

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2020.01.005

淮河干流污染物分布及变化规律

李志伟^{1,2}, 丁凌峰^{1,2}, 唐洪武^{1,2}, 肖洋^{1,2}, 杨刚³, 陈曦³, 金光球^{1,2}, 袁赛瑜^{1,2}

(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: 为了研究淮河干流水体和沉积物中总磷(TP)、沉积物中重金属的沿程分布规律和时空变化特征, 于2014—2017年采集淮河干流(正阳关—洪泽湖)19个断面的水样和沉积物样品, 分析各采样时段干流各断面水样和沉积物中TP、沉积物中重金属砷(As)、铜(Cu)、铅(Pb)、锌(Zn)、镉(Cd)等污染物的浓度和分布, 探讨河道流量、温度等因素对水体及沉积物中TP、重金属时空分布的影响。结果表明: 水体、沉积物中TP和沉积物中重金属浓度汛前大于汛后; 水体中各形态磷浓度汛中沿程分布较汛前、汛后更均匀; 流量、温度是影响TP和重金属分布的主要原因。

关键词: 淮河干流; 水体污染; 沉积物污染; 总磷; 重金属; 吸附; 释放; 污染物变化规律

中图分类号: TV131; X52 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2020)01-0029-10

Distribution and variation of pollutants in main stream of Huaihe River

LI Zhiwei^{1,2}, DING Lingfeng^{1,2}, TANG Hongwu^{1,2}, XIAO Yang^{1,2}, YANG Gang³,
CHEN Xi³, JIN Guangqiu^{1,2}, YUAN Saiyu^{1,2}

(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: The distribution as well as the spatial and temporal variation of total phosphorus (TP) in the water and sediment, and the heavy metals in the sediment in the main stream of Huaihe River were studied. Samples of water and sediments in 19 sections of the main stream of Huaihe River from the Zhengyangguan to the Hongze Lake were collected from 2014 to 2017. The TP in the water and sediment, and heavy metals (As, Cu, Pb, Zn, and Cd) in the sediment were analyzed to investigate the concentration and distribution along the river. The effects of the flow rate and temperature on the spatial and temporal distribution of the TP in water and sediment, and heavy metals in the sediment were also discussed. The results showed that the concentration of the TP and heavy metals during pre-flood season is more than that after flood season, and the distribution of various forms phosphorus in water during flood season is more uniform. The flow rate and temperature are main influencing factors for this distribution of TP and heavy metals.

Key words: main stream of Huaihe River; water pollution; sediment pollution; total phosphorus; heavy metal; adsorption; release; variation of pollutants

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFC0402605); 中央高校基本科研业务费专项(2016B00314); 水资源与水电工程科学国家重点实验室(武汉大学)开放研究基金(2015HLG01); 国家博士后基金(2017M610291)

作者简介: 李志伟(1985—), 男, 副教授, 博士, 主要从事环境水力学、环境泥沙及水资源调控研究。E-mail: zwli@hhu.edu.cn

通信作者: 唐洪武, 教授。E-mail: hwtang@hhu.edu.cn

引用本文: 李志伟, 丁凌峰, 唐洪武, 等. 淮河干流污染物分布及变化规律[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2020, 48(1): 29-38.

LI Zhiwei, DING Lingfeng, TANG Hongwu, et al. Distribution and variation of pollutants in main stream of Huaihe River[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2020, 48(1): 29-38.

淮河是我国第三大水系,全长约 1 000 km,而平均比降仅为 0.02%。其河床比降小,流速缓慢,流经地区经济发达,受人工干预较大等因素影响,导致淮河的纳污能力小、污染较为严重^[1-2]。自 20 世纪 80 年代起,淮河水污染事故频繁发生,流域内相继出现数十个“癌症村”,以河南沈丘县最为严重,其恶性肿瘤发病率明显高于国内其他农村^[3],水污染问题严重制约了流域内国民经济的发展^[4-5]。近年来,学者们对淮河水体、沉积物^[6-7]做了大量研究。朱兰保等^[8]于 2007 年 3 月在淮河安徽段采集了 6 个断面表层沉积物,对重金属做了潜在生态评价,认为该河段沉积物中重金属污染水平不显著;韩曦^[9]基于 2010 年夏季淮河安徽段南岸采集的各支流水、沉积物样品,进行了定量的分析和定性的描述:该流域水质整体较好,沉积物中重金属污染不显著;郑中华等^[10]基于 2016 年 8 月在淮河干流典型河段采集的表层沉积物,分析了沉积物中重金属污染现状,得出:各断面镉(Cd)均达重度污染程度,且存在着不同程度的重金属污染的结论。然而以上研究均局限于对单河流短历时的分析,无法在整体上把握流域水体和底泥中污染物的分布与迁移情况。因此本文开展了一系列长历时、大空间尺度的现场监测试验,以淮河干流水体和沉积物中 TP 以及重金属为研究对象,对沿程各断面水体,以及沉积物中 TP 和砷(As)、铜(Cu)、铅(Pb)、锌(Zn)、镉(Cd)等进行时空对比分析,以期揭示淮河干流污染物的沿程分布和年际变化规律,为进一步开展环境综合治理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

沿淮河干流(正阳关—洪泽湖)布设 19 个采样断面(图 1),每个断面左右岸分别设置 1 个采样点。在每个采样点的 3 个不同位置分别采集 1 个水样、1 个沉积物样品,并分别混合均匀。用小型箱式分层底泥采样器(德国 HYDRO-BIOS 公司)采集沉积物,分 2 份,分别装入洁净棕色玻璃瓶(用于离心获得孔隙水)和布袋(用于烘干后测颗粒态污染物含量)。在水深约 0.5 m 处,用水质采样器采集 250 mL 水样,装入洁净塑料瓶内。将采集好的样品编号,送往实验室分析。采样时间分别为 2014 年 6 月、11 月,2015 年 6 月、7 月,2016 年 6 月、7 月、9 月,2017 年 6 月、11 月。

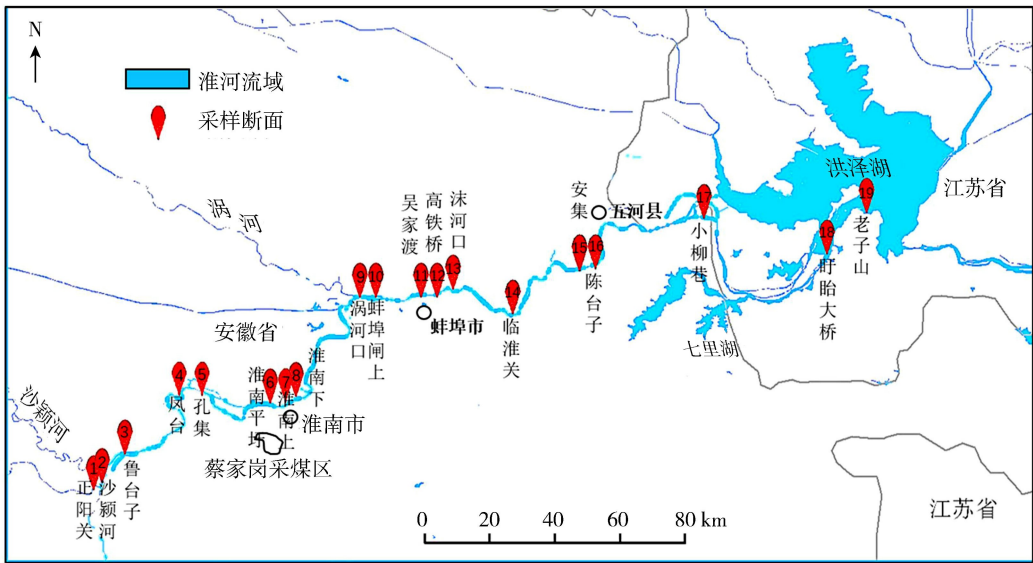


图 1 淮河采样断面布置示意图
Fig. 1 Illustration of sampling sections along Huaihe River

1.2 样品分析方法

底泥中的 TP 采用 SMT 法^[11]提取,TP 含量采用碱性过硫酸钾高温消解后用钼锑抗分光光度法测定^[12];重金属采用电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES)^[13-14]进行测定。

2 结果与讨论

2.1 上覆水中 TP 质量浓度的沿程变化规律

图 2 可清晰看出,各年上覆水 TP 质量浓度大多表现出汛前高于汛中和汛后的特性。经计算,除 2016 年

6 月和 7 月上覆水 TP 的平均质量浓度高于 0.2 mg/L 以外,其余年份均低于 0.2 mg/L,处于国家Ⅲ类水标准范围。这说明近 20 年来进行的大规模水质联防工作,对淮河水质的改善起了较大的作用^[12]。

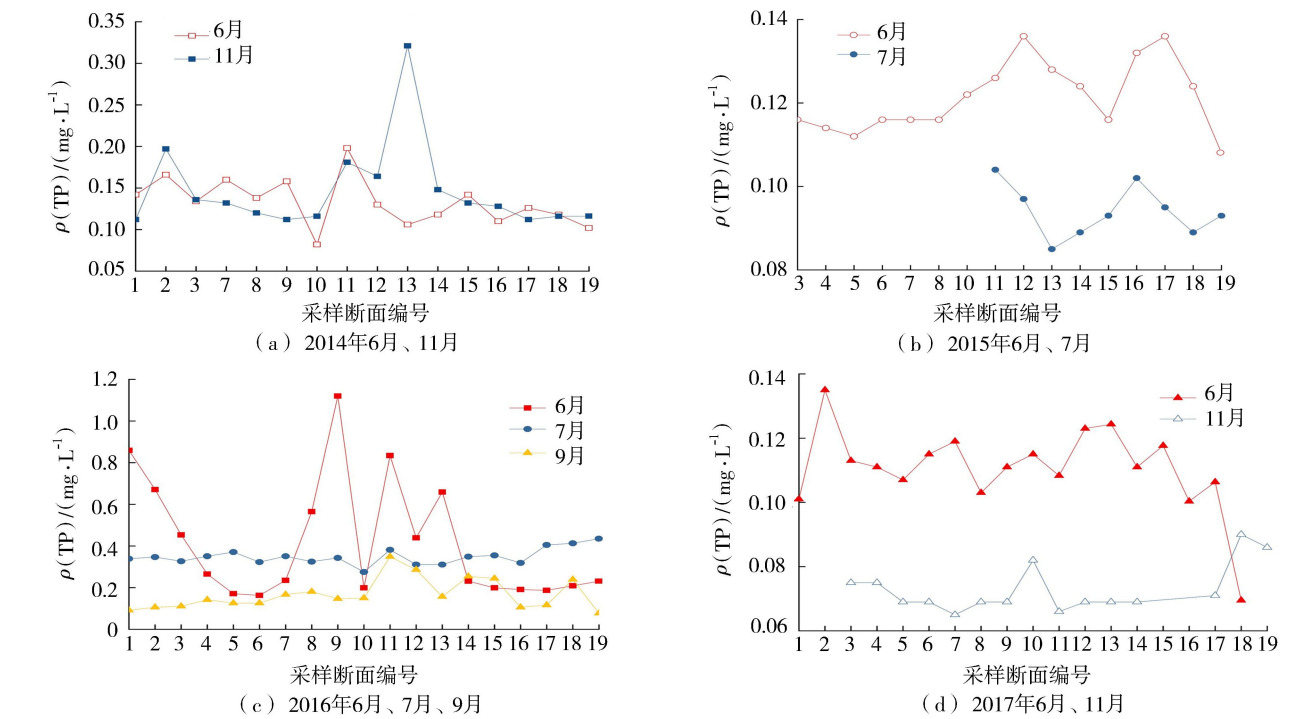


图 2 2014—2017 年汛前、汛中、汛后上覆水中 TP 质量浓度变化

Fig. 2 Concentration variation of TP in overlying water before, during and after flood from 2014 to 2017

2016 年 6 月和 7 月上覆水 TP 质量浓度平均值分别高达 0.415 mg/L、0.349 mg/L,原因有 2 点:(a)2016 年淮河面临更高程度的污染,对比淮河流域水资源保护局公布的 2014 年、2015 年及 2016 年的淮河流域省界水体水资源质量状况通报^[15]发现,2014 年、2015 年淮河中上游省界河断面水质全年平均达标率为 50.83%、43.69%,而 2016 年全年平均达标率为 40.86%,且 2016 年污染物超标河流数量较多,超标污染物主要为总磷、氨氮、高锰酸盐指数等。(b)图 3 为 3 号(鲁台子)断面、11 号(吴家渡)断面 2014—2017 年流量过程线,图中红色圆圈为第一次较大产流发生时间。由图 3 知,2014 年、2015 年、2017 年第一次较大产流分别发生在 4 月底、4 月初和 5 月初,而 2016 年发生在 6 月初,第一次产流会携带大量枯水期间累积在流域地表面的细微疏松沉积物以及营养物质进入河道^[16-17],这些物质在水环境中发生复杂的物化反应,一部分被吸附在泥沙表面并沉积在底泥中,一部分形成可溶性污染物滞留于水体中。2014 年、2015 年、2017 年汛前采样时间与第一次产流时间的间隔较长,水中较多 TP 已沉积至底泥(这 3 年汛前沉积物中 TP 平均质量比分别为

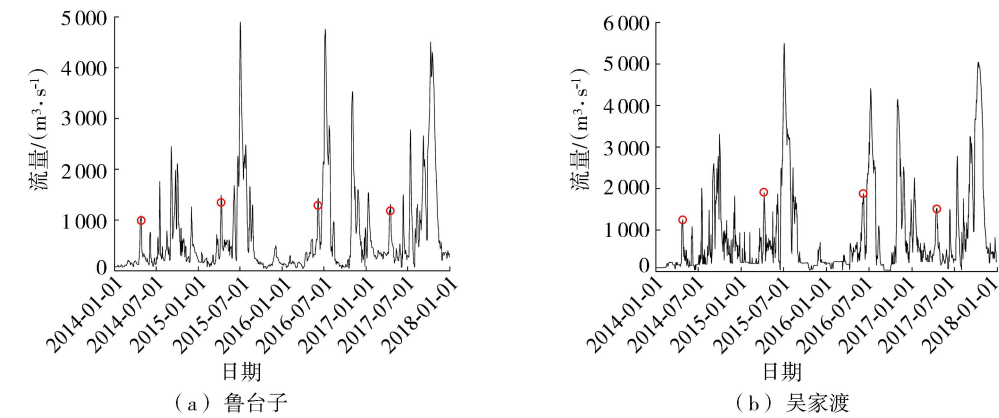


图 3 鲁台子、吴家渡 2014—2017 年流量

Fig. 3 Flow rate of Lutaizi and Wujiadu from 2014 to 2017

456.789 mg/kg、555.538 mg/kg、379.206 mg/kg),2016 年汛前采样时间与第一次产流时间的间隔较短,水体中 TP 大部分未沉降(汛前沉积物中 TP 平均质量比为 399.104 mg/kg),使该年上覆水 TP 质量浓度高于其他年份。2017 年 6 月取样时间在干流出现第 2 次较大流量后,沉积物中 TP 质量比低于 2016 年 6 月。

由各年汛前 TP 质量浓度分布情况可知,2 号(沙颍河)断面、9 号(涡河口)断面、11 号(吴家渡)断面 TP 质量浓度较高,这是因为沙颍河和涡河分别为淮河第一、第二大支流,水质常年处于 V 类、劣 V 类,主要污染物为 TP、氨氮等^[18-19],极大影响了干流的水质;由于闸坝控制,11 号断面处流速缓慢,污染物易堆积^[13],且受蚌埠市排放的大量工业、生活污水以及农业化肥使用的影响^[20],导致该处磷浓度较高。

从图 4(a)可看出,TP 主要以 PP(颗粒态磷)的形式存在,且各断面 PP 质量浓度差异较大。空间上看,1~6 号(正阳关—淮南平圩)断面,PP 质量浓度逐渐下降,原因是:1 号断面是淮河上中游洪水汇聚地^[21-22],第一次产流过程中汇聚大量 PP^[17],导致该处 PP 质量浓度较高,而 PP 在向下游输运的过程中由于水动力作用减弱,又逐渐沉积至底泥。8~13 号(淮南—沫河口)河段,除 10 号(蚌埠闸上)断面外,其余断面浓度均较高,主要是由于该河段流经地区与较多支流、湖泊连通(如泥河、高塘湖、涡河等),河道水动力作用强,使 PP 悬浮于水体中。在 10 号断面处,因采样点位于蚌埠闸前,受闸蓄水的影响,水动力作用极弱,导致上覆水中 PP 质量浓度低。此后下游河段,水动力作用逐渐减弱,且两岸多为山体,外源 PP 输入较少,PP 质量浓度逐渐下降并处于较低水平。由图 4(b)可看出,汛中 TP、DTP(溶解态磷)、PP 质量浓度沿程分布较汛前和汛后均匀,这是因为汛中流量大,上下游水系连通,磷不断向下游输运,促使了磷的空间分布差异减小。这一现象也表明水动力的增强有助于污染物在整个流域内重分布。

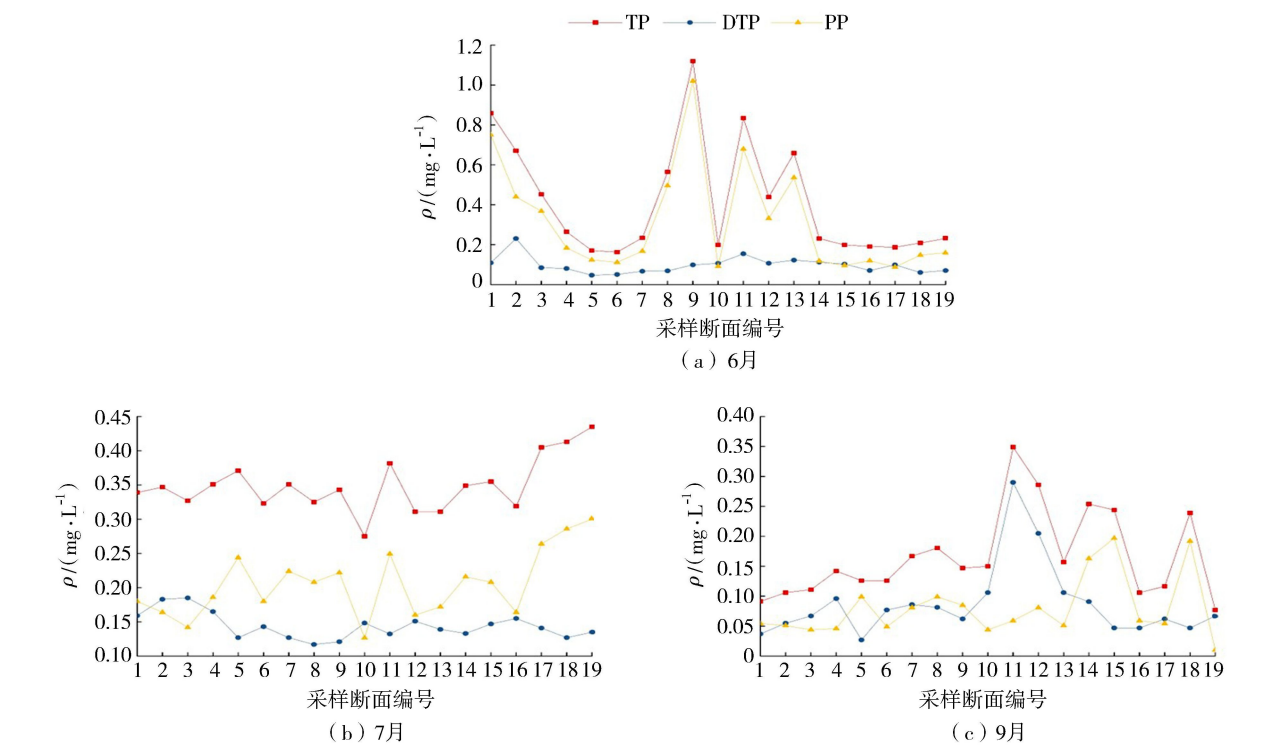


图 4 2016 年 6 月、7 月、9 月上覆水中各形态磷质量浓度

Fig.4 Concentration of TP, DTP and PP in overlying water in June, July and September, 2016

综合图 4、表 1 可知,DTP 在空间上变化不明显,PP 的变化较复杂。从表 1 可看出,3 号(鲁台子)断面、11 号(吴家渡)断面 PP 质量浓度逐渐减小,17 号(小柳巷)断面 PP 质量浓度先增大、后减小。原因是:第一次产流后,汛前上覆水中有大量 PP,汛期流量增大,PP 向下游输运,因此上游 2 个断面的 PP 质量浓度降低。断面 17 位于下游,汛中上覆水中 PP 不仅有悬浮的沉积物,还有上游 PP 的补充,所以 PP 质量浓度上升。汛后(9 月)水动力作用显著减弱,PP 逐渐沉降,各断面 PP 质量浓度均降低。

表 1 不同流量下鲁台子、吴家渡、小柳巷上覆水中 TP、DTP、PP 质量浓度变化

Table 1 Concentration variation of TP, DTP and PP with different flow rate in overlying water at Lutaizi, Wujiadu and Xiaoliuxiang

月份	鲁台子				吴家渡				小柳巷			
	质量浓度/(mg·L ⁻¹)			流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	质量浓度/(mg·L ⁻¹)			流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	质量浓度/(mg·L ⁻¹)			流量/ (m ³ ·s ⁻¹)
	TP	DTP	PP		TP	DTP	PP		TP	DTP	PP	
6	0.453	0.085	0.386	626.00	0.834	0.155	0.679	1202.5	0.187	0.099	0.088	1111.25
7	0.372	0.185	0.142	4535.00	0.382	0.132	0.249	4285.0	0.405	0.141	0.264	4565.50
9	0.111	0.067	0.044	105.25	0.349	0.290	0.059	35.9	0.117	0.062	0.055	133.25

2.2 沉积物中 TP 的沿程变化规律

从图 5 可清晰地看出,汛前(6 月)TP 质量比普遍高于汛后(11 月)。经计算,2014 年沉积物中 TP 质量比在 281.860 ~ 685.00 mg/kg 之间(平均值为 421.99 mg/kg),中国土壤磷元素背景值为 700 mg/kg^[23],说明淮河干流底泥沉积物受 TP 的污染程度相对较小。

从空间上看汛前浓度的变化:2~8 号(沙颍河—淮南下)河段沉积物中 TP 质量比逐渐上升,并在 8 号断面达到最大值,原因是该河段流经淮南市,接纳了大量主城区排放的废水。在 9 号(涡河口)、10 号(蚌埠闸上)断面 TP 质量比显著降低,其中 9 号断面可能是受支流入流的影响。因为沉积物中磷的含量不仅与支流沉积物混合有关,还可能与水流混合后环境条件(pH、溶解氧和流速等)的变化等因素相关^[24]。10 号断面位于蚌埠市饮用水源地附近,严格控制了污染物的排放,故 TP 质量比较低。11 号(吴家渡)断面 TP 质量比较高,前文已从特殊地形和人类活动方面做出解释。之后 TP 质量比在 14 号(临淮关)断面处达到最小值,是由于该处多为农业生产区,且采样处河道较窄,水动力作用强等因素所致。14~17 号(临淮关—小柳巷)河段,由于接纳五河县排放的污水,TP 质量比又逐渐升高。

2.3 沉积物中重金属沿程变化规律

2.3.1 沉积物中重金属沿程变化

从重金属 As、Cu、Pb、Zn 的分布情况看,由于 Cd 的含量甚微(质量浓度小于 0.0005 mg/L),本文不对其进行分析。由图 6 可知,沉积物中重金属含量与 TP 具有相似的特性,即:汛前含量高于汛后。

由图 6 知,各元素在 7 号(淮南上)断面处质量比普遍偏高,原因是:(a)淮南蔡家岗是主要采煤区,该地区土壤受到煤矸石等采矿固体废弃物的污染,而土壤中重金属经雨水的淋滤作用^[24-26],在地表水的作用下进入淮河水体,最终富集于底泥中;(b)采样点位于每天接纳大量生活、工业废水的主城区河段,使沉积物中重金属含量偏高。在位于主城区的 11~13 号(吴家渡—沫河口)断面,除 Cu 元素外,重金属含量并未明显增加。原因是蚌埠市污水处理措施比较好,经处理的污水中含有极少重金属元素。11 号断面沉积物中 Cu 元素显著高于其他断面,主要是由于蚌埠市农田化肥的过量施用^[20],化肥中含有 Cu 元素,且该处河水流速缓慢,Cu 元素在该处大量堆积所致。此后在 16 号(陈台子)断面处 Cu 元素含量微略升高,原因是该采样处河道较宽,水流流速变缓,大量悬移质沉积在河床。

2.3.2 重金属时空分布特征

由 9 号(涡河口)断面历次采集的沉积物中重金属质量比(表 2)可知,2014—2017 年,4 种重金属质量比逐年减少,说明近年来对淮河污染的治理已见成效。

从表 2 也能明显看出,9 号断面处各年沉积物中重金属含量也表现出汛前高于汛后的特性。然而对于全部采样点而言,1~9 号(正阳关—涡河口)断面基本满足该规律,而 10~19 号(蚌埠闸上—老子山)断面,2014 年后重金属的变化无规律(以 11 号吴家渡断面为例)。出现这一现象的主要原因是“淮河干流蚌埠—浮山桥行洪区调整和建设工程”产生的影响,该工程于 2014 年 11 月开工,对蚌埠河道进行改造,极大地改变了河流的 pH、溶解氧、水动力特征、微生物作用等环境因素使下游河道沉积物中重金属的分布及迁移规律发生改变。

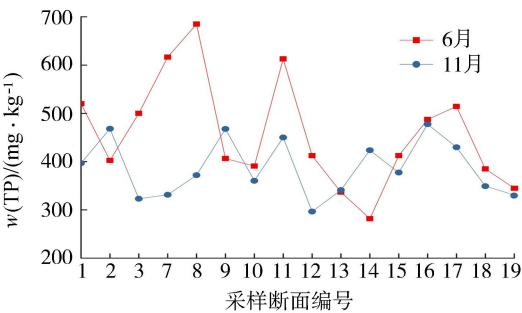


图 5 2014 年沉积物中 TP 质量比

Fig. 5 Concentration of TP in sediment in 2014

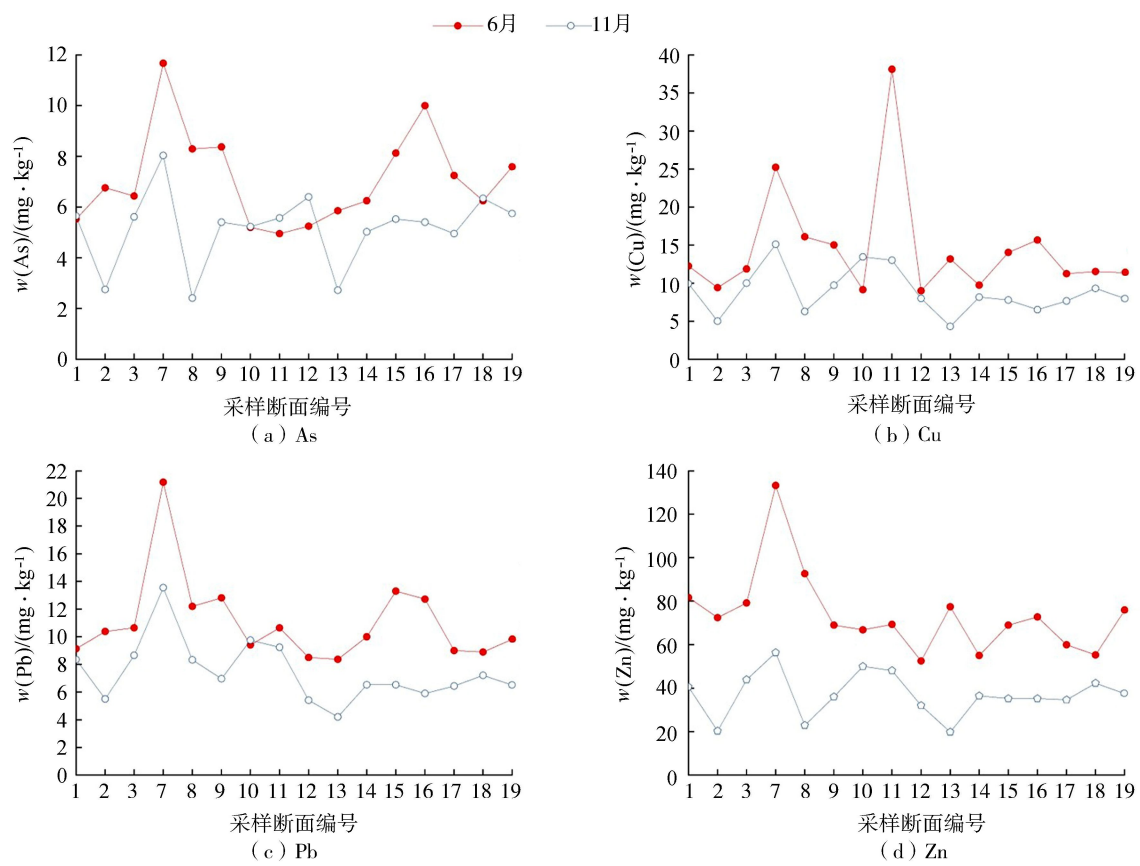


图6 2014年沉积物中As、Cu、Pb、Zn质量比沿程变化

Fig.6 Concentration variation of As, Cu, Pb, and Zn in sediment along the river in 2014

表2 涡河口、吴家渡沉积物中As、Cu、Pb、Zn质量比变化

采样日期	涡河口				吴家渡			
	$w(\text{As})$	$w(\text{Cu})$	$w(\text{Pb})$	$w(\text{Zn})$	$w(\text{As})$	$w(\text{Cu})$	$w(\text{Pb})$	$w(\text{Zn})$
2014-06-12	8.37	15.02	12.81	68.97	4.95	38.12	10.64	69.31
2014-11-13	5.40	9.73	6.96	36.02	5.57	13.03	9.24	48.08
2016-06-01	6.75	12.13	10.25	43.75	7.63	14.00	12.00	48.75
2016-09-08	5.17	13.02	13.03	37.95	8.28	17.85	15.81	55.68
2017-06-12	4.00	10.50	10.25	35.00	4.13	8.63	8.50	32.50
2017-11-14	1.63	6.63	5.88	26.25	2.75	15.50	15.25	57.50

3 流量、温度对天然河道水体TP及沉积物中TP和重金属的影响

3.1 汛前、汛后水体、沉积物中污染物的差异显著性分析

为分析水体TP、PP、DTP,沉积物TP以及重金属元素汛前、汛后含量的差异性,采用原始数据,利用SPSS23.0进行差异显著性分析,2014年上覆水中TP、DTP、PP,沉积物中TP、As、Cu、Pb、Zn的Sig值(差异显著性)分别为:0.569、0.039、0.007、0.002、0.001、0;2016年上覆水中TP、DTP、PP的Sig值为:0、0.198、0.001;2017年上覆水中TP的Sig值为:0.001。可以看出除2014上覆水TP与2016年上覆水DTP外,其余指标Sig值均小于0.05,且汛前质量比均值大于汛后,这说明各指标汛前、汛后质量比差异具有显著性,差异具体表现为汛前质量比高于汛后。

3.2 流量、温度与上覆水、沉积物TP以及沉积物中重金属的相关性分析

采用流量、温度原始数据对上覆水、沉积物TP以及沉积物重金属进行相关性分析,结果见表3。

由表3的分析结果可以看出:流量与各项污染物均成负相关;温度与上覆水TP成正相关,与沉积物中的污染物成负相关(As除外)。As元素的反常,是因为沉积物中As质量比较小(4.95~7.25mg/kg),在允许

的测量误差下,各断面产生的较小误差将会导致温度与 As 的相关性变化极大。

3.3 流量、温度对污染物迁移转化作用的机理分析

汛期开始至汛期结束阶段:当水流扰动在沉积物表面产生的拖曳力大于颗粒之间的黏附力时,沉积物颗粒会发生再悬浮^[27],使沉积物中孔隙水随沉积物的悬浮而释放出来^[28],孔隙水中 TP 浓度显著下降。一方面,悬浮的细颗粒泥沙表面富含磷及重金属离子^[8],在水动力作用下,水分子强烈地冲击颗粒表面,使仅靠物理作用吸附于表面的溶解性活性磷(SRP)自泥沙颗粒表面游离出来,从稳定态向可交换态转化而解吸到上覆水中,且随着流速的增大,解吸过程更明显^[27,29];另一方面,水体扰动加剧了 Al-P、Fe-P 之间化学键的断裂并转化为 PO_4^{3-} 、 Al^{3+} 、 Fe^{3+} 进入水体^[30-31]。另外,6—9 月,淮河流域气温较高(图 7 所示,图中红色圆圈代表历次采样时间),沉积物中微生物活动增加,消耗大量氧气,导致水体中溶解氧(DO)含量降低,水体逐渐由氧化态向还原态转化,进而促使沉积物中磷和重金属释放^[32-33],使沉积物中磷及重金属元素含量降低。然而天然河道并非室内实验水槽这种“准封闭”体系,从孔隙水、颗粒表面释放至上覆水中的磷及重金属会随着水流迁移至下游,从而使沿程水体 TP、沉积物中 TP 和重金属分布较均匀。

6—9 月各断面水体中 PP 含量变化显著,前文已从水动力方面做出解释,而 DTP 含量经过汛期变化却不明显,主要原因有:(a)由于汛期产生的扰动,孔隙水、沉积物中的 DTP 释放到水体中,增加上覆水中 DTP 含量;(b)强烈扰动,增加水体中细颗粒泥沙含量,而细颗粒泥沙增多使泥沙对磷的吸附量增加^[34];(c)水体扰动,上覆水中 DO 含量增加,使沉积物再悬浮而进入水体的具有还原性 Fe、Mn 等离子被氧化为氧化铁、氧化锰,而后者具有较强的离子吸附能力,进而增加了对上覆水中 SRP 的吸附^[35-37]。因此,DTP 在以上解吸和吸附过程中,总体处于动态平衡状态。

对于吸纳了来自孔隙水、表层沉积物释放的磷及重金属元素的上覆水,污染物含量却降低了。原因是:天然河流中,汛期上游径流不断地稀释上覆水,使磷和重金属含量均降低。

汛期结束至下一次汛期开始阶段:淮河流域平、枯水期,流域内河流流量减少,且各闸坝拦闸蓄水,使河道内蓄积大量工业、农业和城镇生活产生的污染物质,地表水中磷和重金属浓度逐渐升高,此时底泥成为新的“汇”,磷及重金属沿着上覆水-孔隙水-沉积物的浓度梯度差扩散至孔隙水,且部分被吸附在沉积物颗粒表面。另外,该期间多处于秋、冬季,各采样断面水温处于一年之中最低(图 7),河流植被处于枯萎状态,对河流中氨、氮、磷的降解作用降低^[38]。同时,微生物的生命活动降低,对河流中营养物质的分解能力下降,大幅度阻碍了磷及重金属的分解和降解能力。因此,河道水体及沉积物中磷及重金属的浓度从汛期结束到下一汛期来临之前不断上升。

4 结 论

- a. 淮河干流上覆水中 TP 除了在第一次产流过程后的一段时间外,平均质量浓度低于 0.2 mg/L;底泥沉积物中 TP 质量浓度也较小,说明近年来淮河水质不断改善。
- b. 汛中水体中 TP、DTP 和 PP,沿程分布比汛前、汛后更加均匀,说明水动力作用增强有助于污染物在整个流域内重分布。
- c. 水体、沉积物中 TP 及沉积物中重金属含量均呈现出汛前高于汛后的现象,造成这种现象的主要原因是:在汛期,大流量、高水温作用有助于磷及重金属物质向上覆水迁移,而在持续径流作用下这些物质从上游输运到下游,使水体中 TP、沉积物中 TP 及重金属元素浓度降低;汛后在无较大产流过程和水温较低的情况

表 3 流量、温度与 TP、重金属的相关性
Table 3 Correlation between flow rate or temperature and TP or heavy metal

指标	上覆水 TP	沉积物 TP	沉积物中重金属			
			As	Cu	Pb	Zn
流量	-0.610	-0.842	-0.447	-0.498	-0.824	-0.789
温度	0.509	-0.492	0.835	-0.607	-0.994	-0.797

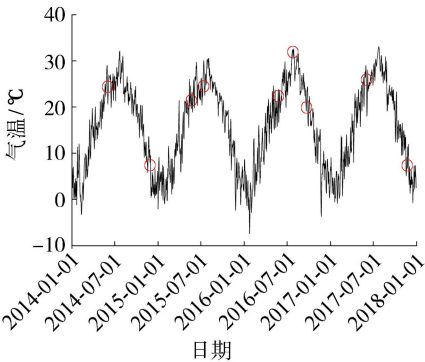


图 7 2014—2017 蚌埠市气温
Fig. 7 Air temperature of Bengbu from 2014 to 2017

下,磷及重金属元素在水体、沉积物中不断累积,一直持续到下一汛期来临时。

参考文献:

- [1] 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))
- [2] 朱华康.淮河流域水污染治理与水资源保护策略[J].水利水电科技进展,1995,25(1):31-35. (ZHU Huakang. Water pollution control and water resources protection strategy in Huaihe Basin[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 1995, 25(1): 31-35. (in Chinese))
- [3] LI Ping, ZHU Jingyuan, BA Yue, et al. Helicobacter pylori infection and immune factors on residents in high-incidence areas of cancer along S River[J]. Life Science Journal, 2011, 8(3): 500-504.
- [4] 章恒全,黄元龙,秦腾,等.考虑非期望产出的工业水资源绿色效率研究:基于SBM-Tobit面板模型[J].水利经济,2019,37(5):35-40. (ZHANG Hengquan, HUANG Yuanlong, QIN Teng, et al. Green use efficiency of industrial water resources considering unexpected output based on SBM-Tobit regression model[J]. Journal of Economics of Water Resources, 2019, 37(5): 35-40. (in Chinese))
- [5] 吴强,李森,高龙,等.社会资本参与流域综合治理的现状、问题和建议[J].水利经济,2019,37(4):23-26. (WU Qiang, LI Miao, GAO Long, et al. Status, issues and recommendations of participation of social capital integrated river basin management [J]. Journal of Economics of Water Resources, 2019, 37(4): 23-26. (in Chinese))
- [6] JIANG Yan, XIA Jun, WANG Gangsheng, et al. Simulation of environmental change in response to operation of dams in Huaihe Basin[J]. Water Science and Engineering, 2009, 2(3): 27-36.
- [7] 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))
- [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. Ecological risk assessment of sediment heavy metals pollution in Anhui reach of Huaihe River[J]. Journal of Environment and Health, 2007, 24(10): 784-786. (in Chinese))
- [9] 韩曦.淮河(安徽段)南岸各支流沉积物及上覆水环境质量研究[D].合肥:安徽大学,2012.
- [10] 郑中华,刘凯传,张萍,等.淮河干流沉积物中重金属污染及其潜在生态风险评价[J].生态与农村环境学报,2017,33(10):935-942. (ZHENG Zhonghua, LIU Kaichuan, ZHANG Ping, et al. Heavy metal pollution of the sediment in the mainstream of Huaihe River and assessment of its potential ecological risk[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2017, 33(10): 935-942. (in Chinese))
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 蒋艳,彭期冬,骆辉煌,等.淮河流域水质污染时空变异特征分析[J].水利学报,2011,42(11):1283-1288. (JIANG Yan, PENG Qidong, LUO Huihuang, et al. Analysis of spatial and temporal variation of water quality in Huaihe River Basin[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2011, 42(11): 1283-1288. (in Chinese))
- [14] 贾艳霞,尹洪斌,唐婉莹.河蚬扰动对不同质地沉积物中重金属生物有效性及毒性的影响[J].水资源保护,2019,35(2):67-73. (JIA Yanxia, YIN Hongbin, TANG Wanying. Effects of Corbicula fluminea disturbance on bioavailability and toxicity of heavy metals in sediments with different qualities[J]. Water Resources Protection, 2019, 35(2): 67-73. (in Chinese))
- [15] 淮河流域水资源保护局.淮河流域省界水体水资源质量状况通报[EB/OL]. (2017-12-30) [2018-01-03]. <http://www.hhsbj.org.cn/>.
- [16] FURNAS M M. Catchments and corals: terrestrial runoff to the Great Barrier Reef [M]. Cairns: Australian Institute of Marine Science and CRC Reef Research Centre, 2003.
- [17] WALLACE J, STEWART L, HAWDON A, et al. The role of coastal floodplains in generating sediment and nutrient fluxes to the Great Barrier Reef lagoon in Australia[J]. Ecohydrology and Hydrobiology, 2008, 8(2): 183-194.
- [18] 高红莉,李洪涛,赵凤兰.沙颍河(河南段)水污染的时空分布规律[J].水资源保护,2010,26(3):23-26. (GAO Hongli, LI Hongtao, ZHAO Fenglan. Spatial and temporal distribution of water pollution of Shaying River (Henan section) [J]. Water Resources Protection, 2010, 26(3): 23-26. (in Chinese))

- [19] 付金沐,刘敏,史志刚,等. 涡河干流水污染时空分布特征与水质动态评价[J]. 水土保持研究,2007,14(4):82-88. (FU Jinmu, LIU Min, SHI Zhigang, et al. Temporal-spatial distribution characteristics of water contamination and dynamic evaluation for water quality in the Guohe River[J]. Research of Soil and Water Conservation,2007, 14(4):82-88. (in Chinese))
- [20] 刘钦普. 安徽省化肥面源污染环境风险分析[J]. 生态与农村环境学报,2015,31(6):876-881. (LIU Qinqu. Environmental risk analyses of non-point source pollution from fertilization in Anhui province[J]. Journal of Ecology and Rural Environment,2015,31(6):876-881. (in Chinese))
- [21] 刘玉年. 淮河中游河道整治及其效果评价[J]. 人民长江,2008(16):1-3,110. (LIU Yunian. Regulation of the middle reaches of the Huaihe River and evaluation on its effect[J]. Yangtze River,2008(16):1-3, 110. (in Chinese))
- [22] 刘玉年,虞邦义,倪晋. 淮河干流蚌埠段河道整治工程效果分析[J]. 水利水电科技进展,2012,32(1):45-49. (LIU Yunian, YU Bangyi, NI Jin. Effect analysis of river regulation in Bengbu reach of Huaihe River[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2012, 32(1):45-49. (in Chinese))
- [23] 谭和平,陈能武,黄苹,等. 四川茶区土壤营养元素背景值研究[J]. 植物营养与肥料学报,2006,12(6):784-788. (TAN Heping, CHEN Nengwu, HUANG Ping, et al. Background of nutrition elements in tea garden soils in Sichuan Province[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science,2006,12(6):784-788. (in Chinese))
- [24] NAKAMURA Y. Effect of flow velocity on phosphate release from sediment[J]. Water Science and Technology,1994,30(10):263-272.
- [25] 崔龙鹏,白建峰,黄文辉,等. 淮南煤田煤矸石中环境意义微量元素的丰度[J]. 地球化学,2004,33(5):535-540. (CUI Longpeng, BAI Jianfeng, HUANG Wenhui, et al. Environmental trace elements in coal mining wastes in Huainan coal field[J]. Geochemical,2004,33(5):535-540. (in Chinese))
- [26] 梁冰,肖利萍,陆海军,等. 煤矸石在动态淋滤作用下污染物释放规律研究[J]. 水利水电科技进展,2006,26(4):27-30. (LIANG Bing, XIAO Liping, LU Haijun, et al. Regularity of pollutant release from coal gangue under dynamic leaching operation[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2006, 26(4):27-30. (in Chinese))
- [27] 黄建枝,葛小鹏,杨晓芳,等. 利用环流槽研究再悬浮条件下凉水河底泥沉积物中重金属的迁移与分布[J]. 科学通报,2012,57(21):2015-2021. (HUANG Jianzhi, GE Xiaopeng, YANG Xiaofang, et al. Remobilization of heavy metals during the resuspension of Liangshui River sediments using an annular flume[J]. Chinese Science Bulletin,2012,57(21):2015-2021. (in Chinese))
- [28] 秦伯强,胡维平,高广,等. 太湖沉积物悬浮的动力机制及内源释放的概念性模式[J]. 科学通报,2003,48(17):1822-1831. (QIN Boqiang, HU Weiping, GAO Guang, et al. The dynamic mechanism of sediment suspension in Taihu Lake and endogenous release of conceptual model[J]. Chinese Science Bulletin,2003,48(17):1822-1831. (in Chinese))
- [29] 范成新,张路,秦伯强,等. 风浪作用下太湖悬浮态颗粒物中磷的动态释放估算[J]. 中国科学:D辑,2003,33(8):760-768. (FAN Chengxin, ZHANG Lu, QIN Boqiang, et al. Wind on phosphorus release from surficial resuspended sediments in the shallow Lake Taihu[J]. Science in China: Series D,2003,33(8):760-768. (in Chinese))
- [30] ANDERSEN F Ø, JENSEN H S. Regeneration of inorganic phosphorus and nitrogen from decomposition of seston in a freshwater sediment[J]. Hydrobiologia,1992,228:72-81.
- [31] MAYER T, PTACEK C, ZANINI L. Sediments as a source of nutrients to hypereutrophic marshes of Point Pelee, Ontario, Canada[J]. Water Research,1999,33(6):1460-1470.
- [32] 洪继华,王庭健. 河流沉积物中的重金属在天然环境条件下的释放[J]. 环境化学,1987,6(5):1-7. (HONG Jihua, WANG Tingjian. Release of heavy metal under various natural conditions in river sediment[J]. Environmental Chemistry,1987, 6(5):1-7. (in Chinese))
- [33] 尹大强,覃秋荣,阎航. 环境因子对五里湖沉积物磷释放的影响[J]. 湖泊科学,1994,6(3):240-244. (YIN Daqiang, QIN Qiurong, YAN Hang. Effects of environmental factors on release of phosphorus from sediments in Wuli Lake[J]. Journal of Lake Sciences,1994,6(3):240-244. (in Chinese))
- [34] 范成新,张路,包先明,等. 太湖沉积物-水界面生源要素迁移机制及量化Ⅱ:磷释放的热力学机制及源-汇转换[J]. 湖泊科学,2006,18(3):207-217. (FAN Chengxin, ZHANG Lu, BAO Xianming, et al. Migration mechanism of biogenic elements and their quantification on the sediment-water interface of Lake Taihu Ⅱ: chemical thermodynamic mechanism of phosphorus release and its source-sink transition[J]. Journal of Lake Sciences,2006,18(3):207-217. (in Chinese))
- [35] 朱广伟,秦伯强,张路,等. 太湖底泥悬浮中营养盐释放的波浪水槽试验[J]. 湖泊科学,2005,17(1):61-68. (ZHU Guangwei, QIN Boqiang, ZHANG Lu, et al. Wave effects on nutrient release of sediments from Lake Taihu by flume experiments[J]. Journal of Lake Sciences,2005,17(1):61-68. (in Chinese))

[36] 华祖林,王苑. 水动力作用下河湖沉积物污染物释放研究进展[J]. 河海大学学报(自然科学版),2018,46(2):95-105.
(HUA Zulin, WANG Yuan. Advance on the release of pollutants in river and lake sediments under hydrodynamic conditions [J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2018,46(2):95-105. (in Chinese))

[37] 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))

[38] 王超,王沛芳,唐劲松,等. 河道沿岸芦苇带对氨氮的削减特性研究[J]. 水科学进展,2003,14(3):311-317. (WANG Chao, WANG Peifang, TANG Jingsong, et al. Ammonia sorption and retention characters in the riparian reed zone [J]. Advances in Water Science, 2003,14(3):311-317. (in Chinese))

(收稿日期:2018-08-08 编辑:高建群)

· 简讯 ·

河海大学一批专业入选 2019 年一流本科专业建设“双万计划”

教育部《关于公布 2019 年度国家级和省级一流本科专业建设点名单的通知》(教高厅函[2019]46 号)公布的 2019 年国家级和省级一流本科专业建设点名单,河海大学申报的 15 个专业中,13 个专业入选国家级一流本科专业建设点,2 个专业入选省级一流本科专业建设点。入选国家级一流本科专业建设点的 13 个专业分别是:水文与水资源工程、水利水电工程、港口航道与海岸工程、土木工程、环境工程、给排水科学与工程、电气工程及其自动化、计算机科学与技术、地质工程、测绘工程、农业水利工程、工程管理和思想政治教育。入选省级一流本科专业建设点的 2 个专业分别是:工程力学、物联网工程。

开展一流本科专业建设点评选是教育部实施一流本科专业建设“双万计划”的重要内容,是推动“四新”建设、提高高校人才培养能力、实现高等教育内涵式发展的重要抓手。教育部一流本科专业建设“双万计划”自 2019 年 4 月启动,将在 3 年内建设 1 万个左右国家级和 1 万个省级一流本科专业建设点。河海大学将根据教育部要求,进一步加强国家级和省级一流本科专业建设,完善专业建设规划,提升专业内涵,强化专业特色,推动各建设点在专业改革创新、师资队伍、教学资源、质量保障体系等方面充分发挥示范辐射作用,推动学校专业建设整体水平的持续提升。

(本刊编辑部供稿)