb} = 0.05$, $\text{Zn} = 1.0$) [14]; $\max(P_i)$ 为重金属的单因子污染指数的最大值; $\text{ave}(P_i)$ 为重金属单因子污染指数的平均值。水体中重金属的污染评价结果分级标准列于表 1。

Table 1. Evaluation standard of heavy metal pollution
表 1. 重金属污染评价标准

P_i	P_n	污染程度
$P_i \leq 1$	$P_n \leq 0.7$	安全
$1 < P_i \leq 2$	$0.7 < P_n \leq 1$	警戒
$2 < P_i \leq 3$	$1 < P_n \leq 2$	轻度污染
$P_i > 3$	$P_n > 2$	高度污染

2.4. 水体重金属生态风险评价

本文采用使用较为广泛的熵值法对研究区水中重金属生态风险开展评价。商值法, 又称比率法, 用于确定某一特定的环境污染水平是否有生态学相关意义, 是一种依据重金属各指标所包含的信息量的大小来确定决策指标权重的客观赋值法[15]。商值法是把实际监测或由模型估算出的环境暴露浓度(Environment Exposure Concentration, EEC)与表征该物质危害程度的毒性数据(亦称毒性终点值, 如 LC_{50} 值, EC_{50} 值等)相比较[16], 计算过程见式(3):

$$RQ = HMC/TOX \quad (3)$$

式中, HMC 为水体中重金属含量($\mu\text{g/L}$); TOX 为毒性参考值, 通常采用 HC5 值作为毒性参考值[17], 本文选用的 Cr、Cd、Cu、Zn 和 Pb 的 HC5 参考值分别为 2.29 $\mu\text{g/L}$ 、7.76 $\mu\text{g/L}$ 、2.09 $\mu\text{g/L}$ 、31.62 $\mu\text{g/L}$ 和 12.59 $\mu\text{g/L}$ [18], As 的 HC5 参考值为 50.83 $\mu\text{g/L}$ [19]。熵值法的评价结果的分级标准列于表 2。

Table 2. Evaluation index of ecological hazard by quotient method

表 2. 商值法生态危害评价指标

风险商值 RQ	RQ < 0.1	0.1 ≤ RQ ≤ 1.0	RQ > 1.0
生态危害	较低	存在一定风险	偏高

2.5. 数据处理与分析

本研究采用 Excel 2016 对六种重金属进行最大值、最小值、平均值等统计值的计算。数据图形绘制, 其中包括重金属污染特征展现分布和生态风险指数空间分布主要由 OriginPro 8 完成。

3. 结果与讨论

3.1. 重金属含量测试结果

新汴河流域中六种重金属测试分析结果列于表 3。As、Cd、Cr、Cu、Pb 和 Zn 平均含量分别为 $5.40 \pm 3.65 \mu\text{g/L}$ 、 $0.03 \pm 0.03 \mu\text{g/L}$ 、 $0.14 \pm 0.07 \mu\text{g/L}$ 、 $0.88 \pm 0.75 \mu\text{g/L}$ 、 $0.10 \pm 0.08 \mu\text{g/L}$ 和 $3.20 \pm 1.74 \mu\text{g/L}$, 大小依次为 As > Zn > Cu > Cr ≥ Pb > Cd。所有测试项目均低于《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002) III 类水质限值。然而, 在 108 份样品中, 有 9 份(占 8.3%)的 As 含量超过了《生活饮用水卫生标准》(GB 5749-2006)和世界卫生组织《饮用水质量指南》(世界卫生组织, 2017 年)的指导值(10 $\mu\text{g/L}$)。这些测试分析结果表明, 若新汴河作为宿州市生活饮用水水源地时, 应对 As 进行污染防控。

表 3 还列出了本研究河段与省内巢湖、淮南段淮河、蚌埠段淮河、太湖以及宿州市朱仙庄镇产煤区附近的重天湖和矿北部河水的重金属含量的对比情况。本研究河段 As 明显高于巢湖、淮河(安徽段)、重天湖以及矿北部河水; Cd 高于淮河淮南段和蚌埠段, 低于巢湖、太湖以及产煤区的重天湖和矿北部河水; Cr 仅低于蚌埠段淮河, 与其他水系差距不大; 巢湖和太湖水系中 Cu 高于本研究河段; 朱仙庄的产煤区重天湖和矿北部河水的 Pb 远高于本研究河段和省内其他水系中的重金属浓度。

Table 3. Test results of heavy metals in Xinbian River and comparison from publications

表 3. 新汴河重金属测试结果及对比情况

重金属	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn
浓度范围	1.55~16.20	0.00~0.11	0.00~0.42	0.06~7.85	0.01~0.47	0.61~9.39
均值(n = 108)	5.40	0.03	0.14	0.88	0.10	3.20
标准偏差	3.65	0.03	0.07	0.75	0.08	1.74
GB 3838-2002 (III) ^a	50	5	50	1000	50	1000
GB 5749-2006 ^b	10	5	50	1000	10	1000
巢湖[20]	3.735	0.088	-	1.494	1.484	-
淮河(淮南段) [21]	0.141	0.011	0.147	0.153	0.121	-

Continued

淮河(蚌埠段) [21]	0.097	0.008	0.079	0.118	0.071	-
太湖[22]	10.40	1.03	-	5.72	3.84	-
重天湖[23]	1.70	5.22	3.20	-	30.95	-
矿北部河水[23]	0.52	4.76	2.33	-	30.99	-

注: ^a 《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002, III 水质标准); ^b 《生活饮用水卫生标准》(GB 5749-2006)。

3.2. 重金属污染评价结果

研究河段重金属污染评价结果按采样时间统计列于表 4。1 月份至 5 月份各重金属的平均单因子污染指数 $As > Cd > Zn > Pb > Cr > Cu$; 12 月份和 6 月份各重金属的污染情况为 $As > Cd > Zn > Cr > Pb > Cu$; 从 7 月份开始, Cd 平均污染水平明显下降, 7 月份至 11 月份各重金属的平均污染情况为 $As > Cr > Zn > Pb > Cu > Cd$; 全年的新汴河地表水重金属平均污染情状况, 处于安全水平, 最大值也处于安全水平。 As 在六种重金属中单因子污染指数值最高。从多因子综合污染指数(P_n)来看, 六种重金属的全年潜在风险指数值 P_n 在 0.023~0.232 范围, 其中 As 的 P_n 最高, 但未超出警戒线水平, 整体处于安全水平, 无污染风险。前人研究宿州市矿区地表水, 结果显示重天湖和矿北部河水 P_n 为 0.7~1.0, 属于中度污染水体[23]。

Table 4. Calculation results of heavy metal pollution index in surface water of Xinbian River

表 4. 新汴河地表水中重金属污染指数计算结果

季节	月份	统计值	Pi						Pn	
			As	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	范围	均值
冬季	12 月	范围	0.048~0.073	0.012~0.014	0.000~0.004	0.001~0.001	0.001~0.002	0.003~0.005	0.035~0.053	0.046
		均值	0.064	0.013	0.002	0.001	0.001	0.004		
	1 月	范围	0.037~0.048	0.012~0.014	0.000~0.006	0.000~0.001	0.001~0.003	0.003~0.004	0.027~0.035	0.032
		均值	0.044	0.012	0.002	0.001	0.002	0.003		
	2 月	范围	0.031~0.036	0.012~0.014	0.001~0.003	0.000~0.001	0.002~0.005	0.003~0.009	0.023~0.026	0.024
		均值	0.033	0.012	0.002	0.001	0.003	0.005		
春季	3 月	范围	0.039~0.055	0.011~0.013	0.001~0.008	0.001~0.001	0.002~0.006	0.002~0.005	0.028~0.040	0.033
		均值	0.046	0.012	0.003	0.001	0.003	0.003		
	4 月	范围	0.051~0.108	0.011~0.013	0.001~0.002	0.000~0.001	0.001~0.009	0.002~0.008	0.037~0.078	0.052
		均值	0.072	0.012	0.002	0.001	0.004	0.004		
	5 月	范围	0.100~0.127	0.011~0.023	0.000~0.003	0.000~0.001	0.001~0.006	0.002~0.006	0.072~0.091	0.083
		均值	0.115	0.013	0.001	0.001	0.002	0.004		
夏季	6 月	范围	0.122~0.130	0.006~0.012	0.002~0.005	0.000~0.001	0.001~0.003	0.002~0.005	0.088~0.094	0.090
		均值	0.126	0.007	0.003	0.001	0.002	0.004		
	7 月	范围	0.123~0.152	0.000~0.001	0.003~0.008	0.001~0.001	0.000~0.001	0.003~0.008	0.089~0.109	0.098
		均值	0.137	0.000	0.005	0.001	0.001	0.005		
	8 月	范围	0.276~0.324	0.000~0.001	0.003~0.005	0.001~0.008	0.001~0.008	0.001~0.008	0.198~0.232	0.222
		均值	0.310	0.000	0.004	0.002	0.002	0.003		

Continued

9月	范围	0.138~0.190	0.000~0.001	0.002~0.004	0.001~0.001	0.000~0.007	0.001~0.003	0.099~0.136	0.119
	均值	0.166	0.000	0.003	0.001	0.001	0.001		
秋季 10月	范围	0.083~0.118	0.000~0.000	0.002~0.005	0.001~0.001	0.001~0.005	0.001~0.002	0.060~0.085	0.070
	均值	0.098	0.000	0.004	0.001	0.002	0.002		
11月	范围	0.069~0.108	0.000~0.001	0.003~0.005	0.001~0.002	0.001~0.004	0.001~0.002	0.050~0.078	0.063
	均值	0.088	0.000	0.003	0.001	0.002	0.001		

为进一步探究重金属时间变化特征,对单项污染指数最高的As进行了时间变化特征分析(图2)。由图2可知,夏季As污染能力显著上升,春季和冬季变化缓慢;由春季过渡到夏季,As污染指数持续升高,并在8月份达到年内峰值,可探究As污染程度与夏季气候等因素的相关关系。

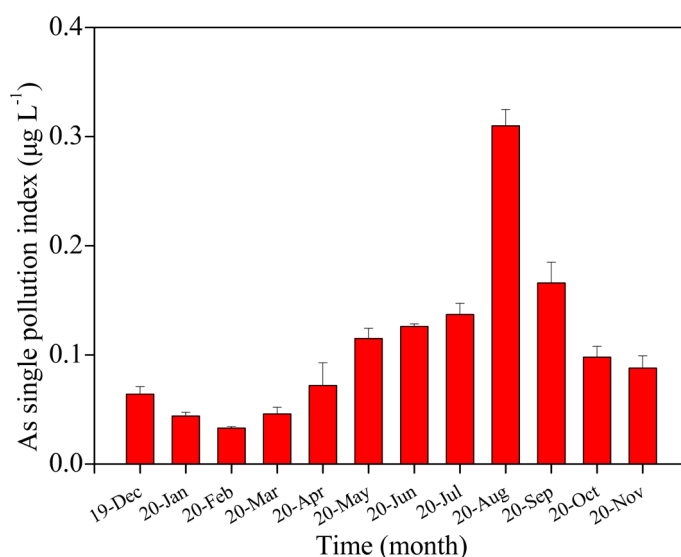


Figure 2. Single factor pollution index of arsenic with seasonal variation
图2. 砷单因子污染指数随季节变化图

前人的研究表明,夏季地表水中重金属总浓度降低是由于季风气候导致的强降雨造成的稀释效应[24]。但是,有部分研究发现,重金属含量随季节变化总体呈现枯水期高于丰水期[25]。有研究表明As的积累通常被归因于农药、除草剂的使用[26]。此外,也有研究指出农用化肥也使As含量增多[27]。随着雨季降雨量增大,导致地表径流增加,更多的As以及其他相关的有毒物质迁移到水体中[28]。宿州市是煤炭资源型城市,煤炭在开采和运输加工过程中产生煤灰以及工业废水,砷是煤中有害的砷,可能与煤燃烧有关,工业生产可能通过大气沉积在附近的河流中富集As[29]。因此,夏季周边环境中高频率的农业活动、雨季的强降雨量以及煤矿城市的煤炭生产活动可能是该研究河段夏季As浓度增加的主要原因。

3.3. 重金属生态风险评价

从时间变化特征看,研究河段六种重金属的风险商值(RQ)变化如图3(a)~图3(f)所示。一年中的各重金属的RQ变化在0~0.941之间。Cd、Pb的RQ均低于0.1,全年处于低生态风险状态。As的RQ在5月至9月中超过0.1,达到中度生态风险,在8月前RQ先降低后升高,8月后逐渐降低(图3(a));Cd在7月至11月的RQ为六种重金属中全年RQ最低(图3(b));Cu的RQ全年均在0.1以上,属于中度生态风险,并在8月显著升高达到峰值(0.941),趋近

于高生态风险($RQ \geq 1$) (图 3(d)); Zn 的 RQ 在 8 月前均大于 0.1, 处于中生态风险值范围, 8 月后逐渐降低(图 3(f))。

从空间变化特征看, 研究河段六种重金属的风险商值变化如图 3(g)~图 3(l)所示。各重金属在九个采样点的 RQ 在 0~0.623 之间。Cd、Cr 和 Pb 随空间分布变化的 RQ 波动不大, 均为低生态风险; As 在各采样点的平均商值, 均略大于 0.1, 属于中度生态风险, 且整体波动不大; Cu 的 RQ 随采样点变化整体波动不大, 均明显大于 0.1, 达到中度生态风险, 且在 S2 达到峰值(0.623) (图 3(j)); Zn 的 RQ 在中度生态风险值(0.1)上下小范围浮动, 其中在 S5 中明显高于 0.1 (图 3(l))。

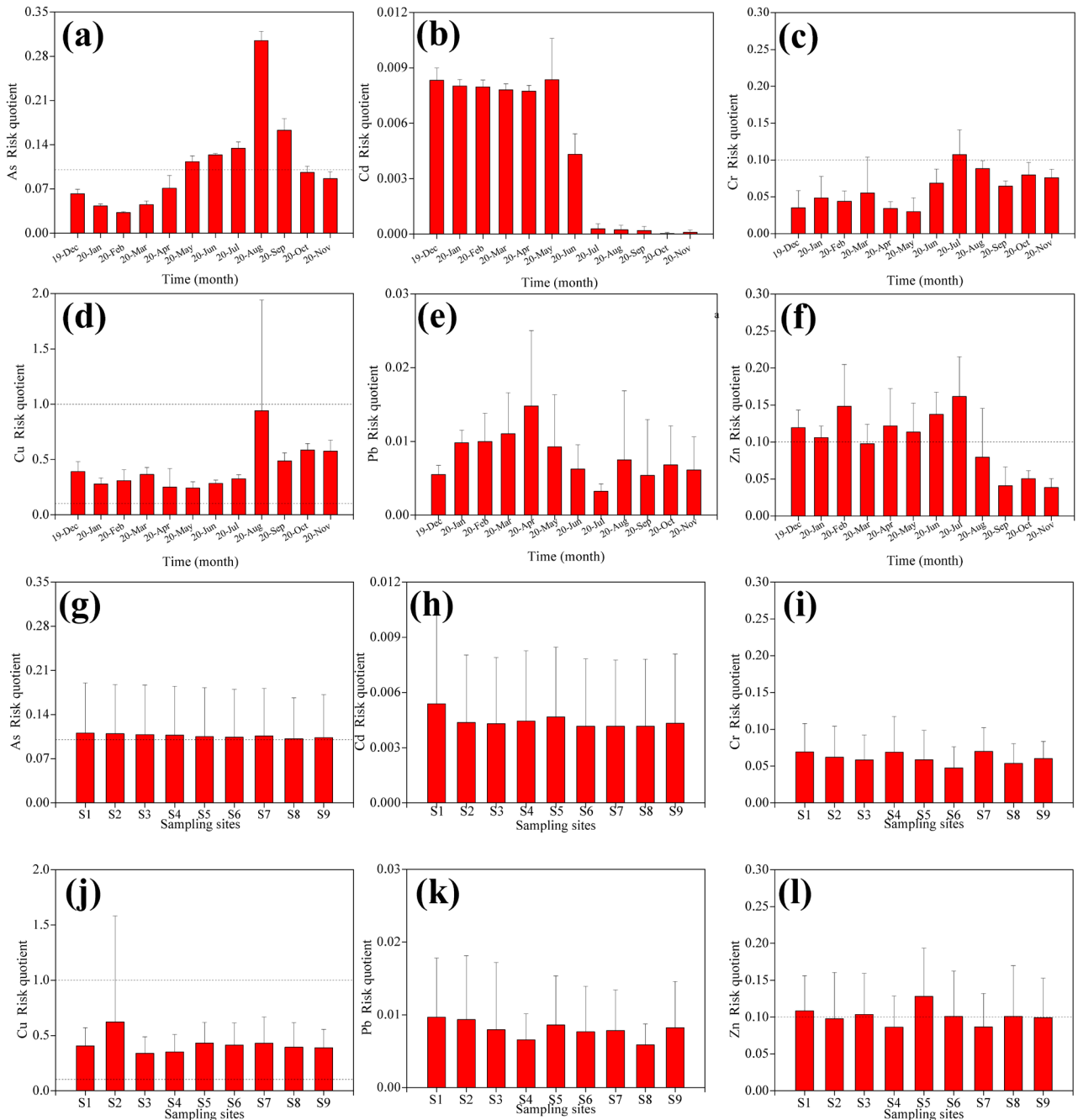


Figure 3. Ecological risk of heavy metals with sampling time (a)~(f) and sampling place (g)~(l)

图 3. 重金属生态风险评价结果随采样时间(a)~(f)和采样地点(g)~(l)的变化

商值法生态风险评价结果总体表明,与 Cd、Cr 和 Pb 相比,As、Cu 和 Zn 三种重金属对研究河段造成的可能生态风险相对较高。宿州市虽然有丰富的煤炭资源,但是同时也是典型的农业大市。而研究表明,农业活动(如肥料/杀虫剂/除草剂/杀菌剂)是土壤环境 As、Cu 和 Zn 的重要来源之一[26] [27] [28] [29]。可见,我们在关注工业活动对地表水环境影响的同时,还应结合实地情况关注重金属的农业面源带来的污染。

4. 结论

1) 新汴河中 As、Cd、Cu、Cr、Pb、Zn 总体含量较低,大小依次为 $As > Zn > Cu > Cr \geq Pb > Cd$; 与《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002) III 类水质限值相比,所测重金属含量均未超标;但与《生活饮用水卫生标准》(GB 5749-2006)相比,As 超标率为 8.3%;研究河段作为生活饮用水源地,应加强对 As 的监控与风险管理。

2) 新汴河六种重金属全年平均污染水平均处于安全风险水平,主要贡献因子是 As,其次是 Cd。

3) 六种重金属生态风险由大到小依次为: $Cu > As > Zn > Cr > Pb > Cd$,其中 Cu、Zn、As 达到中度生态风险分别占比 98.1%、46.3%和 43.5%。鉴于 Cu 的 RQ 在 8 月达到峰值(0.941),其在夏季的生态风险应引起重视。

基金项目

本研究得到安徽省省级大学生创新训练划项目(201910379165)、国家级大学生创新训练项目(202010379016)、安徽省高校优秀青年人才支持计划重点项目(gxyqZD2021134)和宿州学院博士科研启动基金项目(2019jb15)的支持。

参考文献

- [1] QU, J., FAN, M. The current state of water quality and technology development for water pollution control in China. *Critical Reviews in Environmental Science & Technology*, 2010, 40(6): 519-560. <https://doi.org/10.1080/10643380802451953>
- [2] SCHWARZENBACH, R. P., EGLI, T., HOFSTETTER, T. B., et al. Global water pollution and human health. *Annual Review of Environment & Resources*, 2010, 35: 109-136.
- [3] CANPOLAT, Ö., VAROL, M., OKAN, Ö. Ö., et al. A comparison of trace element concentrations in surface and deep water of the Keban Dam Lake (Turkey) and associated health risk assessment. *Environmental Research*, 2020, 190: 110012.
- [4] 林曼利, 桂和荣, 彭位华, 等. 煤炭资源型城市街尘重金属污染特征及其生态风险——以宿州市为例[J]. *地球与环境*, 2017, 45(2): 185-192.
LIN Manli, GUI Herong, PENG Weihua, et al. Heavy metal pollution characteristics and ecological risk of street dust in coal resource-based cities: A case study of Suzhou. *Earth and Environment*, 2017, 45(2): 185-192. (in Chinese)
- [5] JIANG, Y., GUI, H., YU, H., et al. Hydrochemical characteristics and water quality evaluation of rivers in different regions of cities: A case study of Suzhou city in Northern Anhui Province, China. *Water*, 2020, 12(4): 950. <https://doi.org/10.3390/w12040950>
- [6] CHEN, K., SUN, L. and TANG, J. Hydrochemical differences between river water and groundwater in Suzhou, Northern Anhui Province, China. *Open Geosciences*, 2020, 12(1): 1421-1429. <https://doi.org/10.1515/geo-2020-0203>
- [7] 余铭明, 李致春, 李前伟, 等. 煤炭型城市城区河流水体水质现状评价与分析——以宿州新汴河为例[J]. *西昌学院学报*, 2020, 34(2): 55-61.
YU Mingming, LI Zhichun, LI Qianwei, et al. Evaluation and analysis of water quality status of urban river in coal-type city: A case study of Xinbian River in Suzhou. *Journal of Xichang University*, 2020, 34(2): 55-61. (in Chinese)
- [8] 吴明鑫, 马杰, 王森森, 等. 水利区周边土壤重金属含量特征及污染评价——以宿州市新汴河为例[J]. *海峡科技与产业*, 2019(5): 34-43.
WU Mingxin, MA Jie, WANG Sensen, et al. Heavy metal content characteristics and pollution evaluation of soil surrounding water conservancy area: A case study of Xinbian River in Suzhou city. *Strait Technology and Industry*, 2019(5): 34-43. (in Chinese)
- [9] 李其华. 新汴河宿州市段水质污染情况调查与分析[J]. *宿州师专学报*, 2003, 18(2): 63-64.
LI Qihua. Research and analysis of water pollution of Xinbian River of Suzhou city. *Journal of Suzhou Teachers College*, 2003, 18(2): 63-64. (in Chinese)
- [10] 余永琪, 冯松宝. 宿州新汴河底泥重金属分布特征及污染评价[J]. *西部资源*, 2018(3): 123-126.
YU Yongqi, FENG Songbao. Distribution characteristics and pollution assessment of heavy metals in sediments of Xinbian River, Suzhou. *Western Resources*, 2018(3): 123-126. (in Chinese)

- [11] 王飞. 新汴河水利工程信息化管理系统研究与实现[J]. 陕西水利, 2020(5): 143-145.
WANG Fei. Research and implementation of information management system of water conservancy projects in the Xinbian River. Shaanxi Water Resources, 2020(5): 143-145. (in Chinese)
- [12] 丁婷婷, 杜士林, 王宏亮, 等. 嘉兴市河网重金属污染特征及生态风险评价[J]. 环境化学, 2020, 39(2): 500-511.
DING Tingting, DU Shilin, WANG Hongliang, et al. Pollution characteristics and ecological risk assessment of heavy metals in Jiaxing River network, Zhejiang Province. China Environmental Chemistry, 2020, 39(2): 500-511. (in Chinese)
- [13] 吴学丽, 杨永亮, 汤奇峰, 等. 沈阳河水、地下水及沉积物中重金属的生态风险评价及来源辨析[J]. 生态学杂志, 2011, 30(3): 438-447.
WU Xueli, YANG Yongliang, TANG Qifeng, et al. Ecological risk assessment and origin analysis of heavy metals in river water, groundwater and sediment in Shenyang. Chinese Journal of Ecology, 2011, 30(3): 438-447. (in Chinese)
- [14] 国家环境保护总局. 地表水环境质量标准(GB3838-2002) [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
State Environmental Protection Administration. Environmental quality standard for surface water (GB3838-2002). Beijing: China Environmental Science Press, 2002. (in Chinese)
- [15] 曹洪法, 沈英娃. 生态风险评价研究概述[J]. 环境化学, 1991, 10(3): 26-30.
CAO Hongfa, SHEN Yingwa. Review of ecological risk assessment. Environmental Chemistry, 1991, 10(3): 26-30. (in Chinese)
- [16] CHENG, Y., ZHOU, J. and SHAN, Z. Progress of study on aquatic ecological risk assessment of pesticides in USA. Chinese Journal of Pesticide Science, 2005, 7(4): 293-298.
- [17] SÁNCHEZ-BAYO, F., BASKARAN, S. and KENNEDY, I. R. Ecological relative risk (EcoRR): Another approach for risk assessment of pesticides in agriculture. Agriculture Ecosystems & Environment, 2002, 91(1-3): 37-57.
- [18] 刘昔, 王智, 王学雷, 等. 应用物种敏感性分布评价中国湖泊水体中重金属污染的生态风险[J]. 湖泊科学, 2018, 30(5): 1206-1217.
LIU Xi, WANG Zhi, WANG Xuelei, et al. Assessment of ecological risk of heavy metal pollution in lakes in China using species sensitivity distribution. Journal of Lake Sciences, 2018, 30(5): 1206-1217. (in Chinese)
- [19] LIU, Y., WU, F., MU, Y., et al. Setting water quality criteria in China: Approaches for developing species sensitivity distributions for metals and metalloids. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, 2014, 230: 35-57.
- [20] 施阳. 巢湖表层水体中砷及重金属分布特征、风险评价及来源[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 安徽医科大学, 2018.
SHI Yang. Distribution characteristics, risk assessment and sources of arsenic and heavy metals in surface water of Chaohu Lake. Hefei: Anhui Medical University, 2018. (in Chinese)
- [21] 严睿文, 李玉成. 淮河安徽段水及沉积物中重金属的研究[J]. 生物学杂志, 2010, 27(2): 74-79.
YAN Ruiwen, LI Yucheng. Study on heavy metals in water and sediment of Anhui section of Huaihe River. Chinese Journal of Biology, 2010, 27(2): 74-79. (in Chinese)
- [22] 王伟, 樊祥科, 黄春贵, 等. 江苏省五大湖泊水体重金属的监测与比较分析[J]. 湖泊科学, 2016, 28(3): 494-501.
WANG Wei, FAN Xiangke, HUANG Chungui, et al. Monitoring and comparative analysis of heavy metals in five lakes in Jiangsu Province. Journal of Lake Sciences, 2016, 28(3): 494-501. (in Chinese)
- [23] 程琛, 刘佳俊, 汪玲. 朱仙庄矿区水体重金属特征分析与评价[J]. 黄冈师范学院学报, 2020, 40(6): 37-41.
CHENG Chen, LIU Jiajun and WANG Ling. Analysis and evaluation of the characteristics of heavy metals in Zhuxianzhuang mining area. Journal of Huanggang Normal University, 2020, 40(6): 37-41. (in Chinese)
- [24] GIRI, S., SINGH, A. K. Risk assessment, statistical source identification and seasonal fluctuation of dissolved metals in the Subarnarekha River, India. Journal of Hazardous Materials, 2014, 265: 305-314.
- [25] 安士凯, 赵琦, 姜春露, 等. 淮南采煤沉陷区积水重金属健康风险评价[J]. 中国矿业, 2020, 29(S2): 88-93.
AN Shikai, ZHAO Qi, JIANG Chunlu, et al. Health risk assessment of heavy metals in water accumulation in huainan coal mining subsidence area. China Mining, 2020, 29(S2): 88-93. (in Chinese)
- [26] WANG, L., GAO, S., YIN, X., et al. Arsenic accumulation, distribution and source analysis of rice in a typical growing area in north China. Ecotoxicology & Environmental Safety, 2019, 167: 429-434.
- [27] XIAO, R., GUO, D., ALI, A., et al. Accumulation, ecological-health risks assessment, and source apportionment of heavy metals in paddy soils: A case study in Hanzhong, Shaanxi, China. Environmental Pollution, 2019, 248: 349-357.
- [28] DUAN, Y., ZHANG, Y., LI, S., et al. An integrated method of health risk assessment based on spatial interpolation and source apportionment. Journal of Cleaner Production, 2020, 276: 123218.
- [29] WUANA, R. A., OKIEIMEN, F. E. Heavy metals in contaminated soils: A review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. ISRN Ecology, 2011, 2011: 402647.