

2.2 - 28

P512.3

阳澄湖近代沉积物的古湖泊学研究^{*}

吉 磊 朱育新 吴瑞金 项 亮 钱君龙 潘红玺

(中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊沉积与环境开放研究实验室, 南京 210008)

A

摘要 对阳澄湖两个短柱状样进行了地层年代以及各种环境指标分析。结果表明,湖底沉积物由被长期沉积间断所分割的3个岩性层组成:下部层C属再沉积的更新世晚期硬土层;中部层B为全新世沉积;上部层A为近100年以来的表层沉积。对层A的详细分析显示,本世纪以来,特别是70—80年代以来,金属元素、营养元素和色素的沉积通量明显提高,说明湖泊重金属污染和富营养化程度的不断加重。

关键词 古湖泊学, 阳澄湖, 沉积记录, 环境演化, 重金属污染, 富营养化

古湖泊学研究是从长时间尺度进行环境监测的重要方法。本文以阳澄湖为例,用古湖泊学方法,对湖泊沉积物柱状样进行地层年代和物理、化学环境指标分析,探讨湖泊近代沉积物类型、环境演化过程、人类活动对湖泊环境的影响,并以此对评价湖泊环境状况提供科学的依据。阳澄湖位于太湖平原东侧,近十几年来随着湖区工农业生产的快速发展,已造成湖泊一定程度水质污染和富营养化,已到亟待解决的时候^[1]。

阳澄湖面积119.0km²,平均水深1.43m,它由NE向平行分布的三个湖泊组成,包括阳澄东湖、阳澄中湖和阳澄西湖。其中阳澄西湖最深、最小,最大水深4.70m,平均水深1.70m,面积32.01km²。根据笔者1993年对湖泊水质的分析,湖水平均矿化度423.5mg/L,平均pH值8.2,水型属重碳酸钠组II型水,其水质已达轻度污染^[1]。湖底主要由坚硬的黄土物质组成,这在太湖平原普遍存在,统称为“硬土层”。在湖底硬土层之上有一些浅的洼地和河道,被厚20—30cm的现代沉积所充填^[2]。

1 研究材料和方法

1993年5月笔者在野外考察中发现阳澄西湖近代沉积物的厚度最大,厚度可达30—30cm,而阳澄中、东湖的沉积较薄,仅10—30cm,甚至大面积出露硬土层。我们用重力采样器和Livingstone活塞采样器分别在阳澄湖共采集了7个柱状样(图1)。经²¹⁰Pb分析证明,阳澄西湖的2个柱状样YC1孔和YC3孔岩芯保存较好。YC1孔位于西湖的南部,采样点水深3.92m,芯长102cm;YC3孔位于北部,水深4.20m,芯长55cm。

对柱状样进行了年代和各项环境指标分析。¹⁴C年代测定选择样品中有机组分经Li法合成苯,经Wallac Quantulus 1220型低本底液体闪烁谱仪分析。对²¹⁰Pb的比度用²⁰⁹Po作示踪剂,经美国Ortec公司的α-king α谱分析系统测量获得。粒度分析按其粒级组分分别采用

* 江苏省自然科学基金项目(BK93162301)。

来稿日期:1995-12-14;接受日期:1996-04-22。

作者简介:吉磊,男,1960年生,博士,研究员。主要从事古湖泊第四纪地质和全球变化研究,已发表论文30多篇。

RPC-75 型音波振动式全自动筛分仪和 SKC-2000 型光透法粒度分析仪。质量磁化率测试采用 MS₂ 型磁化率仪,工作频率选择低频(0.46kHz)和高频(4.6kHz),并计算出频率磁化率。含水量用 105℃ 烧失量获得。总有机碳采用重铬酸钾容量法(外加热法)。总氮分析采用过硫酸盐氧化—紫外测定法。有机碳¹³C/¹²C 分析采用静态氧化法制备 CO₂ 气体,在 Finnigan Model MAT-251 型质谱仪上测定,以 PDB 为标准。色素含量测定按 Swain 的方法^[3],即用丙酮萃取湿样,在 752 型紫外光栅分光光度计在 665nm 和 448nm 波长处分别测定叶绿素和类胡萝卜素的含量。金属元素分析采用了分级选择溶解方法,分易溶相和总量两部分。易溶相部分预处理是在样品中先后加入 30% 过氧化氢和 6mol/L 盐酸,加热处理。全溶相即采用氢氟酸、高氯酸和盐酸溶解样品。溶液均采用 IL PLASMA-200 型 ICP-AES 仪测定其元素,Pb 和 Cd 的测试采用 GTA-95 型石墨炉原子吸收光谱仪。

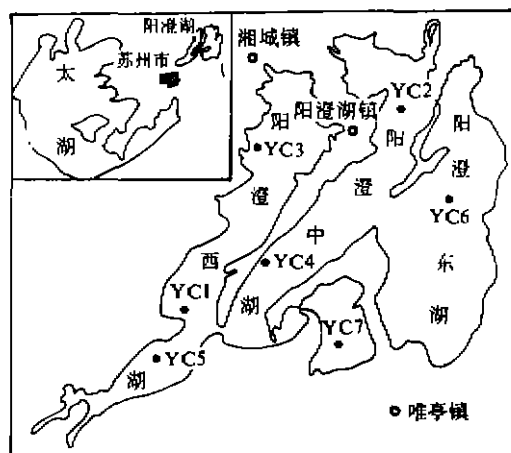


图 1 阳澄湖及柱状样位置

Fig. 1 Core location in Yangcheng Lake

2 沉积物分层和年代

YC1 孔和 YC3 柱状样岩性明显可分为 3 层,并可直接对比:层 A, YC1 孔 0—24cm, YC3 孔 0—11cm, 暗灰色富有机质淤泥;层 B, YC1 孔 24—50cm, YC3 孔 11—26cm, 暗灰色粉砂质粘土;层 C, YC1 孔 50—102cm, YC3 孔 26—55cm, 浅灰色粉砂质粘土,粘性和硬度较大。

层 C 属于硬土层。关于太湖平原硬土层的年代,孙顺才等认为与下蜀黄土顶部相当,形成于晚更新世末冲积平原环境^[2]。¹⁴C 年代测定表明,太湖湖底硬土层之上的淤泥层底部年代为 $11\,240 \pm 130\text{a}^{[2]}$ 。Chang et al. 测得相当层位年代是 $11\,280 \pm 90\text{a}^{[4]}$ 。根据太湖平原一系列浅地层¹⁴C 的对比和分析,认为硬土层形成于 17—23kaB. P. 之间,在苏州地区因古地面长时期侵蚀作用,缺失晚更新世末的沉积^[3]。因此,柱状样中层 C 当属晚更新世晚期沉积无疑。

笔者取 YC1 孔层 B 下部的 14—48cm 处沉积物进行¹⁴C 分析,结果为 $7\,960 \pm 220\text{aB. P.}$ 。阳澄湖底是否存在早全新世沉积仍有疑问,由于取样层位接近下伏的层 C,有可能样品中含有从硬土层侵蚀并再沉积的有机碳,从而造成年代的偏老,故层 B 的沉积年代暂笼统地划归为全新世。层 A、B、C 三者之间为突变的侵蚀面,所以三层之间均存在明显的沉积间断。

柱状样中表层现代沉积物的沉积年代由²¹⁰Pb 测年法来确定^[6],用 CRS 模型计算了两个柱状样中沉积物的沉积年代及各深度沉积物的沉积通量(图 2)。

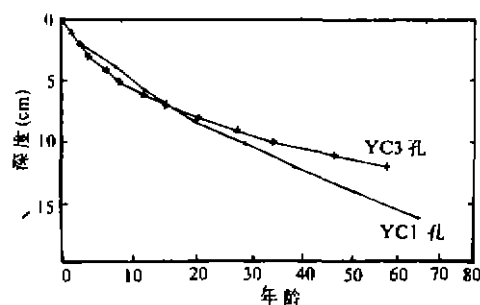


图 2 YC1 和 YC3 孔柱状样沉积年代

Fig. 2 Ages of cores YC1 and YC3

3 古环境特征

YC1 和 YC3 孔剖面和各岩性层的环境指标和环境特征分别叙述如下(图 3—5)。

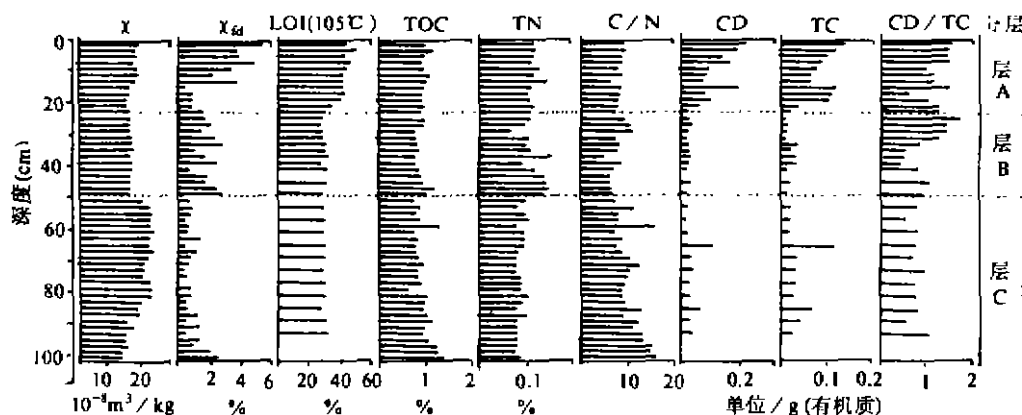


图 3 YC1 孔环境指标变化和分层

Fig. 3 Environmental proxies and stratigraphic division of core YC1

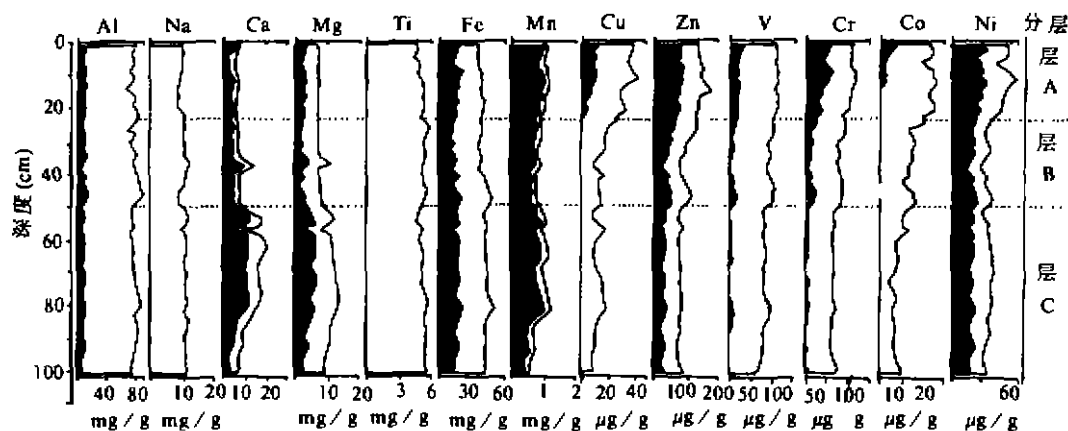


图 4 YC1 孔化学元素垂向变化(黑色部分易渗相金属部分)

Fig. 4 Chemical element changes of core YC1

3.1 层 C

层 C 的沉积物含水量较低(YC1 孔 30.1%, YC3 孔 19.3%), 反映了一定的压实作用. 粒度略粗, YC3 孔平均粒径 Mz 为 7.08ϕ . 磁化率 χ 值明显较高, YC1 孔和 YC3 孔分别达 20.5×10^{-8} 和 $24.1 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$, 可能与较高的重矿物含量有关. TOC (YC1 孔 0.98%, YC3 孔 0.78%), TN (YC1 孔 0.09%, YC3 孔 0.10%) 均较低, 代表较低的初始生产力营养状态. C/N 比 (YC1 孔 10.6, YC3 孔 8.31) 和 $\delta^{13}\text{C}$ (YC3 孔 -23.53%) 的高值反映来源于陆生植物的有机质占较高比例. 根据世界各地湖泊的生物调查, 湖泊浮游植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 在 -25% — -36% 之间, 而非浮游性的湖泊植物为 -15% — -28% ^[7]. 在外源金属元素中, Al、Na、Mg、Ca 和 Ti 均高于层 A, 反映沉积时期较强的流域侵蚀作用. 重金属(包括总量和易溶相)除 Mn、Pb 外, 其浓度均低于层 A 和层 B, 代表了自然背景值. 在色素中, 叶绿素衍生物(chlorophyll derivatives, CD)和总类胡萝卜素(total carotenoids, TC)含量极低, 几乎达到检测值的下限. 层 C 具

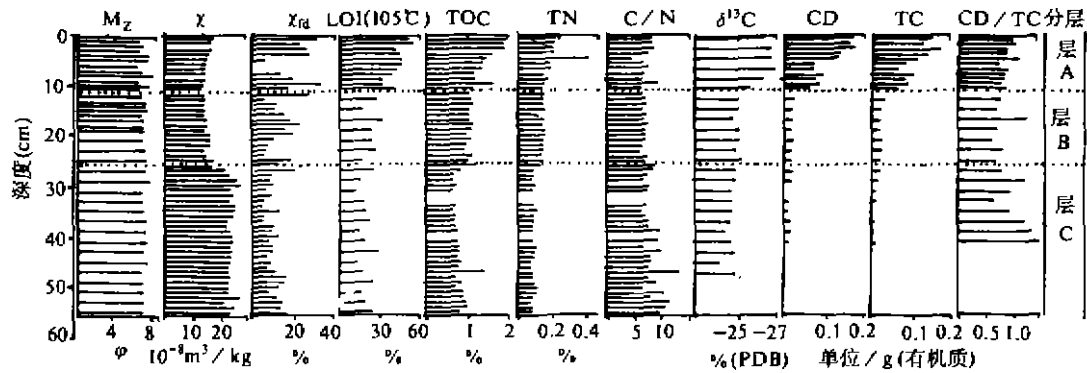


图 5 YC3 孔环境指标变化和分层

Fig. 5 Environmental proxies and stratigraphic division of core YC3

有明显的湖相沉积特征,可能是晚更新世冲积物经再侵蚀堆积而成。

对沉积物应分不同化学相态分别测定其浓度,以区分外源组分和自生组分。本文分别测定了样品的易溶相金属含量和总量金属含量。在所测总量金属元素中,Al 和 Ti 是稳定的陆源元素,Al 反映了流域土壤侵蚀强度,随人类活动加强,其丰度值提高^[8,9]。Ti 主要赋存在陆源碎屑矿物中。在淡水湖中,Na、Ca、Mg 是陆源侵蚀矿物中的主要成分,直接反映流域风化和侵蚀作用的强度^[3,9]。易溶相重金属的垂向变化可以反映湖泊水体的污染历史^[10]。在所测重金属中 Cu、Pb、Zn、Cr、Co、Ni、Cd 是有毒性的重金属,与水体污染有关。

3.2 层 B

层 B 的特征介于层 A 与层 C 之间。沉积物含水量较高(YC1 孔 30.7%,YC3 孔 24.4%),粒度略细,YC3 孔的 Mz 为 7.18 ϕ , χ 值降低(YC1 孔和 YC3 孔分别为 $16.6 \times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$ 和 $15.2 \times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$), χ_d 值升高,两孔分别是 2.07% 和 1.33%。TOC (YC1 孔 0.94%,YC3 孔 1.06%)、TN (YC1 孔 0.12%,YC3 孔 0.15%) 有明显提高,代表一定水平的初始生产力和湖泊营养状态。C/N 比(YC1 孔 8.1,YC3 孔 6.91) 和 $\delta^{13}\text{C}$ 值(YC3 孔 -24.36‰) 的降低反映来源于浮游植物的有机质比例提高。在外源金属元素中,Al、Na、Mg、Ca 和 Ti 仍高于层 A,反映流域侵蚀作用仍较强。所有重金属含量也基本介于层 A 和层 C 之间。叶绿素衍生物(YC1 孔 $0.023 \mu\text{g}/\text{g}$ 有机质) 和总类胡萝卜素含量偏低(YC1 孔 $0.023 \mu\text{g}/\text{g}$ 有机质,YC3 孔 $0.028 \mu\text{g}/\text{g}$ 有机质),而 CD/TC 比也较低(YC1 孔 1.00,YC3 孔 0.83),也说明较低的湖泊营养状态。

3.3 层 A

层 A 的沉积物含水量很高(YC1 孔 43.3%,YC3 孔 42.9%),粒度略细(YC3 孔 Mz 值 7.22 ϕ , χ 值偏低(YC1 孔 $18.2 \times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$,YC3 孔 $15.8 \times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$,但剖面向上 χ_d 逐渐升高,说明人类活动的影响。TOC (YC1 孔 1.05%,YC3 孔 1.52%)、TN (YC1 孔 0.12%,YC3 孔 0.22%) 均较高,表明初始生产力和湖泊营养状态均达到较高水平。低的 C/N 比(YC1 孔 8.67,YC3 孔 7.24) 和 $\delta^{13}\text{C}$ 值(YC3 孔 -27.07‰) 反映来源于水生浮游植物的有机质占较高比例,营养化程度亦较高。在外源金属元素中,Al、Na、Mg、Ca 和 Ti 均低于层 C 和层 B,反映沉积时期流域侵蚀作用已较弱。叶绿素衍生物(YC1 孔 $0.119 \mu\text{g}/\text{g}$ 有机质,YC3 孔 $0.114 \mu\text{g}/\text{g}$ 有机质) 和总类胡萝卜素(YC1 孔 $0.089 \mu\text{g}/\text{g}$ 有机质,YC3 孔 $0.117 \mu\text{g}/\text{g}$ 有机质) 含量较高、

CD/TC 比(YC1 孔 1.31, YC3 孔 0.96)也明显高于层 B, 显示湖泊富营养氧化程度在加强. 重金属浓度无论是总量还是易溶相均处于最高值, 其中易溶相部分属于自生元素, 一般与湖泊的污染有关. 将受污染的层 A 与未受污染的层 B 相比, 层 A 的重金属向上有明显的增加, 而且主要是易溶相重金属增加, 例如 Cu、Co、V 的增加部分几乎均为易溶相部分. Zn、Ni 虽然在层 C 中也含相当一部分易溶相部分, 但整个剖面中总量部分与易溶相部分的差值是基本恒定的, 说明因污染而富集 Zn、Ni 也主要赋存在易溶相部分中.

4 本世纪以来环境变化

4.1 沉积通量的变化

图 2 显示, 距今约 70 年以来, 阳澄湖沉积速率有渐增的趋势, 反映了因人类活动造成的湖泊流域土地侵蚀冲刷作用不断加强, 沉积速率加大. 特别是 70 年代开始沉积通量明显增加.

在层 A 中, 沉积物平均粒径 Mz 变化不大, 所以沉积物化学组成基本不受粒度的影响, 直接反映了沉积物的侵蚀、湖泊初始生产力和重金属的污染. 为了避免因陆源物质输入量的变化而引起的某些化学组成因“稀释”造成其浓度的改变, 文中除使用化学成分浓度来表示化学物质的变化外(图 3—5), 还使用了化学成分的通量速率(accumulation rate)来加以比较(图 6), 以进一步反映物质组成的输入量变化. 代表陆源碎屑矿物的元素 Al、Na、Ca、Mg 与流域地区的风化和侵蚀作用有关. 在剖面中这些元素浓度的垂向变化并不明显, 仅在接近顶部略

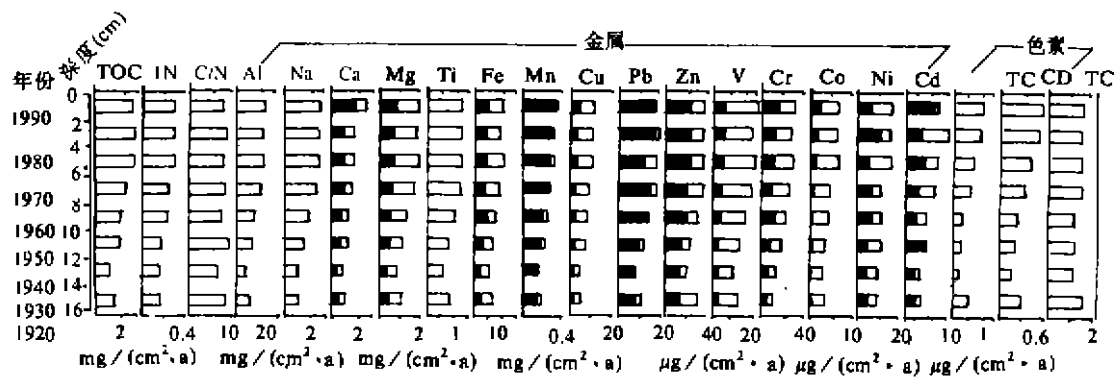


图 6 YC1 孔(a)、YC3(b)孔本世纪以来的化学元素和色素沉积通量

Fig. 6 Accumulation of chemical elements and pigments since the 20th century in core YC1(a) & YC3(b)

有升高. 在通量剖面中这些元素的通量向上也显示增加的趋势, 而且与沉积通量的变化呈现相似的变化规律. 同时也说明 Al、Na、Ca、Mg 为沉积物的主要元素.

4.2 重金属污染史

YC1 孔表层沉积物的重金属含量的测定显示, 多数重金属均有一定程度的富集. 我们以阳澄湖底硬土层(层 C)的重金属含量平均值作为自然背景值来计算表层沉积物重金属的污染系数(表 1). 污染系数示为 $C_f = C_i / K_i$, 式中, C_f 为元素 i 的污染系数, C_i 为沉积物中元素 i 的测定含量, K_i 为元素 i 的标准自然背景值^[11]. 表 1 说明, 重金属污染系数按从高到低的顺序排列是: Cu > Co > Zn > Cr > Ni > V. Pb、Cd、Mn 的浓度接近自然背景值. 其中, Cu、Co、Zn、Cr 污染程度相对较高, 这些金属的主要污染源是来自电镀、印染、造纸、化肥等行业的工业废水.

表 1 YC1 表层沉积物 0—2cm 重金属浓度和污染系数

Tab. 1 Heavy metal concentration and pollution coefficient in surficial 0—2cm sediment of core YC1

元 素	Cu	Pb	Zn	V	Cr	Co	Ni	Cd	Mn
含量(μg/g)	38.7	60.1	132	109	111	23.8	37.7	0.28	1.60
自然背景值(μg/g)	11.5	74.1	77.0	80.2	65.4	8.03	37.0	0.26	0.99
污染系数	3.37	0.81	1.71	1.36	1.70	2.96	1.50	1.08	1.18

从柱状样剖面上看, 总体上重金属向上有逐渐增加的趋势, 显示污染程度逐渐增强. 重金属的通量速率剖面可显示本世纪 20 年代以来重金属的沉积通量变化(图 6). 可见重金属沉积通量 30 年代有一个高值, 70 年代以来则明显增加. 据方志载, 苏州市 20—30 年代是民族工业发展时期, 50 年代起, 工业废水和生活污水通过阳澄河向北流入阳澄西湖. 80 年代后随印染、造纸、电镀等行业迅速发展, 湖泊水质污染逐年加重, 环境污染问题突出^[12].

4.3 富营养化史

TOC 和 TN 的通量速率剖面显示, 两者通量向上有增加的趋势(图 6, 图 7). 80 年代开始增加幅度明显提高, 但 C/N 比变化并不明显, 其中 30 年代、50 年代和 90 年代各有一高值, 代表较高比例的陆生植物输入量, 可能与这三个时期的洪涝灾害有关. 据记载, 本世纪该地区较大的洪涝灾害发生年份是 1921、1931、1954 和 1992 年^[13].

色素含量也在 70—80 年代开始出现明显增加. 反映富营养化程度较高的 CD/TC 和 70—80 年代以后也显示较高的数值. 总之, 近十几年来显示湖泊的富营养化并有加重趋势.

参 考 文 献

- 1 潘红红、吉 磊. 阳澄湖水质的分析与评价. 湖泊科学, 1997, 9(待发表)
- 2 孙顺才、黄麟平主编. 太湖. 北京: 海洋出版社, 1993
- 3 Swain E B. Measurement and interpretation of sedimentary pigments. *Freshwater Biology*, 1985, 15: 53—79
- 4 Chang W Y B, 许雪珉, 杨景荣等. 从沉积物特征谈太湖的演变. 湖泊科学, 1994, 6(3): 216—266
- 5 曹琼英, 朱日埏, 王富葆等. 苏州浅地层第四系与工程地质条件. 南京: 南京大学出版社, 1993
- 6 项 亮、吉 磊、钱君龙. 阳澄湖沉积物和碳氮沉积通量分析及其对湖泊环境演化的记录. 中国科学院南京地理与湖泊研究所集刊, 第 12 号. 北京: 科学出版社, 1995, 11—19
- 7 Nakai N. Paleoenvironmental features of Lake Biwa deduced from carbon isotope compositions and organic C/N ratios of the upper 800-m sample of 1400-m cored column. *Proceedings of the Japanese Academy*, 1986, 62B: 279—282
- 8 Engstrom D R, H E Wright. Chemical stratigraphy of lake sediments as a record of environmental change. In: E Y Haworth,

- J W G Lund, ed. Lake sediments and environmental history. Leicester; Leicester University Press, 1984
- 9 Engstrom D R, E B Swain, J C Kingston. A palaeolimnological record of human disturbance from Harver's Lake, Vermont; geochemistry, pigments and diatoms. *Freshwater Biology*, 1985, 15:261—228
- 10 Forster U, G T W Wittman. Metal pollution in the aquatic environment. 2nd edition. Berlin: Springer-Verlag, 1981
- 11 Hakansson L, M Jansson. Principles of lake sedimentology. Berlin: Springer-Verlag, 1983
- 12 苏州市地方志编纂委员会. 苏州市志(第一册). 南京:江苏人民出版社, 1995

PALEOLIMNOLOGY OF RECENT SEDIMENTS IN YANGCHENG LAKE

Ji Lei Zhu Yuxin Wu Ruijin Xiang Liang Qian Junlong Pan Hongxi

(*Lake Sedimentation and Environment Lab., Nanjing Inst. of Geography and Limnology, CAS, Nanjing 210008*)

Abstract

Seven cores of recent sediments were obtained in Yangcheng Lake, among which 102cm-core YC1 and 55cm-core YC3 in the western part of the lake kept undisturbed. The core profile is divided into 3 lithological beds which are separated by 2 long-term sedimentation hiatus, namely upper bed A of sapropel, middle bed B of silty clay, and lower bed C of sticky silty clay (so called "hard earth bed").

^{14}C , ^{210}Pb , water content, grainsize, magnetic susceptibility, nutrient elements, metal elements (both total and liable facies), stable isotope of organic carbon and fossil pigments were analysed. Chronic stratigraphic study demonstrates that beds A, B and C belong respectively to the deposits of Late Pleistocene, Holocene and about recent 100 years. The environmental characteristics of every bed are described as follows.

Bed C: Reworked fluvial sediments, in which lower values of TOC, TN, pigment content, CD/TC and heavy metals and higher values of C/N, $\delta^{13}\text{C}$, allogenic metals (Al, Na, Mg, Ca and Ti) manifest more intense erosion of catchment land, lower primary productivity and eutrophic state. Bed B: Lacustrine sediments, of which every environmental proxy sits between beds A and C. Bed A: Lacustrine sediments, of which higher values of TOC, TN, pigment content, CD/TC and heavy metals and lower values of C/N, $\delta^{13}\text{C}$ and allogenic metals show enhanced primary productivity and eutrophication of the lake.

Detailed analysis of the beds demonstrates slightly higher pollution coefficient of Cu, Co, Zn, Cr, Ni in 0—2cm on surficial sediments. In the accumulation rate profile, the accumulation of many heavy metals is increased gradually upwards, extensively since the 1970s. The accumulation rate of nutrient elements and pigments also indicate more intense lake eutrophication since the 1970s—1980s.

Key Words paleolimnology, Yangcheng Lake, sedimentary record, environmental change, heavy metal pollution, eutrophication