

环太湖主要河流入出湖口表层沉积物污染特征研究

陈雷¹, 远野^{1,2}, 卢少勇², 金相灿², 焦伟², 王骥², 蔡珉敏²

(¹吉林建筑工程学院环境工程系, 长春 130012;

²中国环境科学研究院湖泊环境研究中心国家环境保护湖泊污染控制重点实验室, 北京 100012)

摘要:以环太湖31条主要河流入出湖口的表层沉积物为对象,分析了太湖流域4个区内河流入出湖口表层沉积物的总氮(TN),总磷(TP)和总有机质(TOM)的含量。结果表明:第2区和第3区的TN、TP和TOM的含量较高;第1区和第4区的较低。各区沉积物中TN、TP和TOM的平均含量由高到低依次为:TN—第2区>第3区>第4区>第1区;TP—第2区>第3区>第4区>第1区;TOM—第2区>第4区>第1区>第3区;磷形态中铁铝磷(Fe/Al-P)活性较高,Fe/Al-P—第2区>第4区>第3区>第1区;综合氮磷指标,对太湖重度污染区(太湖的北—西北—西部分)水体富营养化影响最大的入湖河道:太滬运河、百渎港、陈东港、漕桥河、直湖港、武进港、官渎港、小溪港、殷村港、洪巷港、茭渎港和乌溪港。以上河流沉积物TN、TP含量均较高(TN>1000 mg/kg, TP>500 mg/kg)。

关键词:环太湖河流;入出湖口;沉积物;污染物

中图分类号:X522

文献标志码:A

论文编号:2010-1755

The Analysis of Pollutant Characteristics in Surface Sediments of the Stream Inlets and Outlets of the Main Rivers around Taihu Lake

Chen Lei¹, Yuan Ye^{1,2}, Lu Shaoyong², Jin Xiangcan², Jiao Wei², Wang Ji², Cai Minmin²

(¹Department of Environment Engineering, Jilin Architectural and Civil Engineering Institute, Changchun 130021;

²Research Center of Lake Environment, Chinese Research Academy of Environment Sciences, State Environmental Protection Key Laboratory for Lake Pollution Control, Beijing 100012)

Abstract: Sediment samples in the inlets and outlets of the 31 main rivers around Taihu Lake were collected and used as materials. The contents of total nitrogen (TN), total phosphorus (TP) and total organic matter (TOM) were detected. The results showed that the contents of TN, TP and TOM of Region2 and Region3 were higher than those of Region1 and Region4. The orders of average contents of TN, TP and TOM of the four regions were as the following, for TN: Region2>Region3>Region4>Region1; for TP: Region2>Region3>Region4>Region1; for TOM: Region2>Region4>Region1>Region3. The activity of Fe/Al-P was higher than that of other phosphorus fractions. For Fe/Al-P: Region2>Region4>Region3>Region1. As a result, the crucial rivers resulted in the serious eutrophication of Taihu Lake zones(the northern, northwestern and western parts of Taihu Lake) in the decreasing order are Taige Canal, Baidu Port, Chendong Port, CaoqiaoRiver, Zhihu Port, Wujin Port, Guandu Port, Xiaoxi Port, Yincun Port, Hongxiang Port, Jiaodu Port and Wuxi Port. Both TN and TP concentrations in sediment samples of these rivers were fairly high (TN>1000 mg/kg, TP>500 mg/kg).

Key words: rivers around Taihu Lake; stream inlets and outlets of the rivers; sediment; pollutants

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项“太湖流域环境综合调查与湖泊蓝藻水华控制系统方案研究”(2008ZX07101);“湖滨带生态修复与缓冲区建设技术及工程示范”(2009ZX07101);国家高技术研究发展计划项目“接纳湖泊污染负荷有效削减和生态系统重建技术与工程示范”(2005AA60101005)。

第一作者简介:陈雷,男,1971年出生,教授,博士,研究方向为水污染防治控制技术。通信地址:130021长春市红旗街1129号吉林建筑工程学院市政与环境工程学院, Tel: 0431-85935171, E-mail: chenlei1971@jliae.edu.cn。

通讯作者:金相灿,男,1945年出生,浙江义乌人,研究员,研究方向为水环境生态修复。通信地址:100012北京市朝阳区安外北苑大羊坊8号中国环境科学研究院湖泊环境研究中心, Tel: 010-84915185, E-mail: jinxiangcan2004@163.com。

收稿日期:2010-06-08, **修回日期:**2010-08-20。

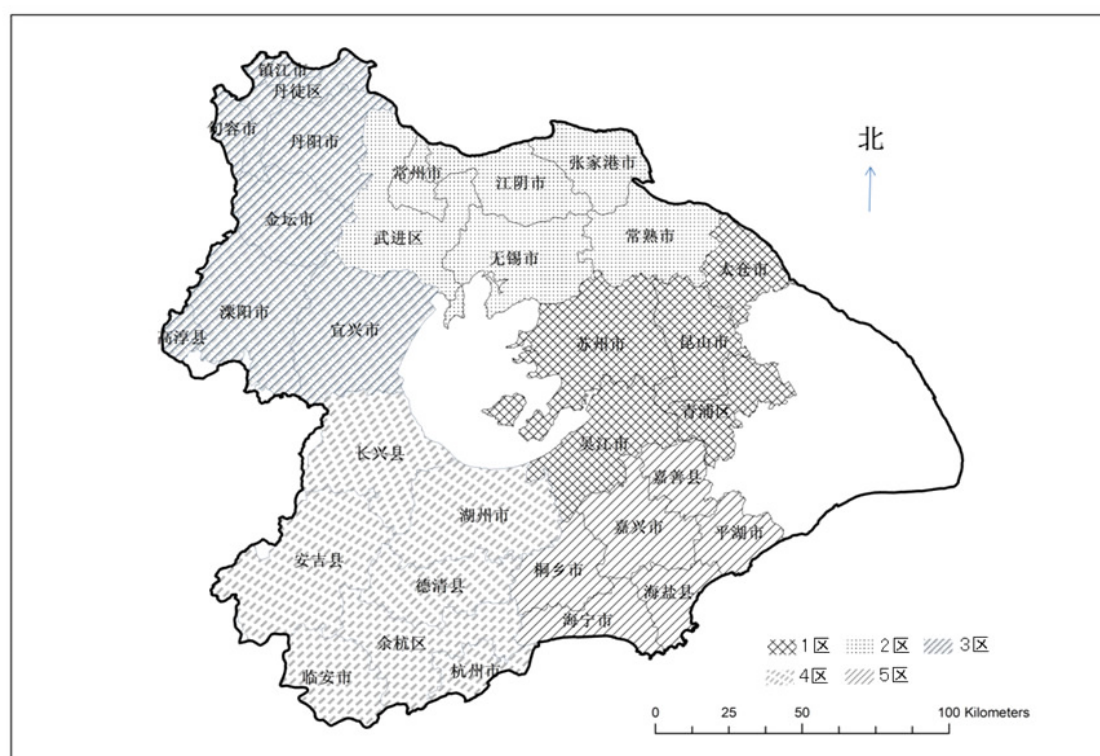
0 引言

太湖是中国五大淡水湖之一,位于长江三角洲的南翼坦荡的太湖平原上,水面面积2338 km²,流域面积36500 km²,湖泊平均水深1.89 m,是典型浅水湖泊。流域内地形以平原为主,河道众多,与湖体相通的河(港)达224条。太湖水系有入、出湖之分,湖之北以梁溪河口为界,湖之南以吴港为界,分界点以西为入湖水系(苕溪、合溪、南溪、兆鬲四大水系和京杭运河来水),以东为出湖水系(黄浦江、京杭运河两大水系)。太湖临江、浙、皖、沪三省一市,处经济发达区,兼有旅游、供水、航运、灌溉、养殖等多种功能,流域内污染负荷量巨大,湖体富营养化趋势明显^[1]。研究表明,入湖河道所携带污染物输入是流域点源、非点源污染的综合表现^[2],流域内的河流系统是污染物入湖通道,入湖河道的生态修复是清水产流通道功能恢复的重要内容。从流域入河的污染物量的多寡,不仅影响河流本

身污染状态,且引起湖泊污染水平变化^[3-5]。而河流沉积物是众多污染元素的重要储存库,沉积物随河流冲刷入湖,太湖水体营养盐的内源负荷增加,为太湖富营养化提供了条件。国内对太湖沉积物污染物的研究多集中于某个湖区或部分河口地区^[10,14,17],尚没有对整个太湖流域以分区的形式研究河道沉积物的报道。鉴于河道在太湖富营养化问题中所处的关键地位,本研究按太湖流域分区选取主要的31条河流的入、出湖口采集沉积物样品,分析不同区域内河流入湖口沉积物中污染物含量,为太湖流域综合治理提供基础数据。

1 研究区域划分

结合《太湖流域“九五”水污染防治规划》、国家发改委《太湖流域水环境综合治理总体方案》及水利上对太湖流域分区的考虑,结合行政区划,将太湖流域划分为5个区(各区包括的城市范围见表1),范围和边界见图1。因第5分区不含河流入、出湖口的点位,故本文



流域分区及本图制作由十一五水专项太湖项目课题一的成员共同完成。

图1 太湖流域分区图

表1 太湖流域各区名称及城市

区号	区名	面积/km ²	主要城市
1	东部污染控制区	6225.5	苏州市 昆山市 太仓市 吴江市
2	北部重污染控制区	7110.1	无锡市 常州市 张家港市 常熟市
3	湖西重污染控制区	9553.7	宜兴市 金坛市 溧阳市 镇江市 句容市
4	浙西污染控制区	10066.8	杭州市 余杭区 临安市 湖州市
5	南部太浦污染控制区	3915.0	嘉兴市 桐乡市 海宁市 平湖市

表2 环太湖河流入湖口沉积物采样点位及沉积物性状描述(2009年4月)

采样地点	经纬度	采样点水流方向	沉积物颜色、气味	
第1区	金墅港	31°22.530' N, 120°23.595' E	出湖	黑色、无臭味
	吕浦港	31°14.729' N, 120°23.892' E	出湖	黑色、无臭味
	浒光运河	31°17.943' N, 120°23.185' E	出湖	黄色、无臭味
	寺前港	31°11.449' N, 120°28.983' E	出湖	黑色、无臭味
	瓜径口	31°11.740' N, 120°38.704' E	出湖	黑色、无臭味
	三船口	31°06.066' N, 120°04.981' E	出湖	黑色、有臭味
	大浦河	30°06.022' N, 120°33.469' E	出湖	黑色、无臭味
	太浦河	30°59.733' N, 120°27.355' E	出湖	黑色、无臭味
第2区	望虞河	31°26.912' N, 120°25.301' E	入湖	黑色、无臭味
	小溪港	31°27.924' N, 120°21.032' E	入湖	黑色、有臭味
	梁溪河	31°32.912' N, 120°14.091' E	入湖	黑色、无臭味
	直湖港	31°32.647' N, 120°07.536' E	入湖	黑色、有臭味
	武进港	31°30.618' N, 120°06.151' E	入湖	黑色、无臭味
	太湖运河	31°27.574' N, 120°00.855' E	入湖	灰黑色,有臭味
第3区	漕桥河	31°29.612' N, 120°01.301' E	入湖	黑色、有臭味
	百渎港	31°29.397' N, 120°01.301' E	入湖	褐色、有腥味
	殷村港	31°27.049' N, 120°00.779' E	入湖	黑色、有臭味
	社渎港	31°21.224' N, 119°56.989' E	入湖	黑色、有臭味
	茭渎港	31°21.709' N, 119°56.938' E	入湖	黑色、有臭味
	官渎港	31°20.019' N, 119°56.461' E	入湖	黑色、有臭味
	洪巷港	31°19.538' N, 119°56.131' E	入湖	黑色、有臭味
	陈东港	31°19.204' N, 119°55.931' E	入湖	黑色、有臭味
	大浦港	31°18.711' N, 119°55.693' E	入湖	黑色、有臭味
	乌溪港	31°13.475' N, 119°53.392' E	入湖	黑色、有臭味
大港河	31°11.232' N, 119°54.119' E	入湖	黑色、有臭味	
第4区	长兴港	31°11.232' N, 119°54.120' E	入湖	黄色、无臭味
	杨家铺港	31°02.165' N, 119°59.180' E	入湖	黄色、无臭味
	小梅港	30°57.716' N, 120°06.147' E	出湖	黑色、无臭味
	大钱港	30°55.660' N, 120°117.42' E	出湖	黑色、有臭味
	濮溇	30°56.512' N, 120°18.647' E	出湖	黑色、有臭味
	吴溇	30°57.356' N, 120°23.594' E	出湖	黑色、有臭味

只考虑其余4区。其中第2区和第3区内包含重污染的17条入湖河流,第1区内包含8条出湖河流,第4区内2条为入湖河流,4条为出湖河流。

2 材料与方法

2.1 样点布设及样品预处理

2009年4月,调查了太湖流域31条河流(重点选择重污染的入湖及部分出湖河流)入湖口处的沉积物。用多点混合法采集表层(0~10 cm)沉积物样品31个,带到实验室测沉积物中的有机质(OM),总氮(TN)及总磷(TP)与磷形态等指标。环太湖河流

入湖口沉积物采样点位及沉积物性状描述见表2。

2.2 仪器和试剂

所用仪器主要有UDK152型全自动定氮仪(嘉盛科技有限公司,香港);DU-LO型电热恒温油浴箱(上海一恒科学仪器有限公司);UV-2000分光光度计(尤尼科仪器有限公司,上海);高速冷冻离心机(上海安亭科学仪器厂,TGL-12G-C);真空冷冻干燥机(北京博医康仪器有限公司,FD-1);振荡培养箱(常州国华,BS-IEA);所用试剂均为分析纯。

2.3 样品测定

沉积物中P形态分析用SMT法^[6-7]。总氮测定硒粉、硫酸铜、硫酸消化-蒸馏法^[8]。有机质测定用重铬酸钾外加热法^[9]。

3 结果与分析

3.1 沉积物TN

由图2可见,河流入湖口处沉积物TN的平均浓度为1584.7 mg/kg,范围在213.90~3125.50 mg/kg。

①陈东港(第3区)最高,其临近的入湖河流(除大浦港外)的河口沉积物TN含量约1900 mg/kg,远高于已清淤的太湖五里湖^[10],说明第3区太湖流域氮污染情况较严重。②寺前港(第1区,为出湖河流)最低,该河口沉积物氮积累较少,其临近河流河口沉积物TN含量

相对较低,约600 mg/kg。瓜径口的TN含量高达2533.88 mg/kg,说明该区氮源污染主要在瓜径口处,其他河流氮污染较轻。

区域比较:从高到低排序依次为第2区(2264.02 mg/kg) > 第3区(1963.32 mg/kg) > 第4区(1146.21 mg/kg) > 第1区(883.49 mg/kg)。可见,第2区和第3区污染较重,多为污染负荷较高的入湖河流,故这些河流入湖河口沉积物氮污染应引起足够重视;第1和4区污染较轻,多为出湖河流。但第1、4区的采样点围网养殖业较发达^[11],河流氮源污染半数较轻、半数较重,要引起注意;而第1区河流中需注意瓜径口和金墅港等个别河流的氮源污染。微生物的硝化和反硝化作用也是影响沉积物中总氮含量的重要因素之一^[12]。

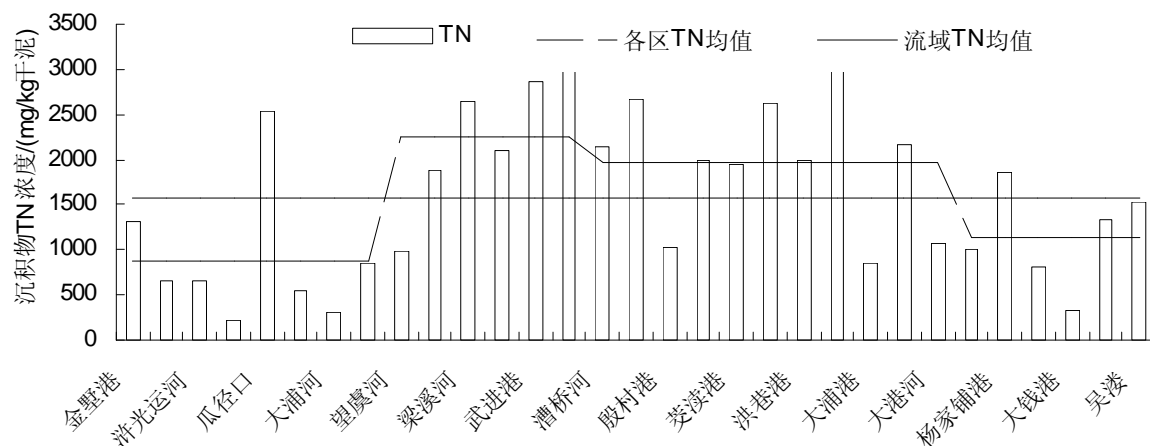


图2 环太湖入、出湖河流河口沉积物TN浓度的比较

3.2 沉积物TP及其磷形态

由图3可见,河流入湖口处沉积物TP均值588.01 mg/kg,范围为147.63~1290.32 mg/kg。①直湖港(第2区)最高,略高于袁旭音^[13]的结果,其临近的第2区河流入湖处沉积物TP含量约900 mg/kg,远高于整体河流TP平均值。②杨家铺港最低(第4区),除吴淞的含量高于平均值外,其临近河流入湖处沉积物TP含量约400 mg/kg,相对较低;该区TP积累主要在吴淞,应注意吴淞水产养殖业给河道带来的污染负荷。

区域比较:入湖河口沉积物总磷含量从高到低依次为第2区(864.06 mg/kg) > 第3区(701.20 mg/kg) > 第4区(484.20 mg/kg) > 第1区(303.18 mg/kg)。第2区(北部污染控制区)和第3区(湖西污染控制区,为重污染入湖河流密集区)主要受工业、农业污染造成;第1区和第4区多为出湖河流,水质较好,但2区的水产养殖业和种植业发达^[14]。要规划好种植业和水产养殖业,有效的降低磷以各种方式进入水体。

Ca-P是沉积物中较惰性的磷组分,较难为生物利

用,与Fe/Al-P比,Ca-P活性很低,对上覆水磷含量影响较小^[15]。Ca-P含量从高到低依次为第2区(285.58 mg/kg) > 第3区(239.24 mg/kg) > 第4区(151.82 mg/kg) > 第1区(864.06 mg/kg),范围为54.97~387.65 mg/kg,平均91.11 mg/kg。

Fe/Al-P是沉积物中磷活性较高组分^[15],对上覆水磷含量有较大影响,易被藻类利用。Fe/Al-P含量是沉积物污染的一个指征^[16],对沉积物-水界面磷的循环起关键作用,要着重分析Fe/Al-P的含量情况。

环太湖各河流河口沉积物Fe/Al-P均值为142.28 mg/kg,范围为43.31~404.13 mg/kg(图3)。

①太漏运河最高(为第2区的重污染河流),其临近河流均约200 mg/kg,明显高于31条河流平均值,相对于其他4区,该区Fe/Al-P积累较重,沉积物中磷潜在释放量较大。②乌溪港最低(第3区),Fe/Al-P含量积累相对少。除乌溪港和社渚港的量低于平均值外,其临近河流的约130 mg/kg,相对较高。近年来第4区河流沿河两岸建造了化工厂100多家^[14],致使太湖西部河

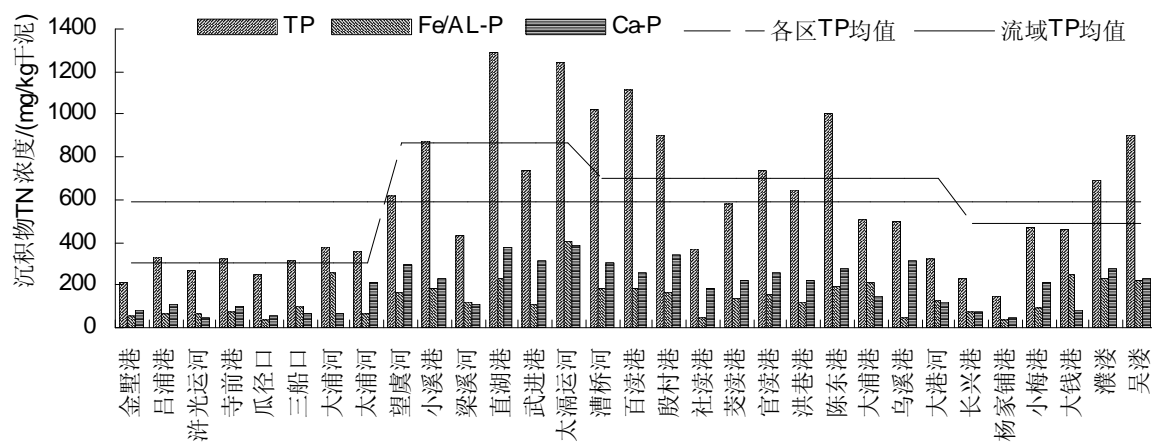


图3 环太湖入、出湖河流河口沉积物磷含量

流重度污染,第3区的重度污染河流汇入湖湾。

各区比较:入湖河口沉积物的Fe/Al-P含量从高到低依次为第2区(202.40 mg/kg) > 第4区(152.38 mg/kg) > 第3区(142.59 mg/kg) > 第1区(89.57 mg/kg)。第2区和第3区主要受工、农业污染影响^[14], Fe/Al-P大量积累,应予以重视;而第1和4区多为出湖河流,河流沉积物较清洁,Fe/Al-P含量不高。但东太湖流域水产养殖业发达^[11],已对沉积物造成了一定污染,要提倡生态养殖。

3.3 沉积物 TOM

由图4可见,环太湖河流河口沉积物TOM均值为34.83 g/kg,范围为15.34~64.23 g/kg,略高于张雷^[17]调查的西太湖河口区表层沉积物中有机质平均含量。①小溪港最高(第2区),该区临近河流(除殷村港外)均约34 g/kg,相对其他4区而言,该区有机质积累较重。②乌溪港最低(第3区),仅15.34 g/kg,有机质积累相对较轻。除陈东港沉积物TOM含量高于平均值外,该区临河流的较低,约20 g/kg。

区域入湖河口沉积物TOM含量从高到低依次为:

第2区(42.04 g/kg) > 第4区(40.90 g/kg) > 第1区(34.84 g/kg) > 第3区(27.60 g/kg)。第2区主要是工、农业污染造成有机质积累,会增强沉积物对氮磷的吸附^[18],增加水体内源负荷,应予以重视;而1和4区多为出湖河流,围网养殖业发达,河水所挟污染颗粒及鱼类排泄物、残饵等有机物的沉积,造成了有机物负荷明显较高^[19-20]。对第3区的重污染河流入湖口沉积物中有机质积累也应予以重视,因该区沉积物中氮磷积累均较高,沉积物有机质有热不稳定性,且矿化过程能导致沉积物中氧化还原电位和pH的改变,从而影响沉积物中磷化合物的吸附/解析和相互转化过程,从而造成水质恶化、水体富营养化^[22-25]。

4 结论与讨论

(1)与历史数据比^[13,17],环太湖河流沉积物中TN, TP和TOM含量都有升高的趋势,其中河流入湖口沉积物升势较河流出湖口显著。

(2)太湖流域不同分区内河道沉积物的营养盐污染存在空间差异,以2和3区内无锡和宜兴的河流入湖区污染最重,这与文献报道一致^[14],原因在于太湖西

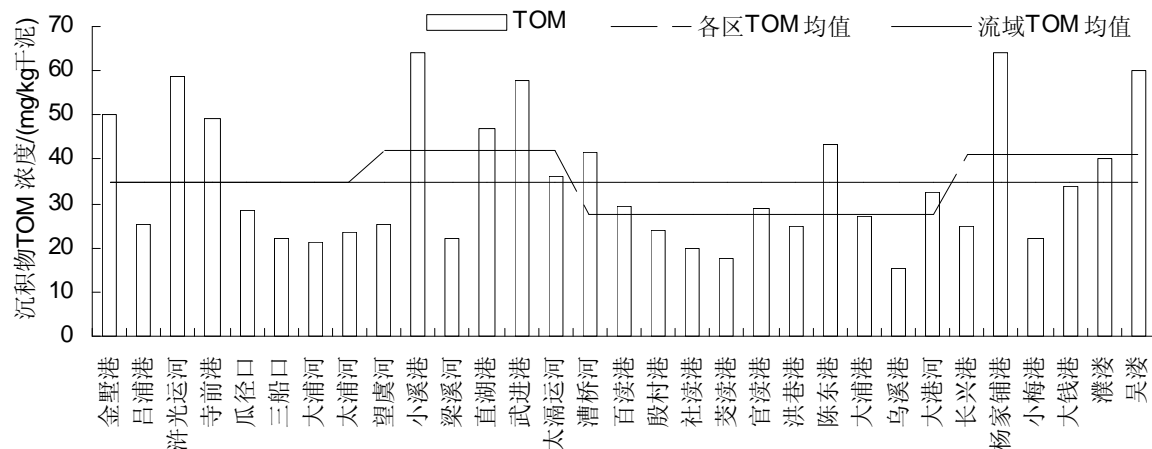


图4 环太湖入、出湖河流河口沉积物TOM含量

部,西北部和北部地区巨大的人口数量和经济强度。

(3)磷是太湖及多数淡水水体富营养化的重要限制因子^[21],控磷是河流水质、底质改善和湖体富营养化状况好转的关键之一。需综合运用合理施肥与农药,提高城市污水处理、低污染水处理系统^[26]等措施。

综合TN,TP和TOM 3类指标,提出沉积物污染控制的关键河流,按优先顺序依次为:太滬运河、百渎港、陈东港、漕桥河、直湖港、武进港、官渎港、小溪港、殷村港、洪巷港、茭渎港和乌溪港。以上河流沉积物TN、TP含量均较高(TN>1000 mg/kg、TP>500 mg/kg)。应对这些河流及所在流域溯源调查。同时可结合水利工程、航道整治及气象条件,分阶段分区疏浚清淤,减少底泥中污染物的释放,削减内负荷。

参考文献

- [1] 孙顺才,黄漪平.太湖[M].北京:海洋出版社,1993:1-21.
- [2] 金相灿.中国湖泊环境(第三册)[M].北京:海洋出版社,1995:163-161.
- [3] 金相灿.中国湖泊富营养化控制与管理技术[M].北京:化学工业出版社,2001:147-153.
- [4] 杨桂山,李恒鹏,于秀波.流域综合管理导论[M].北京:科学出版社,2004:157-161.
- [5] 李恒鹏,杨桂山,黄文钮,等.不同尺度流域地表径流氮、磷浓度比较[J].湖泊科学,2006,18(4):377-386.
- [6] 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 J Anal Chem*, 2001,370:224-228.
- [7] Ruban V, Brigault S, Demare D, et al. An investigation of the origin and mobility of phosphorus in freshwater sediments from Bort-Les-Orgues Reservoir, France [J]. *J. Environ. Monitor*,1999,1(4):403-407.
- [8] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:上海科学技术出版社,1978:121-134.
- [9] 鲍士旦.土壤农化分析(第三版)[M].北京:中国农业出版社,1981:30-33.
- [10] 俞海桥,方涛,夏世斌,等.不同生态修复措施下太湖五里湖沉积物氮磷形态的时空分布[J].湖泊科学,2007,19(6):683-689.
- [11] 杨英宝,江南,殷立琼,等.东太湖湖泊面积及围网动态变化的遥感监测[J].湖泊科学,2005,17(2):133-138.
- [12] 郭建宁,卢少勇,金相灿,等.低溶解氧状态下河网不同类型沉积物氮释放研究[J].环境科学学报,2010,30(3):614-620.
- [13] 袁旭音,李兵,许薇薇,等.太湖入湖河道沉积物中生物利用磷和营养水平分析[J].地学前缘,2008,15(5):212-218.
- [14] 田自强,韩梅,张雷,等.西太湖河网区恢复与退化河岸带湿地生态及水环境功能比较[J].生态学报,2007,7(27):2812-2822.
- [15] Golterman H L. Sediments as a source of phosphorus for algal growth. In: H L Golterman ed. *Interaction between sediments and fresh water*[M]. The Hague: Dr W Junk, 1997:286-293.
- [16] Ruban V. Quevauviller harmonized protocol and certified reference material for the determination of extractable contents of phosphorus in freshwater sediments: A synthesis of recent works [J]. *Fresenius J Anal Chem*, 2001,370:224-228.
- [17] 张雷,郑炳辉,田自强,等.西太湖典型河口区湖滨带表层沉积物营养评价[J].环境科学与技术,2005,29(5):4-7.
- [18] 范成新.太湖沉积物理化特征及磷释放模拟[J].湖泊科学,1995,7(4):341-350.
- [19] 王圣瑞,金相灿,赵海超,等.湖泊沉积物中水溶性有机质对吸附磷的影响[J].土壤学报,2005,42(5):807-811.
- [20] Angeler D G, Sanchez-Carrillo S, Garcia G, et al. The influence of *Procambarus clarkia* (Cambaridae, Decapoda) on water quality and sediment characteristics in a Spanish flood plain wet-land [J]. *Hydrobiologia*, 2001,464(1-3): 89-98.
- [21] Schindler D W. The evolution of phosphorus limitation in lakes [J]. *Sci*, 1977,195:260-262.
- [22] Wang S R, Jin X C, Zhao H C, et al. Effect of organic matter on the sorption of dissolved organic and inorganic phosphorus in lake sediments [J]. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2007,297:154-162.
- [23] Wang S R, Jin X C, Zhao H C, et al. Effects of organic matter on phosphorus release kinetics in different trophic lake sediments and application of transition state theory [J]. *Journal of Environmental Management*, 2008,88:845-852.
- [24] 张润宇,吴丰昌,王立英,等.太湖北部沉积物不同形态磷提取液中有机质的特征[J].环境科学,2009,30(3):733-742.
- [25] 卢少勇,金相灿,张焯,等.滇池内湖滨带底泥的有机质分布规律[J].湿地科学,2009,7(2):135-141.
- [26] 崔理华,卢少勇,等.污水处理的人工湿地构建技术[M].北京:化学工业出版社,2009:1-50.