

文章编号:1674-2869(2014)012-0027-07

红枫湖流域消落带及其沉积物营养盐含量的分布特征

邓河霞^{1,2}, 夏品华², 陈文生^{2*}, 林 陶², 薛 飞²

1. 武汉工程大学分析测试中心, 湖北 武汉 430074

2. 贵州省山地环境信息系统与生态环境保护重点实验室(贵州师范大学), 贵州 贵阳 550001

摘 要: 为了解红枫湖流域消落带及沉积物中营养盐总氮、总磷和有机质的含量分布特征, 采用实证调查、定量及相关分析的方法, 对各营养盐的含量空间分布规律以及相关关系进行了分析。结果表明: 消落带及沉积物中各营养盐的含量总体变化趋势为库区沉积带>对照带土壤>消落带土壤; 消落带土壤营养盐均值含量随着海拔梯度的升高, 呈现递增的趋势, 总氮(TN)含量范围在 1 626.95~2 926.13 mg/kg, 总磷(TP)含量范围在 548.79~714.06 mg/kg, 有机质(OM)含量范围在 4.10~6.79 mg/kg 之间; 消落带土壤中 OM 与 TN、TP 呈现极显著正相关性关系。

关键词: 红枫湖水库; 消落带; 沉积物; 营养元素

中图分类号: X53

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.1674-2869.2014.12.006

0 引 言

红枫湖水库地处贵州中部乌江主要支流猫跳河的上游, 在东经 106°19′~106°28′和北纬 26°26′~26°36′之间, 蓄水面积 57.2 km²[1-3]。建库 50 年来, 在库区两岸形成特殊的生态环境区域(消落带), 它具有显著的环境因子、生态过程和植物群落梯度, 能有效的缓冲和过滤水土流失、养分循环和非点源污染, 是生态环境较为脆弱的敏感地带。长期以来, 消落带土壤受水位重力侵蚀、水浪冲击及降雨冲刷胁迫作用, 对土壤中营养元素分布产生重要的影响[4-6]。土壤是植被生存的基础, 营养盐是土壤性质的重要组成部分, 通过其含量综合分析对保障水库安全具有重要作用[7-8]。

本研究以红枫湖水库消落带及沉积物为研究对象, 研究了营养元素含量的空间分布规律, 并通过相关分析方法着重探讨了消落带土壤营养盐的内在相关关系, 旨在为红枫湖沿岸植被恢复和生态环境治理改善提供科学依据。

1 实验部分

1.1 样品采集

2011 年 5 月, 正值红枫湖枯水期, 水体受气候影响较小。沉积带的采样布点为沿北湖至南湖湖

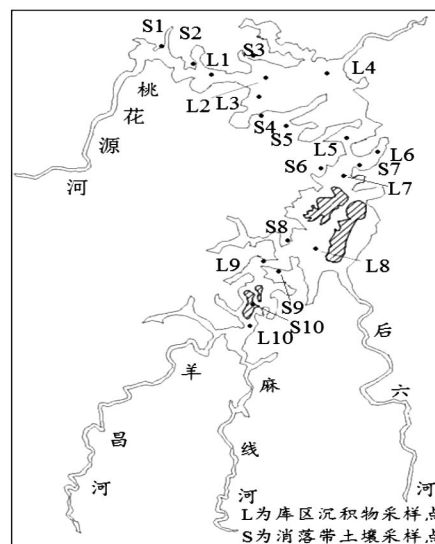


图1 红枫湖水库采样点示意图

Fig.1 Map of sampling sites in Hongfeng Reservoir

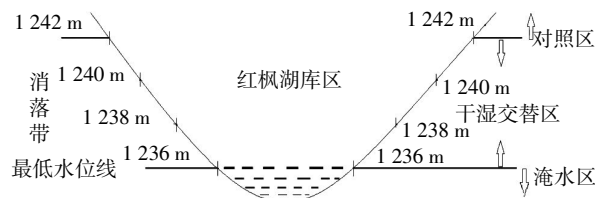


图2 红枫湖库区消落带点样带剖面简图

Fig. 2 Profile of sampling locations in the water-level-fluctuating zone of hongfeng reservoir

收稿日期: 2014-09-25

基金项目: 贵阳市社会发展和民生科技计划项目(201053, 2011103)

作者简介: 邓河霞(1986-), 女, 湖北荆州人, 硕士. 研究方向: 环境分析化学.* 通信联系人

心的 L1~L10, 每个点位取表层 5 cm 有以下样品 1 个, 如图 1 所示, 图中阴影区代表岛屿. 消落带和对照带分别以北湖至南湖沿岸 10 个布点 S1~S10 沿高程取样, 如图 1, 2 所示. 消落带采样的 3 个高程区为 1 236~1 238 m、1 238~1 240 m、1 240~1 242 m, 共计采集表层土样 30 个. 对照带采样高程为 1 244 m, 共采集表层土样 10 个. 为研究消落带营养盐的垂直分布, 随机选取 S7 和 S10 为代表样点, 垂直 5 cm 取样一次, 每个取样点取 3 个样品(表层样除外), 共计 24 个样品. 土壤及沉积物在实验室环境下自然风干、研磨, 过孔径 100 mm 筛备用.

1.2 样品分析方法

总氮: 半微量凯氏定氮法(GB 7173-1987); 总磷: 硫酸-高氯酸溶-钼锑抗比色法(GB 7852-1987); 有机质: 重铬酸钾氧化-外加热法(GB 7857-1987); 土壤 pH: 电位法(GB 7859-1987).

1.3 数据分析

采用 Microsoft Excel 工作表作图和 SPSS18.0 软件进行数据统计.

2 结果与分析

2.1 红枫湖水库消落带及沉积物营养盐含量特征

红枫湖水库消落带、对照带及沉积带营养盐含量如表 1 所示.

表 1 不同采样带营养盐含量统计表

Table 1 The statistics of nutrition salt contents in the three different sampled zone (mg/kg)

统计量	消落带		
	总氮	总磷	有机质
平均值	2 001.80	571.21	5.00
消最大值	3 840.17	776.85	9.09
落最小值	379.64	347.70	2.93
带标准差	724.35	134.00	1.19
平均值	2 926.13	714.06	6.79
对最大值	3 566.96	1 094.98	9.02
照最小值	2 209.56	462.09	4.53
带标准差	492.30	197.43	1.74
平均值	3 165.54	1 594.72	9.52
沉最大值	4 144.77	2 364.81	14.17
积最小值	1 159.79	870.29	5.18
带标准差	895.57	548.34	3.07

从表 1 可知, 库区不同采样带土壤的 TN、TP 和 OM 的含量总体变化趋势均呈现沉积带>对照带>消落带, 表明这 3 种水体污染物经过长期的反季节淹水、淘蚀使营养盐得到释放, 并由消落带迁移至沉积带, 并沉积于水库底沉中, 可见库区沉积

物是一个庞大的贮存库. 底泥记录着湖(库)区环境变化的丰富信息, 营养盐含量是湖泊(水库)富营养化过程的标志^[9-11]. 对照带土壤营养盐含量>消落带土壤营养盐含量, 主要是由于农业生产大量施用化肥有关.

2.2 消落带营养盐分布特征分析

2.2.1 消落带营养盐空间分布特征 消落带营养盐均值含量随着海拔梯度的升高, 大致呈现递增的趋势. 可见人为干扰将会增加对照带的总氮、总磷和有机质的含量. 同时, 红枫湖水库消落带由于长期的反季节淹水、水浪的淘蚀, 消落带内土壤营养盐释放到水中, 随着水淹时间的延长, 营养盐含量具有明显降低.

不同点位, 总氮、总磷和有机质含量空间分布如图 3(a)(b)(c)所示. 由图可知, 各布点在消落带的营养盐含量随海拔梯度大致呈现正相关趋势, 个别点除外. S7 点消落带 1 238~1 240 m 总氮、总磷及有机质均明显偏高, 可能原因是此段区域草坪覆盖度达到 90%, 而对照带为杂草地覆盖度仅为 50%, 无人为营养盐的输入. 同时, 由图 3(c)还可以看出, S1~S4 有机质含量总体低于 S5~S10, 表明南湖消落带有机质含量要高于北湖, 原因在于南湖多为农业耕作区, 农户为增加土壤肥力, 提高作物亩产, 大量增施有机肥料. 北湖周边土地多为林地, 人为活动干预少, 土壤中的有机质主要来源于枯枝落叶的腐败.

2.2.2 消落带营养盐垂直分布特征 选取土壤 S7 和 S10 进行分层采样, 不同海拔、不同层深总氮、总磷和有机质含量变化如图 4 所示. 总体来看, 红枫湖水库消落带总氮、总磷和有机质含量在垂直方向上具有大致相似的规律, 均为随着深度的增加呈现递减趋势, 表层有着明显的富集现象, 这主要与表层受人类活动影响有关.

(1) 总氮: 两个采样点不同海拔梯度下, 土壤总氮含量都随土壤深度加深呈降低趋势. 地表土壤有机质最多, 垂直深度越大, 土壤中有机质含量越少, 通过分解有机物产生的氮素就越低. 另外, 表层土壤中氧气较为充足, 固氮菌较为活跃, 通过硝化作用能有效的固定氮素. 随着土壤深度增加, 氧气含量越低, 厌氧菌通过反硝化作用将氮素还原为氮气.

(2) 总磷: 两个采样点不同海拔梯度下, 土壤总磷含量都随土壤深度加深而呈降低的趋势, 土壤中的磷素向下垂直迁移的过程中, 土壤中的粘土矿物、铁铝氧化物、碳酸钙等矿物颗粒对磷酸根

的专属性吸附使得磷素被固定下来,其中尤其是铁铝氧化物的吸附作用最为强烈^[12],离基岩越近的土壤,得不到基岩风化补充磷素,导致总磷含量自土壤表层随深度衰减。S10 随着深度的下降趋势没有 S7 明显,原因可能是土壤中总磷含量的变化主要与成土母质有关,S7 点靠近菜园地,菜园地由于磷肥的使用,导致了其一带土壤中磷素的积累,且随深度的加深变化趋势大;而 S10 点为受人类生产活动干扰影响轻微的灌丛地,土壤层之间的扰动不明显,且不受磷肥的影响,所以 S10 随深度的下降趋势不大。

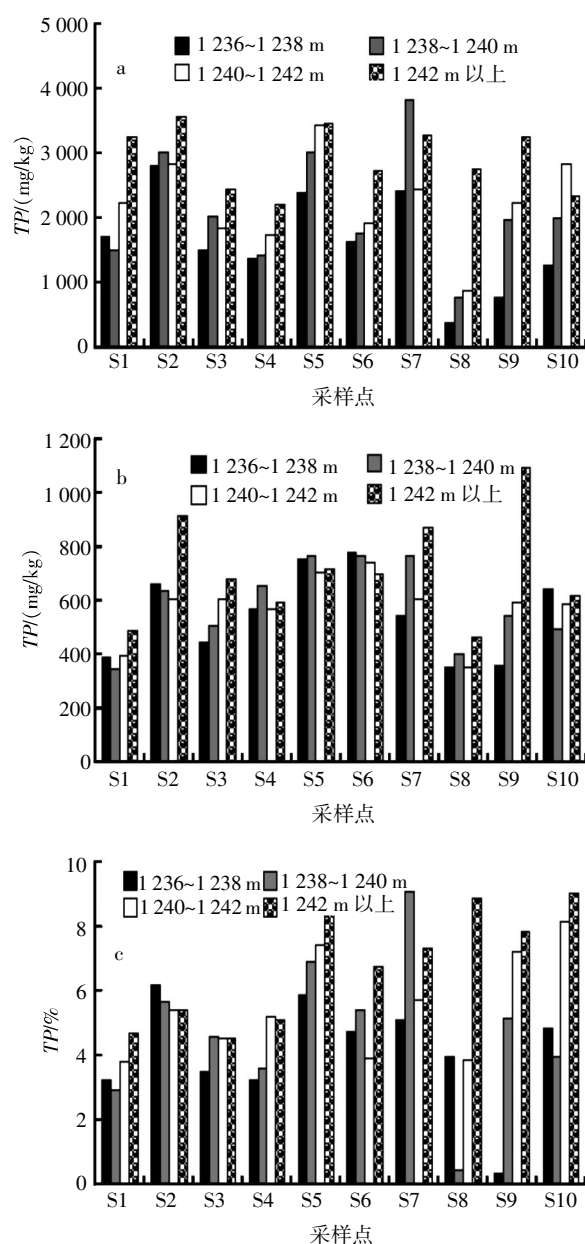


图 3 消落带不同海拔梯度总氮、总磷和有机质含量分布
Fig. 3 Distribution of total nitrogen, total phosphorus and organic matter contents along elevation gradient in the water-level fluctuating zone

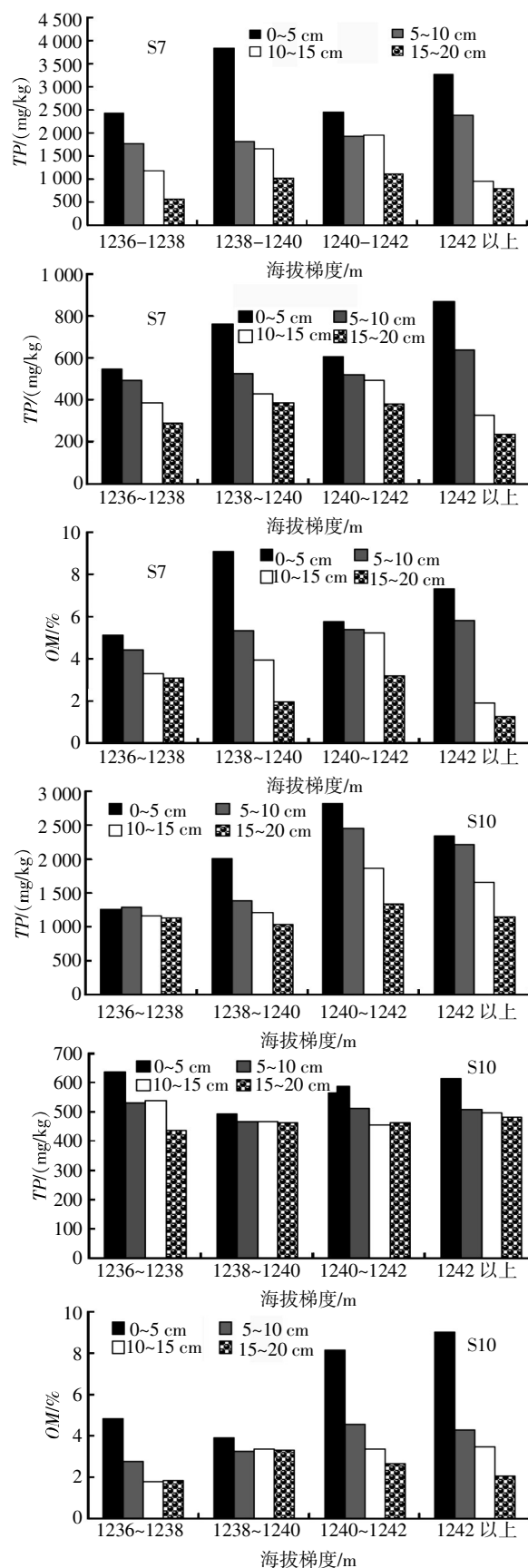


图 4 消落带 S7 和 S10 点不同海拔梯度总氮、总磷和有机质含量垂直分布

Fig. 4 Vertical distribution of total nitrogen, total phosphorus and organic matter contents along elevation gradient of S7 and S10 samples in the water-level fluctuating zone

(3) 有机质:两个采样点不同海拔梯度下,土壤有机质含量都随土壤深度加深而呈降低的趋势,表层有着明显的富集现象,究其原因可能是植被地上部分大量的掉落物及根系在表土多年积累,加上无人扰动,因而易于表土有机质富集.

2.2.3 消落带土壤营养盐相关性分析

(1) 消落带土壤 pH 与营养盐相关性分析

pH 是反映土壤肥力的重要指标,影响矿物质风化、盐基淋溶、养分形态转化等一系列过程,直接决定着植物生长的有效元素形态,它还制约着微生物的群落数量、构成及活性^[13]. 土壤酸碱度根据 pH 大小分为强酸性土 (pH<4.5)、酸性土 (pH5.0~6.5)、中性土 (pH6.5~7.5)、碱性土 (pH7.5~8.5)、强碱性土 (pH>8.5).

消落带土壤 pH 值变幅大,从强酸 (PH<4.5) 至微碱性 (pH7.5~8.5) 土壤均存在,平均 pH 为 6.73. pH 值之所以差异很大,可能主要是由于土地利用模式,如工作制度、种植模式等外界因素干扰的影响. 表 2 是通过 SPSS 分析 pH 与消落带表层土壤总氮、总磷和有机质之间的相关性,从表 2 中可以看出:pH 与消落带表层土壤总氮、总磷和有机质呈正相关关系,且均不显著,说明总氮、总磷和有机质含量变化很大程度上受到其他因素的影响.

表 2 土壤 pH (x)与土壤营养盐含量(y)相关性回归方程
Table 2 Correlation regression equation between pH and nutrition salt contents in soil

项目	相关方程	相关系数 r
总氮	$y=0.000\ 6x+5.67$	0.318
总磷	$y=0.001\ 9x+5.73$	0.331
有机质	$y=0.121\ 6x+6.21$	0.165

(2) 消落带土壤有机质与总氮、总磷相关性分析

土壤氮素主要存在于土壤有机质中,而表层土壤高达 80%~97%,因此,土壤有机质累积和分解的速度直接决定总氮大小^[14]. 由图 5(a)可知,消落带土壤有机质含量与总氮含量呈线性相关,结果表明,消落带土壤有机质含量与总氮质量含量呈现极显著相关性 (相关系数为 0.759, $P<0.01$). 由图 5(b)可知,消落带土壤有机质含量与总磷质量含量也呈线性相关,结果表明,消落带土壤有机质含量与总磷含量呈现极显著相关性 (相关系数为 0.565, $P<0.01$). 因此土壤有机质含量的升高会增加氮磷营养元素的累积.

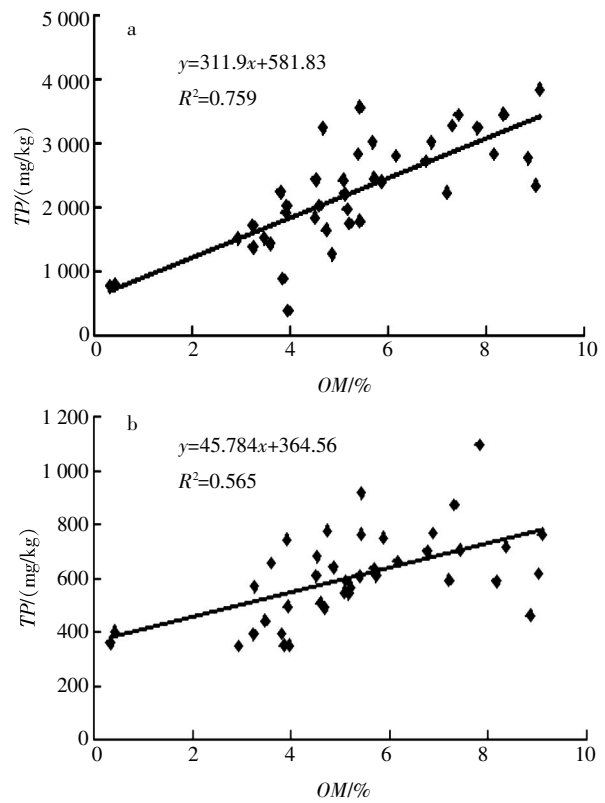


图 5 消落带表层土壤有机质与总氮、总磷回归分析结果
Fig.5 Regression analysis between organic matter and total nitrogen, total phosphorus for the surface soil in water-level fluctuating zone

2.3 库区表层沉积物营养盐含量空间分布特征

库区 10 个点位, L1~L4 位于南湖, L5~L10 位于北湖. 库区沉积物总氮、总磷和有机质含量的空间分布如图 6 所示.

在库区表层沉积物样品中, 其总氮含量均在 1 159.79~4 144.77 mg/kg 之间, 最大值出现在 L5 点处, 最小值出现在 L8, 最大值与最小值相差约 4 倍, 平均为 3 165.54 mg/kg. 总氮质量含量总体趋势为北湖高于南湖, 这主要是北湖 L1 点上游贵州化肥厂、贵州铁合金厂的工业废水、家属区生活污水排入北湖, 造成北湖一带沉积物总氮高于南湖, 使北湖呈现出氮素污染特征.

总磷质量含量在 870.29~2 364.81 mg/kg 之间, 且总体趋势为南湖高于北湖, 最大值出现在 L10 点处, 最小值出现在 L2, 最大值与最小值相差约 3 倍, 平均为 1 594.72 mg/kg. L10 点位于羊昌河、麻线河和后六河三条河流进入红枫湖的交汇处, 羊昌河污染最严重, 因其上游有一重要点源污染源—贵州天峰化工有限责任公司, 每年入库总磷量高达 188 吨/年^[15]. 同时三条河流 (主要是羊昌河) 将平坝县城富含营养盐的生活污水及雨水对原天峰化工有限公司磷矿石堆积区淋溶污水带入

湖库,造成 L10 点总磷含量显著高于其它点,形成南湖总磷较高的污染特征,这与梁小洁等人对红枫湖水源污染源主要营养元素及污染物调查结果相一致^[16]。

沉积物中有机质来源于动植物残体、浮游生物、微生物及水循环携带的其他有机物等的沉积,对氮、磷等营养元素的迁移及转化行为发挥着重要作用。有机质矿化释放大量的碳、氮、磷等营养盐,造成水生植物疯长,使水体呈现缺氧状态,导致水质恶化,即为水体富营养化。红枫湖水库库区沉积物中有机质质量分数在 5.18%~14.17%之间,且总体趋势为北湖高于南湖,最大值出现在 L1,最小值出现在 L9,最大值与最小值相差约 3 倍,平均 9.52%。L1 点最高,可能是因为沉积物中的氮主要以有机氮的形态存在为主。L9 最低,主要是因为输入的磷大部分可能以无机磷的结合形态存在于沉积物中,而有机磷的结合形态很低,所以有机质含量最低。

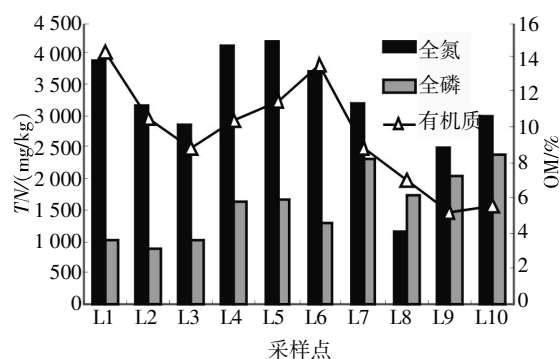


图 6 库区表层沉积物总氮、总磷和有机质含量的空间分布
Fig.6 Spatial distribution of total nitrogen, total phosphorus and organic matter contents for the surface sediment in lake

3 结 语

a. 红枫湖水库流域土壤、沉积物中 TN、TP 和 OM 的含量总体变化趋势为库区沉积物>对照带土壤>消落带土壤。

b. 消落带土壤营养盐均值含量随着海拔梯度的升高,呈现递增的趋势,总氮质量含量在 1 626.95~2 926.13 mg/kg 之间,总磷质量含量在 548.79~714.06 mg/kg 之间,有机质质量含量在 4.10~6.79 mg/kg 之间。

流域土壤营养盐垂直分布规律:流域土壤中总氮、总磷和有机质含量在垂直方向上具有大致相似的规律,均为随着深度的增加呈现递减趋势,表层有着明显的富集现象,这主要与表层土壤受人类生产活动干扰影响较大有关。

c. pH 与消落带表层土壤总氮、总磷和有机质呈正相关关系,且均不显著,说明总氮、总磷和有机质含量变化很大程度上受到其他因素的影响。消落带土壤中有机质含量与总氮含量呈现极显著正相关性(相关系数为 0.759, $P < 0.01$),有机质含量与总磷质量含量呈现极显著正相关性(相关系数为 0.565, $P < 0.01$),说明土壤中有机质含量的升高会增加氮磷营养元素的累积。

d. 库区表层沉积物样品中,总氮含量总体趋势为北湖高于南湖,质量含量在 1 159.79~4 144.77 mg/kg 之间。总磷质量含量总体趋势为南湖高于北湖,质量含量在 870.29~2 364.81 mg/kg 之间。有机质含量总体趋势为北湖高于南湖,质量分数在 5.18%~14.17%。

致 谢

感谢贵州师范大学贵州省山地环境信息系统与生态环境保护重点实验室水土污染控制与生态修复课题组全体成员的支持与帮助!

参考文献:

- [1] 王雨春,万国江,王仕禄,等. 红枫湖、百花湖沉积物中磷的存在形态研究[J]. 矿物学报,2000,20(3): 273-278.
WANG Yu-chun, WAN Guo-jiang, WANG Shi-lu, et al. Forms of phosphorus in sediments of Lake Baihua and Lake Hongfeng, Guizhou [J]. Acta Mineralogica Sinica, 2000, 20(3): 273-278. (in Chinese)
- [2] WU F C, QING H R, WAN G J. Regeneration of N, P and Sinear the sediment/water interface of lakes from south-western China plateau [J]. Water Research, 2001, 35(5): 1334-1337.
- [3] JIANG Cui-hong, HU Ji-wei, HUANG Xian-fei, et al. Phosphorus speciation in sediments of Lake Hongfeng [J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2011, 29(1): 53-62.
- [4] 石孝洪. 三峡水库消落区土壤磷素释放与富营养化 [J]. 土壤肥料, 2004, 1: 40-43.
SHI Xiao-hong. Eutropication and phosphorus release of soil in drawdown area of Three Gorges reservoir [J]. Soils and Fertilizers, 2004, 1: 40-43. (in Chinese)
- [5] 康义, 郭泉水, 程瑞梅, 等. 三峡库区消落带土壤物理性质变化 [J]. 林业科学, 2010, 46(6): 1-5.
KANG Yi, GUO Quan-shui, CHENG Rui-mei, et al. Changes of the soil physical properties in hydro-fluctuation belt of the three gorges reservoir [J].

- ScientiaSilvae Sincae,2010,46(6):1-5.(in Chinese)
- [6] 马利民,唐燕萍,张明,等.三峡库区消落区几种两栖植物的适生性评价[J].生态学报,2009,29(4):1885-1892.
- MA Li-min,TANG Yan-ping,ZHANG Ming,et al.Evaluation of adaptability of plants in Water-Fluctuation zone of the three forges reservoir[J].Acta Ecologica Sinica,2009,29(4):1885-1892.(in Chinese)
- [7] 王业春,雷波,张晟.三峡库区消落带不同水位高程植被和土壤特征差异[J].湖泊科学,2012,24(2):206-212.
- WANG Ye-chun,LEI Bo,ZHANG Sheng.Differences in vegetation and soil characteristics at different water-level altitudes in the drawdown areas of Three Gorges Reservoir area[J].Journal of Lake Sciences,2012,24(2):206-212.(in Chinese)
- [8] 夏品华,林陶,邓河霞,等.贵州红枫湖水库消落带类型划分及其生态修复试验[J].中国水土保持,2011,6:58-60.
- XIA Pin-hua,LIN Tao,DENG He-xia,et al.Division of ecological and their Eco-Remediation experiment of water-level-fluctuating zone in the Hongfeng Reservoir of Guizhou[J].Soil and Water Conservation InChina,2011,6:58-60.(in Chinese)
- [9] 吴丰昌,万国江,黄荣贵.湖泊沉积物-水界面营养元素的生物地球化学作用和环境效应 I.界面氮循环及其环境效应[J].矿物学报,1996,16(4):403-409.
- WU Feng-chang,WAN Guo-jiang,HUANG Rong-gui. Biogeochemical processes of nutrition elements at the sediment-water interface of lakes I. Nitrogen cycling and its environmental impacts[J]. Acta Mineralogica Sinica,1996,16(4):403-409.(in Chinese)
- [10] 范成新,张路,秦伯强.太湖沉积物-水界面生源要素迁移机制及量化:I.铵态氮释放速率的空间差异及源-汇通量[J].湖泊科学,2004,16(1):11-20.
- FAN Cheng-xin,ZHANG Lu,QIN Bo-qiang.Migration mechanism of biogenic elements and their quantification on the sediment-water interface of Lake Taihu: I. Spatial variation of the ammonium release rates and its source and sink fluxes[J]. Journal of Lake Sciences,2004,16(1):11-20.(in Chinese)
- [11] 韩勇.三峡库区消落带污染特性及水环境影响研究[D].重庆:重庆大学,2007.
- HAN Yong. Study on pollution character and water environment impact of the wet-dry zones in the Three Gorges Reservoir[D].Chongqing: Chongqing University,2007.(in Chinese)
- [12] 张宪伟,潘纲,陈灏,等.黄河沉积物磷形态沿程分布特征[J].环境科学学报,2009,29(1),191-198.
- ZHANG Xian-wei,PAN Gang,CHEN Hao,et al. Phosphorus forms and distribution in the sediments from different reaches along the Yellow River[J],Acta Scientiae Circumstantiae,2009,29(1),191-198.(in Chinese)
- [13] 史正军,卢璞,钟晓,等.深圳城市绿地土壤质量状况研究[J].园林科技,2006(1):20-24.
- SHI Zheng-jun, LU Ying, ZHONG Xiao, et al. Study on the soil quality status of greenbelt in Shenzhen [J]. Journal of Park Science and Technology,2006(1):20-24.(in Chinese)
- [14] 陈亚宁,杨思全.自然灾害的灰色关联灾情评估模型及应用研究[J].地理科学进展,1999,18(2):158-162.
- CHEN Ya-ning, YANG Si-quan. The application and model of grey association for evaluation of natural disaster [J]. Progress in Geography,1999,18(2):158-162.(in Chinese)
- [15] 夏品华,李秋华.红枫湖·百花湖入库河流水环境状况及生态修复措施[J].安徽农业科学,2011,39(12):7344-7346.
- XIA Ping-hua, LI Qiu-hua. Water environment and ecological restoration of measures at the inflow rivers of hongfeng and baihua reservoirs[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011,39(12):7344-7346.(in Chinese)
- [16] 梁小洁,张明时.红枫湖·百花湖水源污染源主要营养元素及污染物调查[J].贵州师范大学学报:自然科学版,1999,17(2):37-39.
- LIANG Xiao-jie,ZHANG Ming-shi. Investigation on headwaters, sources of pollution, main nutrient elements and pollutants of hongfeng and baihua lake [J]. Journal of Guizhou Normal University: Natural Science,1999,17(2):37-39.(in Chinese)

Distribution characteristics of nutrient concentration in water-level-fluctuating zone and sediment of Hongfeng Reservoir basin

DENG He-xia^{1,2}, XIA Ping-hua², CHEN Wen-sheng, LIN Tao², XUE Fei²

1. Analysis and Testing Center of Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China

2. Guizhou Key Laboratory for Information System of Mountainous Areas and Protection of Ecological Environment
(Guizhou Normal University), Guiyang 550001, China

Abstract: To investigate the distribution of nitrogen, phosphorus and organic matter in sediments and water-level-fluctuating zone in Hongfeng Lake, the spatial distribution rules and the correlation of nutrients were determined by the methods of empirical investigation and quantitative and correlation analysis. Results show that: the concentration of nutrients in water-level-fluctuating zone and sediments descend in the following order: sediments from the lake > soil in control belt > soil in water-level-fluctuating zone; the mean concentration of nutrients in water-level-fluctuating zone soil presents increasing trend with the increase of elevation, in which the contents of total nitrogen are 1 626.95 mg/kg~2 926.13 mg/kg and the contents of total phosphorus and organic matter are 548.79 mg/kg~714.06 mg/kg and 4.10~6.79 mg/kg, respectively; there is a significant positive correlation relationship between organic matter and total nitrogen, total phosphorus of soil in water-level-fluctuating.

Keywords: Hongfenghu Reservoir; water-level-fluctuating zone; sediment; nutrient elements.

本文编辑:张 瑞