

316-323

浅钻岩芯揭示的固城湖 4000 年来环境演化

吉磊 王苏民 郑长苏 羊向东 沈吉

PS12.3

(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)

提要 对固城湖 6.2m 深的现代沉积物柱状岩芯进行了放射性同位素、粒度、有机质含量、有机质 $\delta^{13}C$ 和孢粉分析。沉积记录中各项环境指标的变化表明, 4ka 以来固城湖经历了高湖面—低湖面—高湖面的显著变化。气候变化是影响湖泊环境演化的重要自然因素, 但 2.5ka 以来人类活动对湖泊演化的影响显得更为明显。特别是 2.5ka 和 1.1ka 两次人类对湖泊水系的改造是引起湖泊环境两次突变的主要因素。

关键词 湖泊沉积物 环境演化 气候变化 固城湖

一、引言

古湖沼学研究的主要任务是恢复湖泊环境和生态系统的历史演化过程。而人类活动因素和自然因素的共同作用, 使湖泊环境变化十分复杂。本文以固城湖为例, 运用古湖沼学方法对湖泊岩芯沉积物进行高密度取样分析, 从沉积记录中获取高分辨率的环境信息, 探讨固城湖环境演化历史及其与人类活动的相互关系。

固城湖地处江苏省西南高淳县境内, 湖的南部与安徽省宣城县接壤。长期以来固城湖是湖区人民灌溉、养殖、航运的重要场所, 湖泊的自然环境对湖区人民的生活及经济发展起着十分重要的作用。同时自古以来人类活动也强烈地改变了湖区的环境和生态条件。例如历代围湖造田, 湖泊面积和容积不断减少。1959 年湖泊面积是 80.7km^2 , 蓄水量为 $4.54 \times 10^9\text{km}^3$, 而到 1980 年, 湖泊面积缩小到 24.5km^2 , 蓄水量 $1.55 \times 10^9\text{km}^3$ [1]。20 年中湖泊面积和蓄水量分别缩小了 69.6% 和 65.9%。该湖的古湖沼学研究将为湖泊环境状况的正确评价、预测未来湖泊演化趋势和湖泊进一步有效管理提供科学依据。

在地质构造上固城湖盆地位于漂高背斜的西南翼, 属断陷构造盆地, 盆地东西两侧边界分别为茅山西侧断裂和六合—江油断裂所控制 [2]。

固城湖地区属北亚热带季风气候区。湖泊形态大致呈三角形, 北宽南窄 (图 1)。据 1980 年的测量资料, 湖泊面积 24.5km^2 , 平均水深 1.56m, 最大水深 6.79m [1]。湖水矿化度为 112.4mg/L, 水型属重碳酸盐类钠组一型 (C^{Na}), 硬度 0.707mol/L [3]。

固城湖是开口湖, 属于长江干流的青弋江、水阳江水系, 水量主要发源于皖南山区, 长江高水位期部分水量可倒灌入湖。近年来由于节制闸的兴建, 该湖已由原来的天然湖泊变成了

湖泊沉积与环境开放研究实验室资助项目 (No. 91003)。参加人员还有项亮、马燕、王楚和韩晓钟等。

本文于 1992 年 9 月 14 日收到, 1993 年 3 月 22 日收到修改稿。

受人工控制的湖泊,其水量已受到人为的调节。

二、采样及分析方法

(一)采样

野外采样时间是在1991年5月。采用沉积物采样管在湖心部位取柱状岩芯1.1m,即G91-3孔(图1)。同时在围垦区狮树乡2814渔场附近,挖去表土层约1m,用澳大利亚转动式采样器连续采岩芯5.1m,定为GD_m孔(图1)。GD_m孔岩芯顶部高程约为4.5m。由于GD_m孔在围垦之前亦处于该湖湖心部位,去除上部约1m厚的沉积物后,其顶部位置与G91-3孔岩芯部处于同一高程,因此G91-3和GD_m孔上下衔接,组成一总长6.2m的完整柱状岩芯。岩芯按2-10cm的间隔取样分析,3.0m以上间隔较密,为2-4cm,3.0m以下间隔是5-10cm。

(二)分析方法

柱状岩芯的分析项目主要有:¹⁴C测年、²¹⁰Pb测年、粒度分析、有机质含量、有机质 δ^{13} C和孢粉分析等。

¹⁴C年龄采用FJ-2101型液体闪烁计数器改进系统测定^①。同时采用 α 能谱仪测定沉积物表层柱状样品的²¹⁰Pb比度,以测定沉积物的年代并互为参照。

沉积物粒度是将样品制成油浸薄片,在偏光显微镜下统计,参照Udden-Wentworth粒级标准,将其分为三级:<8 ϕ 粒级为粘土(CL),8-4 ϕ 粒级为粉砂(SL),>4 ϕ 作为砂(SD)。粒度分析样品共217个。

有机质含量以550℃烧失量(LOI)表示,分析样品215个。

有机质的稳定碳同位素分析采用燃烧法获取纯净CO₂气体,经MAT-251型质谱仪测定得到¹³C含量值^[4]。分析样品102个。

孢粉分析样品66个,经酸碱处理及重液浮选而获取。

三、分析结果与环境解释

柱状岩芯距顶部6.1m处有机质泥的¹⁴C年龄测试结果为3630±230a。²¹⁰Pb测年和计算表明湖泊中心一百多年来平均沉积速率为0.71mm/a。

按沉积物岩性和各种环境分析指标,可将6.2m的岩芯剖面划分成5个层段及相应的5个环境演化阶段(表1,图2)。

第一层(5.1-6.2m)青灰色泥、粉砂质泥 此层以粘土质为主,少量粉砂,为远岸开阔湖沉积。LOI较高,反映较高的水体生产力。 δ^{13} C值亦较高,表明有机质中来源于藻类的有机碳占优势。根据Smith *et al.* ^[5]的大量分析资料,通常藻类的 δ^{13} C值较高,为-12‰-23‰,而高等植物 δ^{13} C值的变化范围是-24‰-34‰。由于沉积物粘土含量很高,粉砂含量和砂含量

^① 南京大学大地海洋科学系¹⁴C实验室测试。

极低,反映这一时期是4ka以来湖水最深时期,为湖泊的大规模扩张阶段。藻类的繁盛可能与温暖的气候有关。

第二层(3.5—5.1m)灰色粉砂质泥 与第一层相比,粉砂和砂含量有所增加,而粘土含量、LOI的 $\delta^{13}\text{C}$ 值均略有下降。这一阶段虽然仍属开阔湖环境,但水深较前期有一定程度的减少。

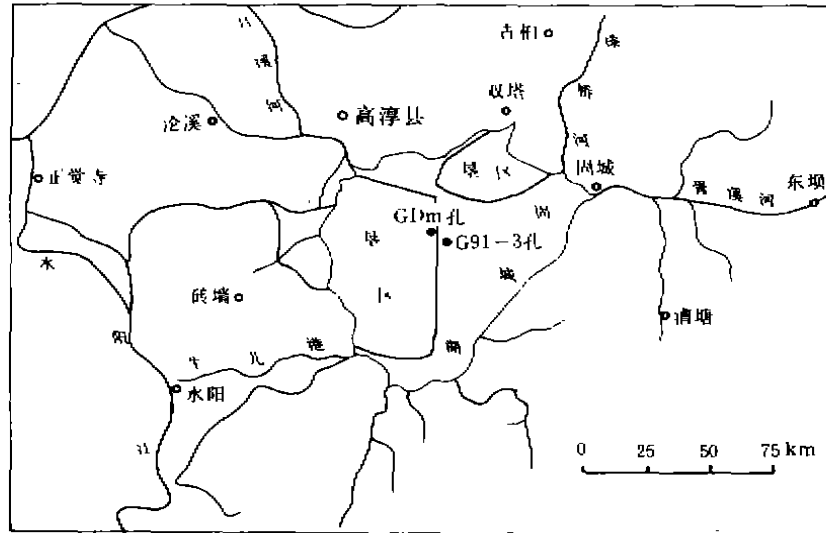


图1 固城湖及柱状岩芯位置

Fig. 1 Map showing Gucheng Lake and the core localities

表1 固城湖岩芯的岩性及各项环境参数平均值

Tab. 1 Lithology and average values of environmental parameters of the core

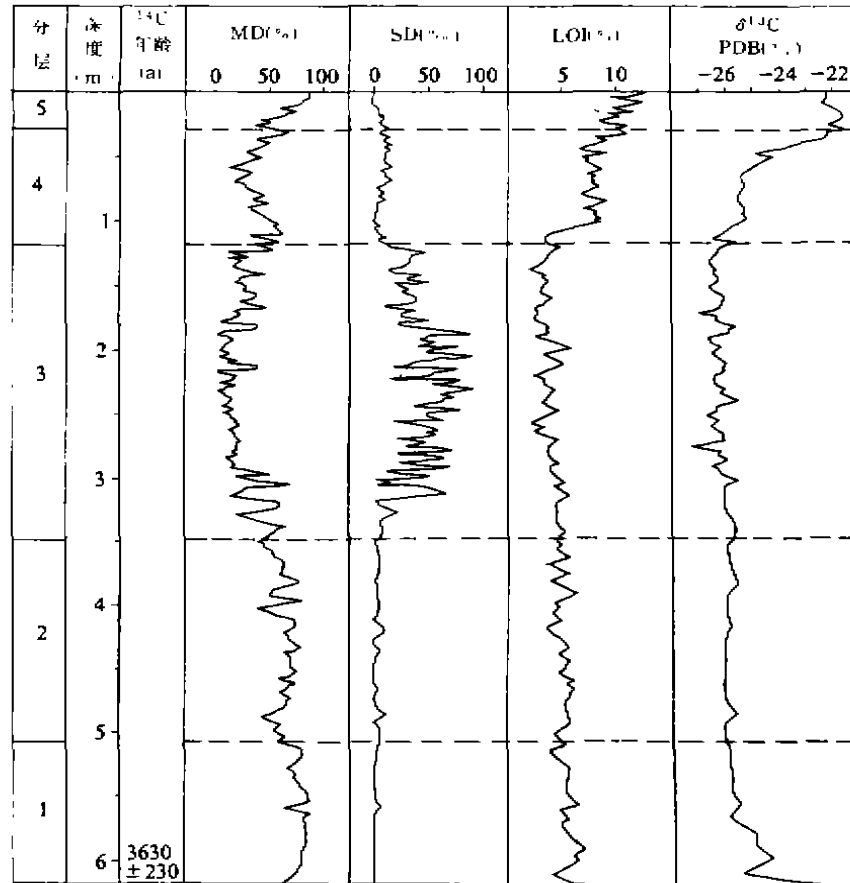
分层	深度(m)	岩性	CL(%)*	SD(%)**	LOI(%)***	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰PDB})$
5	0—0.3	深灰色粉砂质泥	70.3	3.7	10.6	-22.14
4	0.3—1.2	灰色砂质、粉砂质泥	41.2	7.5	7.8	-25.11
3	1.2—3.5	灰色泥质细砂、粉砂	23.3	46.5	3.7	-26.31
2	3.5—5.1	灰色粉砂泥	62.2	3.1	5.0	-25.98
1	5.1—6.2	青灰色泥、粉砂质泥	77.5	<1	5.6	-25.36

*CL:指粘土质(<8 ϕ 粒级)含量; **SD:指砂质(4—0.5 ϕ 粒级)含量; ***LOI:烧失量(550 $^{\circ}\text{C}$)。

第三层(1.2—3.5m)灰色泥质细砂、粉砂 此层粗碎屑含量较高,主要是石英、白云母长石和碳酸盐矿物。局部出现分选较好、磨圆度较高的砂质薄层。可见由砂质纹层和泥质纹层构成的微交错层理,含丰富的软体动物介壳。这些特征表明这一层沉积物为近岸—滨岸浅水沉积。此层中CL、LOI和 $\delta^{13}\text{C}$ 值均为剖面中的最低值,SD为最高值。LOI的降低可能与砂颗粒的稀释作用有关,较低的 $\delta^{13}\text{C}$ 值反映沉积物有机质中来源于陆生高等植物碎屑的比例较高。这一阶段显示湖泊经历了明显的收缩过程。

第四层(0.3—1.2m)灰色砂质、粉砂质泥 此层的环境指标特征与第二层接近,CL、LOI和 $\delta^{13}\text{C}$ 值均较高,SD明显降低。表明沉积物仍为开阔湖沉积,即湖泊重新开始扩张。

第五层(0—0.3m)深灰色粉砂质泥 CL、LOI和 $\delta^{13}\text{C}$ 值很高,SD很低。沉积物粒度特

图2 固城湖岩芯中CL、SD、LOI和 $\delta^{13}\text{C}$ 值的垂向变化Fig. 2 Vertical variation of CL, SD, LOI and $\delta^{13}\text{C}$ values in the core

征表明沉积物仍属开阔湖沉积。LOI值自下而上逐渐增高说明湖泊近期的富营养化使生产力明显提高,而且富营养化程度逐渐增强。 $\delta^{13}\text{C}$ 值亦反映了藻类的迅速繁盛。

样品中孢粉含量非常丰富,共含82个科属,其中木本植物35个科属,草本植物32个科属,蕨类植物15个科属。根据岩芯剖面中孢粉类型及含量变化,可自下而上分成8个孢粉组合带:

I带(6.2—4.9m) *Quercus - Castanea* 组合带 木本花粉中栎属、栗属为主,松属、栲属、榆属、桦属次之。草本花粉以十字花科、蒿属、禾本科、莎草科为主。代表落叶栎、栗、松、常绿栎类、栲为主的针阔叶混交林,其植被类型与现代自然植被类型相比,接近中-北亚热带的过渡类型,气候温暖湿润。

II带(4.9—4.15m) *Pinus - Quercus - Polypodiaceae* 组合带 木本花粉含量较前段有所下降,以松属、栎属和栗属为主,水龙骨科含量迅速上升,反映的植被类型是针叶树、落叶树为主的针阔叶混交林,表明当时为温凉湿润的气候环境。

III带(4.15—3.2m) *Quercus - Graminea - Typha* 组合带 阔叶树种栎属、栗属、桦属、榆

属、栲属等含量均有所上升,针叶树种减少。草本花粉以香蒲属、蒿属、禾本科、十字花科为主。代表以阔叶树为主的针阔叶混交林,气候条件温和湿润。本带中禾本科花粉大都超过400 μm ,属栽培作物花粉,表明当时农业耕作业已初具规模。

IV带(3.2—2.3m)Graminea - Artemisia - Quercus 组合带 木本花粉中以松属、栎属、栗属为主,草本花粉中禾本科、蒿属增加,十字花科、莎草科、香蒲属均减少。水龙骨科含量继续减少。代表松、栎为主的针阔叶混交林,反映温凉略干的气候类型。

V带(2.3—1.75m)Quercus - Pinus - Castanea 组合带 阔叶树种以栎属、栗属、桦属、榆属、栲属为主,松属有所减少。禾本科、蒿属、莎草科下降,水龙骨科增加。反映阔叶树为主的针阔叶混交林和温和湿润气候。

VI带(1.75—1.1m)Graminea - Artemisia - Quercus 组合带 所有木本花粉均有所减少,农作物花粉禾本科增加。孢粉反映针阔叶混交林,气候冷凉略干。

VII带(1.1—0.65m)Quercus - Pinus - Castanea - Polypodiaceae 组合带 木本花粉中以栎属、栗属和松属为主。十字花科、水龙骨科增加,禾本科、蒿属减少。反映植被类型为针阔叶混交林,代表温和略干的气候类型。

VIII带(0—0.65m)Pinus - Graminea - Artemisia - Quercus 组合带 针叶树松属的含量增加,栎、栗等阔叶树种降低。禾本科、蒿属有所增加。代表针叶树为主的针阔叶混交林。

上述孢粉组合反映的自然植被类型处于中亚热带北缘至暖温带南缘的范围内。孢粉组合的演化反映了固城湖地区近4ka以来经历了4次较为明显的气候冷暖波动。根据 ^{14}C 测年结果,推测4次相对温暖时期分别在3.5ka、2.5ka、1.5ka和1ka B. P.前后。

四、湖泊环境演变及其影响因素

根据沉积物岩性所反映的环境特征以及各项环境分析指标可以推测湖泊的扩张、收缩变化、流域植被演替和气候的波动过程(图3)。岩芯第一层(按 ^{14}C 测年推测年龄是3.6—3ka B. P.)是高湖面时期,植被为落叶栎、栗、松、常绿栎类、栲为主的针阔叶混交林,气候温暖湿润。第二层(推测年龄3—2.5ka B. P.)显示湖面有所降低,但仍为高湖面。早期植被类型是针叶树、落叶栎为主的针阔叶混交林,气候温凉湿润,后期属阔叶树为主的针阔叶混交林,气候温和湿润。第三层(推测年龄2.5—1ka B. P.)出现了湖面大幅度下降。植被为以松栎为主的针阔叶混交林,气候以温凉略干为主,中期一度温和湿润。第四层和第五层(推测年龄为1ka B. P.以来)反映了湖面又重新回升,气候温和略干。

固城湖以及丹阳湖、石臼湖、南漪湖等湖在历史时期曾经是一个统一的大湖,面积达4130 km^2 ,称古丹阳湖^①。根据高淳县志等史籍和湖区围垦历史记载,在春秋时代以前,即约3ka B. P.前后,由于泥沙的不断淤积和水阳江、青弋江入湖三角洲的发展,湖盆逐渐被沉积物所充填,古丹阳湖缩小并分化出几个独立的湖泊^①。按现代湖区地形高程,如将现代各湖泊连成一体,恢复成原始的古丹阳湖范围,古丹阳湖的湖泊水位高程可达到约10m。如与现在多年平均水位的7.36m相比,推测3ka B. P.前的古丹阳湖水位高出现今固城湖平均水位约2.6m。

① 窦鸿身、汪宪枢。固城湖的成因与历史演变,地理文集,1983,(7)。

在 2.5—1ka B. P. 即岩芯中的第三层,湖泊中部已出现滨岸相砂质沉积,说明当时湖泊水位较低。按现代 1.56m 的平均水深^[1]计,再加上两千多年的沉积物堆积厚度,即第三层以上的沉积物厚度(平均 2.4m),可推算出 2.5—1ka B. P. 固城湖水位曾下降了近 4m。

将孢粉分析所获得的气候变化序列与固城湖湖面升降变化历史相比较(图 3),可以发现 2.5ka 以前(岩芯 3.5m 以下)气候变化特征与湖面变化是基本一致的。孢粉资料所反映的温暖湿润或温凉湿润与当时的高湖面相对应,因此 2.5ka 以前特别是 3ka 以前气候因素是湖泊扩张的主要影响因素。在其他地区如太湖平原,3.5—4ka B. P. 前后的温暖湿润气候条件下形成了许多沼泽如吴江黎里镇附近的浅洼湖群沼泽地^[6]。

然而 2.5ka 以来(3.5m 以上)固城湖湖面波动的规律与气候特征并不完全相符,例如虽然第三层的湖面收缩可能与孢粉所反映的 3.2—2.3m 温凉略干气候、2.5—1.75m 的冷凉气候有关,但 2.3—1.75m 的温和湿润气候并没有造成湖泊的扩张,而在 1.75—0.65m 的温和略干气候背景下却又出现了岩芯第四层的湖面上升。显然 2.5ka 以来的湖泊环境变化已不完全受气候因素控制。通过历史记载资料的分析,可以证明除气候变化、泥沙淤积等自然因素外,人类活动的影响已成为湖泊环境演变的主导因素。

根据史料记载^①,固城湖东部的胥溪河系人工开挖,始于春秋时期,当时吴王阖间为伐楚称雄,采用伍子胥计谋,开河运粮,故于周敬王六年(公元前 514 年)开凿胥溪河,以沟通太湖至芜湖间的内河航运,避免长江风险。胥溪河开凿之后,湖水大量东泄太湖,湖面因之剧烈缩小。至唐末唐景福二年(公元 893 年)在胥溪河上筑银林、分水、苦季、何家和余家五堰,以控制湖水东流,固城湖湖面随之扩大。

因此,固城湖原属水阳江、青弋江水系,湖水泄入长江。2.5ka B. P. 前后胥溪运河的开通,使固城湖由水阳江、青弋江水系转变为太湖水系。后因 1.1ka B. P. 前后五堰的建成使之复归为长江干流的水阳江、青弋江水系。因此公元前 514 年胥溪河的开凿与公元 893 年五堰的建成是造成固城湖两次湖面发生重大变化的起因。两次环境突变事件恰好分别对应于柱状岩芯中的 3.5m 和 1.2m 处的变化。据此可以推测湖泊沉积记录中 3.5m 以上(2.5ka 以

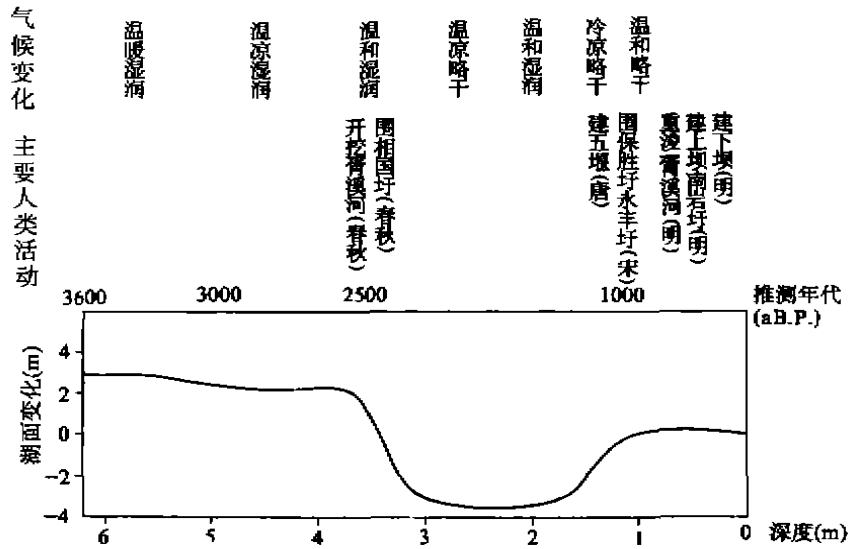


图 3 固城湖湖面变化及与其气候因素、人类活动因素的关系

Fig 3 Lake-level fluctuation and its relationship to the factors of climate and human activities

① 窦鸿身,汪宪桓. 固城湖的成因与历史演变. 地理文集, 1983, (7).

来)湖泊环境演变特别是 3.5m 和 1.2m 处的湖面变化主要是由于历史时期人类对湖泊水系的改造所引起的。

唐朝以后,虽然两宋和明朝几次废堰和筑坝的反复,并最终以东坝完全断绝了胥溪河的通路^①,但从固城湖柱状岩芯所反映的环境演化来看,1.1ka B. P. 建堰对湖面控制的作用显得最为突出。

五、结 论

关于固城湖(包括古丹阳湖)的成因和演变问题,虽然目前资料还不多,但通过地貌特征、钻孔岩芯、历史记载资料以及遥感技术等研究,一般认为泥沙淤积、围湖垦殖和水利工程是造成湖泊环境演变的主要因素^[3,7,8]。我们根据对固城湖钻孔岩芯的分析,认为在固城湖 4ka 以来的演化历史中,气候变化这一自然因素对湖泊环境演变也起到重要的作用。此外,人类经济活动亦成为控制湖泊演化的主要因素。因此对于未来,气候变化和人为活动在湖泊环境演化中将仍然起主导作用,在湖泊环境保护和湖泊资源开发利用过程中应予以足够的重视。

参 考 文 献

- [1] 王洪道、史复祥. 固城湖水文环境的初步分析. 江苏省海洋湖沼学会, 海洋湖沼研究文集. 南京, 江苏省科学技术出版社, 1986, 32—38.
- [2] 江苏省地质矿产局. 江苏省及上海市区域地质志. 北京, 地质出版社, 1984.
- [3] 中国科学院南京地理研究所湖泊室. 江苏省湖泊志. 南京, 江苏科学技术出版社, 1982.
- [4] 王 楚、沈 吉、王苏民. 封管法制备有机碳同位素质谱分析样. 湖泊科学, 1992, 4(4): 81—85.
- [5] Smith, B. V., Epstein, S. Two categories of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios for higher plants. *Plant Physiol.*, 1971, 47: 380—384.
- [6] 孙顺才、伍贻范. 太湖形成演变与现代沉积作用. 中国科学(B 辑), 1987, (12): 1329—1339.
- [7] 景存义. 固城湖的形成与演化. 1960 年全国地理学术会议文集(地貌). 北京, 科学出版社, 1962, 75—79.
- [8] 戴锦芳、赵 锐. 遥感技术在古丹阳湖演变研究中的应用. 湖泊科学, 1992, 4(2): 67—72.

ENVIRONMENTAL EVOLUTION OF GUCHENG LAKE FOR THE PAST 4000 YEARS REVEALED BY A SHORT CORE

Ji Lei Wang Sumin Zheng Changsu Yang Xiangdong Shen Ji

(Laboratory of Lake Sediment and Environment, Nanjing Institute of Geography
and Limnology, Academia Sinica, Nanjing 210008)

Abstract

The sediment from a columnar core with a depth of 6.2 m in Gucheng Lake was analyzed with regard to radioisotope, grain size, organic matter content, $\delta^{13}\text{C}$ of organic matter and

① 龚鸿身, 汪宪枢. 固城湖的成因与历史演变. 地理文集, 1983, (7).

pollen. ^{14}C dating of $3630 \pm 230\text{a}$ was obtained from the organic mud sample 6.1 m below the core top. The average sedimentary rate of recent sediments is 0.71mm/a resulting from ^{210}Pb dating technique.

According to the lithology and various environmental markers of the sediment, five lithological beds and five corresponding stages of environmental evolution may be divided from the core profile; (1) 5.1—6.2m, green-grey mud and silty mud. Clay content (CL), organic matter content (LOI) and $\delta^{13}\text{C}$ values are all higher (77.5%, 5.6% and -25.36% PDB respectively) in this interval. High-lake level was reflected during the period. (2) 3.5—5.1m, grey silty mud. CL, LOI and $\delta^{13}\text{C}$ values are reduced slightly (62.2%, 5.0%, and -25.98% respectively). Lake-level was also higher in the period. (3) 1.2—3.5m, grey muddy fine-grained sand and silt. CL, LOI and $\delta^{13}\text{C}$ are all at their lowest values in the profile (23.3%, 3.7% and -26.31% respectively). The lake-level was very low in the time. (4) 0.3—1.2m, grey sandy and silty mud. CL, LOI, and $\delta^{13}\text{C}$ values are risen again to some extent (41.2%, 7.8% and -25.11% respectively). The lake was expanded during the time. (5) 0—0.3m, dark-grey silty mud. CL, LOI and $\delta^{13}\text{C}$ values are all quite high (70.3%, 10.6% and -22.14% respectively). The lake-level was probably higher during the period.

According to the pollen forms and contents in the core profile, eight palynological assemblage zones are divided as follows; (I) *Quercus-Castanea* zone, (II) *Pinus-Quercus-Polypodiaceae* zone, (III) *Quercus-Graminea-Typha* zone, (IV) *Graminea-Artemisia-Quercus* zone, (V) *Quercus-Pinus-Castanea* zone, (VI) *Graminea-Artemisia-Quercus* zone, (VII) *Quercus-Pinus-Castanea* zone and (VIII) *Pinus-Graminea-Artemisia-Quercus* zone.

Comparison of climatic change sequence resulting from pollen analysis to the lake-level evolution may lead to the discovery that the climate change was coincident with lake-level change before 2.5 ka B. P. (6.2—3.5m in the core) and the climate was the main controlling factor for the lake expansion. But the regularities of lake-level fluctuation are not conformable to the climatic change since 2.5 ka B. P. (0—3.5m in the core). Obviously the lake environment change was not controlled dominantly by climate factor during the time. On the contrary, human activities were the leading factor that affected lake environment evolution.

In the historical records, the Xuxi River channeled at 514 B. C. caused Gucheng Lake water to pour eastwards and also caused the lake to shrink intensely. As a result, the lake was converted into Taihu Lake drainage basin. Up to 893 A. D. as five bars were built along the Xuxi River, the lake water flowing eastwards was cut off resulting in an expansion of lake area and the lake became the Changjiang River drainage basin again. Therefore, it is inferred that the twice abrupt changes of lake environment at 3.5m and 1.2m of the core are resulted from human's transformation on the lake water system in historical time.

Key words Lake sediment, environmental evolution, climatic change, Gucheng Lake