

龙感湖近百年来沉积物磷的时空分布特征 及其人类活动影响*

吴艳宏^① 邴海健^{②③} 刘恩峰^② 羊向东^② 周俊^①

(^①中国科学院成都山地灾害与环境研究所,成都 610041; ^②中国科学院南京地理与湖泊研究所
湖泊科学与环境国家重点实验室,南京 210008; ^③中国科学院研究生院,北京 100049)

摘要 湖泊沉积物蓄积的磷在湖泊环境发生变化(如 pH 值、Eh 改变)时,往往能释放到水体,形成湖泊内源释放,造成湖泊富营养化。因此了解湖泊沉积物磷的蓄积特征,对于湖泊环境的治理和保护有重要意义。通过长江中游龙感湖不同部位钻孔的 ²¹⁰Pb、沉积物磷和其他环境指标分析表明,近百年来东部湖区沉积速率明显大于西部湖区,北部湖区略大于南部湖区,人类活动在 20 世纪 50 年代后期主要通过修建水库和闸坝,改变龙感湖水系结构,也改变了龙感湖的物源供给,因而西部湖区沉积速率略有放缓,东部湖区变化不明显。龙感湖沉积物磷的浓度空间上表现为东部高于西部,这与不同物源磷的背景值相关,时间序列上近百年来呈上升趋势,上世纪 50 年代以来上升趋势更为明显。在确定沉积物磷背景值的基础上,由于人类活动导致的磷的增加量表明,20 世纪 50 年代开始人类活动导致沉积物磷的增加量持续上升,20 世纪 70 年代末开始增加幅度更大,这一特征与人类活动的方式有关。

关键词 磷 湖泊沉积物 分布特征 人类活动 龙感湖

中图分类号 P343.5 **文献标识码** A

湖泊沉积物作为湖泊生态系统的重要组成部分,长时间接纳并蓄积了大量 C、N 和 P 等生源要素^[1-3]。研究表明,由贫营养向中营养和富营养过渡的湖泊,湖泊沉积物大多表现为营养物质的“汇”;湖泊进入富营养化或重富营养化状态后,其湖泊沉积物则常常成为湖泊水体污染之“源”^[3,4],保存于沉积物中的 C、N 和 P,是湖泊水体和水土界面发生的一系列生物地球化学过程后,不再分解和不再被生物利用的部分。然而在适当的物理、化学、生物等环境条件下 C、N 和 P 会发生形态转化,重新被释放到上覆水体中并成为生物可利用的形态,成为大规模藻类水华爆发的营养盐供给源^[5-7]。大量的内源营养盐释放可能是长江中下游湖泊环境治理难以取得理想成效的可能解释^[8,9]。众多研究表明浅水湖泊沉积物营养盐释放,尤其是磷的释放是水体营养盐的重要部分,甚至超过了外源输入^[4,10]。因此,在了解湖泊环境状况和实施湖泊环境治理时,了解湖泊沉积物磷的蓄积状况显得非常必要。

龙感湖位于长江中游安徽宿松和湖北黄梅境内,是长江河道变迁所留下的浅水湖泊。近百年来,龙感湖湖泊营养状况发生了改变,由贫营养逐渐向富营养化状态转变^[11]。此前对于龙感湖沉积物磷蓄积的研究仅局限于龙感湖西北部湖湾,基于沉积物的精确定年,获得了沉积物中磷的累积量,并区分出了由于人类活动导致的生源要素的增量^[12],但尚不足以描绘整个龙感湖沉积物磷的累积状况。为此,本研究拟通过 6 个钻孔点沉积物磷和其他相关指标的分析,对近百年来龙感湖沉积物磷的时空分布特征进行探讨,并分析人类活动对沉积物磷蓄积的影响。

1 材料和方法

2002 年 6 月、2004 年 4 月、2008 年 4 月和 2008 年 10 月,利用重力采样器分别在龙感湖西北部湖湾、东北部湖湾、西部大湖面、东部大湖面、西南部 and 东南部采集沉积物柱状样品,分别编号为 LL4, LH, LS, LGL, LW 和 LE (图 1)。

第一作者简介:吴艳宏 男 41 岁 研究员 地球化学专业 E-mail: yhwu@imde.ac.cn

* 国家自然科学基金项目(批准号:40772203)和中国科学院知识创新工程重大项目(批准号:KZCX2-YW-319)联合资助
2010-05-20 收稿,2010-07-30 收修改稿

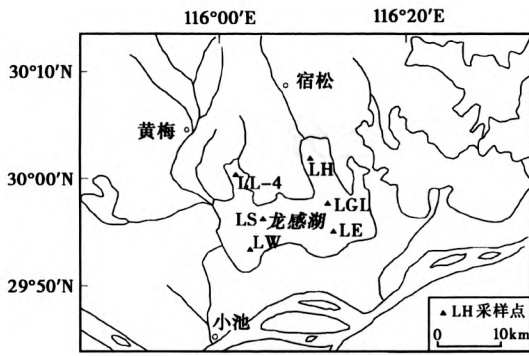


图1 采样位置

Fig. 1 Sketch map showing locations of Longgan Lake and the sediment cores

在获取干容重后,用 EG & G Ortec 公司生产的高纯锗低本底 γ 谱分析测定系统进行样品 ^{210}Pb 测试。

元素分析的样品用硝酸-氢氟酸-高氯酸湿法溶解后,用美国 LEMAN LABS ROFILE 电感耦合等离子体原子发射光谱仪 (ICP-AES) 测定各元素含量,标准采用美国 SPEXTM 标准溶液,水系沉积物 GSD-9 和 GSD-11 为参考物质。

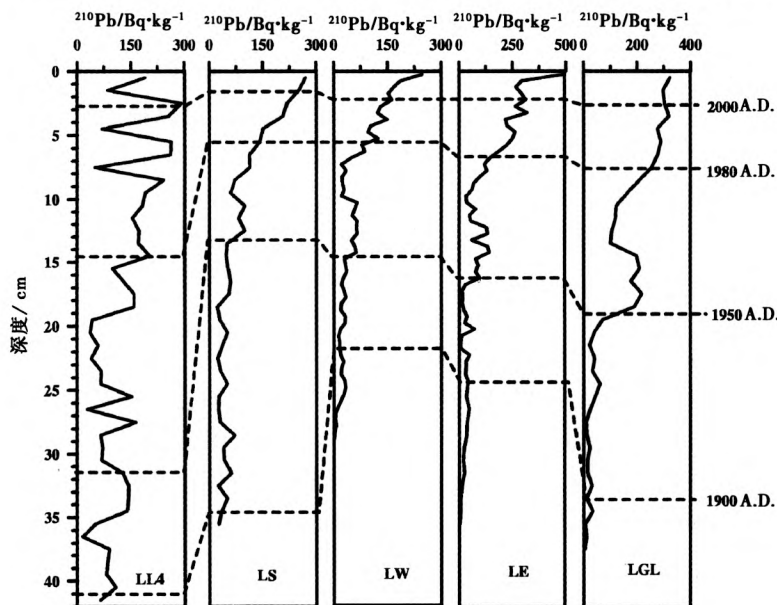
2 结果和讨论

2.1 ^{210}Pb 结果及沉积速率的空间对比

由于样品保存问题,LH 孔未进行 ^{210}Pb 测试,其

余 5 个钻孔 ^{210}Pb 结果显示除 LL4 孔外,其波动形态基本一致。LL4 孔 ^{210}Pb 波动明显,没有明显的规律性,其年代序列已有详尽讨论^[12,13]。LS 和 LGL 孔的 ^{210}Pb 年代学讨论须考虑到人类活动的影响^[14],LE 和 LW 孔可参考 LS 和 LGL 年代学方法,建立相应的年代序列(图 2)。

比较各孔年代序列,表明在龙感湖不同部位沉积过程存在较大差异。首先 LL4 孔位于龙感湖的西北湖湾内,其物源主要来自湖湾周围的较小流域,受小流域内人类活动影响较大,1950 年前,小流域内人类活动不强烈,因而沉积速率较慢,1950 年后,人类活动增强^[12],尤其是 20 世纪 50 年代到 70 年代末,流域内农业垦殖较为活跃,入湖泥沙量增加,因而沉积速率较高,20 世纪 80 年代后有所放缓。LH 孔未能建立年代序列,从沉积位置看,虽然也处于湖湾中,但其位于主要入湖河流二郎河入湖口处,沉积过程应当与 LL4 孔有所区别,其过程应与 LGL 孔相似。其余 4 个孔基本反映了大湖面不同部位的沉积过程:1950 年前西部沉积速率大于东部,表明龙感湖两大物源区二郎河所提供的物源小于来自龙感湖上游湖泊太白湖的物源输入,而更接近物源区的北部湖区沉积速率明显大于南部湖区。1950 年后由于上游修建水库^[14],入湖物质减少,各部位沉积速率下降,西部湖区经过太白湖的再次调蓄,物源供给略低于东部湖区。

图2 LL4,LS,LW,LE 和 LGL 孔 ^{210}Pb 结果及年代对比Fig. 2 Vertical distribution of ^{210}Pb in LL4,LS,LW,LE and LGL sediment cores and the inter-core correlation

2.2 沉积物磷的分布时空特征及人类活动对沉积物磷蓄积的影响

龙感湖沉积物磷的空间分布总体上呈现出东高西低的特点(图3),近百年来东部湖区由北向南不同湖区的平均值分别为 703.2mg/kg,514.3mg/kg 和 572.7mg/kg,而西部湖区由北向南近百年的平均值分别为 494.6mg/kg,541.2mg/kg 和 362.2mg/kg。2004 年对龙感湖北岸包括西北部湖湾和东北部湖湾的土壤、基岩 30 个点 52 个样品的总磷测试结果为 437.2mg/kg,2007 年对太白湖流域 26 个土壤样品总磷测试结果为 383.3mg/kg(自测数据,未发表)。可见背景值的差异是造成龙感湖沉积物磷空间分布差异的一个重要原因。

在时间序列上,除龙感湖东南部(LE)外,近百年来龙感湖各部位沉积物磷浓度均呈现出增加趋势(图4),尤其是 LL4,LGL,LW 和 LH 在 1950 年以来增加趋势非常明显。这种由下而上磷浓度增加的趋势,一方面与早期湖泊沉积物沉积后磷形态转换有关,部分溶解态磷被释放,保存于沉积物中的磷多为不易分解和发生形态转换的部分;另一方面近期磷浓度增加与磷的来源尤其是人类活动来源有关。LS 孔沉积物磷浓度呈现出两个高值段,分

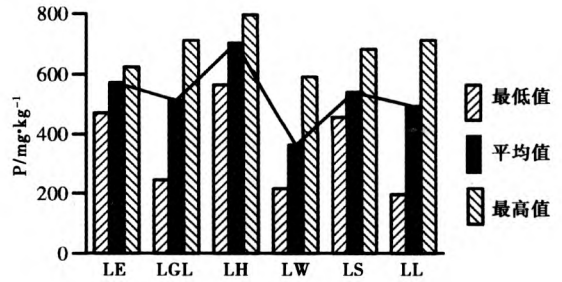


图3 沉积物磷的空间分布对比

Fig.3 Spatial distribution of phosphorus in the sediment cores

别出现在 1910 ~ 1920 年间和 1960 年以来,而在 1910 ~ 1920 年时段 LE 也呈现出磷浓度的高值段。1910 ~ 1920 年这一时段龙感湖流域人类活动并不强,沉积物磷蓄积的高值显然不能归因于人类活动,对照几个钻孔的质量累积速率变化^[14],这一时期为质量累积速率的低值段,而长江中下游地区夏季降水变率^[15,16]显示,这一时期降水偏少,入湖碎屑物质减少,从而导致磷浓度相对偏高。20 世纪 50 年代以来全湖沉积物磷浓度的快速上升与人类活动相关。

为准确判断人类活动对于沉积物磷累积的影响,首先要确定磷的背景值的变化状况。前期的研

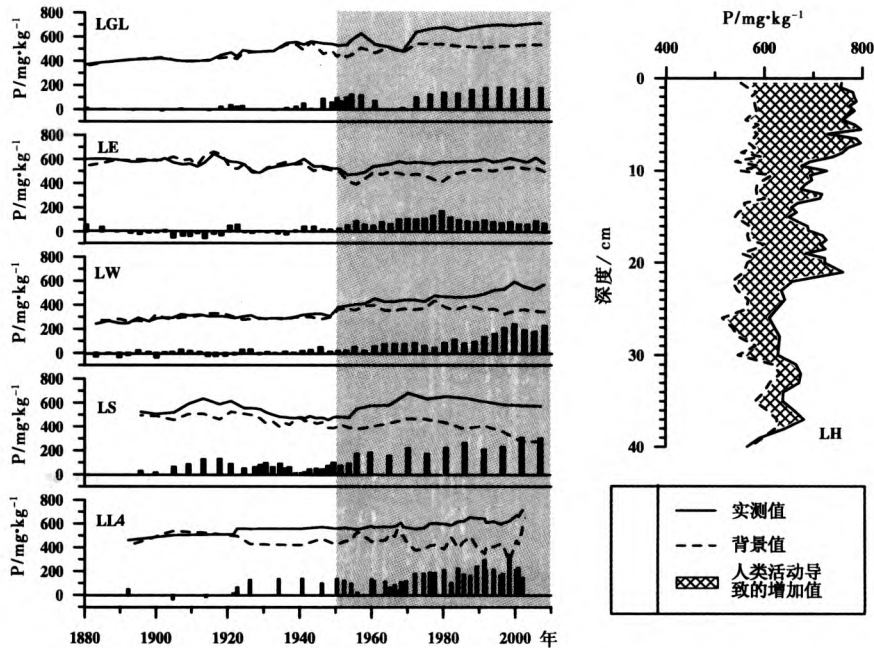


图4 各钻孔沉积物磷浓度和背景值以及由于人类活动导致的磷的增量变化

LH 阴影部分为人类活动导致的磷的增量

Fig.4 Concentration and the background of phosphorus in the sediment cores and its increment resulting from human activities(The shadowed part in the right graph represents the increment of phosphorus concentration in LH sediment core)

究工作,确定了龙感湖地区磷的本底值与 Al, Fe 和 Ti 的关系^[12],结合各钻孔中 Al, Fe 和 Ti 浓度的变化,获得各钻孔磷本底值的变化(图4),磷的实测值与背景值的差值即归结为人类活动导致的磷的增量。结果显示,西部湖区人类活动增加的量大于东部湖区,人类活动引起的磷增加量最大值出现在 LL4 孔 1997 年,达到 298.2 mg/kg。龙感湖有人类活动导致的磷的增量明显增加自 20 世纪 50 年代开始,而增加最快的时期是近 20 世纪 70 年代末期。这一变化趋势在 LL4, LS, LW 和 LGL 钻孔点表现得最为明显,在没有年代序列控制的 LH 孔,近年由于人类活动造成的磷的增量有明显的增加。在 LE 孔,尽管沉积物磷的总浓度近百年变化不大,但磷的背景值在 20 世纪 50 年代后略有下降,表明了来自自然过程的磷的减少,这与 LE 孔所在位置有关,而人类活动造成的磷的增量是上升的。与其他部位不同的是 20 世纪 80 年代以来,LE 孔由人类活动造成的磷的增量呈现小幅下降趋势。20 世纪 50 年代初大量人口迁入龙感湖流域,大规模的围湖造田和开垦丘陵山地,造成了入湖物质包括磷的量的增加,50 年代后期龙感湖上游分别修建水库,外泄的人江通道也修建了闸坝,各孔质量累积速率下降,同时为了提高农作物产量,开始施用磷肥^[12],这些因素就导致了入湖的磷量的增加。20 世纪 70 年代末,龙感湖湖面养殖大力发展,渔民甚至直接在湖面洒磷肥以促进水草生长,这造成了近 30 年沉积物磷浓度明显上升,而 LE 孔所在位置是全湖仅有的无水产养殖区域,人类活动来源的磷较少。

3 结论

沉积部位和物源的变化是决定沉积速率和时间序列上沉积物磷浓度变化特征的重要因素,在龙感湖西北部湖湾,物源主要来自其周围的小流域,沉积速率和磷的累积特征与大湖面地区有明显的差异。因此,利用单一湖泊钻孔,难以反映全湖的沉积物磷累积的过程和特点。龙感湖不同沉积部位近百年来钻孔沉积物为全面了解磷的时空分布特征提供了可能。大湖面范围内的钻孔研究表明,龙感湖在 1950 年前西部湖区沉积速率大于东部,20 世纪 50 年代人类活动(修建水库和闸坝)改变了流域内水系结构,物源受到影响,东部湖区沉积速率大于西部湖区。沉积物磷浓度的空间特征是东部湖区总体上高于西部湖区,在时间序列上近百年来沉积物磷浓度总体上呈上升趋势,20 世纪 50

年代以来随着人类活动的增强,磷浓度上升趋势更为明显,人类活动是造成这一趋势的主要原因。

参考文献(References)

- 1 Kuo S, Lotse G. Kinetics of phosphate adsorption and desorption by lake sediments. *Soil Science Society of America Proceedings*, 1974, 38:50 ~ 54
- 2 Prażka K, Sanders R, Jickells T. Has the role of estuaries as sources or sinks of dissolved inorganic phosphorus changed over time? Results of a K_d study. *Marine Pollution Bulletin*, 1998, 36(9): 718 ~ 728
- 3 Solmp C P, Thomson J, De Lange G J. Enhanced regeneration of phosphorus during formation of the most recent Eastern Mediterranean. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2002, 66(7): 1171 ~ 1184
- 4 Søndergaard M, Jensen J P, Jeppesen E. Retention and internal loading of phosphorus in shallow eutrophic lakes. *The Scientific World*, 2001, 1:427 ~ 442
- 5 De Casabianca M L, Laugier T, Marinho-Soriano E. Seasonal changes of nutrients in water and sediment in a Mediterranean lagoon with shellfish farming activity(Thau Lagoon, France). *ICES Journal of Marine Science*, 1997, 54(5):905 ~ 916
- 6 Fan Chengxin, Zhang Lu, Qu Wenchuan. Lake sediment resuspension and caused phosphate release-A simulation study. *Journal of Environmental Sciences*, 2001, 13(4):406 ~ 410
- 7 Gibson C E, Wang Guoxiang, Foy R H *et al.* The importance of catchment and lake processes in the phosphorus budget of a large lake. *Chemosphere*, 2001, 42(2):215 ~ 220
- 8 Dickman M D, Pu P M, Zheng S C. Some consequences of hypereutrophication and wind-induced mixing for the limnology of Lake Tai in Eastern China. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie*, 2001, 27:3669 ~ 3673
- 9 朱广伟,秦伯强,高 光. 风浪扰动引起大型浅水湖泊内源磷暴发性释放的直接证据. *科学通报*, 2005, 50(1):66 ~ 71
Zhu Guangwei, Qin Boqiang, Gao Guang. Direct evidence of phosphorus outbreak release from sediment to overlying water in a large shallow lake caused by strong wind wave disturbance. *Chinese Science Bulletin*, 2005, 50(6):577 ~ 582
- 10 范成新,张 路,杨龙元等. 湖泊沉积物氮磷内源负荷模拟. *海洋与湖沼*, 2002, 33(4):370 ~ 378
Fan Chengxin, Zhang Lu, Yang Longyuan *et al.* Simulation of internal loadings of nitrogen and phosphorus in Lake. *Oceanologia & Limnologia Sinica*, 2002, 33(4):370 ~ 378
- 11 羊向东,王苏民,沈 吉等. 近 0.3ka 来龙感湖流域人类活动的湖泊环境响应. *中国科学(D 辑)*, 2001, 31(12):1031 ~ 1038
Yang Xiangdong, Wang Sumin, Shen Ji *et al.* Lacustrine environment responses to human activities in the past 300 years in Longgan Lake catchment, South East China. *Science in China (Series D)*, 2002, 45(8):709 ~ 718
- 12 吴艳宏,王苏民. 龙感湖沉积物中人类活动导致的营养盐累积通量估算. *第四纪研究*, 2006, 26(5):843 ~ 848
Wu Yanhong, Wang Sumin. Estimate of anthropogenic nutrient element fluxes recorded in lacustrine sediments: A case study in Longgan Lake. *Quaternary Sciences*, 2006, 26(5):843 ~ 848
- 13 吴艳宏,王苏民,夏威岚等. 近代湖泊沉积物球状碳颗粒(SCP)定年. *科学通报*, 2005, 50(7):703 ~ 707
Wu Yanhong, Wang Sumin, Xia Weilan *et al.* Dating recent lake

- sediments using spheroidal carbonaceous particle (SCP). *Chinese Science Bulletin*, 2005, 50(10): 1016 ~ 1020
- 14 吴艳宏, 刘恩峰, 邢海健等. 人类活动影响下的长江中游龙感湖近代湖泊沉积年代序列. *中国科学(D辑)*, 2010(出版中)
Wu Yanhong, Liu Enfeng, Bing Haijian *et al.* Geochronology for recent lake sediment from Longgan Lake, middle reach of the Yangtze River, considering disturbance of human activities. *Science in China(Series D)*, 2010(in press)
- 15 刘恩峰, 羊向东, 沈吉等. 近百年来湖北太白湖沉积通量变化与流域降水量和人类活动的关系. *湖泊科学*, 2007, 19(4): 407 ~ 412
- Liu Enfeng, Yang Xiangdong, Shen Ji *et al.* Sedimentary flux of Lake Taibai, Hubei Province and correlations with precipitation and human activities in its catchment during the last century. *Journal of Lake Science*, 2007, 19(4): 407 ~ 412
- 16 Gong Daoyi, Zhu Jinhong, Wang Shaowu. Flooding 1990s along the Yangtze River, has it concern of global warming? *Journal of Geographical Sciences*, 2001, 11: 43 ~ 44

SPATIAL AND TEMPORAL DISTRIBUTION OF PHOSPHORUS IN THE SEDIMENTS OF LONGGAN LAKE OVER THE PAST CENTURY AND ITS RELATION TO HUMAN ACTIVITIES

Wu Yanhong^① Bing Haijian^{②③} Liu Enfeng^② Yang Xiangdong^② Zhou Jun^①

(^①Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041; ^②State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008;

^③Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

Abstract

Phosphorus in lake sediments is generally regarded as an internal nutrient source that will cause aquatic plant flourishing and algae blooming when it is released into the water column due to changes in the lake environment (e. g. changes in pH and Eh). It is therefore crucial to understand the process of phosphorus accumulation in lake sediments for the restoration and protection of lakes. Longgan Lake, a large shallow lake, is located in the middle reaches of the Yangtze River. Previous studies on nutrient accumulation and the associated human impacts were confined to the northwestern bay of the lake, which cannot demonstrate the overall status of trophic conditions in the lake. Six sediment cores were recovered from different parts of Longgan Lake in this study and analyzed for ²¹⁰Pb activity and phosphorus content to reveal the spatial and temporal distribution of phosphorus in the lake sediments. The data indicate that the sedimentation rate (SR) in the eastern lake is higher than in the western part, and SR in the northern lake is slightly higher than in the southern part. The phosphorus in the lake sediments is more abundant in the eastern lake than in the western part, presumably denoting differences in the phosphorus content in source materials. The average phosphorus content in 52 soil and rock samples collected from the north bank of the lake is 437.2 mg/kg, while 26 soil samples from the Taibai Lake region yields an average phosphorus content of 383.3 mg/kg, suggesting that different sources of materials transported to the lake result in the difference in the spatial distribution of phosphorus in the lake sediments. In the later 1950s, reservoirs were constructed in the upper reaches of lakes in China, dams were built in the lower reaches, and lacustrine plains were reclaimed. Such intensive human activities altered the hydrological structure of the Longgan Lake catchment, leading to changes in the nature and supply of source materials. Phosphorus in the lake sediments has exhibited an obvious trend of increases in the content since 1950s, implying the effect of human activities on the phosphorus content. The increment of the phosphorus content resulting from human activities (anthropogenic phosphorus, AP) was estimated by subtracting the background content, calculated according to the relationship between the contents of Al, Fe, Ti and P in the samples, from the measurements. As a result, AP shows greater increases in the western lake than in the eastern part. Since 1950s, AP has increased due to the utilization of phosphoric fertilizer, and the increment has been heightened since the end of 1970s when phosphoric fertilizers were directly used to improve the growth of aquatic plants in the lake for fishery. AP reached its maximum of 298.2 mg/kg in LL4 sediment core around 1997.

Key words Longgan Lake, sediments, phosphorus, human activity