

太湖流域农村黑臭河流表层沉积物营养盐的污染特征

冀峰¹, 王国祥², 韩睿明², 李时银², 董彬³, 黄亚文⁴

(1. 南京师范大学 地理科学学院, 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心, 江苏 南京 210023;
2. 南京师范大学 环境学院, 江苏省环境演变与生态建设重点实验室 江苏省水土环境生态修复工程实验室,
江苏 南京 210023; 3. 临沂大学 资源环境学院, 山东 临沂 276000; 4. 河海大学 环境学院, 江苏 南京 210098)

摘要: [目的] 分析农村黑臭河道沉积物中营养盐的空间分布情况和形态构成特征并给予分析与评价, 为认识河流污染现状、黑臭河流治理和太湖富营养化防治提供基础数据。[方法] 以江苏省宜兴市周铁镇掌下浜(北段)为例, 沿河流从上游到入河口共采集了 13 个沉积物表层样, 分析其总氮(TN)、总磷(TP)、氨氮(NH₄⁺-N)、硝氮(NO₃⁻-N)、有机氮(Org-N)、有机碳(TOC)的空间分布特征, 并对表层沉积物中碳(C)、氮(N)、磷(P)的组分分布进行耦合分析以及污染状况评价。[结果] Org-N 是河流表层沉积物中氮素的主要成分, 平均值为 2 193.69 mg/kg, 占 TN 质量分数的 90.86%; 各采样点处 TN, Org-N, TP 和 TOC 含量从上游到下游总体呈现波动中上升趋势, 最高值分别是最低值的 2.98, 3.46, 6.29 和 1.59 倍; NH₄⁺-N 含量的变化趋势是缓慢上升而后急速下降, 而 NO₃⁻-N 含量呈现出缓慢下降而后急速上升; 各采样点 C/N 均值为 12.07, 有机物以外源输入为主, TOC 与 TN 含量具有极显著正相关($p < 0.01, n = 13$); C/P 均值为 2.04, TOC 与 TP 具有显著正相关($p < 0.05, n = 13$); N/P 均值为 2.04, TN 与 TP 具有极显著正相关($p < 0.01, n = 13$), N, P 污染具有同源性。[结论] 太湖流域农村黑臭河流沉积物环境状况属有机污染, 其中氮污染程度属有机氮污染状态。

关键词: 营养盐; 污染特征; 表层沉积物; 黑臭河流

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)03-0081-07

中图分类号: X524

文献参数: 冀峰, 王国祥, 韩睿明, 等. 太湖流域农村黑臭河流表层沉积物营养盐的污染特征[J]. 水土保持通报, 2016, 36(3): 81-87. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2016.03.015

Nutritional Pollution Characteristics of Surface Sediments from a Rural Malodorous Black River in Taihu Lake Area

Ji Feng¹, Wang Guoxiang², Han Ruiming², Li Shiyin², Dong Bin³, Huang Yawen⁴

(1. Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource

Development and Application, School of Geographical Science, Nanjing Normal University,

Nanjing, Jiangsu 210023, China; 2. School of Environment, Nanjing Normal University, Jiangsu Key Laboratory of Environmental Change & Ecological Construction, Jiangsu Engineering Laboratory of Water and Soil Eco-remediation, Nanjing, Jiangsu 210023, China; 3. College of Resource and Environment, Linyi

University, Linyi, Shandong 276000, China; 4. College of Environment, Hohai University, Nanjing, Jiangsu 210098, China)

Abstract: [Objective] In order to provide fundamental data for a better understanding of the current pollution status and management for the malodorous black rivers, especially to prevent and control the eutrophication of Taihu lake, the spatial distribution and morphological characteristics of sediment nutrient in a rural malodorous black river were analyzed and evaluated. [Methods] Thirteen surface sediment samples along the Northern Branch of Zhangxia Stream in Zhoutie Town of Yixing City, Jiangsu Province were collected from the upstream to the downstream. The spatial distribution of total nitrogen concentration(TN), total phosphorus(TP), ammonia nitrogen(NH₄⁺-N), nitrate nitrogen(NO₃⁻-N), organic nitrogen(Org-N) and total organic carbon(TOC) were investigated. The component distribution of carbon(C), nitrogen(N), phosphorus(P) in surface sediments were studied by coupling analysis for pollution assessment. [Results] Org-N was

收稿日期: 2015-08-10

修回日期: 2015-08-26

资助项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07101-008-02); 江苏省太湖水环境综合治理科研项目(JSZC-G2014-212); 江苏省太湖水环境综合治理科研项目(JSZC-G2015-301)

第一作者: 冀峰(1990—), 男(汉族), 山西省太原市人, 硕士研究生, 研究方向为水土环境生态修复。E-mail: jifengniu@163.com。

通讯作者: 王国祥(1963—), 男(汉族), 江苏省南京市人, 博士, 教授, 主要从事水生态修复研究。E-mail: wangguoxiang@njnu.edu.cn。

the main component of nitrogen in surface sediments with an average concentration of 2 193.69 mg/kg, accounted for 90.86% of TN. Concentrations of TN, Org-N, TP and TOC presented a fluctuant increasing trend from upstream to downstream, and the highest values were 2.98, 3.46, 6.29 and 1.59 folds of the minimum values, respectively. The concentration of NH_4^+ -N increased slowly at the initial stage and then decreased rapidly, while the concentration of NO_3^- -N showed an opposite trend. Mean ratio of C/N for the entire stream was 12.07, and the organic matter were mainly sourced from exogenous input. In addition, concentrations of TOC and TN showed an extremely significant positive correlation ($p < 0.01$, $n = 13$). Mean ratio of C/P was 2.04, and concentrations of TOC and TP showed a significant positive correlation ($p < 0.05$, $n = 13$). Mean ratio of N/P was 2.04, and concentrations of TN and TP showed an extremely significant positive correlation ($p < 0.01$, $n = 13$). As a result, the pollution of nitrogen and phosphorus was homogenous. [Conclusion] Organic pollution is the main pollution for rural malodorous black river in the Taihu lake watershed, where the nitrogen pollution is mainly Org-N pollution.

Keywords: nutritional; pollution characteristics; surface sediment; malodorous black river

太湖流域是典型的平原水网区,河网密布,随着经济发展,人口增多,大量工农业污染物质、生活污水输入河网,最后致使太湖水质日益恶化^[1],长期以来难以改善。有些河流特别是断头浜由于长期受到沿岸农业面源污染、生活污水和人畜废水的影响,蓄积大量的营养物质,底泥淤积严重,有些则形成黑臭河流,而沉积物作为内源污染,构成黑臭河流中重要的部分。沉积物是氮磷等营养物质的重要蓄积库,它既具有对上覆水环境净化功能的同时,也在一定程度上发挥着营养源的作用^[2],在生物地球化学循环中有着重要的意义^[3]。沉积物既可作为“汇”收集来自上覆水体中沉降、颗粒物、运输等多种途径带来的污染物^[4],也可在特定的环境条件下,沉积物作为“源”可将污染物再次释放到上覆水体中,从而引起水体二次污染^[5]。掌下浜(北段)是太滬南运河下游自然支流之一,位于周铁镇西北部,太滬南运河流域东部。太滬南运河流域内人口密度大,生活、工业和农业污染负荷高,其中生活污染源和农业面源占主要部分,导致河流污染日益严重,加上河道沉积物中污染物含量高,严重影响太湖水质^[6]。各种营养物质在物理和生物的作用下沉积到沉积物中,使沉积物成为湖泊生态系统中营养物质的主要沉积库,构成了湖泊的内源性污染。目前对湖泊、入湖河流、入湖河口、城市内河以及湖泊的外源性污染控制的研究较多,但对作为外源污染的黑臭河流、断头浜的沉积物污染状况研究相对较少。因此,本试验选取太滬南运河下游入河河流——掌下浜(北段)作为研究区域,分析河道沉积物中营养盐的空间分布情况、形态构成特征并给予分析与评价,以期为河流外源性污染现状和治理以及太湖富营养化防治提供基础数据。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

掌下浜(北段)为太滬南运河下游的一条天然支流,全长约 3.3 km,水面宽 11~50 m,河段主要位于江苏省宜兴市周铁镇内,由北向南注入太滬南运河,该河段属于北亚热带南部季风区,四季分明,温和湿润,雨量充沛,多年平均降水量 1 197 mm,多年平均气温 15.6 ℃。流域无霜期长,年平均无霜期 239 d。冬季多北风,受北方大陆冷空气侵袭,干燥寒冷;夏季偏南风较多,受海洋季风的影响,炎热湿润;春夏之交多“梅雨”,夏末秋初有台风,常年主导风向为东南风,平均风速 3.1 m/s。河流两岸土地利用类型主要以农业用地和居住用地为主。近年来,由于城镇农村经济迅速发展,人口的骤增,大量生活污水、农业退水和牲畜污水由于没有排水渠道和污水处理系统直接排入河流中,所以河流水网成为流域内生产、生活排污和纳污的主要场所,导致河流污染日益严重。故主要的污染源来自排污量不断增长的生活污水和农业退水。

1.2 采样点设置与样品采集

采样点的设置结合河流的特点,特别是农村村落分布以及断头浜交汇处的分布情况,从上游到入河河口共设 13 个采样点。于 2014 年 10 月在河道中心位置同一点采用柱状采样器(HYDRO-BIOS,德国)采集 3 次厚 5 cm 的表层沉积物样,将沉积物立即装入聚乙烯自封袋中充分混匀,并同时运用有机玻璃采水器采集相应点位距离水面 30 cm 深处的河水,一同放入冷藏箱中 4 ℃ 保存,送往实验室处理,采样点位置如表 1 所示。

表1 采样点位置

采样点	1号	2号	3号	4号	5号	6号	7号
经度	31°28'43"N	31°28'40"N	31°28'41"N	31°28'40"N	31°28'32"N	31°28'29"N	31°28'28"N
纬度	119°58'50"E	119°58'51"E	119°58'56"E	119°58'58"E	119°59'00"E	119°59'02"E	119°59'04"E
采样点	8号	9号	10号	11号	12号	13号	
经度	31°28'27"N	31°28'25"N	31°28'16"N	31°28'09"N	31°27'56"N	31°27'36"N	
纬度	119°59'05"E	119°59'06"E	119°59'10"E	119°59'20"E	119°59'18"E	119°59'30"E	

1.3 监测项目与分析方法

底泥送至实验室后采用孔径1 cm的铁筛对底泥进行粗筛,以除去植物残体和贝类等大颗粒物,对筛过的底泥进行充分混匀,经自然风干后,充分研磨,过100目筛,备用。总氮(TN)和总磷(TP)采用过硫酸盐消化法测定^[7-8];氨氮(NH₄⁺-N)、硝氮(NO₃⁻-N)经过1 mol/L(液土比为100:1)浸提后^[9-10],通过AA3流动水质分析仪(德国)连续流动分析仪测定;Org-N采用差减法得到;有机碳是低温外热重铬酸钾氧化—比色法测定^[11]。

1.4 数据分析

试验所有数据采用Excel 2010进行整理,使用

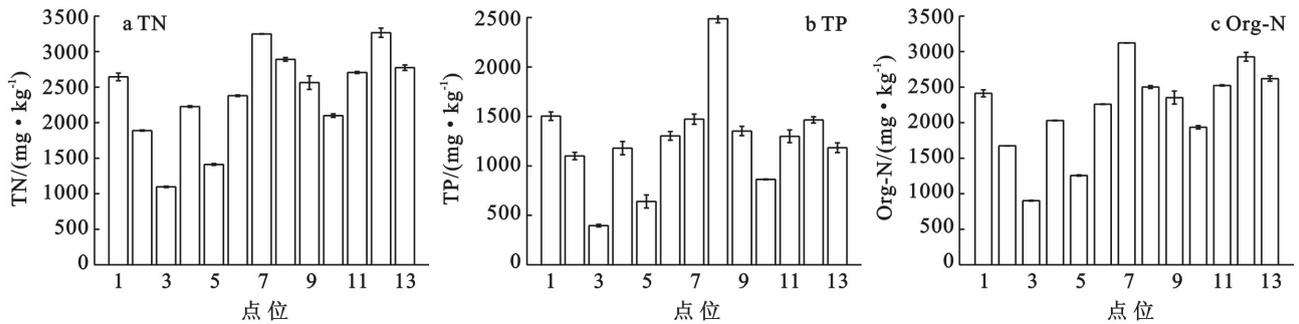
SPSS 18.0和Origin 8.0进行数据分析和相关图件制作,进行。

每个样品设置3个平行,最后结果取平均值。使用SNK检验进行差异显著性分析($p < 0.05$ 表示差异显著, $p < 0.01$ 表示差异极显著)。

2 结果与分析

2.1 沉积物中表层营养盐的空间分布特征

2.1.1 总氮(TN)、有机氮(Org-N)和总磷(TP)的空间分布特征 表层沉积物中,TN,Org-N和TP含量变化趋势相同(图1),从上游一直到河口总体呈现波动上升趋势。



注:TN为总氮;TP为总磷;Org-N为有机氮。下同。

图1 表层沉积物TN,Org-N和TP含量分布

经调查,1和4号采样点处分布有居民聚居区,2和3号采样点两岸均为农业用地,1—3,4—5号采样点处表层沉积物TN,Org-N和TP呈下降趋势,TN平均降低58.52%和36.60%,Org-N平均降低62.61%和38.13%,TP平均降低73.70%和45.70%,其中,TN,Org-N和TP含量均在3号点处达到最低值,分别为1096.74,902.19,395.31 mg/kg,可能是生活污水、人畜粪便尾水、生物残体等的集中流失有关,加之河流流速缓慢,底泥淤积严重,大量的外源营养物质不能够及时扩散,有的被悬浮物质吸附就直接沉淀下来,还有一部分被浮游植物吸收后,在生长季节可能会被循环利用几次,但最后也会沉淀下来。而离居民区愈远的部分,由于河水的混合稀释作用,水体中的氮、磷的沉积就会愈少^[12],故呈现出下降趋势;此外,

在3号采样点附近两岸虽为农业用地,但是附近并没有出现或设置有生活污水和农业退水的排水口或排水渠。

研究表明,生活废水、人畜粪便尾水、生物残体等其中含有大量的氮磷,大量的排放导致水体富营养化,水体中营养盐浓度与沉积物中的浓度具有互补的关系,当水体中营养盐浓度高于某一阈值时,水体中营养盐会向底泥中沉积^[13-14]。7—10号采样点TN,Org-N均表现出下降趋势,分别降低35.37%和38.02%,其中Org-N含量在7号采样点处达到最高值,为3121.77 mg/kg;而TP含量则表现出先上升后下降,变化幅度为862.84~2487.17 mg/kg,在8号采样点处的出现最高值,含量为2487.17 mg/kg,调查发现,7—10号采样点均分布于居民聚居区,但

是由于该段河道已经过生态修复,河面设置有大量的人工浮床,研究表明:水生植物对去除水体氮磷具有一定的吸收作用,水体氮磷逐渐降低,当水体氮磷低于一定阈值时,底泥中所含氮磷释放于水体中,故沉积物中氮磷含量也呈现降低趋势^[13]。表层沉积物中 TN, Org-N 含量在 5—7 和 10—12 号采样点处、TP 含量在 5—8 和 10—12 号采样点处均呈现出上升趋势, TN 含量平均上升 1.30 和 0.56 倍, Org-N 含量平均上升 1.49 和 0.51 倍, TP 含量平均上升 2.88 和 0.70 倍,其中, TN 含量在 12 号采样点处达到最高值,为 3 266.18 mg/kg;经现场调查发现,这些采样点处河流两岸均为农业用地,以种植水稻为主,农业退水不断直接排放到河流中,沉积物氮磷含量升高则可能是受到农业面源污染的长期影响所致,有观测结果表明:苏南太湖流域稻麦轮作区稻田泡田弃水和地表径流所损失的氮分别相当于氮肥用量的 2.7% 和 5.7%,加上淋洗损失 3.0%,氮素通过水循环损失总计为 11.4%,农田土壤磷素流失引起水体污染主要是磷以颗粒的形式在水中沉积,成为水中磷的潜在补给源^[15]。此外,表层沉积物中 Org-N 含量占 TN 比例高的原因可能是受到该地区长期以来农业种植强度高和存在不合理施肥等问题,使大量氮素随农业退水进入河流沉积在沉积物中^[16]。

2.1.2 无机氮的空间分布特征 表层沉积物中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量从上游到下游变化趋势总体呈现不断波动的状态,与 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量相比, $\text{NH}_4^+\text{-N}$

含量的变化幅度较大(图 2a)。表层沉积物中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量变幅较小(147.22~380.35 mg/kg),最低值出现在 6 号采样点处,为 109.42 mg/kg,其中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 在 1—6 号点缓慢下降,平均下降 114.03 mg/kg,在 7—8 号点处呈快速上升趋势,达到最高值 380.35 mg/kg 后又迅速下降,在 11 号点处达到又一个较低值点 152.69 mg/kg,之后又迅速上升,随后下降至 143.59 mg/kg。 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的变化趋势(图 2b)与 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 不同,呈波浪型变化,但其变化幅度要比 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 大,变幅为 4.53~13.78 mg/kg,最高值是最低值的 3.04 倍,其中,12 号采样点处达到最大值,最小值出现在 4 号采样点处。一般情况下,沉积物中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的含量与河流水动力情况、有机质含量以及河流本身的沉积环境有关,由于该河流不仅受到外源性污染强烈影响,而且自身的沉积环境比较复杂^[15],导致第 8 号采样点处沉积物 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量很高的原因这可能是由于河流两岸居民聚居呈分散式特点,致使生活污水、农业退水的排放同样呈现分散式,加之河流流速缓慢,河道中几乎没有水生植物生长,河流淤积严重,有机质大量积累并分解,消耗大量的溶解氧,导致河底溶解氧减少,水底沉积物处于缺氧或厌氧状态,沉积环境变为还原环境,这不仅不利于将 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 转化成 $\text{NO}_3^-\text{-N}$,而且促进沉积物中厌氧反硝化作用的进行,溶解氧越少,反硝化作用越为强烈,导致沉积物中氮元素转化为 N_2O 和 N_2 等气体形式散逸进入大气氮循环中,脱离河流系统^[16]。

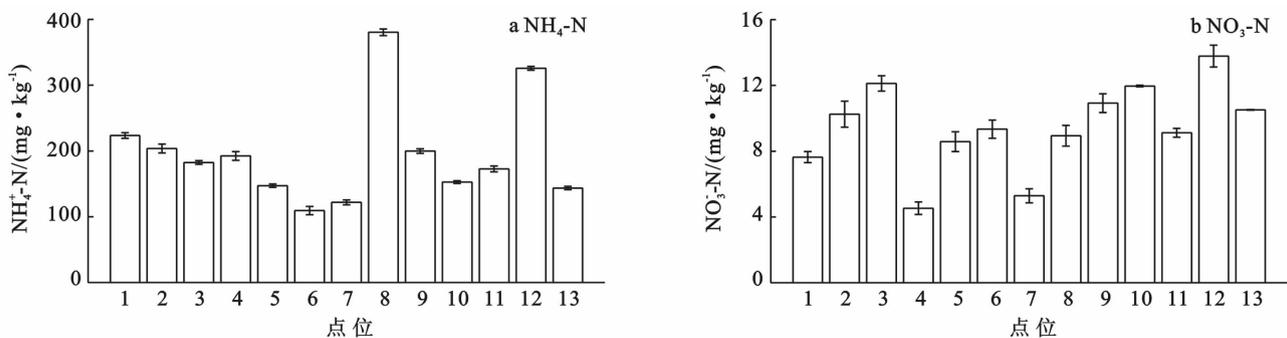


图 2 表层沉积物无机氮含量分布

2.1.3 氮素形态在表层沉积物中的分布 表层沉积物中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 和 Org-N 的构成见图 3。从图 3 中发现 Org-N 占 TN 的质量分数最大,平均值为 91.42%,其次是 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 占 8.73%, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 占 TN 的质量分数最小,为 0.45%。由此可见 Org-N 是掌下浜(北段)河流沉积物中氮素的主要存在形态,其中,无机氮中氮素主要是以 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的形式存在,说明沉

积物中 TN 仅极少部分在成岩过程中矿化^[17]。根据美国 EPA 中沉积物 TN 污染评价标准(<1 mg/g 时,为清洁; $1\sim 2$ mg/g 时,为轻污染; >2 mg/g 时,为重污染),掌下浜(北段)沉积物达到重污染水平。研究表明:表层沉积物中氮磷含量与上覆水氮磷浓度具有互补的关系,而且表层沉积物间隙水中各类氮素浓度要比上覆水中的高出许多^[18-19],因此在控制外源

性污染的同时,内源性污染也不容忽视,当河水氮磷浓度低于一定阈值时,则会导致沉积物中氮磷得以释放,必将带来河水的再次富营养化,因此对掌下浜(北段)沉积物的治理,防止河水再次富营养化具有重要的意义。

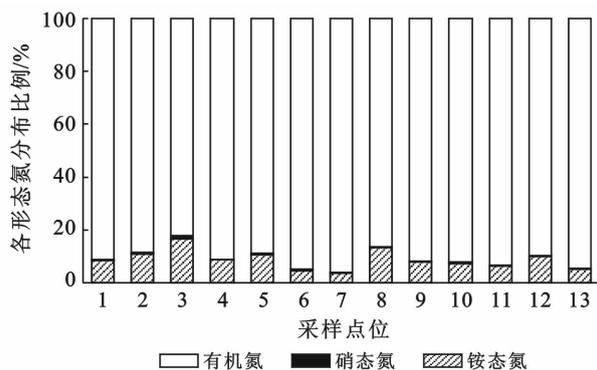


图3 表层沉积物中各形态氮素的分布比例

2.1.4 总有机碳(TOC)在表层沉积物中的空间分布

沉积物中总有机碳(TOC)含量的变化,可反映出沉积物中腐殖质的变化,同时反映出河流的富营养化程度^[20]。如图4所示,河流表层沉积物中TOC含量为20.32~30.44 g/kg,各采样点均值为27.41 g/kg,其中在3号采样点处达到最低值,12号采样点处达到最高值。其中,3,5,9和10号采样点处沉积物TOC含量较低,主要是由于河流两岸以农业用地为主,虽然长期受到农业污染,但是由于河流流速缓慢,加之支流河水汇入,水体稀释作用明显,受到生活污水的影响较小,排入河水中的废水携带的有机物质大多在直排点处得以大部分沉降,此外,并因沉积物自身的自净和碳的消耗,故这些采样点处TOC含量较低^[21]。其余的采样点处表层沉积物中TOC含量较高,均大于25 g/kg,主要是受到生活污水、农业退水等人为因素的长期影响所致。一方面,生活污水、农业退水的直排,使得该河段的水体长期处于富营养化状态,浮游动物、浮游植物、细菌等大量存在并生长,溶解态的有机碳含量不断增高;另一方面,排入河流中的废水除了携带营养物质外,同时携带大量的有机物质,加之水动力条件较弱,河流水流速度和水流量小,致使沉积物中的细小颗粒物未能被水体携带迁移至下游,颗粒态有机碳在此河段沉积物中得以很好地富集^[21]。

2.2 沉积物中表层营养盐的耦合分析

2.2.1 C/N C/N在一定的程度上可以判断出营养盐的类型和主要的物质来源,因此在研究河流生态系

统的演变过程中,通过C/N的比值可以用来区分出有机质的来源是外源输入还是内源产生。一般认为,C/N<10时,以内源有机质为主,C/N为10时,内源与外源有机质达到基本平衡状态,C/N>10时,以外源性有机质为主^[22]。

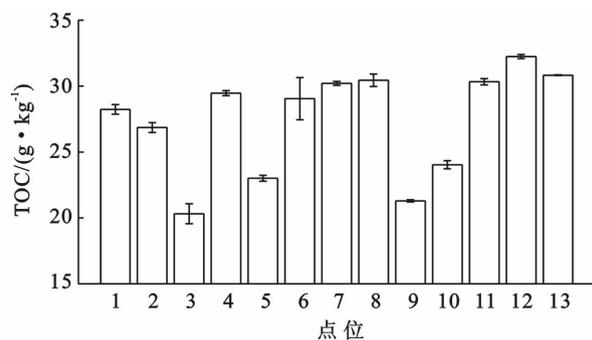


图4 表层沉积物TOC含量分布

从图5a中可以看出,掌下浜(北段)各采样点表层沉积物中C/N为8.31~18.52,普遍以C/N>10为主,均值为12.07,说明该河流沉积物中有机质的主要来源以外源输入为主。在1—6号采样点C/N比值均大于10,并出现在3和5号采样点处比值大于15,这说明沉积物表层的陆源输入有机质含量较高,而导致这种现象的产生可能是河流沿岸近年来人类经济活动干预不断加大所致^[23]。调查发现,3和5号采样点处分布有居民聚居点,大量的生活污水和人畜废水直接排入河流,加之河流流速缓慢,两岸水生植物残体凋落,有利于有机质沉积于此;7—13号采样点处,各采样点均在C/N比值等于10处上下浮动,其中7,9和12号采样点处C/N比值小于10,其中在9号采样点处达到最低值,以内源输入为主,由于此处同样是居民聚居区,外源输入量大,底泥淤积严重,从图5中可以看到沉积物中TOC含量较高,但相应点处沉积物中总氮含量也相应的较高,故使C/N比值较小。

此外,对TOC与TN进行相关性分析得出,表层沉积物中TOC与TN含量具有极显著的正相关关系($p<0.01, n=13$),这是由于碳、氮都是生物体的有机组成元素,在生物体内含量较恒定,且具有同源性^[22],其来源均为有机物,同时也说明沉积物中的氮主要以有机氮的形式存在。

2.2.2 C/P 从图5b中可以看出,掌下浜(北段)各采样点表层沉积物中C/P在12.24~51.39变化,均值为25.04。从整体上看,各个采样点C/P变化幅度不大,只是在3和5号采样点处比值较高,从TOC含

量在各采样点的变化(图 5)和 TP 在表层沉积物中的分布(图 1)可以看出,在 3 和 5 号采样点处 TP 含量较低,而这两点处 TOC 含量较高,表明表层沉积物中 C 的释放速率比 P 要慢,导致这两点处 C/P 含量较高;同时可以看到各采样点 TOC 含量要远大于 TP

含量,说明沉积物中的 TOC 主导着 C/P 比值在各采样点处的变化。此外,对 TOC 与 TP 进行相关性分析得出,各采样点处 TOC 与 TP 具有显著正相关关系($p < 0.05, n = 13$),表明磷主要是由沉积物中有机质的富集造成^[24]。

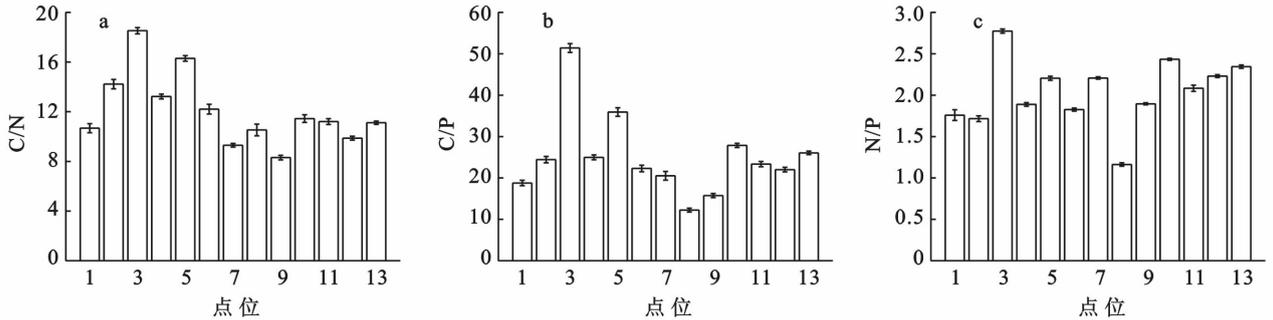


图 5 表层沉积物中 C/N、C/P、N/P 比值分布

2.2.3 N/P 沉积物中 N 和 P 一般为水中 N、P 的聚积、沉积及沉积物溶出和释放两种动态过程的结果。N/P 的比值,在一定程度上可以判断了湖泊的营养状态^[22]。从图 5c 中可以看出,掌下浜(北段)各采样点表层沉积物中 N/P 在 1.16~2.77 变化,均值为 2.04。该河流各采样点处 N/P 比值变化幅度较小,只是在 3 和 8 号采样点处出现最高值点和最低值点,由于 3 号采样点处沉积物中 TN 含量较高,TP 含量较低,故导致比值较高,同时也说明了农田退水和生活污水的入河量有逐年增加的趋势^[23]。而 8 号采样点处正好相反,TN 含量较低,TP 含量较高,故导致比值较低,其余采样点处变化幅度较小是由于沉积物中 TN 和 TP 含量相差较小。此外,对 TN 与 TP 进行相关性分析得出,各采样点处 TN 与 TP 具有极

显著正相关关系($p < 0.01, n = 13$),由此说明 N、P 污染具有同源性;同时,表层沉积物中的氮磷比值小于 Redfield 比(C : N : P = 106 : 16 : 1)^[25],由此说明沉积物中的磷主要是陆源输入的^[23]。

2.3 表层沉积物营养盐污染状况评价

2.3.1 评价方法及标准 目前国内外对于河流沉积物环境尚缺乏统一的评价方法和标准,故参照类似湖泊及湿地相关文献资料,采用有机指数评价方法和有机氮评价方法,对掌下浜(北段)表层沉积物污染状况进行评价。有机指数通常是被用作衡量水域沉积物环境状况的指标,同时有机氮通常是被用来衡量湖泊表层沉积物有否遭受氮污染的重要指标^[24-26]。

计算方法为:有机指数 = 有机碳(%) × 有机氮(%). 评价标准如表 2 所示^[26]。

表 2 沉积物有机指数及有机氮评价标准

有机指数评价标准				有机氮评价标准			
<0.05	0.05~0.20	0.20~0.50	≥0.50	<0.003 3%	0.003 3%~0.066%	0.066%~0.133%	>0.133%
清洁	较清洁	尚清洁	有机污染	清洁	较清洁	尚清洁	有机氮污染
I	II	III	IV	I	II	III	IV

2.3.2 营养盐评价结果 根据评价方法和标准,可以得出掌下浜(北段)各采样点表层沉积物污染状况,评价结果如表 3 所示。从表 3 可看出,掌下浜(北段)各采样点处沉积物有机指数为 0.18~0.94,全河平均为 0.62,达到 V 级标准,说明掌下浜(北段)水体沉积物环境状况属有机污染。其中在 2、5 和 10 号采样

点处有机指数达到 III 级标准,属尚清洁状态,3 号采样点处达到 II 级标准,属较清洁状态。同时,各采样点处沉积物有机氮的质量分数为 0.09%~0.31%,全河平均为 0.22%,达到 IV 级标准,说明掌下浜(北段)氮污染程度属有机氮污染。其中只有在 3 和 5 号采样点处有机氮指数达到 III 级标准,属尚清洁状态。

表3 掌下浜(北段)沉积物营养程度评价结果

采样点	有机指数评价结果		有机氮评价结果	
	有机指数	水域沉积物环境状况	有机氮/%	氮污染程度
1	0.68	有机污染(IV)	0.24	有机氮污染(IV)
2	0.45	尚清洁(III)	0.17	有机氮污染(IV)
3	0.18	较清洁(II)	0.09	尚清洁(III)
4	0.60	有机污染(IV)	0.20	有机氮污染(IV)
5	0.29	尚清洁(III)	0.12	尚清洁(III)
6	0.66	有机污染(IV)	0.23	有机氮污染(IV)
7	0.94	有机污染(IV)	0.31	有机氮污染(IV)
8	0.76	有机污染(IV)	0.25	有机氮污染(IV)
9	0.50	有机污染(IV)	0.24	有机氮污染(IV)
10	0.47	尚清洁(III)	0.19	有机氮污染(IV)
11	0.77	有机污染(IV)	0.25	有机氮污染(IV)
12	0.94	有机污染(IV)	0.29	有机氮污染(IV)
13	0.81	有机污染(IV)	0.26	有机氮污染(IV)
平均	0.62	有机污染(IV)	0.22	有机氮污染(IV)

3 结论

(1) 表层沉积物中营养盐的空间分布具有差异性。TN, Org-N, TP, TOC 含量从上游到下游总体呈现上升趋势, 由于受到生活污水、农业面源污染等的影响, 呈现出不断波动的变化; NH_4^+ -N 含量的变化趋势是缓慢上升而急速下降; 而 NO_3^- -N 含量表现出缓慢下降而急速上升; 均与河流两岸污染源排放特点、上覆水氮磷含量和环境因子等有关。

(2) 对掌下浜(北段)各采样点表层沉积物 C, T, P 污染状况进行分析。各采样点处 C/N 普遍以大于 10 为主, 说明河流沉积物有机物以外源输入为主, TOC 与 TN 含量具有极显著正相关。C/P 均值为 2.04, TOC 与 TP 具有显著正相关, 表明磷主要是由沉积物中有机质富集造成且以有机磷的形态为主。N/P 均值为 2.04, TN 与 TP 具有极显著正相关, 说明 N, P 污染具有同源性。

(3) 采用有机指数评价方法和有机氮评价方法, 对掌下浜(北段)表层沉积物污染状况进行评价。得出掌下浜(北段)各采样点处沉积物有机指数全河平均为 0.62, 掌下浜(北段)水体沉积物环境状况属有机污染。同时, 各采样点处沉积物有机氮指数全河平均为 0.22%, 氮污染程度属有机氮污染。

[参 考 文 献]

[1] 袁洪州, 周航, 张陆军, 等. 太湖流域平原河网地区容易发生水土流失区域初探[J]. 水利规划与设计, 2013(12): 25-29.

[2] 熊汉锋, 谭启玲, 王运华. 梁子湖沉积物中氮磷分布特征研究[J]. 华中农业大学学报, 2008, 27(2): 235-238.

[3] Smolders A J P, Lamers L P M, Lucassen E C H E T, et al. Internal eutrophication: How it works and what to do about it: A review [J]. Chemistry and Ecology, 2006, 22(2): 93-111.

[4] 金相灿, 屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范[M]. 2 版. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.

[5] Gross A, Boyd C E, Wood C W. Nitrogen transformations and balance in channel catfish ponds[J]. Aquacultural Engineering, 2000, 24(1): 1-14.

[6] 黄娟, 王惠中, 吴云波, 等. 区域协同机制在太湖主要入湖河流污染控制中的应用: 以太滪南运河为例[J]. 环境科技, 2010, 23(2): 44-47.

[7] 钱君龙, 张连弟, 乐美麟. 过硫酸盐消化法测定土壤全氮全磷[J]. 土壤, 1990, 22(5): 258-262.

[8] 王萌, 王玉彬, 陈章和. 芦苇的种质资源及在人工湿地中的应用[J]. 应用与环境生物学报, 2010, 16(4): 590-595.

[9] 刘波, 周锋, 王国祥, 等. 沉积物氮形态与测定方法研究进展[J]. 生态学报, 2011, 31(22): 6947-6958.

[10] 许宽, 刘波, 王国祥, 等. 城市污染河道沉积物可提取态氮的提取方式比较[J]. 湖泊科学, 2012, 21(4): 541-545.

[11] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 106-108.

[12] 谢丽强, 谢平, 唐汇娟. 武汉东湖不同湖区底泥总磷含量及变化的研究[J]. 水生生物学报, 2001, 25(4): 305-310.

[13] 罗玉红, 高婷, 苏青青, 等. 上覆水营养盐浓度对底泥氮磷释放的影响[J]. 中国环境管理干部学院学报, 2011, 21(6): 71-74.

[14] 张悦, 段华平, 孙爱伶, 等. 江苏省农村生活污水处理技术模式及其氮磷处理效果研究[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(1): 172-178.

大小取决于入渗率的大小;累计侵蚀量随累计径流量的增加逐渐增加,但对于不同的立地条件,两者增加的幅度和速率是有所不同的。

(5) 此次试验设计内容有限,不同坡度对入渗和径流侵蚀的影响缺少分析,后续会进一步考虑不同坡度和不同雨强的影响,进行更加深入的研究。

[参 考 文 献]

- [1] 向道友,滕云成,党修辉. 对我国水土保持现状的研究[J]. 水利科技与经济, 2010, 16(1): 82-83.
- [2] 吴昌广,林德生,肖文发,等. 三峡库区降雨侵蚀力时空分布特征[J]. 应用生态学报, 2011, 22(1): 151-158.
- [3] 王晖,廖炜,陈峰云,等. 长江三峡库区水土流失现状及治理对策探讨[J]. 人民长江, 2007, 38(8): 34-36.
- [4] 游珍,李占斌. 坡面植被对径流的减流减沙作用机理及试验研究[J]. 泥沙研究, 2011(3): 59-62.
- [5] Zhou Zhengchao, Shangguan Zhouping. Effect of ryegrasses on soil runoff and sediment control[J]. Pedosphere, 2008, 18(1): 131-136.
- [6] Anderson M G, Medonnell J J. Encyclopedia of hydrological sciences[M]. Chichester: John Wiley and Son, 2005: 1719-1732.
- [7] 于国强,李占斌,李鹏,等. 不同植被类型的坡面径流侵蚀产沙试验研究[J]. 水科学进展, 2010, 21(5): 593-599.
- [8] Ma Donghao, Shao Mingan. Simulating infiltration into stony soils with a dual-porosity model[J]. European Journal of Soil Science, 2008, 59(5): 950-959.
- [9] 王小燕,王天巍,蔡崇法,等. 含碎石紫色土坡面降雨入渗和产流产沙过程[J]. 水科学进展, 2014, 25(2): 189-195.
- [10] 王升,王全九,董文财,等. 黄土坡面不同植被覆盖度下产流产沙与养分流失规律[J]. 水土保持学报, 2012, 26(4): 23-27.
- [11] 李毅,邵明安. 草地覆盖坡面流水动力参数的室内降雨试验[J]. 农业工程学报, 2008, 24(10): 1-5.
- [12] 贾莲莲,李占斌,李鹏,等. 黄土区野外模拟降雨条件下坡面径流—产沙试验研究[J]. 水土保持研究, 2010, 17(1): 1-5.
- [13] Morin J, Winkel J V. The effect of raindrop impact and sheet erosion on infiltration rate and crust formation[J]. Soil Science of America Journal, 1996, 60(4): 1223-1227.
- [14] 张强,郑世清,田风霞,等. 黄土区土质道路人工降雨及放水试验条件下产流产沙特征[J]. 农业工程学报, 2010, 26(5): 83-87.
- [15] 尹忠东,左长清,高国雄,等. 江西红壤缓坡地壤中流特征研究[J]. 西北林学院学报, 2006, 21(4): 47-49.
- [16] 卜崇峰,蔡强国,张兴昌,等. 土壤结皮的发育特征及其生态功能研究述评[J]. 地理科学进展, 2008, 27(2): 26-31.
- [17] 耿晓东,郑粉莉,张会茹. 红壤坡面降雨入渗及产流产沙特征试验研究[J]. 水土保持学报, 2009, 23(4): 39-43.
- [18] 杨春霞,肖培青,甄斌,等. 野外不同被覆坡面产流产沙特征[J]. 水土保持学报, 2012, 26(4): 28-31.
- [19] 于国强,李占斌,张霞,等. 野外模拟降雨条件下径流侵蚀产沙试验研究[J]. 水土保持学报, 2009, 23(4): 10-14.
- [20] 李洪丽,韩兴,张志丹,等. 东北黑土区野外模拟降雨条件下产流产沙研究[J]. 水土保持学报, 2013, 27(4): 49-52.
- [20] 孙小静,秦伯强,朱广伟,等. 持续水动力作用下湖泊底泥胶体态氮、磷的释放[J]. 环境科学, 2007, 28(6): 1223-1229.
- [21] 李雷. 巢湖湿地沉积物中有机碳、氮、磷分布特征及其相关性研究[D]. 安徽 芜湖: 2010, 安徽师范大学.
- [22] 张倩. 水平潜流人工湿地去除受污染水体中磷的研究[D]. 上海: 同济大学, 2007.
- [23] 师荣光. 城郊土水界面污染流污染特征、空间分布及其生态风险[D]. 天津: 南开大学, 2009.
- [24] 杨丽原,沈吉,刘恩峰,等. 南四湖现代沉积物中营养元素分布特征[J]. 湖泊科学, 2007, 19(4): 390-396.
- [25] 孙顺才,黄漪平. 太湖[M]. 北京: 海洋出版社, 1993: 224-228.
- [26] 单监利. 杭州城市湿地沉积物中碳、氮及重金属时空分布特征和污染评价[D]. 杭州: 杭州师范大学, 2013.

(上接第 87 页)

- [15] 刘方,黄壤旱坡地磷积累、迁移及其环境影响评价[D]. 杭州: 浙江大学, 2002.
- [16] 郭建宁,卢少勇,金相灿,等. 低溶解氧状态下河网区不同类型沉积物的氮释放规律[J]. 环境科学学报, 2010, 30(3): 614-620.
- [17] 乌云,朝伦巴根,李畅游,等. 乌梁素海表层沉积物与上覆水间氮磷迁移规律分析[J]. 中国农村水利水电, 2011, 34(8): 34-38.
- [18] 陈孝杨,严家平,贺勇. 淮河流域安徽段水系沉积物中重金属和有机碳的含量研究[J]. 能源环境保护, 2008, 22(6): 24-32.
- [19] Weeks W F, Lee O S. Observation on the physical properties of sea ice at Hopedale, Labrador[J]. Arctic, 1958, 11(3): 135-155.