

湖北梁子湖近代沉积记录对人类活动的响应

顾延生^{1,2}, 邱海鸥³, 谢树成¹, 黄俊华¹, 周修高¹

1. 中国地质大学生物地质与环境地质教育部重点实验室, 湖北武汉 430074

2. 中国地质大学生态环境研究所, 湖北武汉 430074

3. 中国地质大学材料科学与化学工程学院, 湖北武汉 430074

摘要: 为了研究人类活动背景下的湖泊生态响应过程和机制, 分析人类活动对湖泊富营养化的贡献, 在²¹⁰Pb 计年和历史事件记载基础上, 通过梁子湖沉积物水生生物遗存和色素分析重建了梁子湖地区过去 100 多年来湖泊生态系统演化过程. 沉积物色素和水生生物遗存组合带的变化表明梁子湖营养演化具有 5 个阶段: 过去 100 多年梁子湖地区经历了生态环境良好的贫营养化期(1885—1902 A. D.)、轻度富营养化期(1902—1964 A. D.)、中度富营养化期(1964—1988 A. D.)、富营养化期(1988—1998 A. D.)、中度富营养化期(1998—2003 A. D.). 水生生物遗存随着湖泊富营养化的发生而呈现一定的分布特征, 对富营养化敏感的奥古茨藻、荇菜、角果藻、纹沼螺、表壳虫等逐步减少. 通过湖泊演化阶段与区域人类活动重大阶段的联合对比研究发现随着人类活动的增强及对湖泊生态的持续干扰, 湖泊生态演化呈现明显的阶段性, 湖泊富营养化的发生与流域强烈的人类活动如围垦与农业活动带来的营养物质输入有着直接联系, 湖泊生态环境演化对重大人类活动事件具有响应性. 本研究对于认识湖泊生态环境演化与人类活动的关系、整治湖泊环境具有重要的指导意义.

关键词: 梁子湖; 近代沉积物; 色素; 水生生物遗存; 富营养化.

中图分类号: X141

文章编号: 1000-2383(2008)05-0679-08

收稿日期: 2008-01-04

Lake Sediment Records for Eutrophication History in Response to Human Activity during Recent Century in the Liangzi Lake, Hubei Province

GU Yan-sheng^{1,2}, QIU Hai-ou³, XIE Shu-cheng¹, HUANG Jun-hua¹, ZHOU Xiu-gao¹

1. Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology of Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Institute of Ecology and Environment, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

3. Faculty of Material Science and Chemical Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: In order to understand the response of lake ecosystem to the human activity, recent core sediments are employed to explore eutrophication history of the Liangzi Lake, Hubei Province. Pigments and hydrobiological remains are employed to reconstruct lake ecosystem changes in the past 100 years on the basis of ²¹⁰Pb dating and historical document records. Sediment pigments have specific environmental indication for eutrophication occurrence attributed to rising concentration of chlorophyll & derivatives (CD), total carotene (TC), Myxoxanthophyll (Myx) and Oscillaxanthin (Osc). Pigment assemblage zones together with hydrobiological remains show that Liangzi Lake ecosystem has undergone five distinct stages, corresponding to early poor eutrophication, fine ecological environment (1885—1902 A. D.), slight eutrophication (1902—1964 A. D.), moderate eutrophication (1964—1988 A. D.), eutrophication (1988—1998 A. D.), moderate eutrophication (1998—2003 A. D.), respectively. The amount of some hydrobiological remains, especially *Zammichellia* sp., *Najas oguraensis*, *Nymphoides peltatum*, *Parafossarulus striatulus*, *Corbicula fluminea* and *Arcella* sp., which are sensitive to eutrophication occurrence, change in inverse proportion to pigment concentration. Comparison of lake eutrophication history with human activity shows that eutrophication occurrence has a strong relationship with human interference such as intensive recla-

基金项目: 国家自然科学基金项目 (Nos. 40525008, 40502015); 中国博士后科学基金 (No. 2005038555).

作者简介: 顾延生 (1970—), 男, 副教授, 主要从事第四纪全球变化与生态响应研究. E-mail: yansheng_gu@yahoo.com.cn

mation and flux of agricultural nutrient loss. Lake ecosystem evolution is controlled by major human activities. Our results are significant for better understanding of the interaction between the human activities and the change of lake ecosystem, which facilitates the regulation of lake environment management.

Keywords: Liangzi Lake; recent sediments; pigment; hydrobiological remains; eutrophication.

自“人类世”(anthropocene)提出以来,人类活动的环境效应研究已成为当代地球表层系统科学研究的重要内容之一(Crutzen and Stoermer, 2000; 刘东生, 2004, 2006; 陈之荣, 2006)。湖泊沉积物能够记录人类和自然作用的信息, 蕴含丰富的物理、化学、生物信息, 利用湖泊沉积物重建人类活动的影响研究显得尤为重要(张振克等, 2000; 羊向东等, 2001), 长江中游地区拥有独特而丰富的浅水型湖泊资源(刘建康和黄祥飞, 1997; 王苏民和奚鸿身, 1998), 近百年来在人类活动的强烈冲击下湖泊生态系统从面积、数量、群落结构、生物多样性、营养状态等方面正在发生深刻的变化(蔡述明和周新宇, 1996; 杨汉东和蔡述明, 1997), 研究人类活动影响背景下的湖泊生态演化, 尤其是从沉积物中发掘生态环境信息来重建过去缺少监测记录下的湖泊生态的原始特征具有重要意义。

梁子湖位于武汉市东南部, 又名樊湖, 古称鄂渚, 横跨鄂州、武昌, 为湖北省第二大淡水湖, 是距长江南岸不远的洼地湖。作为武昌鱼的原产地、母亲湖, 以水质优良、生物多样性丰富而成为长江中游地区典型的湿地景观之一, 已列入《中国湿地保护行动计划》, 但近代以来由于人类活动的增强, 湖区自然生态环境受到了严重干扰, 湖泊面积快速减少, 泥沙淤积明显, 近期监测报告表明, 梁子湖现有水面已有三分之一不能直接饮用, 整体呈中营养状态, 梁子湖水体和表层沉积物营养元素氮的含量、分布和迁移转化、湖泊的营养状况对生产力有着重大影响(熊汉锋等, 2005), 环境地球化学研究表明近代梁子湖重金属沉积与人类活动产生的重大环境污染事件相关(盛继超等, 2004), 水生植被和湿地生物多样性调查证实近期梁子湖水生生物发生了巨大变化(王卫民等, 1994; 金刚, 1999; 葛继稳等, 2003, 2004)。有人报道如何从沉积物水生生物遗存和色素记录来评价过去缺少监测记录下的人类活动对湖泊生态系统的影响。为了研究人类活动背景下的湖泊生态响应过程和机制、更好的认识历史时期以来人类活动对湖泊生态的影响过程, 分析人类活动和富营养化发生对湖泊生态系统的影响, 本文通过梁子湖沉积物水

生生物遗存和色素分析重建了梁子湖地区过去 100 多年来湖泊生态系统的演化过程, 发现湖泊沉积记录的环境演化阶段对历史时期重大人类活动事件具有良好的响应性。

1 样品采集与处理

自 2002 年 11 月—2003 年 4 月于东梁子湖中心($30^{\circ}14'30''N$, $114^{\circ}31'12''E$)利用仿瑞典重力取样器采取了 41 cm 湖泊表层沉积物, 分别为沉积、水生生物遗存和色素样品, 各种样品野外现场按 1 cm 间隔分样, 塑料袋密封(图 1)。

1.1 钻孔沉积物岩性

根据沉积物的岩性和颜色自上而下分为 4 层, 主要特征为: 0~2 cm, 黄色絮状沉淀物; 2~22 cm, 青灰色富含植物碎片淤泥; 22~27 cm, 青灰色淤泥, 含少量植物茎叶碎片; 27~41 cm, 浅灰色淤泥, 含少量植物根茎。

1.2 相关测试与处理方法

1.2.1 ^{210}Pb 测试 采样点水深 4.2 m, 运用重力采样器获取 ^{210}Pb 样品岩芯 40 cm, 40 °C 恒温烘干后

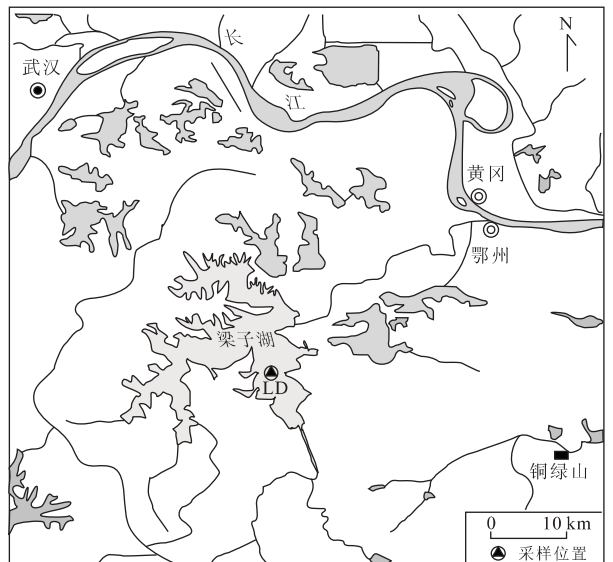


图 1 梁子湖采样示意图

Fig. 1 Sketch map showing core site in the Liangzi Lake

再称干重,随后研磨至60目左右供测试, ^{210}Pb 样品测试在华东师范大学河口海岸国家重点实验室用EG&G Ortec公司生产高纯锗低本底 γ 能谱分析测定,测年采用的是 γ 能谱法,主要步骤参照Appleby *et al.* (1986),具体方法为按一定间隔挑选研磨的样品,每个样品称取3g左右,装入直径为1cm的圆柱状样品管中,装样高度为4cm,蜡封3周后用 γ 射仪进行测量,利用46.5 keV、351.9 keV特征峰作为总 ^{210}Pb 和补偿 ^{210}Pb 的比活度计算,二者差值即为过剩 ^{210}Pb 比活度。

1.2.2 色素提取 本实验采用Swain(1985)和瞿文川等(2000)的方法,首先称取新鲜沉积物样品约5g自然风干,测定含水量。粗磨后称取约10g,进行样品烧失量(有机质)含量分析。再称取新鲜沉积物样品约10g置于塑料离心管中,加入90%丙酮20~30ml,放置8~10h后,在5000 v/min速度下离心2~3min,过首先取6克样品于50mL离心管,加30mL 90%丙酮,摇匀,静置8~10h,以3000 r/min离心10~15min,将清液过滤至100mL容量瓶,再加30mL 90%丙酮至离心管,反复提取3次,将提取液移到容量瓶,最后以90%丙酮定容。取上述提取液10mL,用紫外可见分光光度计在一定的波长范围进行扫描,分别测定叶绿素(CD)、总胡萝卜素(TC)、颤藻蓝素(Osc)和蓝藻叶黄素(Myx)。

1.2.3 水生生物遗存提取与鉴定 首先,将相同体积(26 cm³)的沉积物样品共计41块经过160目

铜筛水洗,自然晾干后于双目实体显微镜下挑选,获得一些水生高等植物(如眼子菜科角果藻 *Zannichellia* sp.、龙胆科苻菜 *Nymphoides peltatum*、茨藻科奥古茨藻(*Najas oguraensis*)繁殖器官(果实或种子)、枝角类(如多刺裸腹溞 *Monia macrocopa*)的卵鞍、腹足类(纹沼螺 *Parafossarulus striatulus*)的口盖、双壳类(如黄蚬 *Corbicula fluminea*)的贝壳、有壳变形虫(如表壳虫 *Arcella* sp.)和介形虫类(如粗糙土星介 *Ilyocypris salebrosa*、锯齿玻璃介 *Candona holzkampfi*、小玻璃介未定种 *Candoniella* sp.、纹边柔星介 *Cyprois marginata*)的介壳等多门类动植物遗存,水生植物、水生无脊椎动物的计数单位均为颗粒/26 cm³,具体鉴定参考陈受忠(1956)、王惠基(1965)、刘月英等(1979)、王宁珠等(1980)、黄成彦等(1996)和禹娜等(2005)。

2 ^{210}Pb 结果与沉积计年

补偿 ^{210}Pb 比活度为28.10~43.61 Bq/kg,总 ^{210}Pb 比活度变化于44.4~327.87 Bq/kg,过剩 ^{210}Pb 比活度介于6.79~284.81 Bq/kg,表层过剩 ^{210}Pb 比活度的降低可能与沉积物表层混合作用及 ^{222}Rn 的丢失有关(万国江,1997)(表1)。采用恒定补给速率(CRS)模式计算出该段沉积物平均沉积速率为3.5 mm/a,按此推算41cm深度年代为1885年左右,整个柱样反映了过去100多年来的沉积记录。

表1 LD柱样 ^{210}Pb 比活度和年龄垂向分布

Table 1 Vertical distribution of ^{210}Pb activities and ages in core LD

样号	深度(cm)	总 ^{210}Pb (Bq/kg)	补偿 ^{210}Pb (Bq/kg)	过剩 ^{210}Pb (Bq/kg)	年龄(a)
LD-02	1~2	319.97±8.42	35.16±1.59	284.81±8.57	0.00
LD-03	2~3	217.39±7.93	32.61±1.68	184.78±8.11	1.26
LD-05	4~5	327.87±10.09	43.14±2.03	284.73±10.29	2.17
LD-06	5~6	319.00±8.78	35.84±1.70	283.15±8.95	5.99
LD-08	7~8	305.58±8.92	28.10±1.59	277.49±9.06	8.03
LD-10	9~10	193.99±7.93	38.04±1.88	155.95±8.15	12.78
LD-12	11~12	188.87±6.96	37.77±1.65	151.10±7.15	16.66
LD-15	14~15	151.79±7.44	36.14±1.85	115.65±7.67	21.93
LD-17	16~17	100.11±5.66	42.90±1.79	57.20±5.94	30.52
LD-20	19~20	89.49±6.05	29.83±1.69	59.66±6.28	35.43
LD-23	22~23	77.16±5.15	43.61±1.77	33.55±5.45	41.85
LD-25	24~25	56.33±5.16	33.80±1.68	22.53±5.43	51.11
LD-28	27~28	63.72±5.35	38.94±1.78	24.78±5.64	57.23
LD-30	29~30	48.08±4.94	41.21±1.75	6.87±5.24	71.24
LD-32	31~32	58.64±4.82	34.49±1.73	24.15±5.12	81.47
LD-35	34~35	44.14±4.04	37.35±1.65	6.79±4.36	101.00

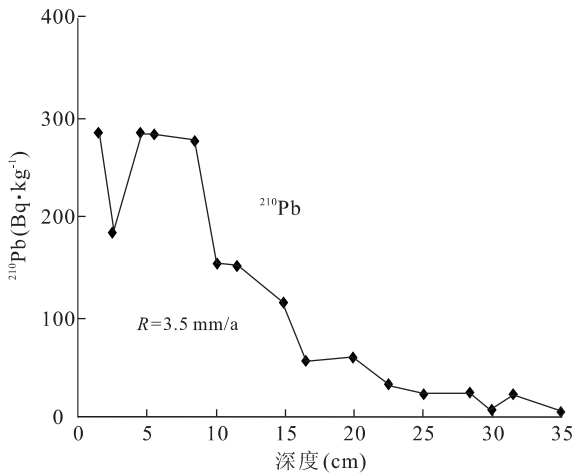


图 2 LD 孔沉积物 ^{210}Pb 活度随深度分布

Fig. 2 Vertical distribution of ^{210}Pb activities in core LD

从计算的沉积速率和 ^{210}Pb 活度随深度分布情况可以发现早期的(41~15 cm 段) 湖泊平均沉积速率 $< 2.5 \text{ mm/a}$,但自 20 世纪 80 年代以来(15~0 cm) 梁子湖沉积速率呈较快的上升趋势(图 2),平均沉积速率大于 4.0 mm/a ,梁子湖地区湖泊沉积速率的上升与湖周边人口的快速增加、农业开垦带来的水土流失有着密切的关系。

3 沉积物色素、水生生物遗存与湖泊生态演化

3.1 沉积物色素组成、水生生物遗存及其研究意义

本文初步尝试运用色素组成和水生生物遗存组合联合分析湖泊生态演化取得了较好的成果,表明该方法在古生态研究中的潜力。

叶绿素及其衍生物(CD)和总类胡萝卜素(TC)的含量可表示湖泊初始生产力水平。蓝藻叶黄素(Myx)指示浮游生物中蓝藻科的含量,为浮游生物中占主导地位的蓝藻提供重要的沉积依据;颤藻黄素(Osc)仅存在于颤藻科的二个属(*Oscillaria* 和 *Arthrospira*)中,而 *Oscillaria* 被认为是湖泊富营养化状况的指标,可以揭示湖泊富营养状况的时序。此外,Osc 的浓度升高与人为富营养化作用共存,它又被作为判定人类活动强度与开始时间的重要依据之一(瞿文川等,2000)。本次研究测得各色素的含量随深度的变化情况如下:叶绿素(CD)含量介于 $0.1 \sim 0.476 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 、总胡萝卜素(TC)含量介于 $0.1 \sim 0.422 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 、颤藻黄素(Osc)含量介于

$35.98 \sim 369.4 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 、叶黄素(Myx)含量介于 $2.269 \sim 31.01 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,各色素组成由早到晚呈上升趋势(图 3)。

现代湖泊富营养化研究表明随着水体营养水平的不断提高,水生植物和浮游植物发生响应,种类组成和群落结构发生变化,江汉湖群许多浅水湖泊水生植被的优势种沉水植物衰退与浮游植物大量繁殖、数量增加、水质恶化、透明度下降和富营养化水体水下光照不足等有关(严国安等,1997;邱东茹等,1997;邱东茹和吴振斌,1998),同时小型浮游动物如原生动物数量的增加十分明显(刘建康和黄祥飞,1997)。如何运用“将今论古”的原理来认识人类活动背景下的过去湖泊生态演化过程?本次研究初步发现沉积物中保存了丰富的水生生物遗存,可见水生高等植物如角果藻、奥古茨藻、荇菜等,表壳虫、腹足类纹沼螺和枝角类多刺裸腹溞及介形虫类等均较发育,通过统计分析和组合带的研究发现水生生物演化具有明显的阶段性,与色素的组合带具有很好的耦合性(图 3)。

3.2 湖泊环境演化与人类活动分析

依据各色素指标、水生生物遗存于剖面上变化特征和人类活动的阶段性将研究区湖泊生态演化由早到晚分为 5 个阶段(图 3):

V 阶段:41~35 cm(1885—1902 A. D.),湖泊水生生物发育,本阶段各色素水平均低,湖泊初级生产力水平低,为水生生物繁盛阶段,沉水植物出现了角果藻 *Zannichellia* sp.、奥古茨藻 *Najas oguraensis*、荇菜 *Nymphoides peltatum* 等,含量大于 10 颗/ 26 cm^3 ,原生动物表壳虫 *Arcella* sp.、腹足类纹沼螺 *Parafossarulus striatulus* 等含量均大于 5 颗/ 26 cm^3 ,表明当时水体环境优良,湖泊生态系统稳定,生物多样性丰富,历史文献《武昌县志》载“县境所隶,水居其七,山二,土田一耳”反映当时人类活动较弱,农业耕作活动对湖泊生态影响较小。

IV 阶段:35~18 cm(1902—1964 A. D.),与 V 阶段相比,湖泊水生生物含量开始降低,本阶段各色素水平均低,说明湖泊初级生产力水平低,总体处于轻度富营养化,但 26 cm(1948 A. D.)处 CD、TC、Osc 和 Myx 有上升过程,反映了一次水体中度富营养化过程,可能与当时较强的人类农业活动有关。本阶段水生高等生物含量呈不断减少的趋势反映了湖泊生态系统的变化,这些与梁子湖区自晚清以来人类开发活动的增强有关,如民国 14 年(1925 年)

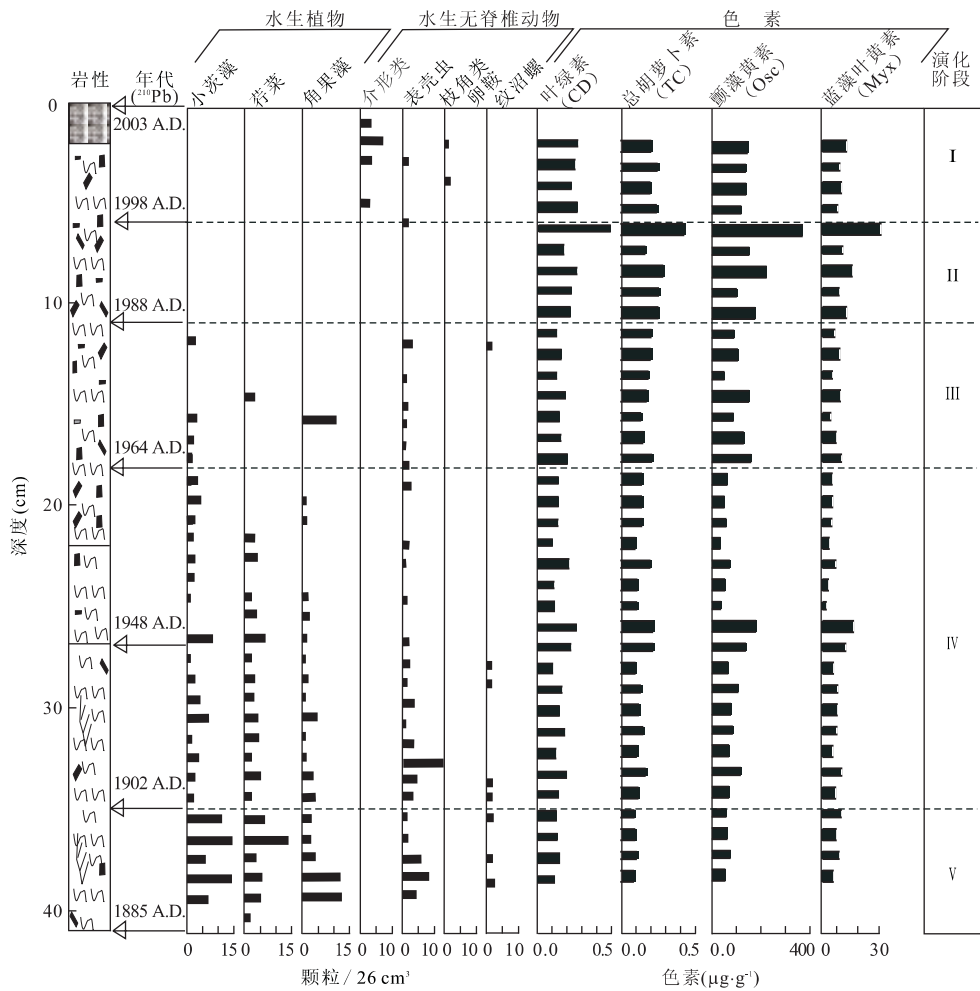


图 3 梁子湖钻孔沉积物水生生物遗存、色素分布与环境变化

Fig. 3 Hydrobiological remains and pigments distribution and indication for environmental changes in core sediments

樊口闸建成后招募外地人垦殖(武昌县志编纂委员会, 1989), 从此江湖隔断、围湖造田愈演愈烈, 研究区土地变化成“二山、五水、三分田”(鄂州地方编纂委员会, 2000), 尤其是 20 世纪中叶以来鸭儿湖农场、柯秩南农场建设带来的营养物质的输入和以武汉钢铁公司为代表的武汉地区现代工业活动产生的金属沉积对湖泊生态结构的转变产生了重要的影响(盛继超等, 2004)。

Ⅲ阶段: 18~11 cm(1964—1988 A. D.), 此阶段水生高等植物含量快速降低, 各色素水平开始较快的上升, 总体处于中度富营养化, 尤其是指示富营养化的 Osc 指标上升较高, 反映该阶段湖泊初级生产力水平较 IV 阶段明显上升, 且于 11~15 cm 处过剩²¹⁰Pb 沉积通量出现明显增大, 显示大量陆源物质输入, 沉积速率加快, 水体开始发生中度富营养化, 沉积记录的湖泊生态的变化反应了湖区人类活动的

增强, 上世纪 60 年代后, 由于“以粮为纲”的影响, 湖区围湖造田、毁林开荒、化肥、农药大量使用等严重破坏了生态环境, 特别是 1966—1979 年大规模的围垦使梁子湖区面积急剧缩小, 由 500 km² (20 世纪 50 年代) 变为 256.32 km² (1979 A. D.) (金伯欣, 1992), 湖区大规模的农业活动带来的水土流失、营养物质输入不仅导致湖泊沉积速率加快、水体富营养化, 而且梁子湖周边的葛店化工厂、武汉化工厂、建汉化工厂等直接将废水排入鸭儿湖, 直接导致上述部分高等水生生物消失, 直至 1978 年鸭儿湖三级处理场建成后才有所改善(湖北省地方编纂委员会, 1990), 本次研究结果发现该时期湖区大规模的工、农业活动直接破坏了湖区生态环境。

Ⅱ阶段: 11~6 cm(1988—1998 A. D.), 各色素水平均达最高含量水平, 总体处于富营养化, 水生生物不甚发育, 由于本次沉积物分析量较小, 故未发现

生物遗存,同时说明该阶段湖泊水体环境恶化,不利于水生生物(如沉水类、浮叶类、腹足类等对水体污染敏感的类型)生存,水体环境的变化直接受控于湖区重大人类活动事件如农业大量施用化肥带来的营养物质输入、植被破坏带来的水土流失、湖周边化工厂污水排放、金牛港上游矿山开挖废水的排放等。

I 阶段:6~0 cm(1998—2003 A. D.),由于 20 世纪 80 年代以来梁子湖湿地自然保护区进行大力度的生态环境保护,加之 1998 年长江流域发生的特大洪水对湖水具有稀释作用,各色素水平较 II 阶段降低,但指示富营养化的 O_{sc} 指标仍较高,总体情况同 III 阶段,总体仍处于中度富营养化。该阶段沉积记录表明禁止围垦对水体富营养化减轻具有贡献,但耐污染的介形类的出现和快速的金属沉积似乎说明近期梁子湖区生态环境危害因素依然存在,湖区工业的大发展,给梁子湖带来了另一不容忽视的问题,工业排污、排费仍对湖泊生态产生不良影响。

4 结论

利用湖泊沉积物水生生物遗存、色素和历史记录来评价人类活动对湖泊生态系统的影响、认识缺少监测记录下的湖泊生态演化过程具有重要的意义。近代湖泊沉积和历史记录表明梁子湖地区自晚清以来由于持续增强的人类活动,湖泊遭到空前的蚕食,建国后达到顶峰,湖泊面积严重萎缩,直至 1980 年才得到控制。围垦活动破坏了原有的湿地景观,给湖区生态环境带来了巨大的影响,如农业大量使用化肥带来的水体营养度提高、湖周边毁林开荒带来的泥沙淤积等,加之建国后的工业大发展也给梁子湖区带来了不容忽视的问题,大规模化工、采矿冶炼等活动产生的污染物直接影响了湖泊水生生态系统,本文的研究证实湖泊生态环境演化对湖区重大人类活动事件具有敏感性和响应性,随着人类活动的增强及对湖泊生态的持续干扰,湖泊环境演化呈现明显的阶段性。研究人类活动背景下的湖泊生态响应过程和机制、更好的认识历史时期以来人类活动对湖泊生态的影响过程,分析人类活动和富营养化的发生对湖泊生态系统的影响,对于认识环境演化与人类活动的关系、保护和整治湖泊环境具有现实指导意义。

致谢:马振东、蒋敬业教授和苏秋克、闭向阳、张

立原博士参与野外采样,色素测试得到汤志勇教授和杨明博士的帮助, ^{210}Pb 测试得到华东师范大学河口海岸国家重点实验室张卫国教授的大力支持,水生生物标本的鉴定得到中科院水生所冯伟松研究员和杨军博士的帮助,在此一并致谢。

References

- Appleby, P. G., Nolan, P. J., Gifford, D. W., et al., 1986. ^{210}Pb dating by low background gamma counting. *Hydrobiologia*, 143: 21—27.
- Cai, S. M., Zhou, X. Y., 1996. The impact of human activities on the wetland ecological system in the middle reaches of the Changjiang River. *Scientia Geographica Sinica*, 6 (2): 129—136 (in Chinese with English abstract).
- Chen, S. Z., 1956. Notes on Some ostracoda from Lake Donghu, Wuchang. *Acta Hydrobiologica Sinica*, (2): 314—322 (in Chinese).
- Chen, Z. R., 2006. Anthroposphere • no sphere • anthropocene. *Quaternary Sciences*, 26(5): 872—878 (in Chinese with English abstract).
- Crutzen, P. J., Stoermer, E. F., 2000. The “Anthropocene”. *IGBP Newsletter*, 41: 17—18.
- Editor Committee of Ezhou City annals, 2000. Ezhou City annals. China Press, Beijing, 210—230 (in Chinese).
- Editor Committee of Hubei Annals, 1990. Annals of Hubei Province—Great events. Hubei People Press, Wuhan, 54—82, 730—731 (in Chinese).
- Editor Committee of Wuchang Annals, 1989. Wuchang County annals. Wuhan University Press, Wuhan, 79—83 (in Chinese).
- Ge, J. W., Cai, Q. H., Liu, J. K., et al., 2003. The present situation and evaluation of plant diversity of Lake Liangzihu wetland. *China Environmental Science*, 23(5): 451—456 (in Chinese with English abstract).
- Ge, J. W., Cai, Q. H., Li, J. J., et al., 2004. On aquatic vegetation succession of Lake Liangzihu from 1955 to 2001. *Journal of Beijing Forestry University*, 26(1): 14—20 (in Chinese with English abstract).
- Huang, C. Y., Kong, Z. C., Pu, Q. Y., 1996. Sedimentary of Lake Kunming in the Summer Palace during past 3 500 years. Ocean Press, Beijing, 69—90.
- Jin, B. X., 1992. Integrated study on lakes in the Jiangnan plain. Hubei Science and Technology Press, 186—199, Wuhan (in Chinese).
- Jin, G., 1999. State of submersed vegetation resources in Lake Liangzi, Lake Niushan, and Lake Bao'an. *Acta*

- Hydrobiologica Sinica*, 23(1):87—89 (in Chinese with English abstract).
- Liu, J. K., Huang, X. F., 1997. Study on Donghu Lake ecology. *Environmental Science*, 18(1): 51—53 (in Chinese).
- Liu, D. S., 2004. Demand of anthropocene study in the new stage of geoscience: In honor of late geologist Huang Jiqing for his innovative spirit. *Quaternary Sciences*, 24(4): 369—378 (in Chinese with English abstract).
- Liu, D. S., 2006. A working hypothesis is basic to scientific innovation. *Quaternary Sciences*, 26(5): 673—677 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Y. Y., Zhang, W. Z., Wang, Y. X., et al., 1979. Annals of Chinese economical animals: Freshwater mollusk. Science Press, Beijing, 8—64 (in Chinese).
- Palumbi, S. R., 2001. Humans as the world's greatest evolutionary force. *Science*, 293: 1786—1790.
- Qiu, D. R., Wu, Z. B., Deng, J. Q., et al., 1997. Effects of overlying water and sediment from Donghu Lake of Wuhan on the growth of *Potamogeton maackianus* A. Benn. *Journal of Plant Resources and Environment*, 6(4): 45—49 (in Chinese with English abstract).
- Qiu, D. R., Wu, Z. B., 1998. Ecological studies on aquatic macrophytes in Lake Donghu of Wuhan—III Feasibility for rehabilitation of submerged macrophytes in the lake. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 7(1): 42—48 (in Chinese with English abstract).
- Qu, W. C., Wu, R. J., Wang, S. M., et al., 2000. Sedimentary pigments and its environmental signification of East Juyanhai in Inner Mongolia since the past 2 600 years. *Acta Sedimentologica Sinica*, 18(1): 13—17 (in Chinese with English abstract).
- Sheng, J. C., Liu, J. H., Qi, S. H., 2004. Research on heavy metal content of recent-year sediments in Liangzi Lake. *Safety and Environmental Engineering*, 11(4): 9—13 (in Chinese with English abstract).
- Swain, B., 1985. Measurement and interpretation of sedimentary pigment. *Freshwater Biology*, 15: 53—75.
- Wan, G. J., 1997. ²¹⁰Pb dating for recent sedimentation. *Quaternary Sciences*, (3): 230—239 (in Chinese with English abstract).
- Wan, G. J., Chen, J. A., Xu, S. Q., et al., 2004. Abrupt growth of ²¹⁰Pb concentration: Indication for lake productivity, an example from Chenhai Lake. *Science in China (Ser. D)*, 34(2): 154—162 (in Chinese).
- Wang, H. J., 1965. Note on some opercula of the Cenozoic Gastropoda from in Jiangsu. *Acta Palaeontologica Sinica*, 13(4): 618—625 (in Chinese with English abstract).
- Wang, N. Z., Zhang, S. F., Huang, R. H., et al., 1980. Atlas of Chinese hydrophytic vascular plants. Hubei People Press, Wuhan, 2—310 (in Chinese).
- Wang, S. M., Dou, H. S., 1998. Lakes in China. Science Press, Beijing, 1—5 (in Chinese).
- Wang, W. M., Yang, G. R., Fan, Q. X., et al., 1994. Aquatic vegetation in Liangzihu Lake. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 13(3): 281—290 (in Chinese with English abstract).
- Xiong, H. F., Wang, Y. H., Tan, Q. L., et al., 2005. Seasonal dynamics of nitrogen in water and release of nitrogen from sediment in Liangzihu Lake. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 24(5): 500—503 (in Chinese with English abstract).
- Yan, G. A., Ma, J. M., Qiu, D. R., et al., 1997. Succession and species replacement of aquatic plant community in East Lake. *Acta Phytocologica Sinica*, 21(4): 319—327 (in Chinese with English abstract).
- Yang, H. D., Cai, S. M., 1997. The chemical characteristics of lake sediments in the Jiangnan plain and the relation with the influence of human activities. *Scientia Geographica Sinica*, (4): 323—328 (in Chinese with English abstract).
- Yang, X. D., Wang, S. M., Shen, J., et al., 2001. Lacustrine environment response to human activities in the past 300 years in Longgan Lake catchment, southeast China. *Science in China (Ser. D)*, 31(12): 1031—1038 (in Chinese).
- Yu, N., Zhao, Q. H., Schornikov, E. L., et al., 2005. Recent ostracods from the Taihu Lake. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 22(2): 143—151 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Z. K., Wu, R. J., Zhu, Y. X., et al., 2000. Lacustrine records of human activities in the catchment of Erhai Lake, Yunnan Province. *Scientia Geographica Sinica*, 55(1): 66—74 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 蔡述明, 周新宇, 1996. 人类活动对长江中游湿地生态系统的冲击. *地理科学*, 16(2): 129—136.
- 陈受忠, 1956. 武昌东湖的数种介形类(甲壳动物). *水生生物学集刊*, (2): 314—322.
- 陈之荣, 2006. 人类圈·智慧圈·人类世. *第四纪研究*, 26(5): 872—878.
- 鄂州地方编撰委员会, 2000. 鄂州市志. 北京: 中华书局出版,

- 210—230.
- 葛继稳,蔡庆华,刘建康,等,2003. 梁子湖湿地植物多样性现状与评价. 中国环境科学,23(5):451—456.
- 葛继稳,蔡庆华,李建军,等,2004. 梁子湖水生植被 1955—2001 年间的演替. 北京林业大学学报,26(1):14—20.
- 湖北省地方志编纂委员会,1990. 湖北省地方志·大事志. 武汉:湖北人民出版社,54—82,730—731.
- 黄成彦,孔昭宸,浦庆余,等,1996. 颐和园昆明湖 3 500 余年沉积物研究. 北京:海洋出版社,69—90.
- 金刚,1999. 梁子湖、牛山湖和保安湖沉水植被资源现状. 水生生物学报,23(1):87—89.
- 金伯欣,1992. 江汉湖群综合研究. 武汉:湖北科学技术出版社,186—199.
- 刘建康,黄祥飞,1997. 东湖生态学研究概况. 环境科学,18(1):51—53.
- 刘东生,2004. 开展“人类世”环境研究,做新时代地学的开拓者——纪念黄汲清先生的地学创新精神. 第四纪研究,24(4):369—378.
- 刘东生,2006. 科学工作假说(Working Hypothesis)是科学创新的基础. 第四纪研究,26(5):673—677.
- 刘月英,张文珍,王跃先,等,1979. 中国经济动物志—淡水软体动物. 北京:科学出版社,8—64.
- 邱东茹,吴振斌,邓家齐,等,1997. 武汉东湖湖水和底泥对黄丝草生长的影响. 植物资源与环境,6(4):45—49.
- 邱东茹,吴振斌,1998. 武汉东湖水生植物生态学研究——Ⅲ沉水植被重建的可行性研究. 长江流域资源与环境,7(1):42—48.
- 瞿文川,吴瑞金,王苏民,等,2000. 近 2 600 年来内蒙古居延海湖泊沉积物的色素含量及环境意义. 沉积学报,18(1):13—17.
- 盛继超,刘建华,祁士华,2004. 梁子湖近代沉积物重金属含量研究初探. 安全与环境工程,11(4):9—13.
- 万国江,1997. 现代沉积的²¹⁰Pb 计年. 第四纪研究,(3):230—239.
- 万国江,陈敬安,胥思勤,等,2004. ²¹⁰Pb_{ex} 沉积通量突发增大对湖泊生产力的指示——以程海为例. 中国科学(D 辑),34(2):154—162.
- 王惠基,1965. 江苏新生代腹足类的一些口盖化石. 古生物学报,13(4):618—625.
- 王宁珠,张树藩,黄仁煌,等,1980. 中国水生维管束植物图谱. 武汉:湖北人民出版社,2—310.
- 王苏民,龚鸿身,1998. 中国湖泊志. 北京:科学出版社,1—5.
- 王卫民,杨干荣,樊启学,等,1994. 梁子湖水生植被. 华中农业大学学报,13(3):281—290.
- 武昌县志编纂委员会,1989. 武昌县志. 武汉:武汉大学出版社,79—83.
- 熊汉锋,王运华,谭启玲,等,2005. 梁子湖表层水氮的季节变化与沉积物氮释放初步研究. 华中农业大学学报,24(5):500—503.
- 严国安,马剑敏,邱东茹,等,1997. 武汉东湖水生植物群落演替的研究. 植物生态学报,21(4):319—327.
- 杨汉东,蔡述明,1997. 江汉平原湖泊沉积物的化学特征及其与人类活动的关系. 地理科学,17(4):323—328.
- 羊向东,王苏民,沈吉,等,2001. 近 0.3 ka 来龙感湖流域人类活动于湖泊沉积中的响应. 中国科学(D 辑),31(12):1031—1038.
- 禹娜,赵泉鸿,Schornikov, E. L., 等,2005. 太湖现生介形虫. 微体古生物学报,22(2):143—151.
- 张振克,吴瑞金,朱育新,等,2000. 云南洱海流域人类活动的湖泊沉积记录分析. 地理学报,55(1):66—74.