



文章栏目：河湖库环保清淤工程关键技术和典型案例专题

DOI 10.12030/j.cjee.202306023

中图分类号 X52

文献标识码 A

侯晓辉, 曹昕熹, 刁艳芳, 等. 典型城市湖泊沉积物污染特征与清淤深度[J]. 环境工程学报, 2023, 17(12): 3890-3896. [HOU Xiaohui, CAO Xinxi, DIAO Yanfang, et al. Pollution characteristics and dredging depth of the sediment in a typical urban lake[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2023, 17(12): 3890-3896.]

典型城市湖泊沉积物污染特征与清淤深度

侯晓辉¹, 曹昕熹^{2,3}, 刁艳芳², 李桂荣^{1,2,✉}, 贾胜勇²

1. 河南省水利勘测设计研究有限公司, 郑州 450001; 2. 郑州大学生态与环境学院, 郑州 450001; 3. 郑州大学水利科学与工程学院, 郑州 450001

摘要 城市湖泊外源污染阻断后, 沉积物污染物向上覆水体扩散成为水质主要威胁, 探明城市湖泊沉积物污染分布特征和来源是实现湖泊清淤的前提。以龙亭湖和包公湖沉积物为对象, 分析了沉积物 OM、TN 和 TP 分布特征并进行源解析, 基于有机指数和有机氮指数探讨了其清淤深度。结果表明, 龙亭湖和包公湖表层 (深度 20~30 cm) 沉积物污染严重且分布差异显著, OM (93.08~8.67 mg·g⁻¹, 120 cm 深度变化) 和 TN (5.42~0.26 mg·g⁻¹, 40 cm 深度变化) 随深度显著降低, TP (1.04~0.55 mg·g⁻¹, 110 cm 深度变化) 纵向分布变化不显著。龙亭湖沉积物 OM 来源与取样位置相关, 且沉积物形成早期存在大量外源 OM 输入 (C/N>14); 包公湖取样点 OM 以陆源输入占主导 (C/N=5.008~52.808)。基于此, 提出有机指数≥0.5 或有机氮指数≥0.133 的沉积物层及以上部分应清除, 龙亭湖和包公湖所选点位最大清淤深度分别为 100 和 70 cm, 湖泊取样点底泥清淤削减量分别达到 33.33%~100% 和 33.33%~53.84%。该研究结果对城市湖泊水质长效保持提供实践参考。

关键词 湖泊沉积物; 污染物纵向分布; 上覆水体; 污染物来源; 清淤

在我国城镇化发展的早期, 城市湖泊曾作为城市降雨径流、市政排污、工业废水的受纳水体。近年来, 多数地区已对城市湖泊的排放严格控制, 但城市湖泊水质仍难以长久保持, 其主要原因是城市湖泊沉积物污染物向上覆水体的扩散。

沉积物是湖泊经过一系列复杂物理、化学、生物过程的产物, 能反映出湖泊的污染现状及湖泊的环境演变过程^[1]。湖泊沉积物是营养盐与有机质 (organic matter, OM) 等污染物的主要蓄积库, 既能作为污染物质的“汇”, 又能转化为湖泊水体污染的“源”。在一定条件下, 营养物质会释放到湖泊水体当中, 对湖泊上覆水质产生影响^[2]。沉积物处于缺氧环境, 其有机污染物经微生物代谢生成甲烷并排放到大气^[3], 一些中间产物通过随后的沉积物堆积而被继续掩埋^[4]。一般情况下, 缺氧环境提高了沉积物碳埋藏效率^[5], 温度升高和有机物增多将有效提高产甲烷菌活性并促进甲烷气体逸出^[6-8]。此外, 浅水和波浪作用将促进污染物快速扩散^[9]。底泥疏浚是直接清除河道底泥内源污染、杜绝沉积物污染物向上覆水体扩散的有效手段, 但过量超挖将对疏挖区底栖生物的生存环境造成严重破坏并使其丧失生态功能; 同时引发超挖沉积物处理负荷高、费用高的问题。因此, 厘清城市湖泊沉积物污染分布特征, 准确定位河湖沉积物疏浚深度成为河湖清淤的关键。现有研究多关注自然湖泊沉积物纵向组分变化及城市湖泊浅层沉积物污染特征, 缺乏对城市湖泊沉积物污染来源分析, 这成为确定城市湖泊沉积物清淤深度的制约因素。

本研究以开封市龙亭湖和包公湖沉积物为研究对象, 分析湖泊沉积物 OM、氮和磷的分布特征, 基于沉积物碳氮磷组分探究其污染来源, 通过测算沉积物的有机指数和有机氮指数确定清淤深度, 以期探明城市湖泊沉积物纵向污染分布特征、识别污染物来源, 并为确定沉积物清淤深度提供重要数据与方法支撑, 以确保城市湖泊水质。

收稿日期: 2023-06-06; 录用日期: 2023-09-12

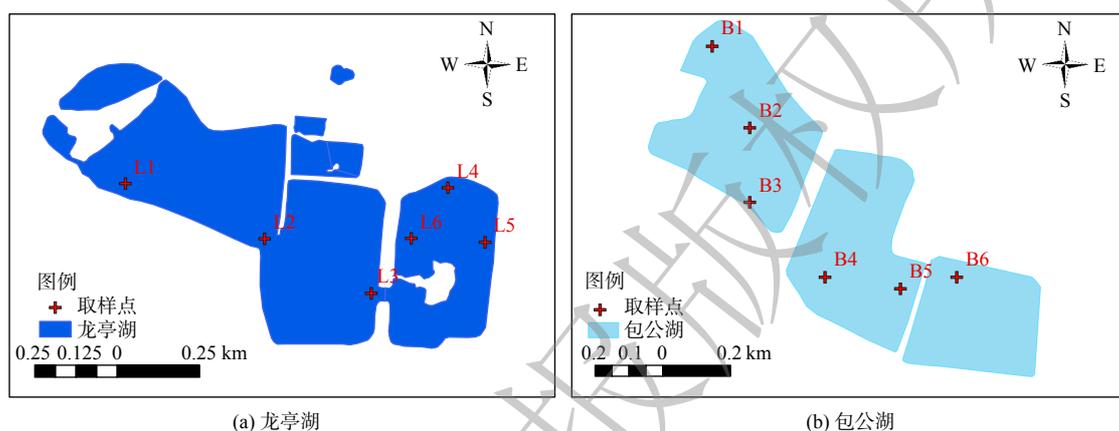
基金项目: 河南省重点研发与推广专项 (科技攻关) (212102310071, 232102320104, 212102110112)

第一作者: 侯晓辉 (1985—), 男, 硕士, 高级工程师, 312350123@qq.com; ✉通信作者: 李桂荣 (1970—), 女, 博士, 副教授, liguirong@zzu.edu.cn

1 材料与方法

1.1 采样点选取与样品采集

开封市内湖龙亭湖和包公湖的湖泊面积分别为 41.87 和 38.56 hm^2 ，本研究分别在龙亭湖和包公湖各布设 6 个采样点(图 1)，其详细地理位置、采样处湖水深度及沉积物深度如表 1 所示。龙亭湖自 L4 点向北延伸至其他湖泊，包公湖补水自 B1 点进入后无流出。基于实测数据，龙亭湖清淤前水体平均 COD、氨氮、总磷和总氮浓度分别为 47.8、0.39、0.14 和 1.68 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ，包公湖清淤前水体平均 COD、氨氮、总磷和总氮浓度分别为 83、1.16、0.21 和 3.72 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。现场取出的湖泊沉积物以 10 cm 为一层进行分割并获得沉积物饼层，在分割过程中保持沉积物层形态完整，密封分装并冷冻保存。



注：本图基于采样点数据，用Arcgis绘制。

图 1 龙亭湖和包公湖 采样点分布示意图

Fig. 1 Distribution of sampling points in Longting and Baogong Lakes

表 1 采样点基本情况

Table 1 The detailed information of sampling points

湖泊	采样编号	地理位置	上覆水体深度/cm	沉积物深度/cm
龙亭湖	L1	34.8072°N 144.3467°E	200	150
	L2	34.8059°N 144.3490°E	240	120
	L3	34.8054°N 144.3506°E	240	140
	L4	34.8079°N 144.3541°E	100	50
	L5	34.8056°N 144.3549°E	70	40
	L6	34.8070°N 144.3530°E	150	120
包公湖	B1	34.7951°N 144.3404°E	180	70
	B2	34.7923°N 144.3407°E	250	60
	B3	34.7911°N 144.3394°E	250	60
	B4	34.7879°N 144.3422°E	190	130
	B5	34.7880°N 144.3443°E	230	100
	B6	34.7887°N 144.3460°E	170	70

1.2 样品处理与分析方法

沉积物层剔除石块、动植物残体及垃圾等杂质后进行自然风干与研磨处理, 过 100 目尼龙筛后贮存于洁净自封袋密封待用。沉积物的有机质 (organic matter, OM)、总氮 (total nitrogen, TN) 和总磷 (total phosphorus, TP) 分别采用重铬酸钾外加热法、凯氏定氮法和碱熔-钼锑抗分光光度计法进行测定^[10]。

1.3 沉积物有机指数和有机氮指数

湖泊沉积物的氮以有机氮和无机氮的形式存在, 而有机氮为主要存在形式。常采用有机指数和有机氮指数来评价湖泊沉积物的污染情况, 计算方法见以下 3 个公式^[11], 有机指数和有机氮指数评价标准^[12]如表 2 所示。

$$\text{有机指数} = \text{有机碳} \times \text{有机氮} \quad (1)$$

$$\text{有机碳} = \frac{\text{OM}}{1.724} \quad (2)$$

$$\text{有机氮指数} = \text{总氮} \times 0.95 \quad (3)$$

表 2 沉积物有机指数和有机氮指数评价标准

Table 2 Evaluation criteria for sediment organic index and organic nitrogen index

有机指数	类型	等级	有机氮指数	类型	等级
<0.05	清洁	I	<0.033%	清洁	I
0.05~0.2	较清洁	II	0.033%~0.066%	较清洁	II
0.2~0.5	尚清洁	III	0.066%~0.133%	尚清洁	III
≥0.5	有机污染	IV	≥0.133%	有机氮污染	IV

2 结果与讨论

2.1 沉积物污染物纵向分布特征分析

1) 表层沉积物 (深度 20~30 cm) 污染物空间分布特征。如图 2 所示, 龙亭湖表层沉积物 (深度 20~30 cm) 污染物空间分布差异性显著, OM、TN 和 TP 最低值在 L4 点位, 分别为 10.585、0.286 和 0.677 mg·g⁻¹; OM、TN 和 TP 最高值在 L3 点位, 分别为 93.079、4.420 和 1.050 mg·g⁻¹。龙亭湖南部表层沉积物污染相对更严重, 可能由于其南部存在大量水生植物, 动植物残体与微生物形成的腐殖质不断积累到湖底, 致使区域内 OM 质量分数增大。L3 点位靠近玉带桥, 水环境受旅游影响较大, 导致点位附近湖泊表层沉积物 OM 质量分数处在较高水平。L1 点位在隆济河口, 临近城市生活区但周围水生植物较少, 雨水径流输入导致表层沉积物氮、磷质量分数较高, 而 OM 质量分数较低。龙亭湖所有点位中, L4 点位表层沉积物中 OM、TN 和 TP 均为最低, 其主要原因可能是 L4 位于龙亭湖与广济河连接的河口位置, 龙亭湖水经 L4 点位进入广济河而后汇入铁塔湖, 龙亭湖向铁塔湖过流补水过程促使 L4 点位沉积物向上覆水体持续性扩散以致其污染物质量分数下降。

相较于龙亭湖, 包公湖表层沉积物 (深度 20~30 cm) 污染程度更为严重, OM、TN 和 TP 最低值在 B1 点位、B4 点位和 B5 点位, 分别为 41.290、1.990 和 0.872 mg·g⁻¹; OM、TN 和 TP 最高值均在 B2 点位, 分别为 93.079、5.420 和 1.332 mg·g⁻¹。一方面, 包公湖位于水系末端, 湖泊水体不流通, 沉积物污染严重; 另一方面, 包公湖东、西两侧均为旅游区, 岸边设有游船停泊区, 湖泊同时受交通污染、旅游污染与船舶污染等多种外源污染叠加影响, 导致水质进恶化、沉积物污染加剧。B1 点位表层沉积物 OM 质量分数最低。此点位于隆济河与包公湖连接的河口位置, 导致其污染的原因与龙亭湖 L4 点位类似; B6 点位表层沉积物 TN 最低, TP 也处在较低水平, 此点距生活区较远, 受生活污染影响相对较小。

2) 沉积物污染物纵向分布特征。龙亭湖和包公湖沉积物污染物质量分数沿纵向自上而下逐渐降低 (图 2)。由于不同区域物质来源组成、生化条件、水动力环境及微生物群落结构等因素的影响, 污染物质量分数的纵向变化特征存在显著差异。L1 点位 OM 在 50~80 cm 增幅明显, 并在 80 cm 以下沉积物中处于同等深度最高水平、TN 自 50~60 cm 以下处于同等深度最高水平、TP 自 40~100 cm 以下处于同等深度最高水平, 这表

明 L1 点位 OM 与 TN 在历史上产生了积累, 可能与其处于河口位置、城市建设相关, 推测这段时期存在水生生物大量死亡的现象并受外源污染输入的影响较大。相比之下, L4 和 L5 点位 OM 与 TN 均处在较低水平, 受外源污染影响小。总体而言, 龙亭湖沉积物的 OM 与 TN 在 40~50 cm 有所增大, 可能是 20 世纪 80 年代对龙亭湖区域的考古发掘及湖心岛的堆筑等人为活动所致。

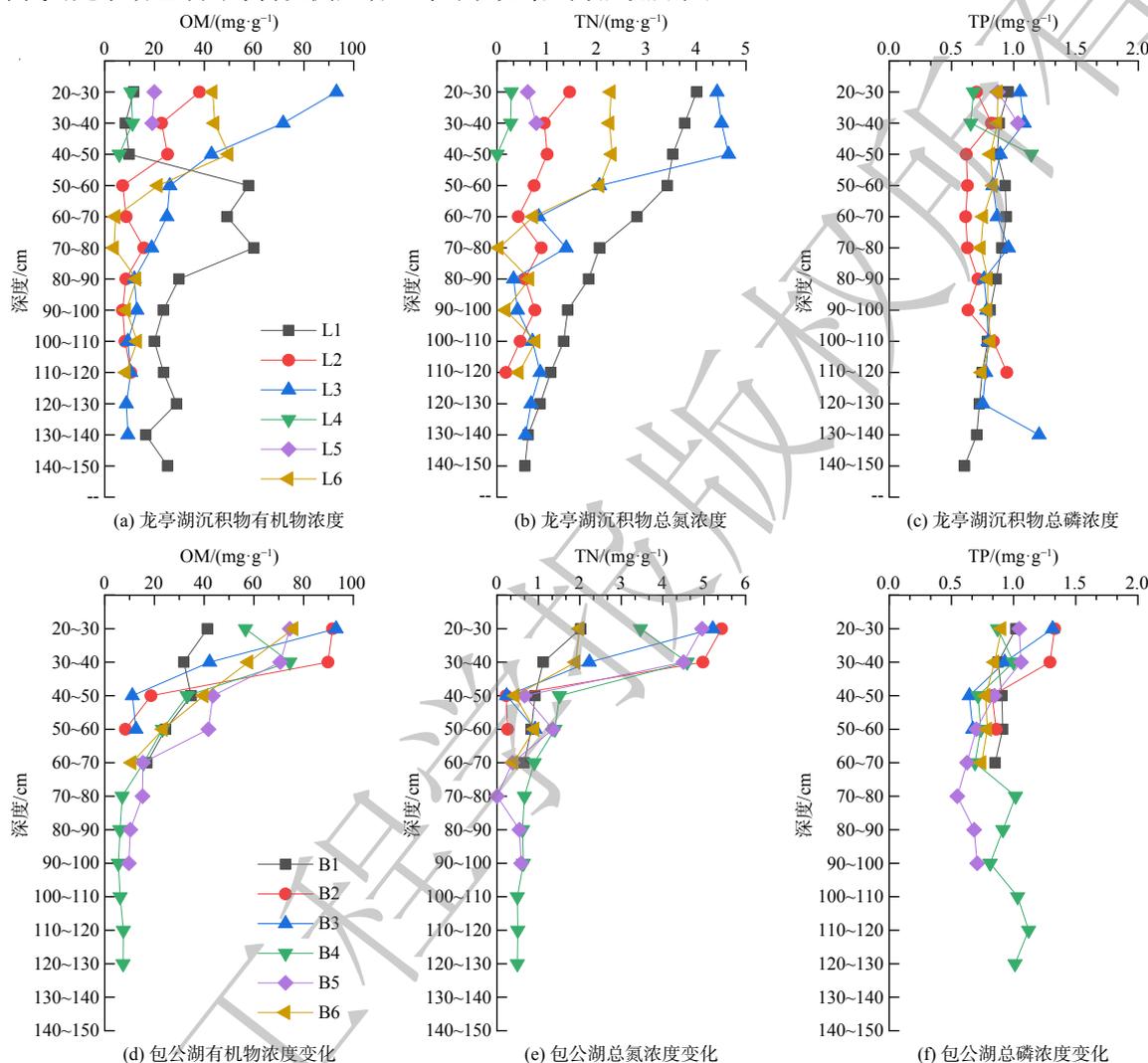


图 2 龙亭湖和包公湖沉积物 OM、TN 和 TP 分布

Fig. 2 OM, TN and TP distribution in Longting and Baogong lake sediment

包公湖受旅游污染与船舶污染影响较大, 沉积物 OM、TN 和 TP 的最大值出现在 B2 和 B3 点位表层沉积物中 (深度 20~30 cm)。B1 和 B6 点位沉积物污染物质量分数整体处于较低水平, 受外源污染影响小。B4 点位 TP 垂直变化波动较大, 这表明其在早期沉积物形成过程中发生了磷的积累。包公湖沉积物污染物质量分数纵向变化规律明显, 沉积物中 OM、TN 和 TP 在 20~40 cm 最大, 在深 40~50 cm 急剧下降, 变化趋势随深度增大而降低并逐渐趋于平缓, 波动幅度较小。

龙亭湖与包公湖的沉积物污染物空间分布存在明显差异, 污染物指标最高值一般出现在表层 (深度 20~30 cm) 或者次表层 (深度 30~40 cm) 沉积物中, 体现出新输入还未发生矿化的外源 OM 对表层沉积物的作用及动植物残体与其代谢产物逐步向下传递的生化反应。OM 与 TN 随深度增加而出现明显下降并逐渐趋于稳定, 是由于矿化程度逐步提高, 沉积物的还原环境逐渐增强^[13]; 随着深度的增加, 氧浓度的降低使得微生物的分解作用减弱, OM 与 TN 也逐步减少^[14]。沉积物纵向 TP 相对较低, 是因为磷的分布受沉积环境影响较大, 处于较深泥层的活性磷由磷的成岩再分配作用转换为惰性磷, 使得磷在沉积物中储量增大^[15]。一

般天然湖泊中磷的分布随深度增加而降低,包公湖除了B4点位外,其余点位TP变化均存在降低趋势,与郑足红等^[16]对沉积物中TP纵向分布特征一致;由于历史原因,龙亭湖深层沉积物受人工开挖、考古等影响较大,TP变化与沉积深度相关性不显著。

2.2 基于沉积物碳氮磷组分的污染物来源分析

沉积物碳氮磷比值对沉积过程研究具有重要意义,可用来追溯湖泊环境的历史变化。Redfield 比值变化情况体现出不同的沉积环境,对于以非陆源物质为主的沉积物,C、N、P初期 Redfield 比值为106:16:1^[17],由于矿化作用及外源污染物的引入常引起 Redfield 比值偏移。一般情况下,水生生物 C/N 为2.8~3.4,细菌等微生物的 C/N 为2~4,浮游动植物的 C/N 为6~13,藻类的 C/N 为5~14,陆生高等植物的 C/N 为14~23^[18]。C/N 越大,陆源输入的 OM 越大。因此,C/N 可反应出沉积物中 OM 是来自于内源有机物的积累还是陆生高等植物的输入^[19]。

龙亭湖、包公湖的 C/N 随纵向深度变化如图3所示。龙亭湖 C/N 变化范围为1.276~33.833,大多集中在5~15,沿纵向分布变化波动较大。表层(深度20~30 cm)与次表层(深度30~40 cm)沉积物的 C/N 变化不大,L1、L3和L6点位 OM 来源主要为藻类、浮游动植物等的内源 OM,L2、L4、L5点位的 OM 以陆生高等植物的陆源输入为主。对于深度40~100 cm 的沉积物,湖泊取样点位 C/N 比值相对稳定且大多低于14,这表明该沉积时间内源 OM 的贡献占据了主导地位;100 cm 深度以下湖泊沉积物 C/N 出现了突增情况,这表明沉积物形成早期存在外源 OM 大量输入的现象。包公湖 C/N 为5.008~52.808,包公湖除了B4外的其余点位 OM 的来源基本以陆源输入占主导。B4点位的 C/N 稳定为5~10,这表明该点位 OM 的积累主要来自于水生生物、浮游动植物、藻类及微生物残体的堆积与代谢产物等。

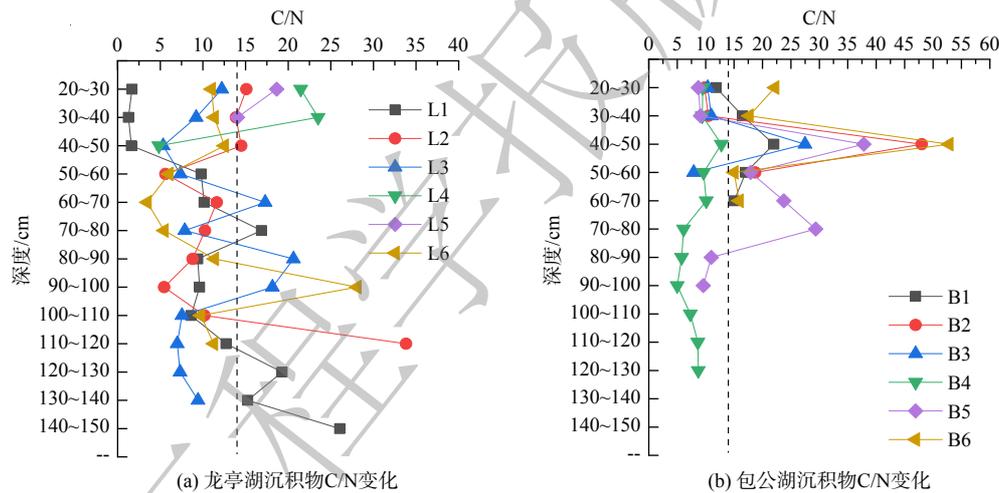


图3 龙亭湖和包公湖 C/N 的纵向分布变化

Fig. 3 C/N ratios vertical distribution in Longting and Baogong lakes sediment

2.3 基于有机指数和有机氮指数的清淤深度分析

龙亭湖和包公湖的有机指数和有机氮指数如图4所示。龙亭湖沉积物有机指数和有机氮指数分别为0.008%~2.267%和0.014%~0.442%,包公湖有机指数和有机氮指数分别为0.012%~2.738%和0.021%~0.515%。依据湖泊沉积物有机指数和有机氮指数评价标准,有机污染(有机指数 ≥ 0.5)和有机氮污染(有机氮指数 $\geq 0.133\%$)的沉积物层对应深度以上的沉积物均应清除,且当有机污染沉积物层和有机氮污染沉积物层深度不一致时,应以深度大者为准。因此,龙亭湖L1、L2、L3、L4、L5和L6的清淤深度分别为100、50、80、0、0和60 cm,包公湖B1、B2、B3、B4、B5和B6的清淤深度分别为40、40、40、60、60和70 cm。一般情况下,传统清淤深度至湖底原状黄泥,基于本研究的清淤深度与传统清淤深度的比较(表3)。本研究提出的龙亭湖取样点清淤深度即底泥清淤削减量最低也达到了33.33%,而点位L4和L5的清淤削减量达到了100%即不用清淤也不影响水体水质;包公湖取样点的底泥清淤削减量最低也达到了33.33%,而点位B6点位清淤深度与传统清淤方法一致。在工程实践中,即使受限于施工器械作业精度与底泥水分挥发,包公湖清淤过程中最终将清淤深度误差控制在10 cm之内,达到了理想的清淤削减效果,其总清淤削减量估算达到30%。

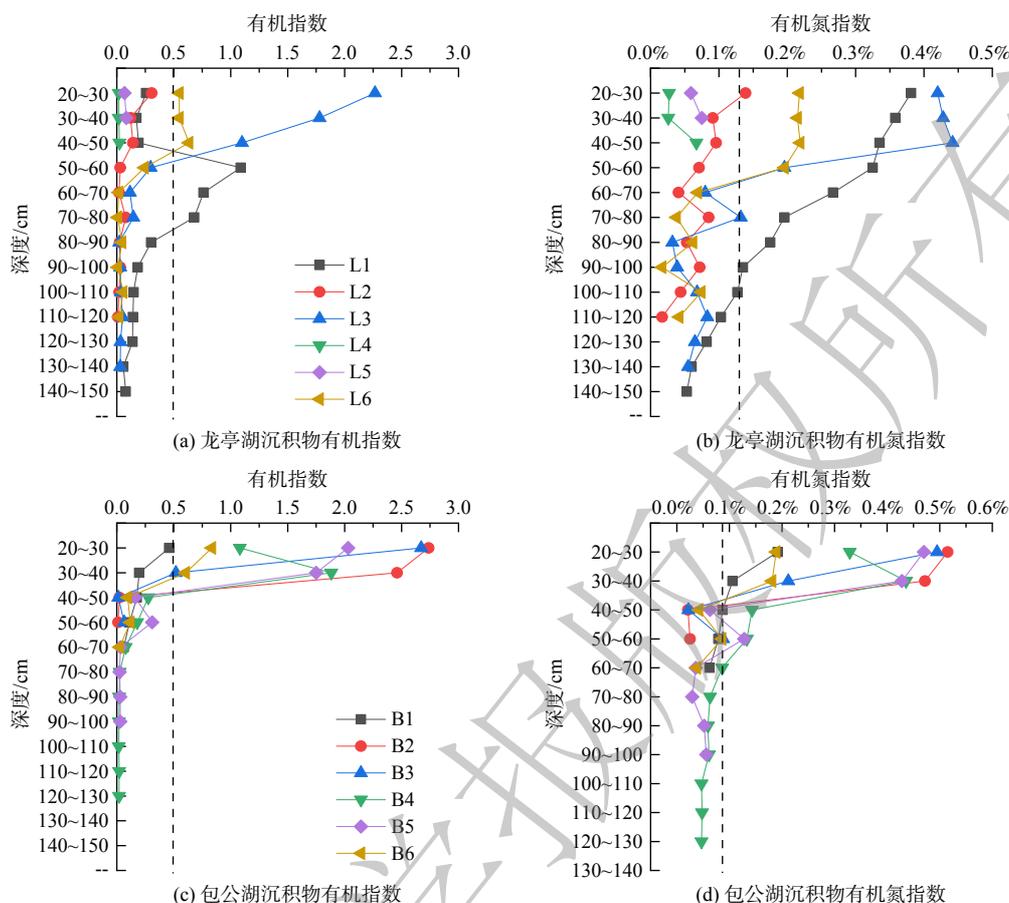


图 4 龙亭湖和包公湖采样点有机指数和有机氮指数变化

Fig. 4 Changes of organic and organic nitrogen index at Longting lake (a and b) Baogong lake (c and d) sampling points

3 结论

1) 龙亭湖与包公湖沉积物污染物浓度沿纵向逐渐下降，近生活区和景观区沉积物污染物严重、湖泊连通处受水流影响其沉积物污染物浓度相对较低。应加强近生活区和景观区的雨水、游客及船舶污染控制。2) 龙亭湖表层(深度 20~30 cm)与次表层(深度 30~40 cm)沉积物的 C/N 变化不大，L1、L3 和 L6 点位 OM 来源主要为藻类、浮游动植物，L2、L4、L5 点位的 OM 以陆生高等植物输入为主，沉积物形成早期存在外源 OM 大量输入的现象；包公湖 C/N 为 5.008~52.808，包公湖除了 B4 外其余点位 OM 以陆源输入占主导。3) 湖泊沉积物有机指数和有机氮指数可有效确定沉积物清淤深度，提出有机指数 ≥ 0.5 和有机氮指数 $\geq 0.133\%$ 对应沉积物层及以上沉积物应清除，当清除的有机污染沉积物层和有机氮污染沉积物层深度不一致时，以深度大者为准。4) 龙亭湖和包公湖所选点位最大清淤深度分别为 100 和 70 cm，

表 3 本研究所得清淤深度与传统清淤深度对比 (龙亭湖点位/包公湖点位)

Table 3 Comparison between the dredging depth in this study and the traditional dredging depth (Longting Lake site / Baogong Lake site)

点位	本研究清淤深度/cm	传统方法清淤深度/cm	相对削减量/
L1	100	150	33.33%
L2	50	120	58.33%
L3	80	140	42.86%
L4	0	50	100%
L5	0	40	100%
L6	60	120	50%
B1	40	70	42.86%
B2	40	60	33.33%
B3	40	60	33.33%
B4	60	130	53.84%
B5	60	100	40%
B6	70	70	0

注：相对削减量=(传统方法清淤深度-本研究清淤深度)/传统方法清淤深度 $\times 100\%$ 。

龙亭湖和包公湖取样点底泥清淤削减量分别达到 33.33%~100% 和 33.33%~53.84% (个别点位清淤深度与传统方法一致)。

参考文献

- [1] 余辉, 张文斌, 卢少勇, 等. 洪泽湖表层底质营养盐的形态分布特征与评价[J]. 环境科学, 2010, 31(4): 961-968.
- [2] 翟天恩, 张靖天, 华飞, 等. 东部平原湖区沉积物中溶解性有机氮分布特征[J]. 环境工程学报, 2016, 10(9): 5001-5008.
- [3] 李巧玉, 唐玉钱, 王吉莘. 沉积物碳氮交互效应及其对河流水体脱氮治理的影响—以厦门市西溪中下游为例[J]. 环境工程学报, 2023, 17(1): 268-278.
- [4] FROELICH P N, KLINKHAMMER G P, BENDER M L, et al. Early oxidation of organic matter in pelagic sediments of the eastern equatorial Atlantic: suboxic diagenesis[J]. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 1979, 43: 1075-1090.
- [5] HARTNETT H E, KEIL R G, HEDGES J I, et al. Influence of oxygen exposure time on organic carbon preservation in continental margin sediments[J]. *Nature*, 1998, 391(6667): 572-575.
- [6] JUUTINEN S, ALM J, LARMOLA T, et al. Major implication of the littoral zone for methane release from boreal lakes[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2003, 17: 1-11.
- [7] GUDASZ C, BASTVIKEN D, STEGER K, et al. Temperature-controlled organic carbon mineralization in lake sediments[J]. *Nature*, 2010, 466(7305): 478-481.
- [8] WEST W E, CREAMER K P, JONES S E. Productivity and depth regulate lake contributions to atmospheric methane[J]. *Limnology and Oceanography*, 2016, 61(S1): S51-S61.
- [9] HOFMANN H, FEDERWISCH L, PEETERS F. Wave-induced release of methane: Littoral zones as source of methane in lakes[J]. *Limnology and Oceanography*, 2010, 55(5): 1990-2000.
- [10] 于妍, 王悦悦, 方杜贤, 等. 白洋淀表层沉积物细菌多样性及影响因素[J]. 环境工程学报, 2021, 15(3): 1121-1130.
- [11] 隋桂荣. 太湖表层沉积物中 OM、TN、TP 的现状与评价[J]. 湖泊科学, 1996, 8(4): 319-324.
- [12] 黄道军, 薛睿康, 李凯, 等. 西北某水库沉积物污染特征与评价[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2021, 53(1): 103-108.
- [13] 袁华茂, 吕晓霞, 李学刚, 等. 自然粒度下渤海沉积物中有机碳的地球化学特征[J]. 环境化学, 2003, 22(2): 115-120.
- [14] JENSEN H S, MCGLATHERY K J, MARINO R, et al. Forms and availability of sediment phosphorus in carbonate sand of Bermuda seagrass beds[J]. *Limnology and Oceanography*, 1998, 43(5): 799-810.
- [15] 黄小平, 郭芳, 黄良民. 大鹏澳养殖区柱状沉积物中氮、磷的分布特征及污染状况研究[J]. 热带海洋学报, 2010, 29(1): 91-97.
- [16] 郑足红, 陈刚. 春晖湖沉积物中磷形态的垂直分布特征[J]. 湖北工程学院学报, 2019, 39(6): 42-49.
- [17] 沈丽丽, 何江, 吕昌伟, 等. 哈素海沉积物中氮和有机质的分布特征[J]. 沉积学报, 2010, 28(1): 158-165.
- [18] 卓海华, 邱光胜, 翟婉盈, 等. 三峡库区表层沉积物营养盐时空变化及评价[J]. 环境科学, 2017, 38(12): 5020-5031.
- [19] 冀峰, 王国祥, 韩睿明, 等. 无锡市农村黑臭河流沉积物营养盐垂向分布与污染特征分析[J]. 环境工程学报, 2016, 10(7): 3462-3470.

(责任编辑: 靳炜)

Pollution characteristics and dredging depth of the sediment in a typical urban lake

HOU Xiaohui¹, CAO Xinxi^{2,3}, DIAO Yanfang², LI Guirong^{1,2,*}, JIA Shengyong²

1. Henan Water & Power Engineering Consulting CO., Ltd, Zhengzhou 450016, China; 2. School of Ecology and Environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 3. School of Water Conservation Science and Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China

*Corresponding author, E-mail: liguirong@zzu.edu.cn

Abstract When the external pollution of urban lakes is blocked, the sediment pollutants diffusion to the overlying water becomes a major threat to water quality. It is a prerequisite for lake dredging to clarify the vertical distribution characteristics and source of sediment pollutants. Longting Lake and Baogong Lake sediment were investigated in the present study, the vertical distribution of organic matter (OM), total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) were analyzed, and pollutant source analysis was conducted. Based on the organic index and organic nitrogen index, the dredging depth was further explored. The results showed that surface sediments (20~30 cm depth) of the two lakes were seriously polluted and represented significant differences in distribution. The concentration of OM (93.08~8.67 mg·g⁻¹ varied in 120 cm depth sediment) and TN (5.42~0.26 mg·g⁻¹ varied in 40 cm depth sediment) significantly decreased with the increase of depth, but the TP (1.04~0.55 mg·g⁻¹ varied in 110 cm depth sediment) changed slightly. The OM source in Longting Lake sediment was mainly related to the location site, and a large amount of external OM input occurred in the early stage of sediment formation (C/N>14). The OM source in Baogong Lake sediment was mainly attributed to terrestrial input (C/N=5.008~52.808). The present study proposed that the sediment layers with an organic index ≥0.5 or an organic nitrogen index ≥0.133 should be removed. Relying on the results, the maximum dredging depth of the sampling points in Longting Lake and Baogong Lake was 100 and 70 cm, respectively. The reduction rates of sediment dredging at the sampling points reached 33.33%~100% and 33.33%~53.84%, respectively. This study has important practical significance for long-term maintenance of urban lake water quality.

Keywords lake sediment; vertical distribution of pollutions; overlying water; pollutants source; dredging