

DOI: 10.19797/j.cnki.1000-0852.20210323

不同水文条件下巢湖典型河流磷形态研究

高敏, 姜晓霞, 储茵

(安徽农业大学 资源与环境学院, 安徽 合肥 230036)

摘要: 河流输送是受纳水体中磷的主要来源, 不同水文条件对其输送有很大影响。选择巢湖典型入湖河流丰乐和柘皋, 在不同水文条件下, 即非洪水期(丰乐和柘皋)、洪水涨水段(丰乐)与退水段(柘皋)对河水和沉积物进行分布式采样, 测定磷的不同形态。其中, 河水测定总磷(TP)和可溶性磷(DP), 沉积物测定总磷(TP)、无机磷(IP)、有机磷(OP)、铁铝磷(Fe/Al-P)和钙磷(Ca-P)。结果表明: 非洪水期丰乐和柘皋河河水和沉积物中TP含量均为柘皋河高于丰乐河, 两河都存在着富营养化风险, 两河沉积物IP含量都显著高于OP。IP中, 柘皋河Fe/Al-P含量略高于Ca-P, 丰乐河相反。洪水涨水期, 丰乐河河水TP和DP含量显著高于其非洪水期含量, 沉积物不同形态磷均值含量较非洪水期略有降低, 表明洪水涨水段降雨径流对不同来源磷冲刷、输送和泛起作用; 洪水退水期, 柘皋河河水TP和DP含量低于其非洪水期含量, 河道沉积物不同形态磷均值含量较非洪水期有所升高, 表明在退水段以稀释和沉淀作用为主。

关键词: 水文条件; 非洪水期; 涨水段; 退水段; 沉积物; 磷形态

中图分类号: X52

文献标识码: A

文章编号: 1000-0852(2023)01-0090-06

0 引言

磷是水生生态系统中不可或缺的营养元素之一, 但过量的磷又会引起藻类等水生生物大量繁殖, 破坏生态平衡, 造成水体富营养化^[1-2]。磷的来源较为复杂, 既有点源和非点源(面源)的输入, 也有内源, 即沉积物的贡献。不同来源的磷主要随地表水流进入河道, 并随河水径流进一步汇入受纳水体, 这一过程受水文条件影响很大。从陆面过程来说, 在非洪水期, 各类面源磷会在陆面累积, 而在洪水期, 在降雨和径流的溶解、冲刷和输送作用下颗粒态和溶解态磷随地表水流, 从流域不同地点进入河道。在河道内, 河水所携带的颗粒态磷在水流较少扰动的前提下可能沉淀下来, 而河道沉积物又可能在水流扰动较大的洪水涨水期, 泛起被水流携带向下游输送^[3-5]。由于流域磷不同来源的动态变化, 以及受水文条件的影响, 使得河流河水和沉积物磷的含量呈复杂变化。

河道沉积物磷的含量和形态可反映流域磷来源的基本信息, 而沉积物作为磷一个直接的来源^[6], 对下游受纳水体有重要影响。只有溶解态的磷可以被水生植物吸收, 而沉积物中不同形态磷的溶解和转化过程及条件是不同的, 因此单用总磷评价河道沉积物磷释放对水体富营养化的贡献存在着一定的局限性, 已有研究表明根据磷的不同形态可以更有效地预测磷的潜在生态威胁^[7]。在不同的领域, 土壤或沉积物磷形态的具体划分和测定方法很多, 有的很复杂^[8-9]。欧盟委员会建立的淡水沉积物磷形态分离法, 即SMT(standards measurements and testing)法^[10], 对磷形态划分相对简单, 分析和测定操作也较简单, 适合于河、湖沉积物不同形态磷的测定, 在我国也得到了广泛应用。

巢湖位于安徽省江淮丘陵中部, 是我国重要的淡水湖泊, 主要入湖河流有柘皋河、南淝河、派河、丰乐河、杭埠河、白石天河、兆河等。随着周边城市化建设

收稿日期: 2021-08-10

网络首发日期: 2023-01-19

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1814.P.20230117.1818.011.html>

基金项目: 安徽省自然科学基金项目(1908085MD102)

作者简介: 高敏(1998—), 女, 安徽六安人, 硕士研究生, 主要研究方向为水环境保护。E-mail: gmin0226@163.com

通信作者: 储茵(1970—), 女, 安徽安庆人, 教授, 博士, 主要研究方向为水体污染与控制。E-mail: chuyin@ahau.edu.cn

及农业生产的迅速发展,巢湖的水体富营养化越来越严重,尽管经过多年治理,水体污染得到一定控制^[1],但总磷仍处于较高水平,存在着较高的富营养化风险。这里选择巢湖流域典型河流丰乐河和柘皋河,对非洪水期、洪水期的涨水与退水段的河水和沉积物样品进行测定,探究不同水文条件下磷形态特征及变化特征,以为巢湖富营养化治理和管理提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 流域概况

丰乐河位于巢湖西面(见图1),发源于六安市横塘岗豪猪岭,经张家店至双河入舒城县和肥西县,自西向东在三河同杭埠河汇合后流入巢湖。以桃溪水文站为流域出口的流域面积为1579 km²,河流全长112 km。

柘皋河位于巢湖东北面,源于浮槎山东麓清水涧,流经柘皋镇,至河口村入巢湖。以中埠桥为流域出口的流域面积497 km²,河流全长35 km。丰乐和柘皋流域多以丘陵岗地为主,坡度较小,主要从事农业生产。

1.2 样品的采集和处理

根据《水环境监测规范》(SL 219—2013),综合考虑流域整体性、子流域及其代表性、可比性,并兼顾采样的可行性和方便性,对丰乐河和柘皋河布设分布式采样点(见图1),分别采集水样和沉积物样品。

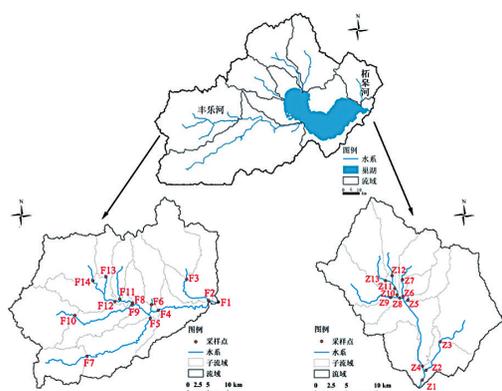


图1 丰乐河和柘皋河采样点分布

Fig.1 Location of sampling sites of Fengle and Zhegao watersheds

采样时间分别在2019年7月和8月。其中,7月于14日对丰乐和15日对柘皋河分别进行了样品采集。由于7月巢湖流域多为阴天或晴天,降雨量少,水位不高,因此将该监测时段定为非洪水期。8月的采样于11日在丰乐河和12日在柘皋河进行。8月10日台风

“利奇马”在浙江省温岭市城南镇沿海登陆,登陆时中心附近最大风力有16级(52 m/s),给华东地区带来了一次降水过程。8月桃溪水文站最高水位为10.65 m(8月12日),最低水位为9.10 m(8月2日),由此可知11日在丰乐河正处于洪水的涨水段。因为降雨带大体由东南向偏西北方向推进,位于丰乐河流域东边的柘皋河在12日已属于洪水的退水时段。

使用水质采样器采取采样点断面2~3个点的水样,混匀后装入500 ml聚乙烯水样瓶中,立即置于保温箱内低温冷藏保存,24 h内带回实验室于4℃下冷藏,并于48 h内测定。沉积物样品的采集使用抓斗式采泥器,在采样点河段断面多点采集沉积物1~2 kg,混匀后封装于聚乙烯自封袋中,运回实验室。沉积物样品采回后,将样品放在搪瓷盘或不锈钢盘上,混匀,除去枝棒、叶片、石子等异物,样品自然干燥,按照《土壤环境监测技术规范》进行四分法粗分,研磨并过16目尼龙筛,风干后将样品封装于自封袋中标号待测。

1.3 样品的分析方法

水体中总磷(TP)采用过硫酸钾消解钼酸铵分光光度法(GB/T 11893—1989)测定,可溶性磷(DP)将水样过滤0.45微米滤膜后,再进行消解测定^[12]。

沉积物样品采用SMT法^[10]分级测定不同形态磷的含量,该方法将土壤(沉积物)中的磷分为总磷(TP)、无机磷(IP)、有机磷(OP)、铁铝磷(Fe/AL-P)和钙磷(Ca-P)。具体测定方法如图2所示。

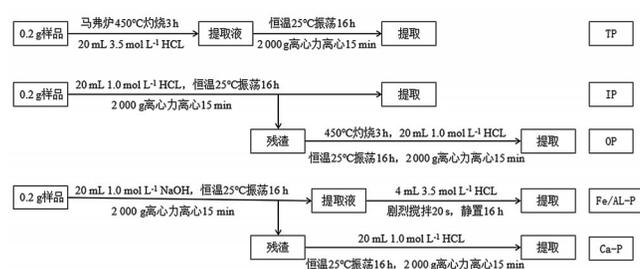


图2 沉积物磷形态的SMT分级测定^[7]

Fig.2 Analysis of various forms of phosphorus in sediments by SMT protocol

2 结果与分析

2.1 不同水文条件下河水磷含量变化特征

非洪水期丰乐和柘皋河各采样点河水TP含量(见图3(a~b))差异都较大。丰乐河河水TP、DP均值含量分别为0.095、0.063 mg/L,柘皋河河水TP、DP均值含量分别为0.129、0.060 mg/L,柘皋河的TP均值含量高

于丰乐河,DP均值含量略低于丰乐河。根据国内外水体富营养化分级标准范围可知水体TP含量在0.02~0.5 mg/L之间为富营养化^[13],由此可以看出丰乐与柘皋河都存在着富营养化风险。

洪水期丰乐河的采样,属于洪水的涨水段,河水中TP、DP均值含量分别为0.174、0.085 mg/L(见图3(a)),与非洪水期时相比TP和DP分别增加了83.2%和34.9%。而柘皋河洪水期的采样属于退水段,差异较非洪水期小,TP、DP均值含量为0.096、0.058 mg/L(见图3(b)),与非洪水期时相比TP和DP分别下降了25.6%和3.3%。非洪水期,河水主要来自基流补给及生活污水、工业废水、农业退水的人为排放,其水质相对比较稳定,同时这也是陆面污染物及河床沉积物累积的阶段。而在洪水期,地表径流大量进入河流,河流水量增大,水力扰动作用增强,有两种作用影响河水中各类污染物的浓度,其一是冲刷输送作用,其二是水的稀释作用,前者包括地表水流对陆面的冲刷及河道水流对沉积物和河岸的冲刷输送作用。冲刷输送作用使河水污染物浓度增大,而稀释作用使其降低,这两种相反的作用同时存在,两种作用强度的对比是洪水期间污染物浓度复杂动态变化的主要原因。一般来说,在洪水的涨水期,冲刷和输送作用强于稀释作用,污染物浓度增加^[4,14-15],这就是丰乐河在涨水段TP和DP,特别是TP的含量显著增加的原因。在洪水的中后期,由于流量显著增加以及可冲刷的源的减少,稀释作用总体强于冲刷作用^[16],污染物浓度会降低,这也是柘皋河在退水期TP和DP含量,特别是TP含量总体比非洪水期有所降低的原因。

同时,由于来源及具体水文条件的不同,河水磷含量也表现出一定的空间差异性。在本研究中,丰乐河在洪水涨水段时除了上游的F14点,其它各点TP含量均高于其非洪水期含量(图3(c)),这是因为涨水段强大的水力扰动和输送作用将(子)流域累积的不同来源可输送磷冲刷至河道水流,并进一步随水流迁移。而在柘皋河,由于处于退水期,冲刷总体作用渐弱,且(子)流域累积的不同来源可输送磷减少,稀释作用增强,表现为较多的点非洪水期TP含量高于其洪水退水段含量(图3(d)),并且DP占比增加。在洪水期,河水浓度变化是复杂的,但由于流量和径流总量的增加,磷的输出总量都会大大增加^[14]。

2.2 不同水文条件下沉积物不同形态磷含量变化特征

非洪水期丰乐和柘皋河河道沉积物TP平均含量

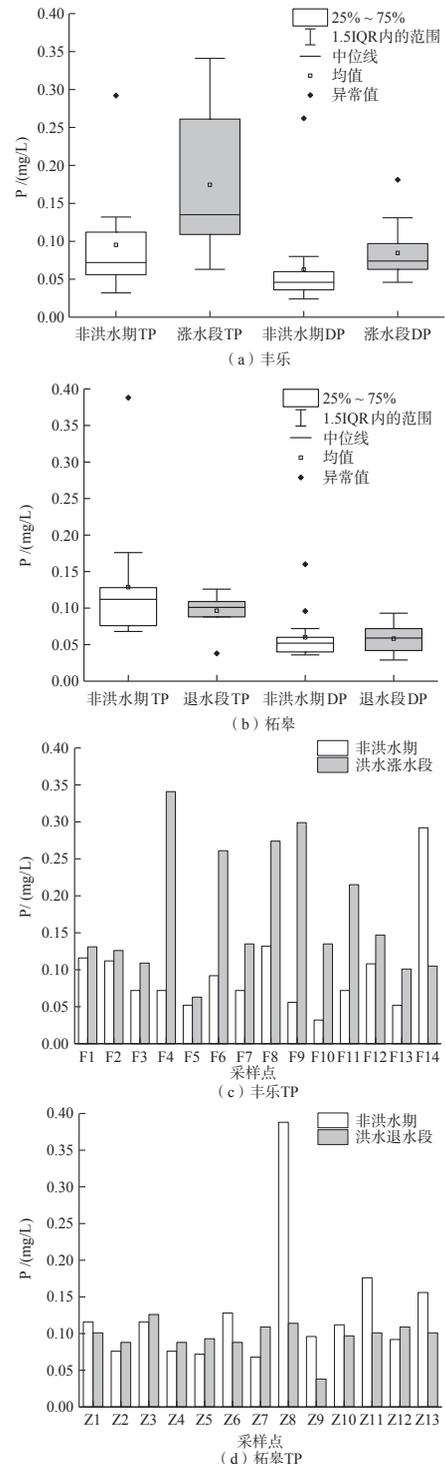


图3 丰乐河和柘皋河不同水文条件下河水磷含量
Fig.3 Phosphorus in river water of Fengle and Zhegao under different hydrological conditions

分别为520.09和927.02 mg/kg(图4(a~b)),柘皋河总体高于丰乐河,与长江中下游同类型河流湖泊中的TP含量相比^[12,17-18],两河的TP含量均属于中上水平,这一结论也与张瑞明、李强等^[6,19]的研究一致。从各采样点含量范围和均值水平来看,两河IP含量均显著高于

OP,表明沉积物中的磷都以IP为主。柘皋河沉积物IP含量显著高于丰乐河,而OP含量差别不大。丰乐河在非洪水期Fe/Al-P和Ca-P均值含量分别为94.29、116.05 mg/kg,柘皋河为191.23、182.94 mg/kg,柘皋河均显著高于丰乐河,特别是Fe/Al-P。丰乐河的Fe/Al-P均值含量低于Ca-P,柘皋河则相反。在IP中,Fe/Al-P被认为是可为生物所利用的磷,与人类活动密切相关,主要来源于家庭或工业废水^[10],而Ca-P是沉积物中较惰性的磷组分,其主要来源于碳酸钙结合的自生和生物磷灰石等^[9],稳定性高。柘皋河沉积物受不同来源影响都很大,如柘皋河流域东北边有含磷矿地层,长期径流输送会使其在河道沉积,但从Fe/Al-P仍略高于Ca-P来看,目前受生活源的影响更大。柘皋河沉积物Fe/Al-P含量高,对水体富营养化作用贡献较大^[20]。

由于沉积环境、污染来源、水体扰动和人类活动等存在差别,沉积物不同形态磷含量不仅在不同流域不同,在不同的时期也会不同,其中水文条件是重要影响

因素^[21]。河道沉积物主要是在水流平稳情况下河水所携带磷的沉淀作用和在水力扰动较大情况下的泛起进入水流作用的结果,此外在水流平稳情况下,由于物理化学和生物化学作用,也会有部分的磷从沉积物中释放^[6,22],以溶解或胶体态进入水流中。具体来说,在前次洪水的后期,以及整个非洪水期都以沉淀作用为主,而在洪水的涨水期,在较大水力扰动下,沉积物会泛起进入水流。与非洪水期相比,洪水期丰乐河河道沉积物不同形态磷均值含量略有降低,而柘皋河则有所增加(图4(a)~(b)),可能是因为丰乐河处于洪水的涨水段,水体扰动强度增加会使部分沉积物泛起,促进磷释放进入水中,从而使沉积物磷含量有所减少,而柘皋河处于洪水的退水段,水体扰动强度较小,颗粒态磷易沉淀累积到沉积物中,所以磷含量有所增加^[4-5]。

在非洪水期和洪水期柘皋各采样点TP含量总体高于丰乐河(图4(c)~(d)),但没有特别的分布规律。无论是处于涨水段的丰乐河,还是处于退水段的柘皋河,

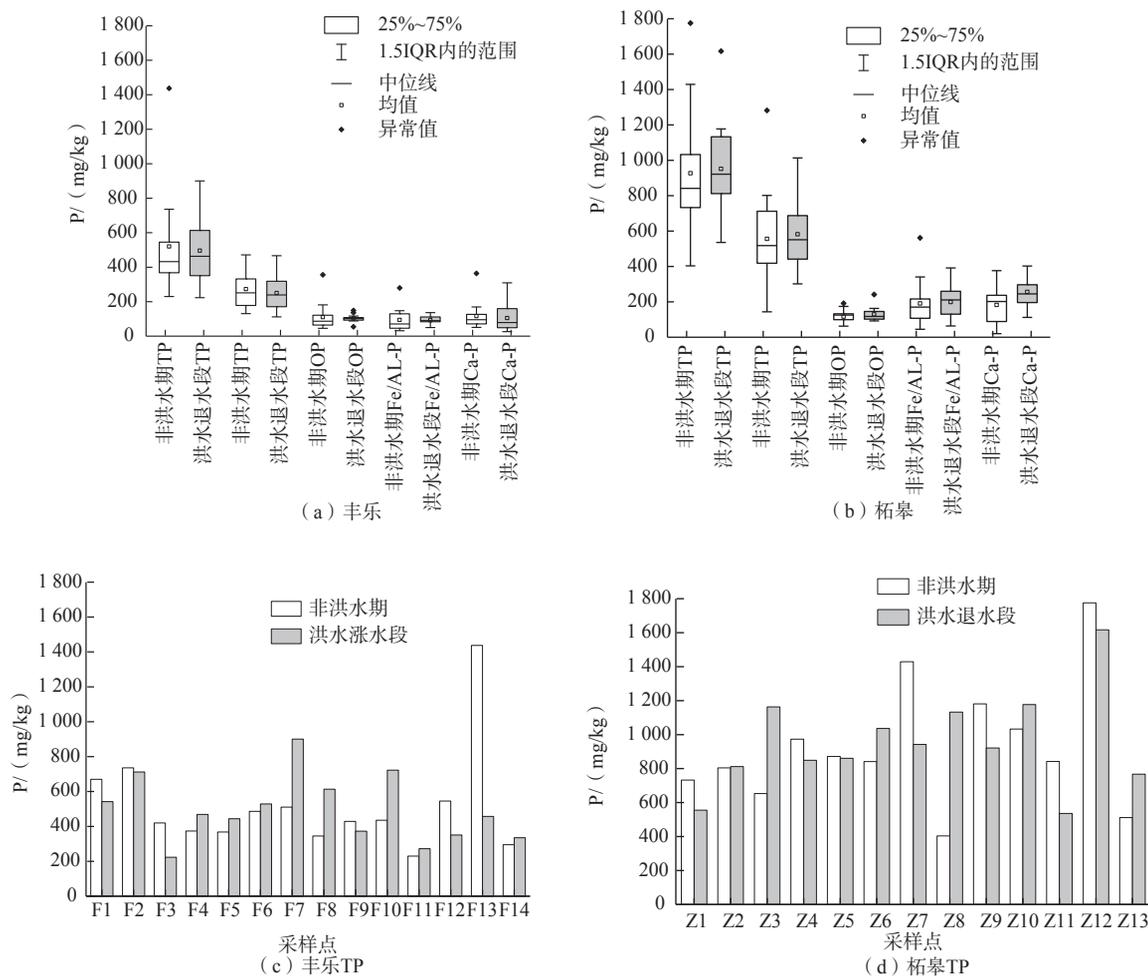


图4 丰乐河和柘皋河不同水文条件下沉积物各形态磷含量
 Fig.4 Phosphorus forms in sediments of Fengle and Zhengao rivers under different hydrological conditions

各采样点洪水期TP含量有的高于非洪水期,有的则相反,总体没有特别的规律性,这是由于在特定的采样点,水力条件、来源等都不相同,影响因素也多种多样。

2.3 不同水文条件下河水和沉积物磷形态相关性分析

水样TP、DP及沉积物各形态磷之间的Pearson相关性分析结果表明,三种水文条件下河水与沉积物各形态磷均无相关性(见表1~3)。非洪水期沉积物不同形态磷与TP都有很好的正相关性,各形态磷与TP变化一致。OP与IP,或者更具体与Ca-P没有相关性,但与主要是生活来源的Fe/AL-P有很好的正相关性(见表1)。

表1 非洪水期河水和沉积物各形态磷之间的相关性分析($n=27$)

Table1 Correlation analysis between various forms of phosphorus in river water and sediment in non flood period ($n=27$)

磷形态	TP	IP	OP	Fe/AL-P	Ca-P	河水TP	河水DP
TP	1						
IP	0.881**	1					
OP	0.650**	0.296	1				
Fe/AL-P	0.870**	0.826**	0.556**	1			
Ca-P	0.636**	0.802**	0.043	0.470*	1		
河水TP	-0.229	-0.235	-0.180	-0.182	-0.337	1	
河水DP	-0.246	-0.244	-0.187	-0.212	-0.218	0.833**	1

注:**在0.01级别(双尾),相关性显著;*在0.05级别(双尾),相关性显著。

处于涨水段的丰乐河,沉积物无机形态的磷与TP都有很好的正相关性(见表2),表明TP主要由IP控制。OP与TP、IP、Fe/AL-P和Ca-P相关性均不显著(见表2),可能说明涨水段OP更容易通过泛起进入到水中。

表2 丰乐河洪水涨水段河水和沉积物各形态磷之间的相关性分析($n=14$)

Table2 Correlation analysis between various forms of phosphorus in river water and sediment in flood rising section of Fengle River ($n=14$)

磷形态	TP	IP	OP	Fe/AL-P	Ca-P	河水TP	河水DP
TP	1						
IP	0.855**	1					
OP	0.144	-0.037	1				
Fe/AL-P	0.722**	0.722**	0.179	1			
Ca-P	0.783**	0.944**	-0.113	0.582*	1		
河水TP	-0.047	-0.103	0.347	0.223	-0.155	1	
河水DP	0.094	0.026	0.443	0.054	0.003	0.663**	1

注:**在0.01级别(双尾),相关性显著;*在0.05级别(双尾),相关性显著。

柘皋河退水段沉积物不同形态磷多具有很好的正相关性,但OP与Fe/AL-P正相关性不显著(见表3)。河水TP与DP在非洪水和洪水涨水段都有显著的正相关性,但在退水段相关性不显著,这可能是由于稀释和冲刷作用在不同点的强弱不同,二者变化并不同步。

表3 柘皋河洪水退水段河水和沉积物各形态磷之间的相关性分析($n=13$)

Table3 Correlation Analysis between various forms of phosphorus in river water and sediment in flood recession section of Zhengao River ($n=13$)

磷形态	TP	IP	OP	Fe/AL-P	Ca-P	河水TP	河水DP
TP	1						
IP	0.937**	1					
OP	0.838**	0.823**	1				
Fe/AL-P	0.569*	0.666*	0.395	1			
Ca-P	0.850**	0.782**	0.686**	0.186	1		
河水TP	0.233	0.389	0.333	0.093	0.298	1	
河水DP	-0.110	-0.073	0.199	-0.133	0.006	0.510	1

注:**在0.01级别(双尾),相关性显著;*在0.05级别(双尾),相关性显著。

3 结论

非洪水期丰乐河和柘皋河河水TP均值含量分别为0.095和0.129 mg/L,柘皋河高于丰乐河,DP含量两河相差不大,均值含量分别为0.063和0.060 mg/L,两河均存在着富营养化风险。非洪水期丰乐和柘皋河沉积物TP平均含量分别为520.09和927.02 mg/kg,也是柘皋河总体高于丰乐河。其中,两河IP含量都显著高于OP,后者两河含量相当,都较低。柘皋河沉积物Fe/Al-P和Ca-P均显著高于丰乐河,柘皋河前者又略高于后者,丰乐河相反。高Fe/Al-P含量多表明来源与人类活动相关密切,且存在更大的磷释放潜能。柘皋河磷来源受自然和人类活动影响都很大,且对河道水体及下游受纳水体都有更大的风险。

在洪水涨水时期,由于降雨径流对不同来源磷强烈的冲刷和输送作用,丰乐河河水TP和DP含量显著高于其非洪水期含量,在河道内由于水流的扰动泛起作用,丰乐河涨水段河道沉积物不同形态磷均值含量较非洪水期略有降低。在洪水退水时期,由于径流的稀释作用占主导,柘皋河河水TP和DP含量低于其非洪水期含量,在河道内由于水流扰动小,以沉淀作用为主,柘皋河退水段河道沉积物不同形态磷均值含量较非洪水期略有升高。河道沉积物不同形态磷含量在不同的水文条件下变化没有河水变化那么明显,且表现为相反的变化。不同的水文条件对河水和沉积物的影响十分复杂,各成分之间的相关性不明显。

参考文献:

- [1] PU J, NI Z K, WANG S R. Characteristics of bioavailable phosphorus in sediment and potential environmental risks in Poyang Lake: The

- largest freshwater lake in China [J]. *Ecological Indicators*, 2020, 115: 106409.
- [2] ZHANG H, XIN M, WANG B D, et al. Spatiotemporal variations in phosphorus concentrations in the water and sediment of Jiaozhou Bay and sediment phosphorus release potential [J]. *Science of the Total Environment*, 2022, 806.
- [3] HUANG L, FANG H W, HE G J, et al. Effects of internal loading on phosphorus distribution in the Taihu Lake driven by wind waves and lake currents [J]. *Environmental Pollution*, 2016, 219:760–773.
- [4] 储茵, 潮洪武, 马友华, 等. 巢湖流域丰乐河洪水事件营养盐输出动态研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2013, 22(8):1072–1080.
- [5] 张瑞明. 巢湖主要入湖河流沉积物磷赋存特征及其环境意义[D]. 南京: 南京大学, 2019.
- [6] ZHANG R M, YIN A J, GAO C. Sediment phosphorus fraction and release potential in the major inflow rivers of Chaohu Lake, Eastern China[J]. *Environmental Earth Sciences*, 2019, 78(4):117.
- [7] RAHUTOMO S, KOVAR J L, THOMPSON M L. Inorganic and Organic Phosphorus in Sediments in the Walnut Creek Watershed of Central Iowa, USA [J]. *Water Air Soil Pollution*, 2018, 229(3):72.
- [8] RUTTENBERG K C. Development of a sequential extraction method for different forms of phosphorus in marine sediments [J]. *Limnology and Oceanography*, 1992, 37(7):1460–1482.
- [9] GOLTERMAN H L. Fractionation of sediment phosphate with chelating compounds: a simplification, and comparison with other methods [J]. *Hydrobiologia*, 1996, 335(1):87–95.
- [10] RUBAN V, LÓPEZ-SÁNCHEZ J F, PARDO P, et al. Harmonized protocol and certified reference material for the determination of extractable contents of phosphorus in freshwater sediments – a synthesis of recent works [J]. *Fresenius' journal of analytical chemistry*, 2001, 370(2):224–228.
- [11] HUANG J C, ZHANG Y J, ARHONDITSIS G B, et al. How successful are the restoration efforts of China's lakes and reservoirs? [J]. *Environment international*, 2019, 123:96–103.
- [12] 王从丹, 汪金成, 杨宇, 等. 平水期洞庭湖不同形态磷赋存特征[J]. *水文*, 2019, 39(6):74–79.
- [13] 金相灿, 屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范[M]. (第二版). 北京: 中国环境科学出版社, 1990.
- [14] 储茵, 夏守先. 丰乐河污染输出特征研究[J]. *安徽农业大学学报*, 2009, 36(3):476–482.
- [15] KOCH S, KAHLE P, LENNARTZ B. Spatio-temporal analysis of phosphorus concentrations in a North-Eastern German lowland watershed [J]. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 2018, 15:203–216.
- [16] 许其功, 刘鸿亮, 沈珍瑶, 等. 三峡库区典型小流域氮磷流失特征[J]. *环境科学学报*, 2007, 27(2):326–331.
- [17] 王一楷, 李振国, 陈志彪. 太湖西部沉积物磷形态剖面分布和成因分析[J]. *生态与农村环境学报*, 2019, 35(4):426–432.
- [18] 万杰, 袁旭音, 叶宏萌, 等. 洪泽湖不同入湖河流沉积物磷形态特征及生物有效性[J]. *中国环境科学*, 2020, 40(10):4568–4579.
- [19] 李强, 尹俊华, 席北斗, 等. 巢湖入湖河流沉积物中有机磷的形态分级研究[J]. *环境工程学报*, 2014, 8(2):441–447.
- [20] 向速林, 李松贵, 张旭, 等. 小型浅水湖泊沉积物磷的赋存形态及其相关性分析[J]. *生态科学*, 2019, 38(1):33–41.
- [21] MELLANDER P E, JORDAN P, SHORE M, et al. Flow paths and phosphorus transfer pathways in two agricultural streams with contrasting flow controls [J]. *Hydrological Processes*, 2015, 29(16):3504–3518.
- [22] SHARPLEY A N, KLEINMAN P J A, HEATHWAITE A L, et al. Phosphorus loss from an agricultural watershed as a function of storm size [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2008, 37(2):362–368.

Study on Phosphorus Forms in Typical Rivers of Chaohu Lake Basin under Different Hydrological Conditions

GAO Min, JIANG Xiaoxia, CHU Yin

(College of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

Abstract: River transportation, which is the main source of phosphorus in a receiving water body, is under the great influence of hydrological conditions. Fengle River and Zhegao River, two typical inflowing rivers of Chao Lake, were chosen, where samples of water and sediment were taken from distributed sampling sites of both rivers under various hydrological conditions, i.e., during the non-flood period (Fengle and Zhegao), at flood rising section (Fengle), and at flood recession section (Zhegao). Water samples were analyzed for total phosphorus (TP) and dissolved phosphorus (DP) and sediments for TP, organic phosphorus (OP), inorganic phosphorus (IP), iron aluminum phosphorus (Fe/Al-P), and calcium phosphorus (Ca-P). The results showed that during the non-flood period the TP content in water and sediments of Zhegao was much higher than that of Fengle and both rivers were at risk of eutrophication. The IP content in sediments of the two rivers was significantly higher than that of OP. Fe/Al-P content in Zhegao River was slightly higher than Ca-P, but it was the opposite for Fengle River. In the flood rising section, TP and DP contents in river water of Fengle were greatly higher than that in the non-flood period, while the average contents of various forms of phosphorus in the sediments were slightly lower than that in the non-flood period, indicating the washing off, transportation, and resuspension effects of rainfall and flood runoff in flood rising period. In the flood recession section, TP and DP contents in the river water of Zhegao were lower than that in the non-flood period, while the average contents of various forms of phosphorus in the sediments were higher than that in the non-flood period, indicating the dilution and sedimentation effects of runoff in flood recession.

Keywords: hydrological conditions; non flood period; flood rising section; flood recession section; sediment; phosphorus forms