文章编号：2095-9982(2017)11-0988-07　中图分类号：X522　文献标志码：A

【论著|调查研究】

淮河(安徽段)表层沉积物重金属污染与潜在生态危害评价

周开胜[1]，杨刚[2]，王海兵[2]

摘要：

[目的] 了解淮河(安徽段)表层沉积物重金属污染状况，并对其潜在生态危害进行评价，为淮河水体环境保护及重金属污染的修复提供科学依据。

[方法] 在淮河(安徽段)选取17个样点，用抓斗式采样器采集表层沉积物，采用火焰原子吸收光谱法测定铬(Cr)、镉(Cd)、铜(Cu)、铅(Pb)的含量，采用原子荧光法测定砷(As)的含量。分别采用地累积指数法和潜在生态危害指数法，对5种重金属元素进行生态危害评价。

[结果] 淮河(安徽段)表层沉积物中Cr、Cd、Cu、Pb和As的质量分数(后称“含量”)均值(范围)分别为69.12(21.89~114.14)、6.61(3.14~11.66)、51.73(23.77~93.63)、46.54(19.28~103.37)和0.74(0.16~2.57)mg/kg，分别是安徽土壤背景值的1.10、78.97、2.68、1.79和0.09倍，污染程度由大到小顺序依次是Cd>Cu>Pb>Cr>As。地累积指数评价结果显示：Cd的指数最高(5.72)，达极高环境风险程度；Cr和As的指数分别为-0.44和-4.08，均为无环境风险，Cu和Pb的指数分别为0.84和0.26，均为低环境风险。Cr、Cd、Cu、Pb和As的潜在生态危害系数分别为2.30、396.56、8.62、9.31和0.50，其潜在生态危害程度由大到小顺序为Cd>Pb>Cu>Cr>As。各采样点多种重金属综合危害指数在197.65~738.58之间(均值为417.30)，达到中等、强和很强生态危害程度的采样点分别占18%、59%和23%，重金属综合潜在生态危害程度为强。

[结论] 淮河(安徽段)表层沉积物中重金属(As除外)平均含量均高于安徽省土壤背景值，存在不同程度污染，其中Cd污染最严重；无论从地累积指数评价还是潜在生态危害评价来看，Cd的潜在生态危害程度最高。

关键词：淮河(安徽段)；表层沉积物；重金属污染；生态危害评价

引用：周开胜，杨刚，王海兵.淮河(安徽段)表层沉积物重金属污染与潜在生态危害评价[J].环境与职业医学，2017，34(11)：988-994. **DOI**: 10.13213/j.cnki.jeom.2017.17313

Heavy metal pollution in surface sediments of Huaihe River (Anhui Section) and potential ecological risk evaluation

ZHOU Kai-sheng[1], *YANG Gang*[2], *WANG Hai-bing*[2] (1.*Center of Environment Science Experiment, College of Material Science and Chemical Engineering, Bengbu University, Bengbu, Anhui* 233030, *China*; 2.*Monitoring Center of Water Environment, Huaihe River Basin Water Resources Protection Bureau, Bengbu, Anhui* 233001, *China*). *Address correspondence to ZHOU Kai-sheng, E-mail: zks606@sina.com*

· *The authors declare they have no actual or potential competing financial interests.*

Abstract:

[Objective] To understand the pollution levels of heavy metals in surface sediments of the Huaihe River (Anhui Section), evaluate their potential ecological harm, and provide scientific references for water environment protection and restoration of heavy metal pollution in the Huaihe River.

[Methods] Samples of surface sediments were collected with grab samplers in 17 sampling sites of the Huaihe River (Anhui Section). Chromium (Cr), cadmium (Cd), copper (Cu), and lead (Pb) in surface sediments were tested by flame atomic absorption spectrometry, and arsenic (As) by atomic fluorescence. Geoaccumulation index and potential ecological risk index were applied to assess the ecological risks of the five heavy metals.

[Results] The mean levels (range) of Cr, Cd, Cu, Pb, and As in surface sediments were 69.12 (21.89-114.14), 6.61 (3.14-11.66),

·作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

[基金项目]高等学校省级质量工程项目(编号：2015zy068)；蚌埠学院优秀人才计划项目(编号：[2014]182)；安徽省高等教育振兴计划项目(编号：2014zdjy137)；工程化教学改革试点专业项目(编号：2017GCZY2)

[作者简介]周开胜(1970—)，男，硕士，副教授；研究方向：环境污染防治及土壤改良；E-mail：zks606@sina.com

[通信作者]周开胜，E-mail：zks606@sina.com

[作者单位]1.蚌埠学院材料与化学工程学院环境科学实验中心，安徽 蚌埠 233030；2.淮河流域水资源保护局水环境监测中心，安徽 蚌埠 233001

51.73 (23.77-93.63), 46.54 (19.28-103.37), and 0.74 (0.16-2.57) mg/kg, 1.10, 78.97, 2.68, 1.79, and 0.09 times of the soil background values of Anhui, respectively, and the severity order of heavy metal pollution from high to low was Cd > Cu > Pb > Cr > As. The geoaccumulation index of Cd was the highest (5.72), indicating very high environmental risk. The indices of Cr and As were –0.44 and –4.08, respectively, indicating no environmental risk. The indices of Cu and Pb were 0.84 and 0.26, respectively, indicating low environmental risk. The potential ecological coefficients of Cr, Cd, Cu, Pb, and As were 2.30, 396.56, 8.62, 9.31, and 0.50, respectively, with a high-to-low order of Cd > Pb > Cu > Cr > As. The comprehensive ecological indices of the five heavy metals of different sampling sites ranged from 197.65 to 738.58, and the mean was 417.30. The sampling sites showing medium, strong, and very strong ecological risks account for 18%, 59%, and 23% of total, respectively, and the comprehensive potential ecological risk was strong.

[Conclusion] The average levels of heavy metals, except As, in surface sediments of the Huaihe River (Anhui Section) are higher than the soil background values of Anhui Province, showing varied degrees of pollution, especially Cd. Both geoaccumulation index and potential ecological risk index indicate that Cd has the highest potential ecological risk.

Keywords: Huaihe River (Anhui Section); surface sediment; heavy metal pollution; ecological risk assessment

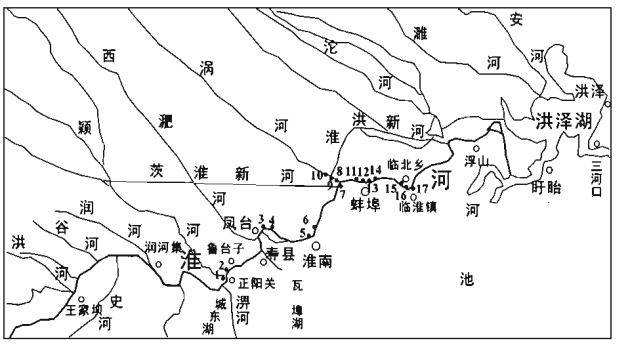
Citation: ZHOU Kai-sheng, YANG Gang, WANG Hai-bing. Heavy metal pollution in surface sediments of Huaihe River (Anhui Section) and potential ecological risk evaluation[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2017, 34(11): 988-994. **DOI**: 10.13213/j.cnki.jeom.2017.17313

淮河是中国七大江河之一，也是我国污染最严重的河流之一[1]。河流沉积物是环境演变的产物，不但承载着重要的环境信息，而且还是河流水体重金属的“源”和“汇”，可以反映河流受重金属污染的状况。重金属被水体中悬浮物吸附并最终与悬浮物一起沉积于河流表层沉积物中，沉积物中的重金属通过微生物、底栖动物、水生植物的作用及水文、气候等条件的变化而再次进入水体，从而对水体环境产生二次污染，因此表层沉积物关乎河流水生生态系统的健康与可持续发展[2-3]。重金属因其具有非生物降解性[4]和积累性[5]特点，可对环境造成持久[4]、高毒性的危害[6]，重金属铬(Cr)、镉(Cd)、铜(Cu)、铅(Pb)及砷(As)的环境毒性强，尤其Cd、Pb和As还是环境激素类物质，其环境生态危害是近年来关注的热点[3, 7-12]。国内外多采用Müller的地累积指数法[13]和Hakanson提出的潜在生态危害指数法[14]，对河流表层沉积物重金属污染进行生态危害评价[9-10, 15-20]。近年来，有关淮河表层沉积物重金属污染虽有报道[9, 19, 21]，但对淮河表层沉积物Cr、Cd、Cu、Pb及As污染及其潜在生态危害评价报道甚少。本研究通过对淮河(安徽段)17个采样点的表层沉积物中上述5种重金属含量分析，并采用地累积指数法和潜在生态危害指数法进行生态危害评价，以期为淮河水体环境保护及重金属污染的修复提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

2011年12月，从颍河入淮口凤台县鲁台子开始，自西向东顺流而下，至安徽凤阳县临淮关镇，长约165 km的河段，依据选择性布设采样点原则[3]，在河流交汇处(颍河口、涡河口、河港闸、涡河四桥)、市区(洛河电厂、朝阳桥)、饮用水源地(蚌埠闸)及可能的污染源河段(凤台大桥、临北乡、临淮镇)，对淮河(安徽段)的17个样点的每个样点布设1个采样断面(图1)。采用抓斗式采样器采集河床表层沉积物样品，每个断面采集3~5个泥样，用塑料勺取其中央未受干扰的表层0~2 cm泥样，混匀后，作为该采样点试验样品，装入聚乙烯自封塑料袋内，密封，编号，带回实验室，0~4℃下保存。



[注]1—颍河口1；2—颍河口2；3-凤台大桥1；4—凤台大桥2；5—洛河电厂1；6—洛河电厂2；7—涡河口；8—涡河四桥；9—河港闸1；10—河港闸2；11—蚌埠闸1；12—蚌埠闸2；13—朝阳桥1；14—朝阳桥2；15—临北1；16—临北2；17—临淮镇。

图1 研究区域及采样点布设示意图

1.2 样品处理与分析

将待分析的表层沉积物样品平铺在聚乙烯塑料袋上，置于阴凉通风处自然风干后，将沉积物进行压碎，剔除杂质，用玛瑙研钵研磨，过100目尼龙筛，收

集筛下物以备用。

分别用电子天平(Mettler AE200,瑞士)准确称取0.200 g样品于聚四氟乙烯坩埚中,用少许水湿润,分别加入10 mL盐酸、5 mL硝酸、5 mL高氯酸、5 mL氢氟酸,置于电热板DB-3(常州国华电器有限公司,中国),200℃加热消解至淡黄色,对未消解完全的样品加5 mL盐酸继续消解,对消解完全的样品加水赶酸。待酸赶尽冷却,用中速定量滤纸过滤到50 mL的比色管中,洗涤滤渣,最后定容摇匀待测。同时进行全程序空白试验,采用石墨炉原子吸收分光光度计TAS-990(北京普析通用仪器有限责任公司,中国)测定Cr、Cd、Pb和Cu的质量分数(后称"含量")。用电子天平准确称取0.200 g的样品于150 mL锥形瓶中,加7 mL硫酸溶液(硫酸与水的体积比为1∶1),10 mL浓硝酸,2 mL高氯酸,置电热板DB-3(常州国华电器有限公司,中国)加热,破坏有机物(若试液颜色变深,应及时补加硝酸),蒸至冒浓厚高氯酸白烟,取下放冷,用水冲洗瓶壁再加热至冒浓白烟,以驱尽硝酸,取下锥形瓶,瓶底只剩下少量白色残渣(若有黑色颗粒物应补加硝酸继续分解),加水定容至50 mL以备测量时使用,用双道原子荧光光度计AFS-920(北京吉天仪器有限公司,中国)测定待测样品中As的含量。

1.3 评价方法

1.3.1 地累积指数法

$$I_{geo}=\log_2[C_n/(kB_n)]$$

式中:C_n—沉积物中实测元素n的浓度,B_n—沉积物中元素n的地球化学背景值,k—考虑到不同地区由于沉积环境的差异产生背景值变动所取的系数(一般取值为1.5[19, 22])。为准确反映淮河(安徽段)表层沉积物中重金属污染状况,本研究选取安徽省Cr、Cd、Cu、Pb和As的土壤背景值作为评价标准,分别是62.6、0.083 7、19.30、26.0和8.4 mg/kg[23]。地累积指数法的指数I_{geo}范围、I_{geo}分级及对应的环境风险程度见表1。

表1 风险指数与环境风险分级[19, 22]

指数(I_{geo})	分级	环境风险程度
<0	0	无环境风险
0~	1	低环境风险
1~	2	中等环境风险
2~	3	中-高环境风险
3~	4	高环境风险
4~	5	高-极高环境风险
5~	6	极高环境风险

1.3.2 潜在生态危害指数法

$$E_r^i=T_r^i\cdot C_f^i$$

$$RI=\sum_{i=1}^{n}E_r^i=\sum_{i=1}^{n}T_r^i\cdot C_f^i=\sum_{i=1}^{n}T_r^i\cdot C_s^i/C_n^i$$[14]

式中:E_r^i—重金属i的潜在生态危害指数;C_f^i—重金属在沉积物中的富集系数,为实测值与参照值之比($C_f^i=C_s^i/C_n^i$),C_s^i—重金属在沉积物中的实测值,C_n^i—计算所取的参照值(表2);T_r^i—重金属i的毒性系数,主要用于反映重金属的毒性水平及生物对重金属污染的敏感程度;RI—多种重金属污染对生态系统造成的危害及存在的生态风险。重金属参照值和毒性系数见表2。单一重金属元素潜在生态危害系数E_r^i、多种重金属综合潜在生态危害指数RI及生态危害程度见表3。

表2 重金属参照值和毒性系数[9, 14]

指标	Cr	Cd	Cu	Pb	As
参照值C_n^i(mg/kg)	60	0.5	30.0	25.0	15
毒性系数T_r^i	2	30.0	5.0	5.0	10

表3 E_r^i、RI与生态危害程度[10]

E_r^i	RI	生态危害程度
<40	<150	轻微
40~	150~	中等
80~	300~	强
160~	600~	很强
320~		极强

2 结果

2.1 重金属含量分布与富集系数

2.1.1 重金属含量分布 淮河(安徽段)表层沉积物中,Cr、Cd、Cu、Pb和As的含量最大值/最小值的倍数分别为5.2、3.7、3.9、5.4和16.1倍;含量均值分别为69.12、6.61、51.73、46.54和0.74 mg/kg,分别是安徽土壤背景值的1.10、78.97、2.68、1.79和0.09倍,污染程度由大到小顺序依次是Cd>Cu>Pb>Cr>As。见表4。

2.1.2 表层沉积物重金属富集系数 淮河(安徽段)17个采样点表层沉积物中Cr、Cd、Cu、Pb和As的富集系数分别为0.36~1.90、6.28~23.32、0.79~3.12、0.77~4.13和0.01~0.17,均值分别为1.15、13.22、1.72、1.86和0.05。Cd富集程度最高,As富集程度最低。见表4。

2.2 地累积指数法评价

淮河(安徽段)17个采样点表层沉积物中Cr、Cd、Cu、Pb和As的地累积指数I_{geo}分别在-0.21~0.28、

4.64~6.54、-0.28~1.69、-1.02~1.41 和 -6.30~-2.29 之间，均值分别为 -0.44、5.72、0.84、0.26 和 -4.08。Cd 达极高环境风险程度，Cr 和 As 均为无环境风险，Cu 和 Pb 均为低环境风险。见表 5。

表 4 淮河(安徽段)表层沉积物重金属质量分数及富集系数

采样点	Cr		Cd		Cu		Pb		As	
	质量分数(mg/kg)	富集系数	质量分数(mg/kg)	富集系数	质量分数(mg/kg)	富集系数	质量分数(mg/kg)	富集系数	质量分数(mg/kg)	富集系数
颍河口 1	39.91	0.67	3.14	6.28	23.77	0.79	19.28	0.77	0.16	0.01
颍河口 2	41.23	0.69	5.15	10.30	35.22	1.17	19.33	0.77	0.33	0.02
凤台大桥 1	111.67	1.86	5.39	10.78	76.32	2.54	66.30	2.65	0.70	0.05
凤台大桥 2	29.66	0.49	11.66	23.32	93.63	3.12	103.37	4.13	2.57	0.17
洛河电厂 1	73.60	1.23	5.56	11.12	43.14	1.44	44.25	1.77	0.35	0.02
洛河电厂 2	45.24	0.75	5.56	11.12	24.77	0.83	30.83	1.23	0.34	0.02
涡河口	104.99	1.75	9.76	19.52	54.90	1.83	56.20	2.25	1.99	0.13
涡河四桥	108.24	1.80	10.29	20.58	80.60	2.69	85.57	3.42	1.19	0.08
河港闸 1	71.05	1.18	6.41	12.82	56.94	1.90	32.32	1.29	0.68	0.05
河港闸 2	61.07	1.02	6.68	13.36	57.61	1.92	27.65	1.11	0.53	0.04
蚌埠闸 1	61.83	1.03	4.86	9.72	31.26	1.04	36.82	1.47	0.20	0.01
蚌埠闸 2	89.82	1.50	7.45	14.90	43.38	1.45	44.13	1.77	0.45	0.03
朝阳桥 1	21.89	0.36	3.98	7.96	41.13	1.37	21.06	0.84	0.19	0.05
朝阳桥 2	64.10	1.07	4.24	8.48	25.47	0.85	35.24	1.41	0.52	0.10
临北 1	62.31	1.04	4.74	9.48	58.00	1.93	43.13	1.73	0.70	0.01
临北 2	114.14	1.90	9.51	19.02	83.22	2.77	67.90	2.72	1.56	0.05
临淮镇	74.33	1.24	7.98	15.96	50.13	1.67	57.87	2.31	0.17	0.10
均值	69.12	1.15	6.61	13.22	51.73	1.72	46.54	1.86	0.74	0.01

表 5 淮河(安徽段)表层沉积物重金属的地累积指数和地累积指数级别

采样点	Cr			Cd			Cu			Pb			As		
	I_{geo}	级别	风险程度	I_{geo}	级别	风险程度	I_{geo}	级别	风险程度	I_{geo}	级别	风险程度	I_{geo}	级别	风险程度
颍河口 1	-1.23	0	无	4.64	5	高~极高	-0.28	0	无	-1.02	0	无	-6.30	0	无
颍河口 2	-1.19	0	无	5.36	6	极高	0.28	1	低	-1.01	0	无	-5.25	0	无
凤台大桥 1	0.25	1	低	5.42	6	极高	1.40	2	中等	0.77	1	低	-4.17	0	无
凤台大桥 2	-1.66	0	无	6.54	6	极高	1.69	2	中等	1.41	2	中等	-2.29	0	无
洛河电厂 1	-0.35	0	无	5.47	6	极高	0.58	1	低	0.18	1	低	-5.17	0	无
洛河电厂 2	-1.05	0	无	5.47	6	极高	-0.22	0	无	-0.34	0	无	-5.21	0	无
涡河口	0.16	1	低	6.28	6	极高	0.92	1	低	0.53	1	低	-2.66	0	无
涡河四桥	0.21	1	低	6.36	6	极高	1.48	2	中等	1.13	2	中等	-3.40	0	无
河港闸 1	-0.40	0	无	5.67	6	极高	0.98	1	低	-0.27	0	无	-4.21	0	无
河港闸 2	-0.62	0	无	5.73	6	极高	0.99	1	低	-0.50	0	无	-4.57	0	无
蚌埠闸 1	-0.60	0	无	5.27	6	极高	0.11	1	低	-0.08	0	无	-5.98	0	无
蚌埠闸 2	-0.06	0	无	5.89	6	极高	0.58	1	低	0.18	1	低	-4.81	0	无
朝阳桥 1	-2.10	0	无	4.99	5	高~极高	0.51	1	低	-0.89	0	无	-6.05	0	无
朝阳桥 2	-0.55	0	无	5.08	6	极高	-0.18	0	无	-0.15	0	无	-4.60	0	无
临北 1	-0.59	0	无	5.24	6	极高	1.00	1	低	0.15	1	低	-4.17	0	无
临北 2	0.28	1	低	6.24	6	极高	1.52	2	中等	0.80	1	低	-3.01	0	无
临淮镇	-0.34	0	无	5.99	6	极高	0.79	1	低	0.57	1	低	-6.21	0	无
均值	-0.44	0	无	5.72	6	极高	0.84	1	低	0.26	1	低	-4.08	0	无

2.3 潜在生态危害指数法评价

淮河(安徽段)17 个采样点表层沉积物中 Cr、Cd、Cu、Pb 和 As 的潜在生态危害系数 E_r^i 分别在 0.73~3.80、188.40~699.60、3.96~15.61、3.86~20.67 和 0.11~1.71 之间，均值分别为 2.30、396.56、8.62、9.31 和 0.50，潜在生态危害程度由大到小顺序为 Cd > Pb > Cu > Cr > As。5 种重金属综合潜在生态危害指数 RI 在 197.65~738.58 之间，均值为 417.30。在 17 个采样点

中，综合潜在生态危害程度达中等、强和很强生态危害程度的样点分别占18%、59%和23%。从*RI*均值看，淮河(安徽段)表层沉积物重金属综合生态危害程度强(见表6)。

表6　重金属潜在生态危害系数E_r^i与多种重金属综合危害指数*RI*及危害程度

采样点	Cr		Cd		Cu		Pb		As		*RI*	综合生态危害程度
	E_r^i	生态危害程度	E_r^i	生态危害程度	E_r^i	生态危害程度	E_r^i	生态危害程度	E_r^i	生态危害程度		
颍河口1	1.33	轻微	188.40	很强	3.96	轻微	3.86	轻微	0.11	轻微	197.65	中等
颍河口2	1.37	轻微	309.00	很强	5.87	轻微	3.87	轻微	0.22	轻微	320.33	强
凤台大桥1	3.72	轻微	323.40	极强	12.72	轻微	13.26	轻微	0.47	轻微	353.57	强
凤台大桥2	0.99	轻微	699.60	极强	15.61	轻微	20.67	轻微	1.71	轻微	738.58	很强
洛河电厂1	2.45	轻微	333.60	极强	7.19	轻微	8.85	轻微	0.23	轻微	352.33	强
洛河电厂2	1.51	轻微	333.30	极强	4.13	轻微	6.17	轻微	0.23	轻微	345.63	强
涡河口	3.50	轻微	585.60	极强	9.15	轻微	11.24	轻微	1.33	轻微	610.82	很强
涡河四桥	3.61	轻微	617.40	极强	13.43	轻微	17.11	轻微	0.79	轻微	652.35	很强
河港闸1	2.37	轻微	384.60	极强	9.49	轻微	6.46	轻微	0.45	轻微	403.38	强
河港闸2	2.04	轻微	400.80	极强	9.60	轻微	5.53	轻微	0.35	轻微	418.32	强
蚌埠闸1	2.06	轻微	291.60	很强	5.21	轻微	7.36	轻微	0.13	轻微	306.37	强
蚌埠闸2	2.99	轻微	447.00	极强	7.23	轻微	8.83	轻微	0.30	轻微	466.35	强
朝阳桥1	0.73	轻微	238.80	很强	6.86	轻微	4.21	轻微	0.13	轻微	250.72	中等
朝阳桥2	2.14	轻微	254.40	很强	4.25	轻微	7.05	轻微	0.35	轻微	268.18	中等
临北1	2.08	轻微	284.40	很强	9.67	轻微	8.63	轻微	0.47	轻微	305.24	强
临北2	3.80	轻微	570.60	极强	13.87	轻微	13.58	轻微	1.04	轻微	602.89	很强
临淮镇	2.48	轻微	478.80	极强	8.36	轻微	11.57	轻微	0.11	轻微	501.32	强
均值	2.30	轻微	396.56	极强	8.62	轻微	9.31	轻微	0.50	轻微	417.30	强

3　讨论

将颍河入淮口至临淮镇河段，分成四类区段：河口段(颍河口、涡河口)、市区段(淮南洛河电厂、蚌埠朝阳桥)、饮用水源段(蚌埠闸)、城镇区段(凤台大桥、临北乡、临淮镇)。各类区段及同类区段的各区段河床表层沉积物中5种金属元素含量差别较大，这与污染物来源及河流水情要素等有关，如同是河口区段，涡河口区段除涡河输入污染物外，采样点上游区域还有茨淮新河汇入，而颍河口仅有颍河汇入，且涡河口流速较颍河口慢，有利于沉积物沉积；同属市区段，洛河电厂区段流经淮南市区，且淮南是矿业城市，附近又有洛河电厂，其河床沉积物中金属元素含量较朝阳桥区段高；同属城镇区段的临淮区段河床表层沉积物重金属元素含量较凤台大桥区段高，这与临淮区段位于凤阳临淮镇和五河临北乡之间，南岸临淮镇是凤阳县历史悠久的重镇，受人类活动影响大，且新中国成立以来一直是凤阳县重要的工业重镇，污染物排放量较大，北岸有临北乡近万亩的大棚蔬菜基地，污染物来源充足，加之该区段地势低缓，水流较慢，易于泥沙沉积，而凤台大桥区段两个采样断面水流较快，泥沙不易沉积，故河床表层沉积物中金属元素含量低于临淮区段。

与淮河干流及其他水系主要河流相比，淮河(安徽段)河床表层沉积物中5种重金属含量，除As的平均含量较淮河干流[21]低外，Cr、Cd、Cu和Pb等重金属的平均含量均高于干流(表7)。Cr平均含量低于长江和珠江，而高于黄河、海河、辽河和松花江；Cd平均含量除低于珠江外，高于长江、松花江、海河、黄河和辽河；Cu的平均含量除低于海河、长江和珠江外，高于松花江、黄河和辽河；Pb含量均值除低于海河、珠江和长江外，高于松花江、黄河和辽河；As含量低于各水系的主要河流(海河缺As的数据除外)(表8)。可见，淮河(安徽段)河床表层沉积物重金属污染较重。

表7　淮河(安徽段)及其他主要河床表层沉积物重金属含量平均值(mg/kg)

研究区域	Cr	Cd	Cu	Pb	As
淮河(安徽段)	69.12	6.61	51.73	46.54	0.74
长江[12]	89.54	2.46	82.00	60.00	25.40
珠江[20]	86.62	10.60	80.20	104.58	119.55
淮河(干流)[21]	47.20	0.29	29.90	29.50	12.60
黄河[24]	51.34	0.31	21.81	21.42	12.94
海河[25]	48.07	1.08	185.17	242.56	—
辽河[26]	52.60	0.11	16.20	17.40	8.50
松花江[3,27]	38.52[3]	1.26[3]	21.45[27]	29.61[3]	6.75[3]

根据地累积指数分析结果，淮河(安徽段)河床表层沉积物5种重金属与七大水系主要河流相比，除珠江外，Cd环境风险高于其他水系主要河流，Cr、Cu、Pb、As环境风险大多低于其他水系主要河流(海河缺As数据除外)(表8)。Cd的潜在生态危害程度除低于珠江外，高于其他河流；Cr潜在生态危害程度除低于珠江和长江外，均高于其他河流；Cu潜在生态危害程度除低于海河、珠江和长江外，高于淮河(干流)、松花江、辽河和黄河；Pb的潜在生态危害程度除低于海河、珠江和长江外，高于松花江、淮河干流、辽河、黄河；除海河缺As的监测数据外，As的潜在生态危害程度低于包括淮河干流在内的其他主要河流。*RI*均值除低于珠江外，高于包括淮河干流在内的其他河流(表9)。

表8 淮河(安徽段)及其他主要河床表层沉积物重金属I_{geo}

研究区域	Cr		Cd		Cu		Pb		As	
	I_{geo}	风险程度	I_{geo}	风险程度	I_{geo}	风险程度	I_{geo}	风险程度	I_{geo}	风险程度
淮河(安徽段)	-0.23	无	5.90	极高	0.79	低	0.39	低	-4.22	无
长江[12]	0.15	低	4.47	高~极高	1.45	中等	0.76	低	0.88	低
珠江[20]	0.10	低	6.58	极高	1.42	中等	1.56	中等	3.11	高
淮河(干流)[21]	-0.78	无	1.39	中等	0.005	低	-0.26	无	-0.13	无
黄河[24]	-0.66	无	1.48	中等	-0.46	无	-0.72	无	-0.09	无
海河[25]	-0.75	无	3.28	高	2.63	中~高	2.78	中~高	—	—
辽河[26]	-0.62	无	-0.01	无	-0.89	无	-1.02	无	-0.70	无
松花江[3,27]	-1.07	无	3.50	高	-0.48	无	-0.26	无	-1.03	无

表9 淮河(安徽段)及其他主要河床表层沉积物重金属潜在生态风险比较

研究区域	Cr		Cd		Cu		Pb		As		*RI*	综合生态危害程度
	E_r^i	生态危害程度	E_r^i	生态危害程度	E_r^i	生态危害程度	E_r^i	生态危害程度	E_r^i	生态危害程度		
淮河(安徽段)	69.12	中等	396.60	极强	8.62	轻微	9.31	轻微	0.49	轻微	417.33	强
长江[12]	89.54	强	147.60	强	13.67	轻微	12.00	轻微	16.93	轻微	193.18	中等
珠江[20]	86.62	强	636.00	极强	13.37	轻微	20.92	轻微	79.70	强	752.87	很强
淮河(干流)[21]	47.20	中等	17.40	轻微	4.98	轻微	5.90	轻微	8.40	轻微	38.26	轻微
黄河[24]	51.34	中等	18.60	轻微	3.64	轻微	4.28	轻微	8.63	轻微	36.86	轻微
海河[25]	48.07	中等	64.80	中等	30.86	轻微	48.51	中等	—	—	145.78	轻微
辽河[26]	52.60	中等	6.60	轻微	2.70	轻微	3.48	轻微	5.67	轻微	20.20	轻微
松花江[3,27]	38.52	轻微	75.60	中等	3.58	轻微	5.92	轻微	4.50	轻微	90.88	轻微

综上分析，淮河(安徽段)河床表层沉积物存在不同程度的重金属污染，其中Cd污染最严重，As污染最轻；Cd环境风险极高，Cu和Pb环境风险低，Cr和As无环境风险；Cd生态危害程度极强，Cr、Cu、Pb和As生态危害程度均为轻微，5种元素综合生态危害程度强。

参考文献

[1]谭炳卿，吴培任，宋国君. 论淮河流域水污染及其防治[J]. 水资源保护，2005，21(6)：4-10.

[2]吴斌，宋金明，李学刚，等. 一致性沉积物质量基准(CBSQGs)及其在近海沉积物环境质量评价中的应用[J]. 环境化学，2011，30(11)：1949-1956.

[3]周军，高凤杰，张宝杰，等. 松花江表层沉积物有毒重金属污染的潜在生物毒性风险评价[J]. 环境科学学报，2014，34(10)：2701-2708.

[4]Chen H，Chen R，Teng Y，et al. Contamination characteristics ecological risk and source identification of trace metals in sediments of the Le'an River(China)[J]. Ecotoxicol Environ Saf，2017，125：85-92.

[5]Kilunga PI，Sivalungam P，Laffite A，et al. Accumlation of toxic metals and organic micro-pollutants in sedi- ments from tropical urban rivers，Kinshasa，Democratic Republic of the Congo[J]. Chemosphere，2017，179：37-48.

[6]Li HB，Yu S，Li GL，et al. Urbanization increased metal levels in lake surface sediment and catchment topsoil of waterscape parks[J]. Sci Tot Environ，2012，432：202-209.

[7]Lin CQ，Yu RL，Hu GR，et al. Contamination and isotopic composition of Pb and Sr in offshore surface sediments from Jiulong River，Southeast China[J]. Environ Pollut，2016，218：644-650.

[8]Yang Z，Wang Y，Shen Z，et al. Distribution and speciation of

heavy metals in sediments from the mainstream, tributaries, and lakes of the Yangtze River catchment of Wuhan, China[J]. J Hazard Mater, 2009, 166(2/3): 1186-1194.

[9]黄宏, 郁亚娟, 王晓栋, 等. 淮河沉积物中重金属污染及潜在生态危害评价[J]. 环境污染与防治, 2004, 26(3): 207-208, 231-244.

[10]邹华, 王靖国, 朱荣, 等. 太湖贡湖湾主要河流表层沉积物重金属污染及其生态风险评价[J]. 环境工程学报, 2016, 10(3): 1546-1552.

[11]李仕群, 朱静媛, 崔留欣, 等. 沙颍河沈丘段底泥、土壤中砷及重金属污染与潜在生态风险评价[J]. 生态毒理学报, 2013, 8(2): 275-279.

[12]王岚, 王亚平, 许春雪, 等. 长江水系表层沉积物重金属污染特征及生态风险性评价[J]. 环境科学, 2012, 33(8): 2599-2606.

[13]Müller G. Schwermetalle in den sedimenten des Rheins-Veränderungen seit 1971[J]. Umschau, 1979, 79(24): 778-783.

[14]Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control: A sediment logical approach[J]. Water Res, 1980, 14(8): 975-1001.

[15]Ma XL, Zuo H, Tian MJ, et al. Assessment of heavy metals contamination in sediments from three adjacent regions of the Yellow River using metal chemical fractions and multivariate analysis techniques[J]. Chemosphere, 2016, 144: 264-272.

[16]Jeelani N, Zhu ZJ, Wang PH, et al. Assessment of Trace Metal Contamination and Accumulation in Sediment and Plants of the Suoxu River, China[J]. Aquat Bot, 2017, 140: 92-95.

[17]Xu FJ, Liu ZQ, Cao YC, et al. Assessment of heavy metal contamination in urban river sediments in the Jiaozhou Bay catchment, Qingdao, China[J]. Catena, 2017, 150: 9-16.

[18]Azhari AE, Rhoujjati A, Hachimi MLE. Assessment of heavy metals and arsenic contamination in the sediments of the Moulouya River and the Hassan II Dam downstream of the abandoned mine Zeïda(High Moulouya, Morocco)[J]. J Afr Earth Sci, 2016, 119: 279-288.

[19]郁亚娟, 黄宏, 王晓栋, 等.淮河沉积物中重金属的测定和污染评价[J]. 环境科学研究, 2003, 16(6): 26-28.

[20]谢文平, 王少冰, 朱新平, 等.珠江下游河段沉积物中重金属含量及污染评价[J]. 环境科学, 2012, 33(6): 1808-1815.

[21]罗斌, 刘玲, 张金良, 等.淮河干流沉积物中重金属含量及分布特征[J]. 环境与健康杂志, 2010, 27(12): 1122-1127.

[22]王军, 陈振楼, 王初, 等.上海市崇明岛城镇河流沉积物重金属累积与环境风险[J]. 应用生态学报, 2007, 18(7): 1518-1522.

[23]中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.

[24]袁浩, 王雨春, 顾尚义, 等.黄河水系沉积物重金属赋存形态及污染特征[J]. 生态学杂志, 2008, 27(11): 1966-1971.

[25]王胜强, 孙津生. 海河沉积物重金属污染及潜在生态风险评价[J]. 环境工程, 2005, 23(2): 62-65.

[26]张婧, 王淑秋, 谢琰, 等. 辽河水系表层沉积物中重金属分布及污染特征研究[J]. 环境科学, 2008, 29(9): 2413-2418.

[27]张凤英, 阎百兴, 潘月鹏, 等. 松花江沉积物重金属时空变化与来源分析[J]. 云南大学学报, 2010, 25(5): 670-674.

(收稿日期: 2017-04-25; 录用日期: 2017-09-29)

(英文编辑: 汪源; 编辑: 汪源; 校对: 陶黎纳)