

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2020.04.001

淮河干流典型污染物时空分布特性分析

郝永飞^{1,2},金光球^{1,2},唐洪武^{1,2},张沛^{1,2},陈曦³,
肖洋^{1,2},袁赛瑜^{1,2},李志伟^{1,2},杨刚³

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室,江苏南京 210098;
2. 河海大学水利水电学院,江苏南京 210098; 3. 淮河流域水资源保护局,安徽蚌埠 233001)

摘要: 针对目前淮河水环境现状及问题,2014—2017 年先后 7 次采集淮河干流(正阳关—老子山) 19 个断面的上覆水样和沉积物泥样,对上覆水和沉积物中关键污染物指标总磷(TP)及主要重金属(As、Cu、Pb、Zn)含量进行分析,探究淮河干流 TP 和重金属时空分布特征与主要影响因素,并对各污染物的环境影响效应作出评价。结果表明:11 月各污染物含量明显低于 6 月,水动力过程影响比较大;各污染物质量浓度整体呈现下降趋势,TP 和 As 下降最明显;污染物来源分析显示,沉积物中 TP 主要受到面源污染影响,重金属污染物主要受点源污染影响;监测区间内淮河沉积物 TP 和 4 种重金属含量不具有生态风险。

关键词: 淮河干流;沉积物;时空分布;TP;重金属元素

中图分类号: X522 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2020)04-0291-09

Spatial and temporal distribution analysis of typical contaminants in mainstream of Huaihe River

HAO Yongfei^{1,2}, JIN Guangqiu^{1,2}, TANG Hongwu^{1,2}, ZHANG Pei^{1,2}, CHEN Xi³,
XIAO Yang^{1,2}, YUAN Saiyu^{1,2}, LI Zhiwei^{1,2}, YANG Gang³

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;
3. Huaihe River Water Resources Protection Bureau, Bengbu 233001, China)

Abstract: Contaminants in overlying water and sediments of 19 sections from Zhengyangguan to Laozishan in the main stream of Huaihe River were sampled for seven times from 2014 to 2017. The total phosphorus (TP) and main heavy metals, such as As, Cu, Pb, and Zn, in the overlying water and sediment were analyzed to reveal the spatial and temporal distribution characteristics and their main influence factors, and then, this study evaluated the environmental effect for each pollutant. The results show that the concentration of contaminants in the sediment in November is lower than that in June. Meanwhile, the concentrations of various contaminants are decreasing with time, especially TP and As. The analysis of pollutant sources shows that TP in the sediment is affected by the non-point source, while heavy metals are affected by the point source. TP and four heavy metals in the sediment of Huaihe River do not have ecological risk within the monitoring range.

Key words: mainstream of Huaihe River; sediment; spatial and temporal distribution; TP; heavy metals

淮河位于中国东部,是中国七大江河之一。淮河干流全长约 1 000 km,总落差 200 m,平均河床比降 0.02%。洪河口至洪泽湖出口的中游河段长 490 km,地面落差 16 m,平均河床比降仅为 0.003%,使得该河

基金项目: 国家自然科学基金(51239003,51679065);江苏省自然科学基金(BK20171436)
作者简介: 郝永飞(1994—),男,硕士研究生,主要从事水环境研究。E-mail: haoyf1404@163.com
通信作者: 唐洪武,教授。E-mail: hwtang@hhu.edu.cn
引用本文: 郝永飞,金光球,唐洪武,等. 淮河干流典型污染物时空分布特性分析[J]. 河海大学学报(自然科学版),2020,48(4):291-299.
HAO Yongfei, JIN Guangqiu, TANG Hongwu, et al. Spatial and temporal distribution analysis of typical contaminants in mainstream of Huaihe River [J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2020, 48(4): 291-299.

段内水动力弱、流速缓慢,河流自净能力极弱。加之淮河两岸经济的发展,人为干预等因素不断降低河流的纳污能力,致使淮河的污染日趋严重^[1]。20 世纪 80 年代以来,淮河水质呈现逐年恶化的趋势^[2],90 年代以后经过综合治理后水质整体有所改善,但污染依然严重^[3]。21 世纪初,随着淮河流域经济的进一步发展,政府采取措施严格控制排放污染物进入河流,虽然取得很大成效,但淮河的水环境问题依旧严峻^[2-6]。分析其原因,受河流水动力因素的影响,污染水体中的总磷和重金属极易随着河流的潜流交换作用进入河底沉积物中^[7],而自然水体的沉积物作为水环境的重要组成部分,不仅是各种污染物的重要储存场所,更是水体的二次污染源^[8-9],着手这方面的研究,有助于人们把握污染来源,很有实际意义和学术价值。

21 世纪初以来,许多学者对淮河水体和沉积物做了大量的原位观测与研究^[4,9-13]。黄宏等^[5]、刘振宇等^[6]、刘梦琳等^[10]先后基于不同时间的采样数据,对沉积物中 TP 和主要重金属污染情况作出评价。以上关于淮河水环境的研究,多基于单次采样结果得出分析成果,少有长系列、大尺度时空分布和其来源研究以及水动力过程的影响。本文根据目前的研究现状,以淮河干流为主要研究对象开展长系列、大尺度的野外研究,着重探讨淮河总磷(TP)和主要金属污染物(As、Cu、Pb、Zn)的时空变化特征及其主要影响因素,探究污染物主要来源和水动力对污染物环境效应的影响,并对淮河主要污染现状作出评价,进一步完善淮河污染综合评价体系,为淮河水环境治理提供依据。

1 现场观测及方法

1.1 布点和采样

采样点布置在淮河中下游,主要采样断面位置见图 1。自上游至下游采样断面依次为沙颍河、正阳关、鲁台子、凤台、孔集、淮南平圩、淮南上、淮南下、涡河口、蚌埠闸上、吴家渡、蚌埠高铁桥、沫河口、临淮关、安集、陈台子、小柳巷、盱眙大桥、老子山,依次标号为 1~19 号采样断面。2014—2017 年间先后 7 次对淮河上覆水和沉积物进行采样检测,采样时间依次为 2014 年 6 月、11 月,2015 年 6 月,2016 年 6 月、9 月,2017 年 6 月、11 月,采样时间均选在当月中上旬。7 次采样中 2016 年 6 月和 9 月 2 次样品只进行沉积物中 TP 含量检测。采样过程中,采用有机玻璃水质采样器采集底层水,并使用 500 mL 棕色窄口玻璃瓶盛装,用于检测 TP。所有新瓶需要用铬酸洗液洗 1 次,自来水洗 3 次,蒸馏水洗 1 次。在采集水样前,用该采样点的水样润洗采样器以及样品瓶。沉积物样品采集使用德国 HYDRO-BIOS 公司生产的小型箱式分层底泥采样器采集河床表层 0~5 cm 的沉积物,于船停泊处,在 3 个不同位置分别采集底泥样品,混合均匀后,用布袋采集需要风干的底泥样品。

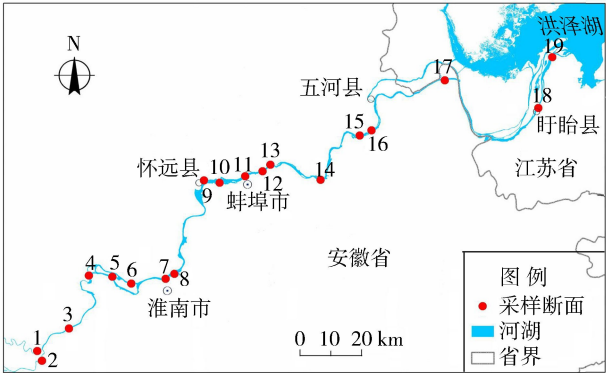


图 1 淮河采样断面布置

Fig. 1 Illustration of sampling sections along Huaihe River

1.2 样品的分析测试

底泥中 TP 的提取采用 SMT 法^[14],TP 采用碱性过硫酸钾高温消解后用钼锑抗分光光度法测定^[15];重金属采用电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES)^[15]进行测定。

1.3 数据处理与分析方法

1.3.1 多年污染物含量标准化

为了探究污染物空间分布规律,同时避免单位以及数量级的影响,将各断面沉积物和上覆水中污染物含

量进行标准化处理。标准化的计算公式如下：

$$z_{ij} = \frac{C_{ij} - C_{ij\min}}{C_{ij\max} - C_{ij\min}}$$

(1)

式中： C_{ij} ——第 i 种污染物在第 j 个断面多年平均含量(质量比,下同),mg/kg; $C_{ij\min}$ ——各断面中第 i 种污染物多年平均含量最小值,mg/kg; $C_{ij\max}$ ——各断面中第 i 种污染物多年平均含量最大值,mg/kg; z_{ij} ——第 i 种污染物在第 j 个断面的标准化值。

1.3.2 污染物含量变化率

为了研究洪水对沉积物中污染物变化的影响,选取 2014 年 2 次沉积物采样数据,即汛前 6 月和汛后 11 月,计算各断面污染物含量变化率。污染物含量变化率计算公式如下：

$$a_{ij} = \frac{C_{6ij} - C_{11ij}}{C_{6ij}} \times 100\%$$

(2)

式中： C_{6ij} ——6 月第 i 种污染物在第 j 个断面的含量,mg/kg,; C_{11ij} ——11 月第 i 种污染物在第 j 个断面的含量,mg/kg; a_{ij} ——第 i 种污染物在第 j 个断面的变化率。

1.3.3 单因子标准指数法

为了研究沉积物中总磷的环境效应,采用单因子标准指数法对沉积物的磷污染情况进行评价。单因子标准指数法计算公式如下：

$$S_j = \frac{C_j}{C_s}$$

(3)

式中： C_j ——第 j 个断面沉积物中总磷含量实测值,mg/kg; C_s ——沉积物中总磷含量评价标准值,mg/kg; S_j ——第 j 种污染物在环境中的环境质量指数。

本次评价选用的总磷评价标准(质量比)为 600 mg/kg,此标准是根据加拿大安大略省环境和能源部于 1992 年发布的指南^[16]中指出的沉积物中能引起最低级别生态风险效应的总磷含量而选定。

1.3.4 地积累指数法

采用德国 Muller^[17]提出的地积累指数法(index of geoaccumulation)定量评价沉积物中的重金属污染物含量,并规定了相应污染程度分级标准,中国土壤环境元素背景值^[18],污染程度与分级^[18]。相应的公式如下：

$$I_{\text{geo}} = \log_2 \left(\frac{C_i}{k B_i} \right)$$

(4)

式中： I_{geo} ——沉积物中污染物含量地积累指数; C_i ——沉积物中第 i 种污染物含量实测值,mg/kg; k ——考虑岩石差异引起背景值变动而取的系数(一般值为 1.5); B_i ——沉积物中第 i 种污染物含量背景值,mg/kg。

1.3.5 潜在生态危害指数法

瑞典 Hakanson^[19]提出的潜在生态危害指数法(the potential ecological risk index)是划分沉积物污染程度及其水域潜在生态风险的一种相对快速、简便和标准的方法,不但考虑重金属含量,而且将重金属的生态效应、环境效应与毒理学联系在一起,采用具有可比性、等价属性指数分级进行评价。公式如下：

$$C_{ri} = \frac{C_i}{C_{ni}}$$

(5)

$$C_d = \sum_{i=1}^n C_{ri}$$

(6)

$$E_{ri} = T_{ri} C_{ri}$$

(7)

$$I_{\text{RI}} = \sum_{i=1}^n E_{ri} = \sum_{i=1}^n T_{ri} C_{ri}$$

(8)

式中： C_{ri} ——第 i 种污染物单因子污染参数; C_{ni} ——全球工业化前沉积物中污染物含量最高背景值,mg/kg; C_d ——多种污染物污染参数之和(多因子污染参数); E_{ri} ——沉积物中第 i 种污染物潜在生态风险参数; T_{ri} ——单个污染物毒性响应参数; I_{RI} ——潜在生态风险参数(多因子生态风险参数)。

2 结果与讨论

2.1 典型污染物时空分布特征

2.1.1 TP 空间分布特征

按式(1)对各断面历次采样结果的均值进行标准化处理,上覆水与沉积物中 TP 沿程变化见图 2。由图 2 可见,上覆水中 TP 含量最大值在 1 号断面,分析可能是由于上游污水排放导致的结果;1 号断面之后上覆水中 TP 含量依次降低,在 5 号断面达到最小值,分析原因是该处地处急弯凹岸,河流分叉,主槽河宽较窄^[20],导致水流流速大,紊动强烈,同时该处地处八公山风景区、焦岗湖及西淝湖下游,无论是城镇点源还是农业面源污染均较少;由于淮南市污水排放,使上覆水中 TP 含量在 6~9 号断面依次升高,同时该河段北岸存在大量农田,位于该河段北侧的茨淮新河及涡河便成为农业面源污染物的接纳体汇入淮河干流,致使 9 号断面上覆水中 TP 含量较上游更高;蚌埠闸的修建使水位抬高,水体环境容量变大,蚌埠闸风景区同时兼为蚌埠市饮用水源地^[8],因此 10 号断面上覆水中 TP 含量较 9 号断面降低明显;11~13 号断面上覆水中 TP 含量较高,分析原因是蚌埠市的城市点源污染排放入河;13~19 号断面,淮河干流周边没有较大城镇,城镇点源污染减少,且下游河段在汇入洪泽湖之前支流增多,稀释作用增强,使上覆水中 TP 含量逐渐降低。由此可见上覆水中 TP 含量沿程变化与地形、地势及河床条件等自然因素和城镇点源污染、农业面源污染及保护区等人为因素有关。

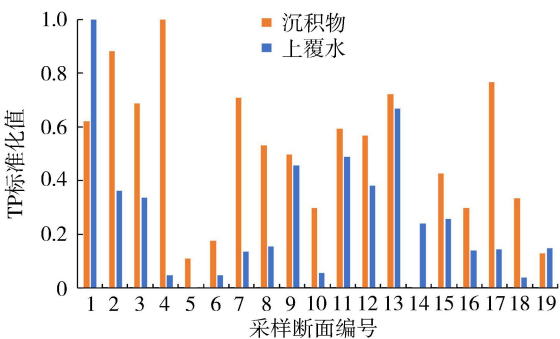


图2 淮河 TP 沿程变化

Fig. 2 TP variation along the Huaihe River

沉积物中 TP 含量沿程变化规律与上覆水相似。1~4 号断面沉积物中 TP 含量均较高,可能是由于上游来水及来沙条件导致;5 号、6 号断面沉积物中 TP 含量较上游降低,导致这种结果的原因与上覆水中 TP 含量降低影响因素类似;7~13 号断面沉积物中 TP 含量变化规律与上覆水中 TP 含量变化规律较一致;需要特别指出的是 14 号断面沉积物中 TP 达到最小,分析发现该处地处临淮关弯道,河宽较窄,河床深切^[20],水流紊动更强,水流挟沙能力更强,对磷吸附性更强的细颗粒泥沙不容易在此淤积,而更强的水流紊动促进上覆水与孔隙水的潜流交换,加速沉积物中吸附态磷释放^[21],使沉积物中 TP 含量降低。可以推测,除人为因素外,水沙运动和潜流交换是影响 TP 沿程分布的重要因素。

2.1.2 重金属空间分布特征

除 2016 年 6 月和 9 月,其余 5 次采样均对沉积物中主要重金属(As、Cu、Pb、Zn)进行检测,按式(1)对各断面重金属含量均值做标准化处理,沉积物中重金属含量沿程变化见图 3。由图 3 可见,4 种重金属含量变化规律基本一致,均呈现出工矿及城市的下游断面高、河道狭窄处低的特点^[6],但由于沉积物对各种重金属吸附特性不同^[20],因此各重金属含量沿程变化规律略有不同。4 种主要重金属含量均在 7 号断面达到峰值或次峰值,在 13 号和 14 号断面达到最小值或次小值。分析原因发现 7 号断面地处蔡家岗采煤区附近,煤矿长期开采过程中堆积了大量煤矸石,受表生作用使其所含的重金属向淮河水体和沉积物中迁移富集^[23-25],同时该处电厂、焦化厂等工矿企业生产过程中产生大量污染废水^[18],以及产生的炉灰废渣等排放均会导致 7 号断面重金属含量高;11 号断面 Cu 含量达到最高,可能是由于该处地处蚌埠市下游,含铜废水排放及含铜化肥大量使用导致;13 号和 14 号断面处河道突然束窄,局部流速变快,水流紊动加强,水流挟沙能力更强,吸附性更强的细颗粒泥沙不容易在此淤积^[26];15~19 号断面所在区域河道坡降放缓,河面变宽,水流流速降低,泥沙淤积加速,伴随着泥沙淤积,沉积物中重金属含量升高。综合来看,沉积物中重金属污染更多地来自污染源影响,但河道特性、水流特性及泥沙淤积等因素在一定程度上影响了

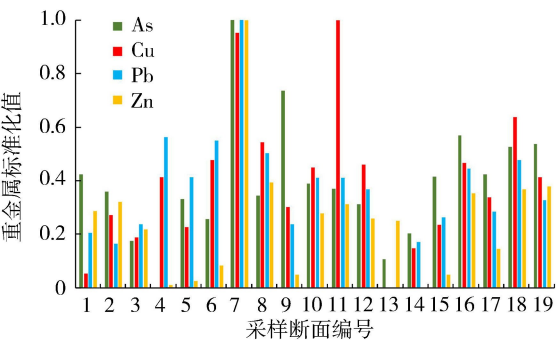


图3 淮河沉积物中主要重金属沿程变化

Fig. 3 Variation of major heavy metals in the sediment of Huaihe River

沉积物中重金属污染物的空间分布。

2.1.3 污染物随时间变化

为研究采样区间内污染物随时间变化的规律,绘制历次采样 TP 质量浓度箱线图(图 4)。由图 4 可见,上覆水中 TP 随时间呈现下降趋势,说明经过多年治理,淮河上覆水中 TP 污染情况改善明显。而沉积物中 TP 呈现波动下降趋势,且汛前全断面沉积物中 TP 的中位数及平均值都要高于汛后。这是因为淮河泥沙平衡磷吸附浓度高于上覆水中可溶性活性磷质量浓度,吸附了磷的泥沙颗粒具有向上覆水释放的能力^[27],汛期洪水使水动力作用增强,位于水沙界面的泥沙受到紊动水流扰动发生再悬浮并向下游迁移,从而在汛后形成的新沉积层表现出更低的污染物含量。

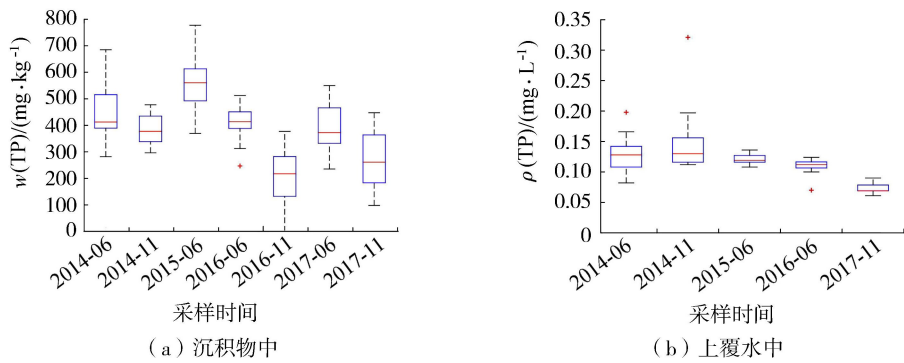


图 4 不同采样时间 TP 箱线图

Fig.4 Boxplot of TP at different sampling time

通常根据重金属在水环境中的稳定性可大致将重金属分为 3 类:(a)水环境稳定元素,如铅、锌、铜等;(b)水环境较稳定元素,如镉、铬、硒等;(c)水环境不稳定元素,如汞、砷等^[28]。研究结果表明不稳定元素 As 随时间呈现明显下降趋势,拟合结果相关系数达到 0.85,说明近年来淮河 As 污染状况改善明显;而稳定元素 Cu、Pb 及 Zn 随时间变化规律较为一致,均为波动下降,拟合结果相关系数只有 0.3 左右,下降情况并不明显。同时还发现从全断面角度来看不稳定元素 As 在 2014 年和 2017 年 2 次汛前采样结果(6 月)均大于当年汛后采样结果(11 月),可能原因是汛期洪水使河流表层泥沙迁移和汛期河水紊动强度大使 As 从泥沙表面释放后重新进入水体,从而导致汛后沉积物中 TP 含量低于汛前,这一点与沉积物中 TP 规律一致。而稳定元素 Cu、Pb 及 Zn 则不具备这一规律,也表明这类稳定元素治理较为困难。

2.1.4 汛前与汛后沉积物中污染物变化特征

由式(2)计算得到 2014 年汛前与汛后沉积物中重金属含量变化率。结果表明除个别断面的个别污染物之外,2014 年 11 月沉积物中重金属含量较 2014 年 6 月均有不同程度降低。全断面 2 次采样 As、Cu、Pb、Zn 平均含量分别降低 27.24%、38.89%、32.72%、49.99%。As 含量降低最多的断面为淮南下,降低了 70.89%;Cu 含量降低最多的断面为沫河口,降低了 67.15%;Pb 含量降低最多的断面为陈台子,降低了 53.61%;Zn 含量降低最多的断面为淮南下,降低了 75.25%。可以推测,汛期洪水使表层重污染的泥沙被冲刷带走,同时吸附在沉积态泥沙上的吸附态磷和金属污染物可能伴随着泥沙的再悬浮和解吸附作用重新进入上覆水中,并伴随着洪水过程向下游输移,表现出汛后的新生成沉积物中污染物含量较汛前有不同程度降低的状况。而 1、9、13 和 14 号断面总磷含量出现增长,可能是由于存在城市排污口,河流弯道泥沙淤积和倒坡降等因素导致。10~12 号断面存在 As 和 Cu 增长情况,考虑到这 3 个断面地处蚌埠市周边,受城市点源污染严重。

2.2 典型污染物来源分析与环境评价

2.2.1 各污染物相关性分析

河流污染物来源受流域基岩情况和人类活动的双重影响,其地球化学行为往往表现出一定的元素组合,利用相关性分析可以反映这些元素的组合特征,将 6 种形态污染物进行相关性分析,其皮尔逊相关系数矩阵见表 1。从表 1 可以看出,4 种重金属元素 As、Cu、Pb、Zn 之间呈正相关,相关系数范围为 0.4951~0.7487,均接近或大于临界相关系数 0.5,表明各重金属元素之间相关性良好。Zn 与 As、Pb、Cu 之间均为显著相关,Pb 与 Cu 之间相关性最强,As 与 Pb 之间相关性较弱,这些都与各重金属污染物的沿程分布规律较为一致。

上覆水中 TP 和沉积物中 TP 与各重金属污染物之间相关性均较弱,上覆水中 TP 与沉积物中 TP 之间相关性也较弱。

表 1 污染物含量的皮尔逊相关系数矩阵

Table 1 Pearson coefficient matrix of contaminants in the sediment

元素	As	Cu	Pb	Zn	沉积物中 TP	上覆水中 TP
As	1					
Cu	0.529 4	1				
Pb	0.495 1	0.748 7	1			
Zn	0.731 9	0.740 7	0.661 9	1		
沉积物中 TP	0.350 8	0.252 7	0.224 5	0.182 9	1	
上覆水中 TP	0.342 1	0.112 8	-0.016 1	0.089 8	0.279 9	1

2.2.2 主成分分析确定污染物来源

通过相关性分析发现各污染物之间相关性良好,而 Bartlett 球度检验相伴概率为 0.000,小于显著性水平 0.05,说明本研究中的数据比较适合作因子分析。主成分分析计算表明:(a)前 2 个主成分累积贡献率达到 78.9%,基本反映了全部数据的信息。(b)第一主成分轴由 As、Cu、Pb 和 Zn 组成,其在该主成分上具有较高因子得分;第二主成分轴由 TP 组成,其在该轴上具有较高正载荷。由相关性分析可见各重金属污染物之间相关性良好,可见各重金属污染物具有相同影响因素,而沉积物中 TP 与重金属污染物相关性较弱,结合前文所述污染物时空分布规律,不难推测,第一主成分反映了工业点源污染影响,而第二主成分代表了农业面源污染影响。

通过计算各断面主成分的得分推测各主成分对于污染影响的强弱。主成分得分越高,说明该主成分对断面污染程度影响越大。各断面主成分得分见表 2。由表 2 可见第一主成分得分最大值为 7 号断面,第二主成分得分最大为 4 号断面,即 7 号断面受工业点源影响更大,4 号断面受农业面源影响更大。该结果与前文所述一致。

表 2 各个断面主成分得分

Table 2 Main component scores of each section

断面	第一主成分得分	第二主成分得分	断面	第一主成分得分	第二主成分得分	断面	第一主成分得分	第二主成分得分
1	-0.587	-0.741	8	0.533	1.023	15	-0.615	-0.628
2	-0.380	0.297	9	-0.183	-1.021	16	0.536	-0.173
3	-0.697	1.235	10	0.142	-0.069	17	-0.242	1.101
4	-0.443	1.807	11	0.852	1.036	18	0.734	-0.341
5	-0.587	-1.518	12	0.013	0.805	19	0.272	-0.717
6	-0.099	-0.993	13	-1.317	0.861			
7	3.293	-0.470	14	-1.225	-1.496			

2.2.3 沉积物中 TP 污染评价

由式(3)计算得到 2014 年和 2017 年沉积物中 TP 单因子指数沿程变化(图 5)。由图 5 可见,TP 环境指数变化范围为 0.16~1.30,除 4 号、8 号和 11 号主要城市断面 2014 年 6 月监测结果以外,其余采样断面沉积物中 TP 含量均低于评价标准。从历次监测结果来看,淮河干流中下游沉积物中 TP 环境质量指数均值呈现逐步减小趋势,尤其是 2017 年所有断面 2 次 TP 监测值均低于评价标准。与前人研究相比^[4-6,10],淮河干流中下游沉积物中 TP 含量大幅度降低,水体环境质量得到改善,可见近年来淮河生态整治工作取得了一定成效。同时,对比 2014 年及 2017 年 11 月较当年 6 月 TP 环境质量指数呈现明显下降,11 月所有断面 TP 环境质量指数均小于 1,最大值分别只有 0.80 和 0.75,可见磷污染具有季节性。总体而言,采样区间内淮河干流沉积环境受磷污染较轻,基本不具有生态风险效应。

2.2.4 沉积物重金属污染评价

根据重金属地积累指数法计算得到 4 种重金属地积累指数 I_{geo} (图 6)。可见全断面 5 次采样中 4 种重金属均值计算得到地积累指数均为负值,均值依次为-2.09(As)、-2.69(Cu)、-2.41(Pb)、-1.98(Zn),则重金属污染程度为 $Cu>Pb>As>Zn$, I_{geo} 分级指数均为 0,表明淮河中下游近年来沉积物中重金属污染程度很低,几乎未见污染,考虑到采样点的局限性,不排除局部区域仍存在重金属污染,与之前的研究^[1-3,5]相比,通过

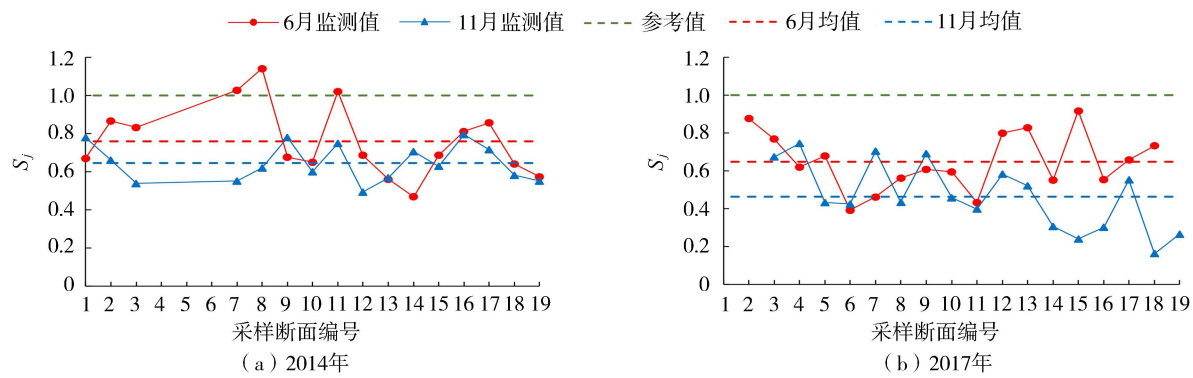


图 5 沉积物中 TP 单因子指数变化
Fig. 5 Variation of TP single factor index in the sediment

近年来淮河污染综合治理,淮河污染状况得到明显改善。

根据重金属潜在生态危害指数法计算得到 4 种重金属潜在生态危害指数见图 7。可见近年来淮河中下游沉积物中重金属污染物的单因子风险指数变化范围为 0.47 ~ 4.51,远小于单因子低生态风险指数限值 40;多因子风险指数的变化范围是 5.19 ~ 11.60,远小于多因子低生态风险限值 150。重金属污染程度为 $As>Pb>Cu>Zn$ 。相较于地积累指数法,该方法考虑了重金属的毒性,结果与地积累指数方法得到结论一致,采样区间内淮河中下游沉积物中重金属处于低风险状态。

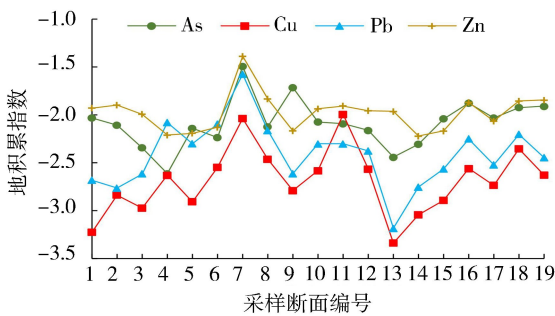


图 6 沉积物中重金属地积累指数
Fig. 6 Geoaccumulation index of heavy metals in the sediment

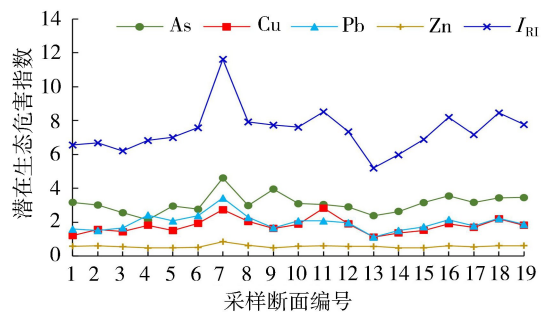


图 7 沉积物中重金属潜在生态危害指数
Fig. 7 Potential ecological risk index of heavy metals in the sediment

3 结 论

- a. 淮河中下游河段各采样断面沉积物中污染物的含量分布各异,淮南上断面重金属含量最高,凤台断面 TP 含量最高。沿程变化规律主要受沿岸工矿、农业以及城乡居民活动的影响。
- b. 经过近年来的治理,淮河干流各污染物含量整体呈现下降趋势,TP 和 As 下降最明显,且 11 月沉积物中各污染物含量明显低于 6 月,水动力对沉积物中污染物的释放有重要作用。
- c. 淮河河床质泥沙具有一定的环境效益,易吸附上覆水中的污染物从而富集在河床上,水动力对污染物的环境效应作用较大,影响上覆水与污染物在河床沉积层的潜流交换,从而产生次生污染。
- d. 主要污染物的皮尔逊系数表明,4 种重金属元素 As、Cu、Pb、Zn 之间呈正相关且相关性良好;污染物来源分析表明,沉积物中 TP 主要受到农业面源污染的影响,重金属污染物主要受工业点源污染的影响。
- e. 主要环境评价指标表明,监测区间内沉积物中 TP 和主要重金属 (As、Cu、Pb、Zn) 含量不具有生态风险,地积累指数法计算得到的重金属污染程度排序为 $Cu>Pb>As>Zn$,潜在生态危害指数法计算得到的重金属污染程度排序为 $As>Pb>Cu>Zn$,造成这种差异的原因是是否考虑单个污染物的毒性响应参数。

参考文献:

[1] 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. (YU Yajuan, HUANG Hong, WANG Xiaodong, et al. Sedimentary heavy metal pollution in the Huaihe River [J]. Research of

- Environmental Sciences, 2003, 16(6):26-28. (in Chinese))
- [2] 魏卿,薛联青,张敏,等.淮河流域环境流变化及其对洪泽湖鱼类栖息地的生态影响[J].水资源保护,2019,35(4):89-94. (WEI Qing,XUE Lianqing,ZHANG Min,et al.Changes of environmental flow in Huaihe River Basin and its ecological impact on fish habitat in Hongze Lake[J].Water Resources Protection,2019,35(4):89-94.(in Chinese))
- [3] 马静.淮河流域面源污染特征分析与控制策略研究[D].北京:清华大学,2013.
- [4] 唐洪武,肖洋,袁赛瑜,等.平原河流水沙动力学若干研究进展与工程治理实践[J].河海大学学报(自然科学版),2015,43(5):414-423. (TANG Hongwu,XIAO Yang,YUAN Saiyu,et al.Advances in research on hydrodynamics and sediment transport of plain rivers and its application in river treatment [J].Journal of Hohai University (Natural Sciences),2015,43(5):414-423.(in Chinese))
- [5] 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. (HUANG Hong,YU Yajuan,WANG Xiaodong,et al.Pollution of heavy metals in surface sediments from Huaihe River (Jiangsu section) and its assessment of potential ecological risk [J].Environmental Pollution & Control,2004,26(3):207-208.(in Chinese))
- [6] 刘振宇,唐洪武,肖洋,等.淮河沉积物总磷和重金属沿程变化及污染评价[J].河海大学学报(自然科学版),2018,46(1):16-22. (LIU Zhenyu,TANG Hongwu,XIAO Yang,et al.Variation and pollution evaluation of the total phosphorus and heavy metals in sediments of Huaihe River [J].Journal of Hohai University (Natural Sciences),2018,46(1):16-22.(in Chinese))
- [7] 金光球,李凌.河流中潜流交换研究进展[J].水科学进展,2008,19(2):141-149. (JIN Guangqiu,LI Ling.Advancement in the hyporheic exchange in rivers [J].Advances in Water Science,2008,19(2):141-149.(in Chinese))
- [8] 朱兰保,盛蒂,周开胜,等.淮河安徽段沉积物中重金属污染及其潜在生态风险评价[J].环境与健康杂志,2007,24(10):784-786. (ZHU Lanbao,SHENG Di,ZHOU Kaisheng,et al.Heavy metal pollution in the sediments of the Huaihe River in Anhui Province and its potential ecological risk assessment [J].Journal of Environment and Health,2007,24(10):784-786.(in Chinese))
- [9] 王汗,燕文明,宋兰兰,等.摇蚊幼虫扰动对沉积物-水界面结构特征的影响[J].水资源保护,2017,33(5):177-182. (WANG Han,YAN Wenming,SONG Lanlan,et al.Bioturbation effects of Chironomus plumosus on structural characteristics of sediment-water interface [J].Water Resources Protection,2017,33(5):177-182.(in Chinese))
- [10] 刘梦琳,冯精兰,刘群,等.淮河上游表层沉积物中重金属的赋存形态及其生态风险[J].环境化学,2014,33(7):1235-1236. (LIU Menglin,FENG Jinglan,LIU Qun,et al.Occurrence and ecological risk of heavy metals in surface sediments of Huaihe River [J].Environmental Chemistry,2014,33(7):1235-1236.(in Chinese))
- [11] 肖洋,余维维,成浩科,等.淮河中游泥沙对磷吸附/解吸规律[J].河海大学学报(自然科学版),2015,43(4):307-312. (XIAO Yang,YU Weiwei,CHENG Haoke,et al.Phosphorus adsorption and desorption behavior of sediments in dstream of Huaihe River [J].Journal of Hohai University (Natural Sciences),2015,43(4):307-312.(in Chinese))
- [12] 吉飞,李志伟,赵汗青.水动力作用下泥沙对磷的吸附特征[J].河海大学学报(自然科学版),2017,45(1):56-62. (JI Fei,LI Zhiwei,ZHAO Hanqing.Characteristics of adsorption of phosphorus by sediment under hydrodynamic action [J].Journal of Hohai University (Natural Sciences),2017,45(1):56-62.(in Chinese))
- [13] 马培,鲍锦磊.沙颍河表层沉积物中氮与重金属的分布特征及污染评价[J].水资源保护,2018,34(2):61-67. (MA Pei,BAO Jinlei.Characterization and ecological risk assessment of nitrogen and heavy metal pollution in surface sediments of Shaying River[J].Water Resources Protection,2018,34(2):61-67.(in Chinese))
- [14] GONZ L,MEDEIROS J,REZ C B,et al.Analytical phosphorus fractionation in sewage sludge and sediment samples [J].Analytical and Bioanalytical Chemistry,2005,381(4):873-878.
- [15] 国家环保局.水和废水监测分析方法[M].北京:中国环境科学出版社,1997.
- [16] LDVUORI M,NIEMIST O L.Sedimentation of trace metals in the Gulf of Bothnia [J].Chemospher,1995,31(8):3839-3856.
- [17] MULLER G.Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River[J].Geojournal,1969,2(3):108-118.
- [18] 贾振邦,周华,赵智杰,等.应用地积累指数法评价太子河沉积物中重金属污染[J].北京大学学报(自然科学版),2000,36(4):525-530. (JIA Zhenbang,ZHOU Hua,ZHAO Zhijie,et al.The application of the index of geoaccumulation to evaluate heavy metal pollution in sediments in the Benxi section of the Taizi River [J].Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis,2000,36(4):525-530.(in Chinese))
- [19] HAKANSON L.An ecological risk index for aquatic pollution control. a sedimentological approach [J].Water Research,1980,14(8):975-1001.

[20] 杨兴菊,虞邦义. 淮河中游洪河口至浮山河段纵剖面演变分析[J]. 水利水电技术, 2009, 40(7): 107-110. (YANG Xingju, YU Bangyi. Analysis on longitudinal prorde evolution of mid-reach of Huaihe River from Honghekou to Fushan [J]. Technical Supervision in Water Resources, 2009, 40(7): 107-110. (in Chinese))

[21] 龚然,徐进,徐力刚,等. 鄱阳湖沉积物中磷吸附释放特性及影响因素研究[J]. 生态环境学报, 2014, 23(4): 630-635. (GONG Ran, XU Jin, XU Ligang, et al. Adsorption and release characteristic of phosphorus and influential factors in Poyang Lake sediment [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2014, 23(4): 630-635. (in Chinese))

[22] 庄云龙,石秀春. 铜、锌、铅和镉在淀山湖沉积物上的吸附特性[J]. 上海大学学报(自然科学版), 2002, 8(6): 526-529. (ZHUANG Yunlong, SHI Xiuchun. Adsorption characteristics of Cu, Zn, Pb and Cd in Dianshan Lake sediments [J]. Journal of Shanghai University (Natural Science), 2002, 8(6): 526-529. (in Chinese))

[23] 白建峰. 淮南煤矸石中若干有害重金属元素含量及其迁移性研究[D]. 淮南:安徽理工大学, 2004.

[24] 王兴明. 淮南煤矸石堆积地重金属元素环境生物地球化学研究[D]. 淮南:安徽理工大学, 2013.

[25] 贺勇,黄河,严家平. 淮河中下游底泥中的重金属与有机质研究[J]. 安徽建筑工业学院学报(自然科学版), 2005, 13(6): 79-82. (HE Yong,HUANG He,YAN Jiaping. Study on the heavy metals and organic matter in sediments from the middle and lower reaches of Huaihe River [J]. Journal of Anhui Institute of Architecture & Industry, 2005, 13(6): 79-82. (in Chinese))

[26] 周家俞,刘亚辉,吴门伍,等. 泥沙粒径与水流紊动关系试验研究[J]. 水动力学研究与进展, 2006, 21(5): 679-684. (ZHOU Jiayu, LIU Yahui, WU Menwu, et al. Experimental study of the relationship of turbulence intensity and sediment particles size [J]. Journal of Hydrodynamics, 2006, 21(5): 679-684. (in Chinese))

[27] 王道增,周旭,朱红伟,等. 再悬浮底泥污染物在水体中的分层释放特征[J]. 水动力学研究与进展, 2014, 29(5): 592-598. (WANG Daozeng, ZHOU Xu, ZHU Hongwei, et al. Stratified release characteristics of sediments contaminants during re-suspension in water column [J]. Chinese Journal of Hydrodynamics, 2014, 29(5): 592-598. (in Chinese))

[28] 岳桂春,吴吉琨,杜尧国. 环境化学[M]. 长春:吉林大学出版社,1991.

(收稿日期:2019-04-19 编辑:高建群)

· 简讯 ·

河海大学常州新校区在常州市金坛区开工建设

2020年6月28日,河海大学常州新校区开工仪式在常州市金坛区举行。数百名代表、嘉宾四方云集,共襄盛典,共同见证河海大学发展史上的又一个里程碑时刻。

出席启动仪式的领导有江苏省副省长马欣、江苏省政府副秘书长徐光辉、江苏省教育厅厅长葛道凯等省政府和部门领导,常州市委书记齐家滨、市长陈金虎等市领导和市政府部门干部代表,金坛区委书记狄志强、区长沈东等区领导和区各界人士代表,河海大学党委书记唐洪武、校长徐辉等校领导和学校干部师生代表。

参加仪式的特邀嘉宾有致公党中央原副主席、十二届全国人大常委会委员、全国人大教育科学文化卫生委员会副主任委员严以新,南京大学党委书记胡金波,河海大学原党委书记、原校长姜弘道,中国工程院院士、长江保护与绿色发展研究院院长张建云,江苏沿海开发集团公司董事长邓东升,永安行科技股份有限公司董事长孙继胜等河海校友代表和老领导代表。

河海大学常州新校区选址在江苏省金坛长荡湖旅游度假区范围内,总投资50亿元,将在2023年秋季学期建成投用。作为河海大学主体校区之一,常州新校区与南京西康路校区、江宁校区实行同一模式、同一标准管理。常州新校区规划入驻全日制在校学生20000人,实现本、硕、博一体化培养,未来将开设机械工程、物联网工程、人工智能、金融、工业设计、拔尖人才培养(华罗庚学院)等二级学院,以及常州研究生院、产业技术研究院等,同时与世界知名大学合作建设中外合作办学机构。

(本刊编辑部供稿)