

原著湿地公园底泥中氮、磷和有机质的分布规律

孙广垠^{1,2}, 刘勇^{2,3}, 郝雨康³, 张家铭⁴

(1. 中国矿业大学 环境与测绘学院, 江苏 徐州 221116; 2. 河北省水污染控制与水生态修复工程技术研究中心, 河北 邯郸 056038; 3. 河北工程大学 能源与环境学院, 河北 邯郸 056038; 4. 东南大学 能源与环境学院, 江苏 南京 211189)

摘要: 对现代·滏阳原著湿地公园底泥中 TN、TP 和有机质(OM)含量的竖向分布规律进行了分析,并通过有机指数法评价其富营养化情况。结果表明,目标河段底泥中 TN、TP 和 OM 含量随深度的增加呈上升趋势,三者在竖直方向上的相关关系显著。根据 TN 和 OM 含量变化趋势推测下层底泥存在较高的有机污染风险。由于底泥污染物分布的特殊性,覆盖措施可作为短期河流治理手段;底泥是主要的内源污染,疏浚才是长效的修复方案,但疏浚深度需进一步研究。

关键词: 原著湿地公园; 底泥; 总氮; 总磷; 有机质; 富营养化

中图分类号: TU992 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)21-0092-04

Distribution of Nitrogen, Phosphorus and Organic Matter in Sediments of an Original Wetland Park

SUN Guang-yin^{1,2}, LIU Yong^{2,3}, QIE Yu-kang³, ZHANG Jia-ming⁴

(1. School of Environment Science and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China; 2. Hebei Engineering Research Center for Water Pollution Control and Water Ecological Remediation, Handan 056038, China; 3. College of Energy and Environmental Engineering, Hebei University of Engineering, Handan 056038, China; 4. School of Energy and Environment, Southeast University, Nanjing 211189, China)

Abstract: The vertical distribution of TN, TP and organic matter (OM) contents in the sediment of Modern-Fuyang Original Wetland Park was analyzed, and the eutrophication of the sediment in the target river was evaluated by the organic index method. The results showed that the overall profiles of the contents of TN, TP and OM in the sediment of the target river were rising with the depths, and the correlation of the three was significant in the vertical direction. According to the variation trends of TN and OM, it was speculated that the lower sediment had a higher risk of organic pollution. Due to the particularity of the distribution of sediment pollutants, covering measures could be used as a means of short-term control. As sediment was the main source of internal pollution, dredging was considered to be the long-term remediation scheme. However, the depth of dredging needed to be further studied.

Key words: original wetland park; sediment; total nitrogen; total phosphorous; organic matter; eutrophication

城市景观河流直接体现其所处地区的环境状况和经济发展水平,是该区域的人文图腾。底泥作为

河流的重要组成部分,参与了水生生态系统的整个物质循环,其中污染物与上覆水不断进行交换作用,

使底泥成为污染物质的“库”和“源”,因此对底泥污染的研究是水体修复的关键步骤,同时也能对水体的潜在生态风险做到未雨绸缪。

现代·滏阳原著湿地公园隶属滏阳河邯郸市邯山区东部马庄乡河段,秀水路以北、南环路以南,是现代·滏阳原著住宅生活区的园林设计景观之一。调查取样河段长约2 km,西北的取水泵站,供邯钢和绿化洒水车用水;西侧紧邻北街村,沿河有一定数量的农田,以蔬菜和玉米种植为主,邻村河岸有多个排水沟;河段北部邻近南环路,桥下两侧边坡各有2个雨水管口,水草丛生;河道中段设有拦污格栅,有环卫人员定期清理,河水流速较快,不存在滞留现象。据悉,湿地水体来自上游南湖,水质状况较好,基本可不作为污染物来源考虑。但是沿河有张庄桥、北街村等城郊区,有部分农户沿河进行小范围的养殖和种植活动,村中有一废品回收站,占地面积较大,有大量废物堆积,以上均可视为潜在的面源污染源。再者,北街村中有部分邻河住户私改排水管道,将未经截流处理的生活污水直接排入河内,形成点源污染。湿地地处城郊,随着城市化的推进早已实现了给水管网的全覆盖,居民对于河流水质的保护意识也日益淡薄。笔者分析了目标河段底泥中TN、TP和有机质(OM)含量在垂直方向上的分布规律,并对河段底泥富营养化程度进行了评价,以期为河流整治方案的制定提供一定的数据参考。

1 样品采集和检测

1.1 取样

采样时间为2017年10月,共布设5个采样点,取样点尽量选取一般位置,避开雨水口、拦污格栅等扰动较大位置,取样点距离河岸1.5 m以上,以保证选取位置的一般性和代表性。取样时,采用自制的直径为60 mm的柱状采样器,将表层深约20 cm的连续泥样垂直一次性取出,以保证底泥样品在原位上的垂直分布位置不变;然后以每3 cm一段,现场分割为7份试样,装入事先按深度编号的密封袋中,立即置于冰盒中带回实验室检测。

1.2 试样处理与检测

将底泥试样带回后,将样品分别置于塑料盘中混合均匀,待其自然风干,然后用镊子剔除砂石、底栖贝类生物、草根和树枝等粗颗粒异物,用陶瓷研钵研磨后过100目筛,装袋密封待用。

检测项目包括底泥中的TN、TP和有机质(OM)

含量,检测方法参照国家相关标准及《土壤农化分析》(第3版)。其中,TN采用半微量开氏法测定,TP采用 $\text{HClO}_4 - \text{H}_2\text{SO}_4$ 法测定,有机质采用重铬酸钾容量法测定。

2 底泥污染物的分布规律

2.1 总氮含量的分布

目标河段各采样点底泥中TN含量的竖向分布见图1。可知,上层底泥中TN含量较下层要低,随着深度的增加,在6~18 cm范围内各采样点底泥中的TN含量开始有一定的变化幅度,在18 cm以后逐渐趋于稳定在平均值附近。从整个目标河段的变化趋势来看,底泥中的TN含量与深度基本呈线性变化趋势。其中,D点的TN含量与其他采样点相比比较高,这可能与紧邻D点处的河岸边坡上的菜畦有关,并且D点处于北街村路口,居民多在此丢弃生活垃圾,由于清理不及时,有一定量的堆积,而居住区地势较高,在降雨时地面的污染物经冲刷作用容易以地表径流形式进入水体,产生面源污染。

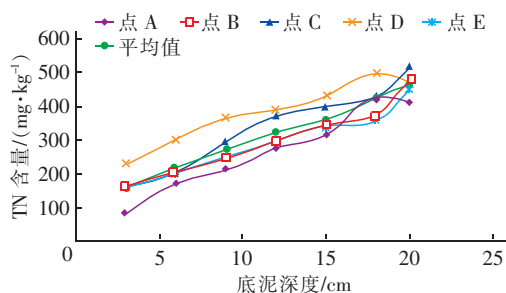


图1 底泥中TN含量的竖向分布

Fig. 1 Vertical distribution of TN content in sediment

2.2 总磷含量的分布

各采样点底泥中TP含量的竖向分布见图2。

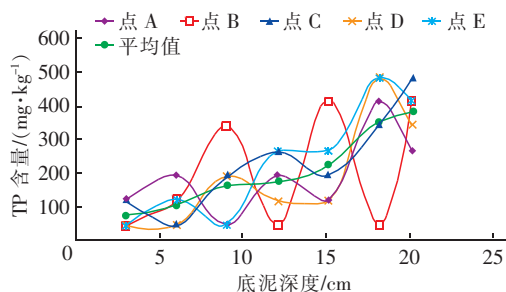


图2 底泥中TP含量的竖向分布

Fig. 2 Vertical distribution of TP content in sediment

由图2可知,相比TN,TP含量在不同深度上无明显线性变化规律,但从整体变化趋势上来看,随着

深度的增加,TP 含量增多。各采样点表层底泥中的 TP 含量变化不大,在 3~18 cm 深度范围内 TP 含量出现明显波动,18 cm 后逐渐趋于稳定,20 cm 处各采样点的 TP 含量基本归趋平均值附近。在 5 个采样点中,D 点的 TP 含量较高,这与 TN 含量的分布一致,推测其原因同 2.1 节,为面源污染所致。采样点 B 附近水草丛生,水流速度较为缓慢,这可能是该点底泥中 TP 含量波动较大的原因。

对各采样点的 TN 与 TP 含量进行相关性分析,相关系数在 0.51~0.91 范围内,呈显著的正相关,这表明河流底泥中氮、磷污染物的累积过程保持有较高的同步性,其主要原因是污染物进入水体的方式类似,这与陈如海等人^[1]的研究结果一致。但是,陈如海等人^[1]对西溪湿地的检测结果显示,各采样点底泥中 TN、TP 含量在竖直方向随深度的增加而逐渐下降;刘碧波等人^[2]对东湖 30 cm 深度范围内的底泥进行检测同样发现,氮、磷污染物最高含量出现在上层 10 cm 范围内。这与本研究所得的 TN、TP 含量竖直分布规律恰好相反,分析原因如下:第一,上述研究的目标水体均为富营养化较为严重的湖泊,并且水域面积较大,水流速度远比本研究目标河段要小,污染物更容易沉积,累积污染物基本不受水力冲刷影响。第二,较快水流速度有利于氧气的溶解,本次测试目标河段水体中 DO 含量为 4.33 mg/L,有利于底泥中硝化菌的好氧反应;另外,利用便携式水质分析仪现场测试 pH 值为 7.1~7.6,属于微生物最适生长的 pH 值范围(6.5~7.5),从而提高了水体的自净能力。第三,与上述研究相比,本测试河流污染并不严重,上覆水水质良好,对河道上层底泥中的污染物有稀释作用,抑制了底层污染的解吸,使其保持了一定的环境容量。第四,该测试河段地处马庄乡,据了解在 2000 年以前,城市改造工程尚未覆盖至此,两侧均为农田,面积较大,并且有一定数量家禽、家畜饲养;村中住房一般由村民自建,没有统一的排水系统,生活污水和生产废水多直接排入该河段,村中环境恶劣,垃圾随处堆放,并且有 3 个自建公厕,不设有冲水排水系统,由人工清理用于堆肥或直接倾入河中,上述情况对该河段产生了严重影响,在底泥中沉积了大量污染物。

随着新农村建设和城市化进程的加快,村中逐步实现了市政管线全覆盖,生活污水经由邯郸市东污水处理厂统一处理。此外,房地产业的发展使得

耕地面积急剧减少,从而减轻了因农业生产而产生的氮、磷污染。特别是近年来,我国大力重视水污染整治工作,基本上杜绝了私排、偷排等点源污染。据了解,近年来对该处河道的整治工作多集中于排污口的排查和水面上垃圾的清理,不曾进行过大型的疏浚、清淤处理,因此下层底泥中累积的污染物依旧存在。并且 20 cm 深度的底泥沉积在 15~20 年左右,与河段所处历史环境基本吻合。

2.3 有机质含量的分布

各采样点底泥中有机质含量的竖向分布情况见图 3。可知,表层底泥中 OM 含量差异不大,除 C 点外,其他采样点的 OM 含量在 6 cm 处基本等于平均值;在 6~12 cm 范围内,各采样点的 OM 含量在平均值上下有小范围波动;12 cm 深度以后,B、D 两点的 OM 值开始出现激增,说明这两个采样点处曾经受到过较重的有机物污染。从整体上看,底泥中的 OM 含量随深度的增加而增大,其中 D 点的 OM 含量最高,与 TN、TP 含量的竖向分布规律一致。

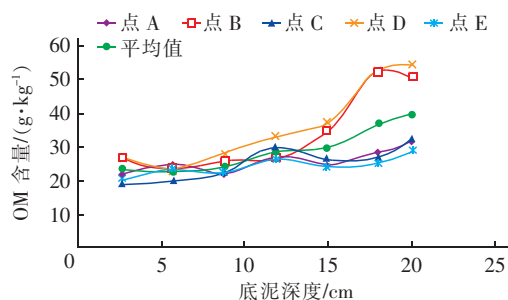


图3 底泥中 OM 含量的竖向分布

Fig.3 Vertical distribution of OM content in sediment

对各采样点底泥中的 OM 与 TN、TP 含量进行相关性分析,结果表明,OM 与 TN、TP 含量的相关系数分别在 0.858~0.942、0.209~0.888 之间,在竖直方向上,各深度底泥中的 OM 含量与相应的 TN 和 TP 含量有着显著的相关性(仅 B 点 OM 与 TP 相关性较低,其原因同上述 TP 含量分布分析)。OM 与 TN、TP 含量的高相关性说明目标河段的氮、磷污染主要来源于有机污染物的排放,河道底泥的富营养化是有机污染物累积的结果。其中,OM 与 TN 含量的相关系数较高,基本可以认为二者呈良好的线性关系,因此根据底泥中 OM 含量可以推断 TN 含量。这与宫兆宁等人^[3]的研究结果一致。

综上所述,在底泥 20 cm 深度范围内,各污染物含量变化较大,这是底泥污染物与上覆水不断进行

物质交换的结果。

3 底泥富营养化评价

目前,国内外对于底泥富营养化程度尚无统一的评价标准。根据以上分析,目标河段底泥中的氮、磷污染物与有机质关系密切,因此本研究考虑选取“有机指数法”对目标河段底泥富营养化程度进行评价。该方法是基于太湖底泥相关研究,将底泥的污染程度划分为4级: <0.05 (清洁)、 $0.05 \sim 0.20$ (较清洁)、 $0.20 \sim 0.50$ (尚清洁)、 ≥ 0.50 (有机污染)。有多个相关研究表明,该方法对底泥富营养化程度能够作出有效评价^[4]。

经计算,目标河段20、18、15、12、9、6、3 cm深度底泥的有机指数分别为0.10、0.09、0.06、0.05、0.04、0.03、0.02,可知,20 cm深度范围内的底泥尚未出现严重的富营养化现象,但根据以上TN和OM含量在竖直方向上的分布规律推测,下层底泥有较高的有机污染风险。并且由于目标河段历史环境的特殊性,导致下层累积污染物被上层较为清洁的底泥所覆盖,从而抑制了底层污染物与上覆水直接的交换作用。但这可能造成的后果是在雨季大降水量时,河水流速激增,上层活跃状态的清洁底泥因水力冲刷作用随水流流失,导致下层污染物暴露于泥水界面,造成突发性水华现象的风险更高。此外,由于该河段底泥污染物在竖直方向上分布的特殊性,底泥疏浚的治河方案需要谨慎执行;并且生态修复工程中选取水生动植物的种类和数量需要慎重考虑,避免适得其反。

4 结论

① 目标河段底泥中TN、TP和OM含量均随深度的增加而呈上升趋势,并且三者之间存在着良好的正相关关系。据此推测下层底泥富营养化程度较高,存在较高的有机污染风险。表层底泥属清洁状态,抑制了泥水界面间污染物的物质交换。

② 由于底泥污染物分布的特殊性,在短期内可选择原位覆盖的方式抑制底泥污染物向上覆水的释放,并且可以减缓水流对表层清洁底泥冲刷。但是,底泥作为主要的内源污染,掩蔽法并不能有效清除污染物,底泥疏浚虽然工程量较大,但对目标河段是长效治理措施。本研究选取表层20 cm深度底泥为测试对象,深度范围较小,具体的疏浚深度需要进一步研究方可确定。

参考文献:

- [1] 陈如海,詹良通,陈云敏,等. 西溪湿地底泥氮、磷和有机质含量竖向分布规律[J]. 中国环境科学,2010,30(4):493-498.
Chen Ruhai, Zhan Liangdong, Chen Yunmin, *et al.* Contents of nitrogen, phosphorus and organic materials in sediments and their distribution along depth at Xixi Wetland [J]. China Environmental Science, 2010, 30(4):493-498 (in Chinese).
- [2] 刘碧波,丰民义,刘剑彤. 东湖典型区域间隙水中营养盐的时空分布[J]. 长江流域资源与环境,2012,21(8):979-986.
Liu Bibo, Feng Minyi, Liu Jiantong. Spatial distribution and seasonal variation of nutrient in pore water of typical area of East Lake [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2012, 21(8):979-986 (in Chinese).
- [3] 宫兆宁,李洪,阿多,等. 官厅水库消落带土壤有机质空间分布特征[J]. 生态学报,2017,37(24):8336-8347.
Gong Zhaoning, Li Hong, A Duo, *et al.* Spatial distribution characteristics of organic matter in the water level fluctuation zone of Guanting Reservoir [J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(24):8336-8347 (in Chinese).
- [4] 唐千,盛明,王国祥,等. 城市污染河道沉积物有机质的氧化稳定性[J]. 环境化学,2015,34(3):489-496.
Tang Qian, Sheng Ming, Wang Guoxiang, *et al.* Oxidative stability of the organic matter in sediments of polluted urban rivers [J]. Environmental Chemistry, 2015, 34(3):489-496 (in Chinese).



作者简介:孙广垠(1974-),男,内蒙古赤峰人,硕士,副教授,研究方向为水体修复。

E-mail: hdsy@163.com

收稿日期:2018-03-26