

贵州百花湖沉积物磷、氮及有机碳的空间分布特征^{*}

王敬富^{1,2} 陈敬安^{1**} 曾 艳^{1,2} 杨永琼^{1,2}

(1. 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵阳, 550002;

2. 中国科学院研究生院, 北京, 100049)

摘 要 采集贵州百花湖沉积物柱芯,测定沉积物总磷(TP)、总氮(TN)和有机碳(C_{org})含量,并进行TP、TN及 C_{org} 含量相关性分析.结果表明,百花湖沉积物TP、TN及 C_{org} 含量平均值分别为 $976\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、0.34%、2.91%,表层沉积物污染严重,随着沉积物深度的增加沉积物TP、TN及 C_{org} 含量逐渐降低.不同沉积物柱芯相同层位TP、TN及 C_{org} 含量存在较大差别,表明不同湖区底泥污染程度存在较大差异,在实施内源污染控制工程时需充分考虑这一特点,对不同湖区采用不同的治理与控制措施.

关键词 百花湖, 沉积物, 总氮, 总磷, 有机碳.

湖泊沉积物-水界面及其附近发生着复杂的物理、化学和生物作用、进行着频繁的物质交换^[1-5]. 在外源污染得到有效控制的条件下,沉积物-水界面附近剧烈的生物地球化学作用可导致已沉积的碳、氮、磷等营养盐的释放迁移,向湖水“源源不断”的供给. 在合适的气温、光照和营养盐条件下,可能导致藻类过度生长和蓝藻“水华”出现^[1]. 开展污染底泥的治理是控制湖泊富营养化的重要途径之一^[6-9].

百花湖地处贵州高原中部,位于贵阳市西北郊,距市区22 km,地理坐标为:东经 $106^{\circ}27'$ — $106^{\circ}34'$,北纬 $26^{\circ}35'$ — $26^{\circ}42'$. 湖泊流域面积 1895 km^2 ,水面面积 14.5 km^2 ,湖泊补给系数为182.2,最大水深45 m,平均水深10.8 m,湖水滞留时间为0.102 a. 百花湖属乌江水系,是猫跳河梯级电站第二级蓄水库,担负着饮用水、发电、农灌、养殖、防洪、调节气候、改善生态环境等多种功能,是贵阳市、清镇市和周边居民最重要的生活饮用水及工农业用水水源. 但近年来,百花湖水体富营养化日益突出,突发性水质恶化事件时有发生.

本研究拟通过对百花湖沉积物内源污染物的系统调查和研究,揭示沉积物磷、氮及有机碳的时空分布特征,为百花湖内源污染防治提供科学依据.

1 采样与分析

根据百花湖流域典型的喀斯特地质特点、湖泊的地理位置和水文状况,按照 $3\text{—}4\text{ 个}\cdot\text{km}^{-2}$ 的平均密度对全湖设置62个采样点(图1),采用新改进的湖泊沉积物-水界面采样器采集沉积物柱芯^[10]. 对采集到的沉积物柱芯,按底泥实际淤积厚度分别按0—5 cm、5—10 cm、10—20 cm、20—30 cm、30—40 cm、40—50 cm、50—60 cm……进行分样. 对获取的沉积物样品,首先称取样品湿重,采用真空冷冻干燥仪(Techcomp FD-3-85-MP)冷冻干燥,称取样品干重,计算含水率. 干燥后的样品用玛瑙研钵研磨至120目以下,装于样品袋中备用.

沉积物样品 $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下灰化2 h,用25 mL $1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ HCl提取16 h,离心取清液,采用国标钼锑抗分光光度法测定总磷(TP)的含量. 总氮(TN)含量利用元素分析仪(PE2400-II型)进行分析. 有机碳(C_{org})含量采用间接方法进行测定,即总碳与无机碳的差值. 总碳利用元素分析仪(PE2400-II型)进行分析,无机碳利用滴定法进行测定^[7,11].

根据采样点的空间分布情况,在62根沉积物柱芯中挑选出9根代表性沉积物柱芯进行TP、TN及 C_{org} 含量相关性分析.

2011年9月21日收稿.

^{*} 贵阳市科学技术计划项目和贵州省科技计划项目(SZ2009-3021)联合资助.

^{**} 通讯联系人, E-mail: chenjingan@vip. skleg. cn

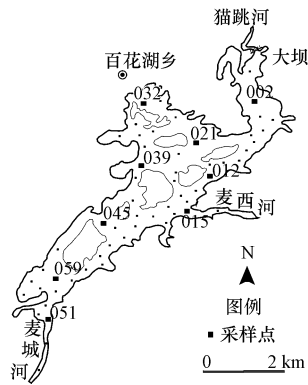


图 1 百花湖采样点分布图
Fig. 1 Map of sampling sites in Baihua Lake

2 结果与讨论

2.1 沉积物柱芯含水率分布

百花湖 9 根代表性沉积物柱芯含水率(图 2)自表层至底部依次递减,0—10 cm 沉积物含水率基本在 80% 以上,0—5 cm 基本在 90% 以上. 15[#]和 51[#]柱芯 10 cm 以下沉积物含水率变化较小,平均每 10 cm 降低约 5%. 其余柱芯变化较大,其中 39[#]和 45[#]最低,含水率低于 40%. 造成沉积物含水率差异的原因主要是百花湖建库后新沉积淤泥的厚度不同,新沉积的淤泥多呈灰黑色,质地疏松,含水率高,而老的河道沉积物或淹没土壤多呈黄色或浅灰色,质地坚硬,含水率较低.

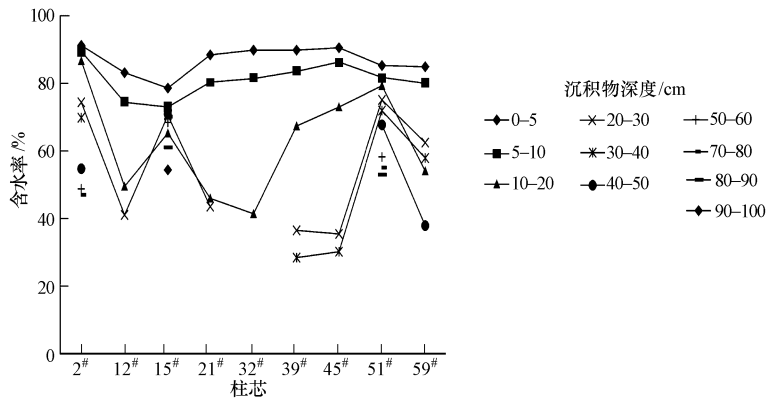


图 2 百花湖 9 根代表性沉积物柱芯含水率
Fig. 2 Distributions of moisture contents in the nine sediment samples from Baihua Lake

2.2 沉积物柱芯 TP、TN 及 C_{org} 含量分布

百花湖沉积物柱芯污染物含量测定结果显示,随着沉积物深度的增加,沉积物 TP、TN 及 C_{org} 含量均呈现明显的降低趋势(图 3). 但不同柱芯相同层位 TP、TN 及 C_{org} 含量也存在较大差别. 51[#]柱芯 0—5 cm 沉积物 TP 含量为 3729 mg·kg⁻¹,而 39[#]柱芯相同层位 TP 含量仅为 971 mg·kg⁻¹,表明不同湖区底泥污染程度存在较大差异.

沉积物柱芯 TP、TN 及 C_{org} 含量在 30 cm 以下趋于稳定,平均值分别约为 840 mg·kg⁻¹、0.30% 和 2.64%. 全湖 62 根沉积物柱芯测定结果显示,TP、TN 及 C_{org} 含量最高值分别为 5569 mg·kg⁻¹、1.03%、12.60%,最低值为 175 mg·kg⁻¹、0.16%、1.30%,平均值为 976 mg·kg⁻¹、0.34%、2.91% (分别是太湖的 2.0 倍、2.0 倍和 4.3 倍). 张路等^[12]研究表明长江中下游湖群(共 18 个湖泊)表层沉积物总磷含量均值仅为 750 mg·kg⁻¹,总氮含量均值为 0.14%,远低于百花湖表层沉积物氮磷含量,表明百花湖沉积物污染较为严重.

百花湖底泥淤积具明显的空间差异性, 淤泥厚度变化范围为 7—99 cm, 平均厚度约 35 cm. 利用质量加权平均计算出每根沉积物柱芯 0—5 cm、0—30 cm 和大于 30 cm 3 部分沉积物 TP、TN 及 C_{org} 的平均含量, 选择 9 根代表性沉积物柱芯的计算结果作图(图 4). 结果显示, 0—5 cm 沉积物 TP、TN 及 C_{org} 含量最高, 9 根柱芯平均值分别为 $1814\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 0.62% 、 4.75% . 0—30 cm 沉积物 TP、TN 及 C_{org} 平均值分别为 $1178\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 0.39% 、 3.32% ; 30 cm 以下分别为 $74\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 0.29% 、 2.64% . 单根柱芯的 TP、TN 及 C_{org} 含量平均值与 0—30 cm 沉积物含量接近.

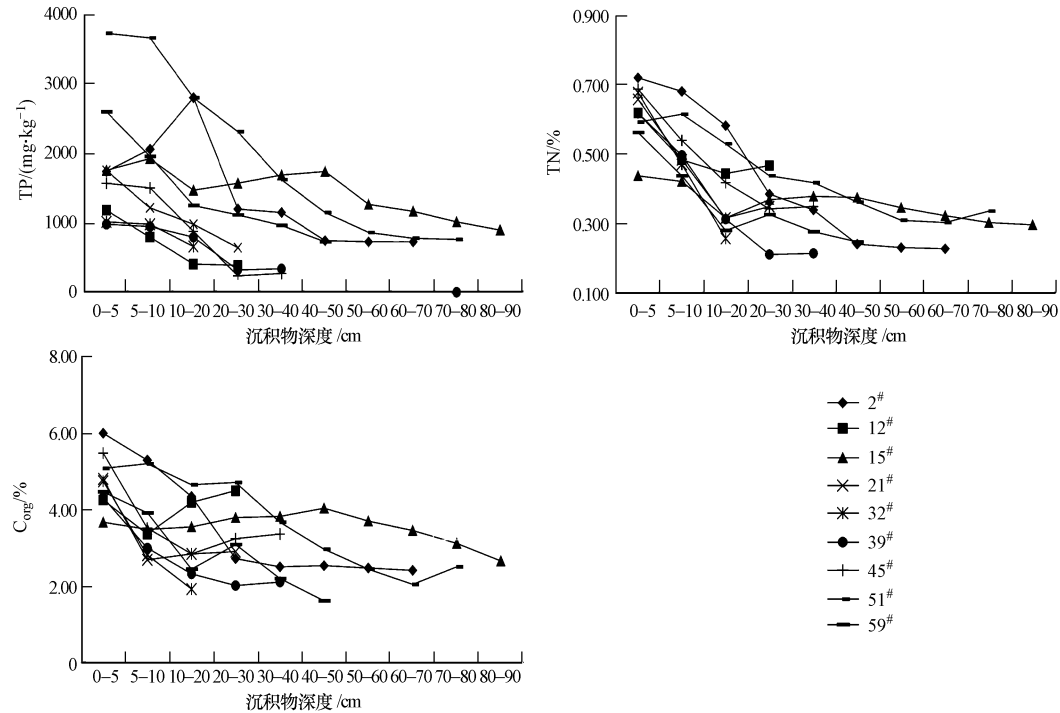


图 3 百花湖 9 根代表性沉积物柱芯不同层位磷、氮和有机碳含量分布
Fig. 3 Distribution of TP, TN and C_{org} contents at different depth of the nine sediment samples from Baihua Lake

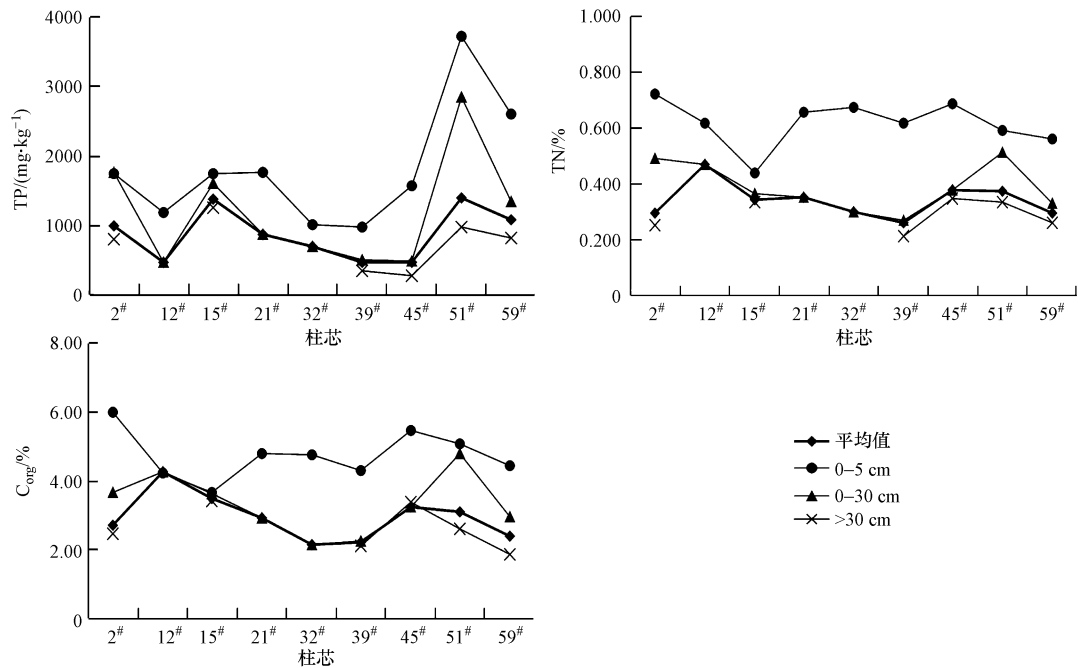


图 4 百花湖 9 根代表性沉积物柱芯不同层位磷、氮和有机碳平均含量分布
Fig. 4 Distribution of average of TP, TN and C_{org} content at different depth of the nine sediment samples from Baihua Lake

2.3 沉积物柱芯 TP、TN 及 C_{org} 含量相关性分析

沉积物柱芯 TP、TN 及 C_{org} 含量相关性分析显示(图 5),部分沉积物柱芯 TP、TN、C_{org} 含量存在的显著相关性(如 51[#]、59[#]柱芯, $R^2 > 0.90$),其主要原因可能是沉积物中氮、磷大部分以有机态形式存在于有机质中,这与红枫湖、百花湖沉积物的氮、磷赋存形态以有机态为主的结论相符^[2,4,6,13]. 但部分沉积物柱芯 TP、TN、C_{org} 含量相关性不显著(如 2[#]、15[#]柱芯, $R^2 < 0.60$),可能是沉积环境差异造成的. 当柱芯底部沉积物为老的河道沉积物或者岸边土壤时,其无机态氮、磷占有更高的比例.

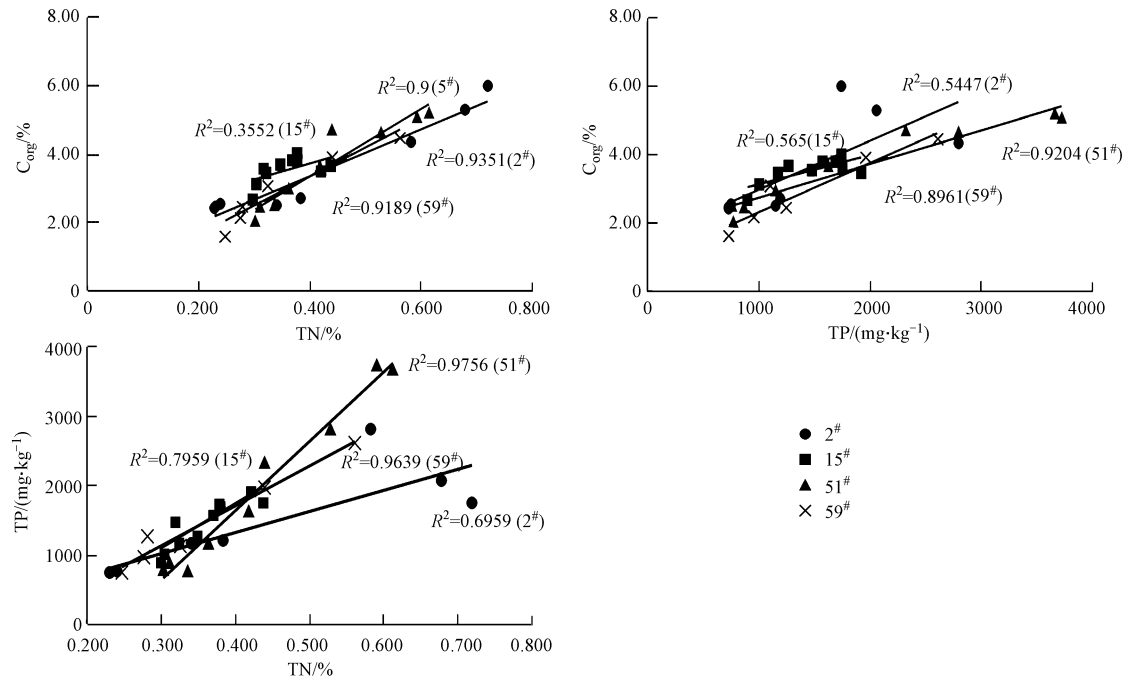


图 5 百花湖沉积物 TP、TN 和 C_{org} 含量相关性

Fig. 5 Correlations among the contents of TP, TN and C_{org} in the nine sediment samples from Baihua Lake

百花湖 9 根代表性沉积物柱芯 C/N 比值变化范围为 6.52—13.07,柱芯整体呈现“中部高,两端低”的变化趋势(图 6). 表层沉积物 C/N 比值约为 9.0,可能代表最接近沉积物形成时的原始 C/N 比值. 随深度的增加,C/N 比值的升高可能是微生物等矿化分解有机质的积累效应导致的,即有机质矿化分解后残留有机质中氮含量降低^[5,14-16]. 而底部沉积物 C/N 比值基本代表了百花湖建库前的原始沉积物或土壤的 C/N 比值.

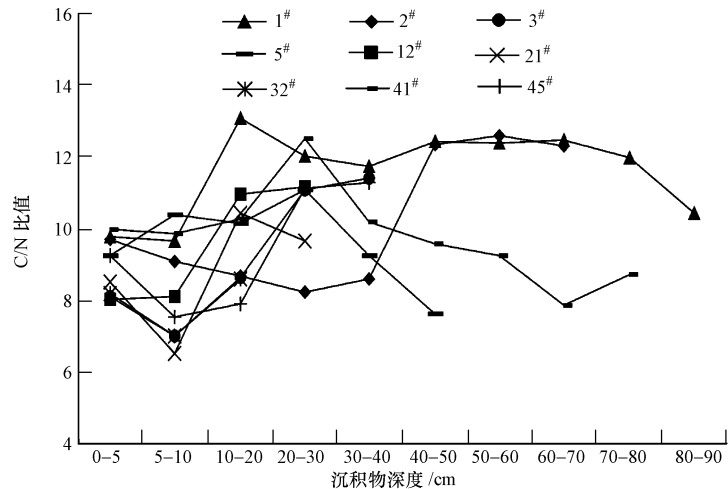


图 6 百花湖不同深度沉积物 C/N 比值

Fig. 6 C/N ratios in the sediments from different depths of Baihua Lake

3 结论

(1)百花湖沉积物 TP、TN 及 C_{org} 含量最高值分别为 $5569\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、1.03%、12.60%,最低值为 $175\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、0.16%、1.30%,平均值为 $976\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、0.34%、2.91%,底泥污染严重,在百花湖实施内源污染控制十分必要。

(2)百花湖沉积物随着深度的增加 TP、TN 及 C_{org} 含量均呈现明显的降低趋势,但不同柱芯相同层位 TP、TN 及 C_{org} 含量存在较大差别,表明不同湖区底泥污染程度存在较大差异,在实验内源污染控制工程时,需充分考虑这一特点,对不同湖区采用不同的治理与控制措施。

参 考 文 献

- [1] 孔繁翔,马荣华,高俊峰,等.太湖蓝藻水华的预防、预测和预警的理论与实践[J].湖泊科学,2009,21(3):314-328
- [2] 王雨春,马梅,万国江,等.贵州红枫湖沉积物磷赋存形态及沉积历史[J].湖泊科学,2004,16(1):21-27
- [3] Santschi P H, P Hoehener, G Benoit, et al. Chemical processes at the sediment-water interface[J]. Mar Chem, 1990,30:269-315
- [4] 王雨春.贵州红枫湖、百花湖沉积物-水界面营养元素的生物地球化学作用[D].贵阳:中国科学院地球化学研究所博士学位论文,2001
- [5] 魏中青,刘从强,梁小兵,等.贵州红枫湖沉积物中有机质的降解与微生物作用[J].科学通报,2005,250(14):1486-1489
- [6] 钟继承,刘国锋,范成新,等.湖泊底泥疏浚环境效应: I. 内源磷释放控制作用[J].湖泊科学,2009,21(1):84-93
- [7] 陈敬安.红枫湖污染底泥疏浚规划报告[R]. 贵阳:中国科学院地球化学研究所,2009
- [8] 张维.红枫湖、百花湖、阿哈水库水污染防治规划[R]. 贵阳:贵州省环境科学研究设计院,2007
- [9] 红枫湖百花湖水污染防治研究报告[R]. 贵阳:贵州省环境保护局,2003
- [10] 王雨春,黄荣贵,万国江,等. SWB-1 型便携式湖泊沉积物-水界面取样器的研制[J].地质地球化学,1998,1:94-96
- [11] 李酉年.土壤农业化学常规分析方法.北京:科学出版社.1983
- [12] 张路,范成新,王建军,等.长江中下游湖泊沉积物氮磷形态与释放风险关系[J].湖泊科学,2008,20(3):263-270
- [13] RY Zhang, FC Wu, CQ Liu, et al. 2008. Characteristics of organic phosphorus fractions in different trophic sediments of lakes from the middle and lower reaches of Yangtze River region and southwestern Plateau, China[J]. Environmental Pollution, 2008,152:366-372
- [14] 陈振楼,黄荣贵,万国江.红枫湖沉积物-水界面 Fe、Mn 的分布和迁移特征[J].科学通报,1992,37(21):1974-1977
- [15] 吴峰伟,汪福顺,吴明红,等.滇池、红枫湖沉积物中总磷、分态磷及生物硅形态与分布特征[J].生态学杂志,2009,28(1):88-94
- [16] 王仕禄,刘丛强,万国江,等.贵州百花湖分层晚期有机质降解过程与溶解 N_2O 循环[J].第四纪研究,2004,24(5) 569-577

Spatial distribution of TP, TN and C_{org} in the sediment of Baihua Lake

WANG Jingfu^{1,2} CHEN Jingan^{1*} ZENG Yan^{1,2} YANG Yongqiong^{1,2}

(1. The State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang, 550002, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049, China)

ABSTRACT

Sediment cores were collected in the Baihua Lake, Guizhou. Total phosphorus (TP), total nitrogen (TN) and organic carbon (C_{org}) contents in different sediment layers were measured, and their correlations were analyzed. The results showed that TP contents averaged $976\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, and TN and C_{org} contents were 0.34% and 2.91% respectively. There was a large variation in the contents of TP, TN and C_{org} in the same layers of different cores. With the increase of sediment depth, contents of TP, TN and C_{org} in the sediments decreased gradually.

Keywords: Baihua Lake, sediment, TP, TN, C_{org} .