

文章编号: 0375-5444 (2000) 01-0066-09

云南洱海流域人类活动的湖泊沉积记录分析

张振克^{1,2}, 吴瑞金², 朱育新², 潘红玺²,
吴艳宏², 夏威岚², 李徐生¹

(1. 南京大学大地海洋科学系, 南京 210093; 2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

摘要: 根据湖泊沉积记录的环境指标变化, 对云南洱海地区人类活动的湖泊沉积响应进行了系统的讨论。洱海湖泊沉积物记录显示, 湖泊沉积物磁化率参数对洱海流域土地利用方式变化特别是耕作农业的出现有显著响应; 沉积物元素 Fe、Al 含量的变化也与流域人类活动影响下的地表水土流失有密切联系; 沉积物色素的变化则指示湖泊富人为营养化的历史。湖泊沉积物磁化率、元素、色素指标的变化是指示湖泊流域人类活动的有效指标并具有重要的科学考古学意义。

关键词: 洱海; 湖泊沉积; 环境指标; 人类活动

中图分类号: P512.2; K901.9 **文献标识码:** A

人类活动对自然环境的影响无疑保存在各种地质记录中, 用于建立历史时期气候变化序列研究的各种自然记录, 包含气候变化和人类活动的双重影响。近十多年来, 对预测未来生存环境具有重要意义的短时间尺度的研究不断加强, 但历史时期各种古环境古气候记录的研究中考虑人与自然相互作用的内容不足, 尚未建立区分自然变化和人类活动影响的判识标志等等^[1]。湖泊沉积记录中包含丰富的气候环境变化和人类活动影响的信息^[2]。利用湖泊沉积恢复历史时期气候演变的研究已广泛开展^[3-6]。

1 洱海流域自然环境

洱海地处云贵高原西北部、横断山脉的东部边缘, 流域气候属低纬高原亚热带季风气候, 干湿分明, 气候温和, 日照充足。降水主要集中在 6~10 月, 占全年降水量的 85% 以上, 多年平均降水量 1 048 mm。湖区主导风向为西南风, 夏季降水主要受来自印度洋的西南季风影响, 冬季的少量雨雪则与青藏高原东南部顺着横断山脉东部南下的低涡气旋影响有关; 洱海湖水主要来源于降雨和冰雪融水, 北部接纳弥苜河、罗时江、永安江来水, 南部有波罗江水注入湖泊, 东部有海潮河、玉龙河等小溪汇入, 西部为苍山十八溪。出湖河流仅有西洱河, 属澜沧江水系^[7]。

收稿日期: 1999-06-18; 修订日期: 1999-09-12

基金项目: 国家自然科学基金项目 (49672132) [Foundation Item: National Science Foundation of China, No. 49672132]

作者简介: 张振克 (1963-), 男, 博士后, 副教授。1998 年在中国科学院南京地理与湖泊研究所获得博士学位, 现在南京大学地理学博士后流动站工作, 主要从事湖泊沉积与环境研究。发表论文 30 余篇。E-mail: kezhang1@263.net

洱海位于云南高原西北部大理白族自治州境内, 湖泊流域面积 2 565 km², 地理纬度处于 25 25 ~ 26 16 N 和 99 32 ~ 100 27 E 之间。湖泊的形态特征和水资源基本情况如表 1 所示。

表 1 洱海湖泊形态与水资源特征*

Tab. 1 Characteristics of water resource and features of Erhai Lake

项目	水位 /m	面积 /km ²	容积 /10 ⁸ m ³	平均水深 /m	平均湖宽 /km	湖岸长 /km	入湖水量 /10 ⁸ m ³	出湖水量 /10 ⁸ m ³	年份
最大	1974. 3	257	30. 00	11. 7	8. 4	117	18. 8	18. 19	1966
最小	1971. 1	236	22. 23	9. 4	3. 4	112	1. 84	4. 15	1985
平均	1973. 5	246	27. 70	11. 3	6. 3	115	8. 02	8. 16	1952~ 1990

* 湖面高程零点为海防高程系。

洱海湖盆于更新世早期形成^[7], 洱海西岸为苍山山地南北展布。洱海湖盆南部中央水下平台东西两侧, 分布有条形深槽, 推测为现代断层活动影响所致^[8]。

2 采样分析及研究时段的确定

2.1 采样分析

在洱海南部湖心中央平台(水深 4. 6 m)上用重力采样器采得连续的柱状岩芯, 长度为 310 cm, 在野外按 2 cm 间隔分样, 样品装入塑料样品袋后密封, 运回实验室以备分析使用; 同时为了获得表层沉积速率, 用重力采样器采得的表层沉积物短柱状岩芯, 按 1 cm 间隔分样。在实验室对样品进行了有机质的¹⁴C 年代、现代沉积速率、磁化率、元素、色素等多项环境指标的分析。磁化率在英国 Bartington 公司生产的 M S₂ 型磁化率测量仪上进行测量; 沉积物元素含量的分析用美国产 L-PLA SMA 200 型电感耦合等离子体原子发射光谱仪测定; 色素用丙酮萃取法提取, 在紫外分光光度计比色定量^[16]。

岩芯 98~ 102 cm、144~ 148 cm、198~ 202 cm 处有机质的¹⁴C 年代在中国科学院湖泊沉积与环境开放实验室¹⁴C 年代实验室测定, 分别为 4 473 ± 40 a BP、5 825 ± 85 a BP 和 7 754 ± 45 a BP。¹³⁷Cs 法对现代湖泊沉积速率测定显示, 沉积物¹³⁷Cs 的蓄积量在 1 cm 以下样品中已消失, 表层湖泊沉积速率 0. 25 mm/a, 与根据上部 100 cm 岩芯¹⁴C 测年结果计算的平均沉积速率基本一致。

2.2 研究时段的确定

研究的时段主要依据洱海湖泊沉积记录及其邻近区域考古年代资料确定。洱海流域及其相邻地区有丰富的新石器文化, 其中已发现最早的洱海东部宾川县白羊村遗址, 其放射性碳同位素年代为 3 770 ± 85 a BP, 白羊村出土的先民定居的房址多达 11 座, 窖穴 48 个, 均有火塘及使用火的遗迹, 晚期的房址多属木胎泥墙, 磨制石器和陶器大量使用, 房址、窖穴中有动物骨骼、储藏禾本植物叶子和谷物的遗迹, 表明在距今近 4 000 年时, 本区域人类社会以农业为主, 兼营狩猎、采集与饲养家畜^[9], 同时, 农业的出现和房址中木材的使用、较厚的灰烬层、烧制陶器的使用等, 说明对居址附近的植被破坏严重, 人们对自然环境开始有较大的影响。洱海地区的新石器文化遗迹与白羊村为同一时期的文化, 洱海西岸新石

器时代的马龙古城遗址中,发现有碳屑与陶片, ^{14}C 年龄为 $3\ 010 \pm 130\ \text{a BP}$, 陶片热释光年代为 $3\ 456 \pm 202\ \text{a BP}$ ^[10]。宋学良等^[11]对云南中部石灰岩高原湖泊杞麓湖的研究也发现: 湖泊沉积物岩芯中 $3.6\ \text{ka BP}$ 前后的植被组成的变化可能受到人类活动的强烈影响。在系统分析洱海湖泊沉积物多环境指标的基础上,我们发现一些环境指标如沉积物有机碳稳定同位素、硅藻组合主要反映了气候变化、湖泊水位变化的指示意义明显,并建立了不同时间尺度的环境变化序列^[19,20]; 而沉积物磁化率、元素、色素对人类活动方式和强度变化的响应比较强烈^[22]。洱海湖泊沉积记录的人类活动影响在湖泊沉积物环境指标变化曲线上出现显著的变化(图 1),而且这种变化与人类活动的考古、文字记载的历史具有较好的一致性,综合沉积物环境指标的变化,100 cm 的上部岩芯代表近 4 500 年来的人类活动历史,故本文主要研究近 4 500 年来人类活动的湖泊沉积记录。

3 人类活动的湖泊沉积响应

根据 ^{14}C 年代推算的平均沉积速率在上部 100 cm 为 $0.22\ \text{mm/a}$, 如此偏低的沉积速率和采样点位于湖心中央平台有关。为了便于讨论人类活动的湖泊沉积响应,表 2 列出历史时期近 4 500 年来的湖泊沉积柱状岩芯深度与年代的关系。

表 2 洱海湖泊沉积柱状岩芯深度与年代

Tab. 2 Relationship between depth and chronology of the Core from Erhai Lake

深度/cm	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
年代	1996AD	1550AD	1100AD	660AD	210AD	230BC	680BC	1130BC	1580BC	2020BC	2470BC
年代/aBP	0	450	900	1 350	1 800	2 250	2 700	3 150	3 600	4 020	4 470

3.1 湖泊沉积物磁化率记录

磁性测量具有快速简便、经济易行、对样品无破坏等特点,已成为研究湖泊沉积环境研究的重要测试手段之一,已有的研究发现: 磁化率参数对历史时期人类活动特别是生产方式和强度的变化有明显的指示意义^[12]。

洱海湖泊沉积物磁化率参数的变化如图 1a 所示。图中显示,100 cm 以下的沉积物磁化率处于较低水平,平均为 $50 \times 10^{-5}\ \text{SI}$, 且变化幅度不大,说明陆源含铁磁性矿物的碎屑物质向湖泊输入处于较低水平。100 cm 向上磁化率显著增加,至 60 cm 左右达到 $200 \times 10^{-5}\ \text{SI}$ 以上。土壤磁化率的研究发现,我国热带、亚热带红色风化壳的富铁铝化和“磁赤铁矿化”平行发展,两者为极显著的正相关关系,表层土壤中磁性物质丰富^[13,21]。由于洱海湖泊沉积物的磁性物质来源于湖泊周围地区,特别是表土中含有丰富的磁性物质,对磁化率有更大贡献,在人类活动破坏植被、表土人为水土流失过程开始后,会造成沉积物磁化率的快速上升。可以断定: 距今约 4 500 年左右洱海流域的人类活动已经开始影响流域环境,并在湖泊沉积记录中有显著的响应,造成沉积物磁化率上升的原因与土地利用方式在距今 4 500 年左右的有关。间接地说明耕作农业的出现和发展对洱海流域自然环境产生较大影响,湖泊沉积物磁化率参数变化较好地记录了这一社会发展变化过程。

洱海湖泊沉积物频率磁化率的波动变化远比磁化率复杂,与沉积物频率磁化率能够更

加明显反映流域环境变化的细节有关。图中频率磁化率在 100 cm 以下平均值为 2%，至 90 cm 频率磁化率已经上升到 10% 以上。表明洱海流域人类活动特别是生产方式的变化, 在

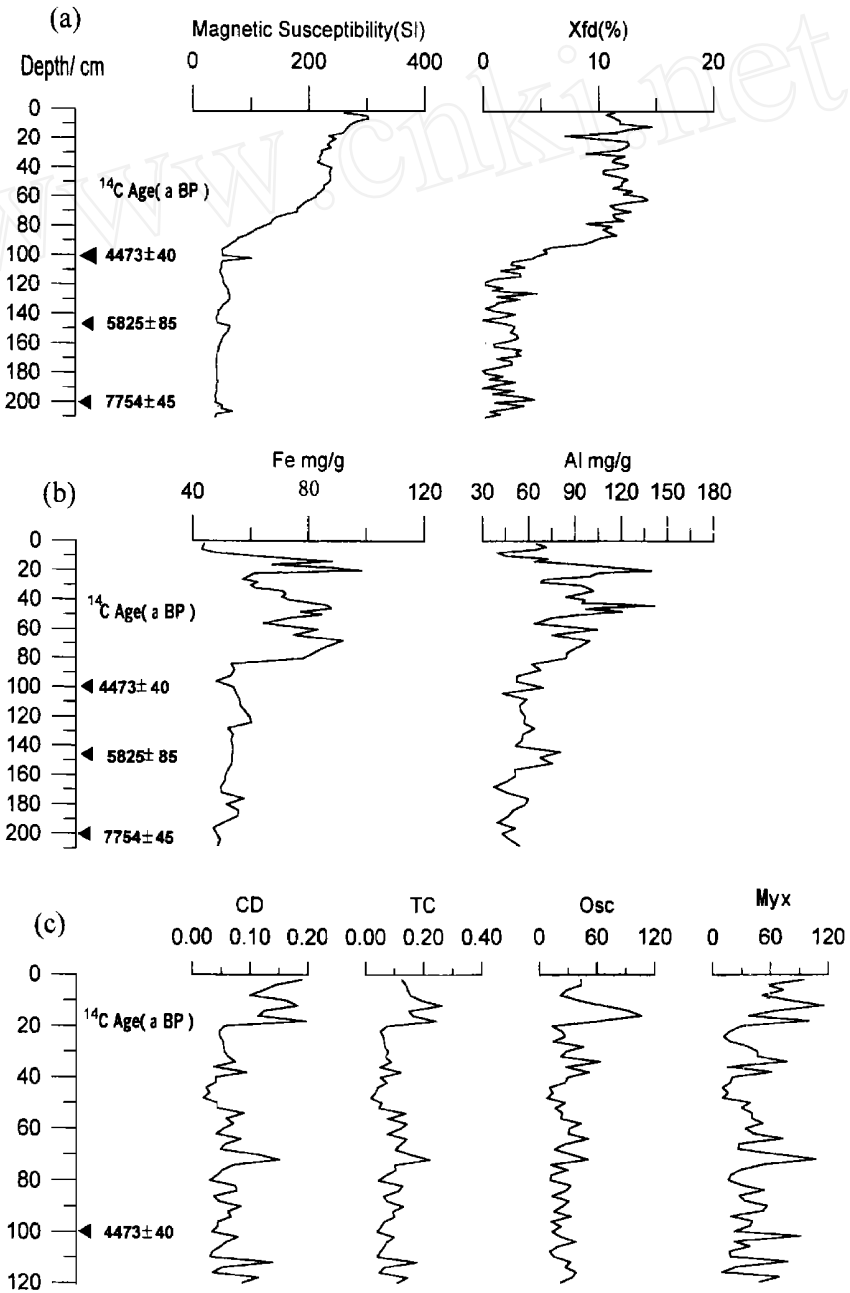


图 1 洱海湖泊沉积物磁化率和元素、色素含量的变化

Fig. 1 Magnetic susceptibility and chemical elements, pigments contents of lacustrine sediment from Erhai Lake

距今约4 500~ 4 000 年间完成了一次飞跃。

图 1a 中磁化率参数变化的一些细节, 还反映了人类活动强度的变化, 即磁化率上升反映人口增加, 生产规模扩大, 人类活动加强, 反之代表人类活动强度减弱。由于洱海流域的人口变化资料残缺, 考虑洱海流域及其邻近区域一直是云南省人口最集中的区域, 根据《中国人口·云南省分册》提供的历史时期云南省人口变化^[14], 对比磁化率参数和人口资料可以发现人口增加与磁化率上升有较好的一致性。如战国末到东汉时期, 进入云南的外来人口增加, 并在东汉永和五年(140AD)出现人口第一高峰期, 对应洱海沉积物磁化率第一峰值阶段(50~ 40 cm)。200AD 之后湖泊沉积物磁化率出现明显的谷值段, 与东汉后期云南人口(洱海流域)因战乱而下降有关。宋、元代大量人口南迁, 垦荒耕作活动加强, 在洱海湖泊沉积物磁化率参数记录中也有反映, 表现为磁化率参数的上升; 17~ 18 世纪的人口增加和耕作业的发展以及破坏森林植被导致地表侵蚀加强, 湖泊沉积物磁化率值在岩芯剖面上部出现最高值。

3.2 湖泊沉积物元素记录

湖泊沉积物的物质主要来源于湖泊所在流域范围内的地表物质, 在流水搬运作用下, 向湖盆不断堆积。湖泊沉积柱状岩芯中元素含量变化分析, 有助于判识流域人类活动对湖泊沉积的影响。为了反映湖泊沉积记录的人类活动变化, 这里选择洱海流域土壤中相对富集的元素 Fe、Al 进行分析。由于洱海流域宜农土地以亚热带的红壤为主要土壤类型, 土壤发育过程中受淋溶过程的影响, Fe 和 Al 是土壤中两种相对富集的元素。所以耕作农业的发展和人类活动加强时期, 由于对流域植被的破坏, 造成地表土壤侵蚀加强, 会导致湖泊沉积物中 Fe、Al 元素含量的增加。

图 1b 反映了洱海湖泊沉积物中元素 Fe、Al 的变化情况。洱海柱状岩芯剖面上沉积物元素 Fe、Al 含量变化基本一致, 其中元素 Al 含量在 90 cm 左右开始明显上升, 元素 Fe 的含量在 70 cm 以上明显上升。Fe、Al 含量变化的不一致性与 Fe 的活泼性强于 Al 有关。上述变化指示 4 ka BP 左右人类活动影响开始出现在湖泊沉积物元素记录中, 在时间上接近宾川白羊村遗址的年代。沉积物 Fe 元素含量在 70 cm 附近的快速增加, 反映洱海流域人类活动的影响显著加强, 同期洱海西岸新石器时代的马龙古城遗址中, 发现有碳屑与陶片,¹⁴C 年龄为 $3\ 010 \pm 130$ aBP, 陶片热释光年代为 $3\ 456 \pm 202$ aBP^[10]。表明人类较强烈地影响洱海流域自然环境和湖泊沉积的时间在距今 3 500 年前后, 与云南高原杞麓湖湖泊沉积记录的 3 600 aBP 左右人类活动造成沉积物孢粉记录的植被类型的变化一致^[11]。

岩芯元素 Fe、Al 含量在柱状岩芯剖面上的峰值段, 其中仍存在次一级的波动, 这种波动与人类活动的强度变化有密切的关系。56 cm 附近的谷值, 可能与战国时期庄蹻带兵入滇, 战乱加剧造成人口下降有关。而 48 cm 附近的元素峰值, 与东汉云南第一次人口高峰时期人类活动加强有关。图 1b 中湖泊沉积物元素 Fe、Al 含量在 30 cm 的谷值尤为显著, 与南诏后期由于战乱造成洱海流域人口下降、土地荒芜有关。云南人口在 1 102 年尚不足 30 万人, 远低于东汉人口高峰时期^[14]。

22~ 14 cm 沉积物中元素 Fe、Al 含量再次出现峰值, 与宋代战乱造成中原人口向云贵高原迁移有关, 土地开垦进入一个新的时期。元朝统一云南后, 由于戍边、屯垦和人口迁徙至云南从事农业生产, 云南人口发展很快, 1276 年云南人口超过东汉人口高峰, 人口总数达到 570 万人, 出现第二个人口高峰时期^[14]。因此洱海湖泊沉积物岩芯 22~ 14 cm 元素

的峰值段记录了人口增加、人类活动特别是农业生产规模的扩大的历史过程。

岩芯剖面顶部 14 cm 元素 Fe、Al 含量的降低, 推测与近二十年采样点水生植被开始蔓延生长有关, 由于水土界面的元素迁移主要发生在沉积物表层的 15 cm 内^[15], 水生植被的生长加速了沉积物元素 Fe、Al 的迁出。

3.3 色素变化对人类活动的反映

湖泊沉积物色素变化反映了湖泊初级生产力的变化, 具有重要环境指示意义; 色素的变化与湖泊的营养水平直接相关, 可以判识流域人类活动的方式和强度的特征^[16, 17]。图 1c 为洱海湖泊岩芯 120 cm 以上的色素含量变化, CD 为叶绿素及其衍生物, TC 为胡萝卜素, M_{yx} 为蓝藻叶黄素, O_{sc} 为颤藻黄素。

众多的研究发现, 湖泊的沉积物色素 CD 在富营养化型湖泊沉积物有机质中浓度极高; M_{yx} 、 O_{sc} 含量的变化可以为浮游生物中蓝藻科、颤藻科生物量的变化提供重要的沉积证据, 对认识湖泊富营养化的历史具有重要的作用, 其中 O_{sc} 的升高被认为是湖泊人为富营养化的重要依据^[16]。图 1c 中各种色素含量变化的图式具有显著的一致性。

色素含量在 20 cm (1 100 AD) 左右出现显著的峰值段, 以 CD 为例, 20 cm 以上含量平均为 0.15 unit/g · org, 下部 CD 含量平均值为 0.06 unit/g · org, 两者相差 2 倍以上; TC、 M_{yx} 、 O_{sc} 的含量变化也在 20 cm 以上出现峰值段。因为宋朝晚期以后, 特别是元代中原及北方人口大批迁入云南, 耕作农业进入一个快速发展的时期, 至 1276 年人口达到 570 万人^[14], 人口快速增加和垦荒种植农业的发展, 造成陆源有机质输入增加, 湖泊营养水平上升, 湖泊初级生产力提高, 利于沉积物色素的增加, 对这一时期湖泊沉积物色素高值段有直接的影响。同时, 该高值段中仍然包含次一级的波动, CD、TC、 M_{yx} 、 O_{sc} 变化曲线中均有一定的反映。关于次一级的波动的原因, 受自然变化影响的可能性更大一些, M_{yx} 变化曲线记录到小冰期两次低温波动 (17 世纪、19 世纪), CD、TC、 O_{sc} 变化曲线中对小冰期盛期的 17 世纪低温反映更明显一些, 这与历史时期苍山冰雪记录的气候变化一致^[18]。

色素变化曲线中 70 cm 附近的明显峰值, 与洱海西岸马龙遗址 3 500~ 3 000 a BP 左右人类活动有一定规模, 并开始对洱海流域强烈影响自然环境一致, 也与沉积物元素记录的人类活动大体一致。人类生产生活过程中, 刀耕火种、破坏植被、烧制陶器、伐木筑房等, 均会加剧陆源有机质的输入, 造成湖泊营养水平提高, 湖泊浮游藻类增加, 沉积物记录的色素含量上升。

西汉元始二年 (2 AD) 至东汉永和五年 (140 AD) 云南人口由 93 万人达到 270 万人, 出现有史以来的第一个人口高峰时期^[14]。图 1c 中洱海湖泊沉积物色素含量在 40 cm 左右出现的峰值是这一时期人口增长和人类活动加强的结果, 反映人为富营养化的 O_{sc} 含量上升最为显著。

4 讨论

4.1 湖泊沉积物环境指标对人类活动方式、强度变化的反映

参照考古和历史文献记录, 洱海湖泊沉积物磁化率参数、元素、色素的变化对人类活动方式、强度的变化均有较好的指示意义, 在指示的时间尺度上存在差异。磁化率参数反映了洱海流域人类活动最早在 4 500 a BP 开始影响湖泊沉积记录, 原始耕作农业的出现造

成磁化率上升, 频率磁化率的变化比磁化率的变化更加明显。元素 Fe、Al 的变化略滞后于磁化率参数的变化, 原因尚待进一步探讨。在人口增加、耕作农业扩大的时期(如马龙遗址时期、东汉第一人口高峰期、元代人口第二高峰期等) 湖泊沉积物元素 Fe、Al 的含量迅速上升, 反映流域人类活动加强, 表土侵蚀强烈, 土壤中丰富的 Fe、Al 化合物进入湖泊沉积。沉积物色素的变化则主要反映了人类活动强度的变化, 几个人类活动加强的时期色素含量均有不同程度的上升。因此, 洱海湖泊沉积物磁化率、元素、色素是判识人类活动的重要沉积环境指标。

4.2 湖泊沉积物磁化率参数的考古学意义

在湖泊沉积物年代测定的基础上, 根据沉积物磁性参数的异常上升变化, 可以帮助我们认识流域史前人类活动方式变化的时代。洱海湖泊沉积物磁化率记录的人类活动从 4 500 a BP 开始影响沉积物磁化率参数的变化, 预示着原始耕作农业的出现。由于湖泊沉积的连续性好、分辨率高, 对史前考古研究中缺乏人类活动遗迹、历史时期缺乏文字记载的区域, 研究湖泊沉积物磁化率参数的变化是十分有效的研究历史时期人类活动方式变化的途径。

4.3 湖泊沉积物色素反映的湖泊人为富营养化历史

洱海湖泊沉积物色素记录 (CD、TC、M_{yx}、O_{sc}) 变化与人类活动强度变化具有一致性。人类活动造成的湖泊营养水平上升的记录最早出现在 3 300 a BP 左右, 与洱海流域马龙遗址的时代一致。在人类活动的影响下湖泊沉积物记录的湖泊营养水平在 1 100AD 后出现一个跃变, 各种色素均出现峰值段。

致谢: 王苏民研究员对本研究给予悉心指导, 羊向东副研究员参加野外采样工作, 谨致谢忱!

参考文献 (References)

- [1] Zhang Lansheng. Historical evolution of life-supporting environment in China[A]. In: Zhang Lansheng ed. Study on the Historical evolution of life-supporting environment in China[C]. Beijing: Ocean Press, 1993. 1~5. (In Chinese) [张兰生. 中国生存环境历史演变规律[A]. 见: 张兰生 主编. 中国生存环境历史演变规律研究[C]. 北京: 海洋出版社, 1993. 1~5.]
- [2] Wang Sumin, Zhang Zhenke. New Progress in the Researches of Lake Sediments and Environmental Evolution in China[J]. *Chinese Sciences Bulletin*, 1999, 44(6): 579~587. (In Chinese) [王苏民, 张振克. 中国湖泊沉积与环境演变研究的新进展[J]. 科学通报, 1999, 44(6): 579~587.]
- [3] Wang Sumin, Li Jianren. Lacustrine sediments—a effective means for the research of historical climate[J]. *Chinese Sciences Bulletin*, 1990, 36(1): 54~56. (In Chinese) [王苏民, 李建仁. 湖泊沉积——研究历史气候的有效手段[J]. 科学通报, 1990, 36(1): 54~56.]
- [4] Wu Ruijin, Xiang Liang, Qian Junlong et al. Sediment Records of Modern Environmental Deterioration in Dianchi Lake, Yunnan Province[A]. In: Memoirs of Nanjing Institute of Geography and Limnology, Academia Sinica[C]. Beijing: Science Press, 1995. 1~10. (In Chinese) [吴瑞金, 项亮, 钱君龙等. 云南滇池近代环境恶化的沉积记录[A]. 见: 中国科学院南京地理与湖泊研究所集刊[C]. 北京: 科学出版社, 1995. 1~10.]
- [5] Zhang Zhenke, Wu Ruijin, Wang Sumin et al. Lacustrine records of environmental changes in Yujan Lake during the past 2600 years[J]. *Journal of Lake Sciences*, 1998, 10(2): 156~161. (In Chinese) [张振克, 吴瑞金, 王苏民等. 2600年来居延海环境演变的湖泊沉积记录[J]. 湖泊科学, 1998, 10(2): 156~161.]
- [6] Huang Chenyan. Study on the Sediments from Kunming Lake, Palace Park During the Past 3500 Years[M]. Beijing: Ocean Press, 1996. 1~128. (In Chinese) [黄成彦. 颐和园昆明湖 3500 余年沉积物研究[M]. 北京: 海洋出版社, 1996. 1~128.]
- [7] Zhu Haihong. Sediments and Environment of Fault Lakes in Yunnan Province[M]. Beijing: Science Press, 1989. (In Chinese) [朱海虹. 云南断陷湖泊沉积与环境[M]. 北京: 科学出版社, 1989.]

- [8] Ni Hua, Yao Binghen, Gong Chunsheng Neotectonic Movement and Palaeogeographic Problems in Erhai Basin [A]. In: Shen Xiangren ed. Scientific Collected Papers of Erhai Lake, Yunnan Province [C]. Kunming: Yunnan National Press, 1989. 186~ 190 (In Chinese) [倪华, 姚秉衡, 宫春生 洱海盆地新构造运动与古地理问题 [A]. 见: 沈仁湘 云南洱海科学论文集 [C]. 昆明: 云南民族出版社, 1989. 186~ 190]
- [9] Museum of Yunnan Province Relics of Baiyang Village in Binchuan County, Yunnan Province [J]. *Journal of Archaeology*, 1981, **3**: 349~ 368 (In Chinese) [云南省博物馆 云南宾川白羊村遗址 [J]. *考古学报*, 1981, **3**: 349~ 368]
- [10] Li Xianggen Study on Holocene Sediments, Faults in Dali Basin and Palaeo shoreline changes of Erhai Lake [J]. *Quaternary Research in China*, 1989, **8**(1): 65~ 73 (In Chinese) [李祥根 大理盆地全新世沉积, 断层与洱海古湖岸线变迁问题 [J]. *中国第四纪研究*, 1989, **8**(1): 65~ 73]
- [11] Song Xueliang, Li Baifu, Brenner M et al Study on Palaeolimnology in Limestone Plateau of Middle Yunnan Province [M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 1994. 1~ 114 (In Chinese) [宋学良, 李百福, Brenner M 等 云南中部石灰岩地区高原湖泊古湖沼学研究 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 1994. 1~ 114]
- [12] Oldfield F. Environmental magnetism—a personal perspective [J]. *Quaternary Science Reviews*, 1991, **10**: 73~ 85
- [13] Yu Jinyan, Zhan Shuoren, Wu Laosheng et al Soil susceptibility in subtropical and tropical regions of China [J]. *Journal of Soil Sciences*, 1986, **23**(1): 50~ 56 (In Chinese) [俞劲炎, 詹硕仁, 吴劳生 等 亚热带和热带土壤的磁化率 [J]. *土壤学报*, 1986, **23**(1): 50~ 56]
- [14] Zhou Qiyu, Miao Wenjun Population in China (Yunnan Province) [M]. Beijing: Chinese Financial Economic Press, 1989. 10~ 58 (In Chinese) [邹启宇, 苗文俊 中国人口 (云南分册) [M]. 北京: 中国财政经济出版社, 1989. 10~ 58]
- [15] Wu Fengchang, Wan Guojiang, Cai Yurong Study on the biogeochemical process in the interface between sediment and water [J]. *Advance in Earth Sciences*, 1996, **11**(2): 191~ 197. (In Chinese) [吴丰昌, 万国江, 蔡玉容 沉积物——水界面的生物地球化学作用 [J]. *地球科学进展*, 1996, **11**(2): 191~ 197]
- [16] Swain B. Measurement and interpretation of sedimentary pigments [J]. *Freshwater Biology*, 1985, **15**: 53~ 75
- [17] Ma Yan, Wang Sumin, Pan Hongxi Significance of diatom and pigment in the study on palaeoenvironmental evolution—a case study of Gucheng Lake, Jiangsu Province [J]. *Journal of Lake Sciences*, 1996, **8**(1): 16~ 26 (In Chinese) [马燕, 王苏民, 潘红玺 硅藻和色素在古环境演化研究中的意义——以固城湖为例 [J]. *湖泊科学*, 1996, **8**(1): 16~ 26]
- [18] Wu Xiangding, Lin Zhenyao Study on the recent climate changes in Hengduan Mountain region [J]. *Geographical Research*, 1987, **6**(2): 48~ 56 (In Chinese) [吴祥定, 林振耀 横断山区近代气候变化的研究 [J]. *地理研究*, 1987, **6**(2): 48~ 56]
- [19] Zhang Zhenke, Wang Sumin, Wu Ruijin Environmental evolution and southwest monsoon changes in mid-Holocene recorded by lake sediments in Erhai Lake [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1999, **44**(1): 94~ 96
- [20] Zhang Zhenke, Wu Ruijin, Wang Sumin et al Climatic evolution recorded by organic carbon stable isotope ratios in Erhai Lake in the past 8ka years [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 1998, **18**(3): 145~ 152 (In Chinese) [张振克, 吴瑞金, 王苏民 等 近 8ka 来云南洱海地区气候变化的有机碳稳定同位素记录 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1998, **18**(3): 145~ 152]
- [21] Huang Zhenguo, Zhang Weiqiang, Chen Junhong et al Red Weathered Crust in the Southern China [M]. Beijing: Ocean Press, 1996. 124~ 126 (In Chinese) [黄镇国, 张伟强, 陈俊鸿 等 中国南方红色风化壳 [M]. 北京: 海洋出版社, 1996. 124~ 126]
- [22] Zhang Zhenke Lake Responses of Human-nature Interaction, Environmental Evolution and Asia Monsoon Changes in China's Different Climatic Regions During the Historical Period Doctor Dissertation [D]. Nanjing: Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, 1998 (In Chinese) [张振克 历史时期中国不同气候区人与自然相互作用的湖泊响应、环境演化与亚洲季风变迁研究 博士学位论文 [D]. 南京: 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 1998]

Lacustrine Records of Human Activities in the Catchment of Erhai Lake, Yunnan Province

ZHANG Zhen-ke^{1,2}, WU Rui-jin², ZHU Yu-xin², PAN Hong-xi²,

WU Yan-hong², XIA Wei-lan², LI Xu-sheng¹

(1. Department of Geo and Ocean, Nanjing University, Nanjing 210093;

2. Institute of Geography and Limnology, CAS, Nanjing 210008)

Abstract: Based on the results of lacustrine environmental proxies from Erhai Lake, Yunnan Province, the lake responses of human activities recorded by lacustrine sediment in the catchment have been discussed.

The Erhai Core of 310 cm long was sampled in the center of Erhai Lake with the water depth of 4.6 m. The modern sedimentation rate by ¹³⁷Cs test is 0.25 mm/a, which is consistent with the average sedimentation rate of the upper 100 cm with radio carbon years of 4473 ± 40 aBP at the bottom. Because the surface soil are rich in magnetic materials. The environmental proxy of magnetic susceptibility was obviously influenced by the way of land use especially the occurrence of farming agriculture. So the sharp increase of magnetic susceptibility at 100 cm with ca 4500 aBP means the intensification of human activities especially the occurrence of farming agriculture. The time of the ancient farming occurrence recorded by the lake sediment is older than the archaeological relics with the radio carbon years of ca 3800 aBP in Baiyang Village near the catchment of Erhai Lake. The surface soil is rich with elements of Fe and Al in the catchment of Erhai Lake. So the changes of chemical elements contents (Fe, Al) had close relationship with surface water-soil erosion which controlled by the human activities in the catchment. The human relics of Malong in the catchment of Erhai Lake with the age of 3400~3100 aBP which corresponding with the sharp increase of element Fe and Al. The lower content of Fe, Al in the upper 15 cm may be affected by the aquatic vegetation which can absorb some chemical elements including Fe and Al. The variations of pigments indicated the process of lake eutrophication induced by human activities. The first and second peaks of pigments correspond with the time of Malong Relics and the first population summit of Yunnan Province. The obvious increase of pigments was occurred in 1100 AD with the large population migrated to Yunnan.

The proxies of lacustrine magnetic susceptibility, chemical elements and pigments are the efficient parameters to demonstrate the human activities in the catchment, which has important significance in the research on archaeology.

Key words: Erhai Lake; Lacustrine sediments; Environmental proxies; Human activities