

近 1800 年来云南洱海流域气候变化 与人类活动的湖泊沉积记录^{*}

张振克^{1,2} 吴瑞金² 沈吉² 吴艳宏²
朱育新² 潘红玺²

(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)

提 要 对云南洱海湖泊岩芯沉积物进行了多环境指标(年代学、色素、硅藻、有机碳稳定同位素、磁化率、化学元素)的分析,建立了近 1800 年来云南洱海流域气候与环境变化的序列,气候演化具有暖干、冷湿交替的组合特点,一些特征气候阶段如中世纪温暖期、小冰期气候特征在洱海湖泊沉积记录中均有反映。洱海湖泊沉积记录的气候暖干-冷湿交替变化规律,反映了西南季风影响下的气候演化特征。湖泊沉积记录中包含丰富的人类活动的信息,磁化率、元素 Fe、色素与历史时期人类活动的强度变化过程具有较好的一致性。多环境指标的综合分析方法,可以判识人类活动和气候变化的湖泊沉积响应,对高分辨率研究 2000 年时段湖泊沉积记录并合理解释环境指标变化具有重要意义。

关键词 湖泊沉积 洱海 气候变化 人类活动

分类号 P532 P343.3

我国西南地区主要受西南季风气候系统的影响,无论是过去气候变化还是近代气候变化,西南季风区和青藏高原、东亚季风区的气候变化具有十分密切的联系;西南地区湖泊众多,由于湖泊沉积忠实地记录了气候变化与流域环境变化过程,并具有连续性好、分辨率高、包含信息丰富的特点^[1]。因此,近年来,中外学者对西南季风区不同时间尺度湖泊沉积环境的研究日益广泛深入,并取得一批重要研究成果^[2-8],其中对 2000 年时段高分辨率的研究还有待进一步加强。近 2000 年来人类活动对湖泊环境的影响无疑保存在湖泊沉积地质记录中,国际过去全球变化领域正积极开展“土地利用与气候变化的流域系统响应”(Land Use and Climatic Impacts on Fluvial System)研究项目,将研究人类活动过程中的土地利用变化置于重要的位置^[9]。对历史时期流域系统自然记录的系统研究,有助于认识和预测流域环境系统对现代和未来土地利用、气候变化的响应规律和趋势。

本文根据洱海湖泊沉积记录的多环境指标的分析结果,用岩芯平均沉积速率建立年代序列,恢复了 1800 年来洱海流域的气候变化过程,结合历史记录探讨人类活动的湖泊沉积响应。

1 采样与分析

洱海南部有范围较大的水下中央平台,水深 5m 左右,其东西两侧为水下深槽区,水深多

* 中国博士后基金、国家自然科学基金(49672132)与中国科学院创新工程重大项目(KZCX1-Y-05)资助项目。
收稿日期:2000-01-12;收到修改稿日期:2000-09-26。张振克,男,1963年生,博士,博士后。

在 10-20m, 1996 年利用活塞式重力采样器, 在中央平台区(水深 4.6m)采得柱状岩芯, 野外按 2cm 间隔分样, 在沉积物有机质¹⁴C 测年的基础上, 对样品的总氮(TN)、有机碳(TOC)、磁化率、色素、硅藻、有机碳稳定同位素等环境指标进行分析; 用于¹³⁷Cs 沉积速率分析的柱状岩芯采样间隔为 1cm, 样品在野外即装入塑料袋闭光、封闭保存, 有关实验分析在中国科学院湖泊沉积与环境开放实验室进行. 岩芯 100cm、146cm 附近有机碳¹⁴C 测年为 4473 ± 40aBP 和 5828 ± 85aBP, 上部 100cm、146cm 平均沉积速率分别为 0.22mm·a⁻¹ 和 0.25mm·a⁻¹, 反映采样点沉积速率比较稳定; 沉积物¹³⁷Cs 的蓄积在 1cm 以下即消失, 沉积速率小于 0.25mm·a⁻¹, 与¹⁴C 测年结果计算的平均沉积速率大体一致.

造成洱海南部中央平台沉积速率稳定、速率较低的原因是: 洱海中部、北部为深水区域, 水深多大于 10m, 其中中部还存在大于 20m 的水域, 和南部中央平台水域形成显著差异. 在南部中央平台两侧深槽水域的水文观测表明, 深槽带是洱海湖流域速度较大的区域, 而中央平台水域水流速度很小^[10]. 所以, 采样点所在的中央平台水域主要是细颗粒沉积, 岩芯粒度分析显示: 上部 100cm 沉积物比较均一, 属于粘土级, 平均粒径超过 8Φ, 在一定程度上反映该区域沉积速率稳定、沉积速率较低的沉积环境特点.

据洱海湖泊岩芯上部平均沉积速率(0.22mm·a⁻¹)推算, 上部 40cm 岩芯代表 1800 年来的沉积记录. 作者对该岩芯上部 100cm 沉积记录与历史记录的对比研究表明, 按¹⁴C 年代推算的岩芯特征时段与人类活动的考古、文献记录有较好的一致性^[11]; D. Eisma 等在洱海南部中央平台水域所采的 48 号岩芯, 其 100cm 附近的¹⁴C 年代为 4680 ± 170aBP^[2], 和本文沉积物年代测试结果一致. 所以, 按平均沉积速率推算岩芯近 1800 年时间序列, 其误差不大.

2 湖泊沉积记录的气候变化

2.1 环境指标的气候意义

2.1.1 色素 湖泊沉积物中色素在沉积物中难以分解、比较稳定, 能够长期保存流域气候与环境变化的信息, 在湖泊沉积与环境研究中是十分有效的环境代用指标. 湖泊沉积环境研究中研究较多的是: 叶绿素及其衍生物(CD)、类胡萝卜素(TC)、蓝藻叶黄素(Myx)、颤藻黄素(Osc); 根据色素种类、含量的变化, 可以反映湖泊的初级生产力和陆源有机质输入, 湖泊初级生产力与湖泊温度、光照、盐度、营养状况有关, 间接地指示气候波动^[12].

2.1.2 C/N 比值与有机碳稳定同位素($\delta^{13}\text{C}$) C/N 比值升高反映陆源有机质输入增加, 降低则说明内源有机质贡献增大^[13]; 洱海湖泊沉积物的 C/N 比值多大于 30, 陆源有机质输入占有主导地位; 以陆源有机质输入为主的洱海湖泊沉积物, 其有机碳稳定同位素($\delta^{13}\text{C}$)对气候有明显指示意义, $\delta^{13}\text{C}$ 值高反映气候偏暖, 偏低则指示偏冷的气候^[14].

2.1.3 硅藻 洱海湖泊沉积物中包含丰富的硅藻化石, 由于洱海是一个出水湖, 其丰度的变化反映湖泊生物量的高低波动, 间接地指示气候变化, 即硅藻浓度上升, 对应偏暖气候; 硅藻浓度降低, 和偏冷气候一致.

2.2 气候变化阶段

根据洱海湖泊沉积记录, 近 1800 年来洱海地区的气候与环境变化划分五个阶段.

2.2.1 阶段 I (1790-1480aBP, 40-33cm) 气候偏暖干 该阶段的湖泊沉积记录的气候略偏暖干, 由于光照条件改善, 水温上升, 色素各种色素总体为弱峰阶段, 有机碳稳定同位素在剖面

底部出现峰值,反映气候偏暖.从 C/N 比值的变化来看,本阶段为低值段,反映湖泊暖干背景下,采样点湖泊内源有机质的贡献增加.因气候偏干,入湖径流减弱,陆源有机质输入减少,造成碳氮比值偏低.岩芯底部硅藻丰度为峰值,反映偏暖气候下,湖泊硅藻生物量有较大增加.根据历史记录,东汉末期为云南人口第一高峰值,人类活动加强对湖泊色素增加有贡献^[11].

2.2.2 阶段 II (1480 - 890aBP, 33 - 20cm) 气候较冷湿 本阶段反映气候冷干特征环境指标是:有机碳稳定同位素处于偏低值段,色素含量在岩芯剖面上处于低值段,代表冷干背景下的湖泊初级生产力降低;C/N 比值为高值段,反映偏冷湿气候背景下,湖泊内源有机质的贡献较小;由于气候湿润,入湖径流带来的陆源有机质的贡献相对增加.该阶段硅藻丰度为低值段,反映气候冷背景下,湖泊硅藻生物量降低,出湖径流的加快也会影响硅藻丰度降低.

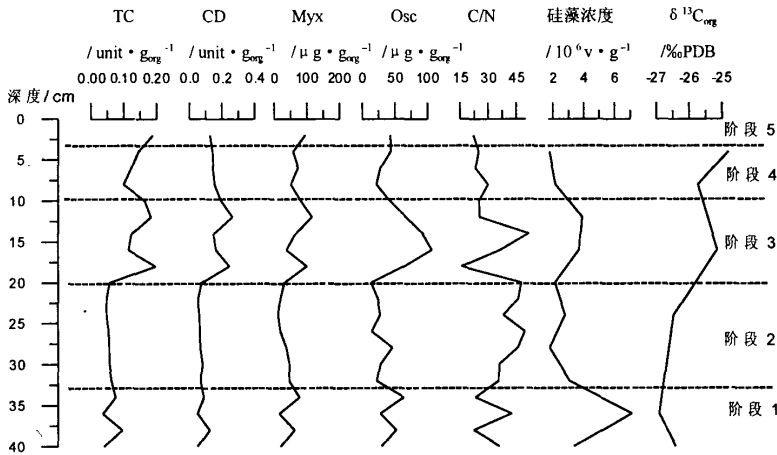


图 1 近 1800 年来洱海气候变化的湖泊沉积记录

Fig. 1 Lacustrine records of climatic changes during the past 1800 years in Erhai Lake

2.2.3 阶段 III (890 - 450aBP, 20 - 10cm) 气候较暖干,存在明显冷湿波动 湖泊沉积物的有机碳稳定同位素为峰值;沉积物色素为明显波动的峰值段,反映气候温暖背景下,湖泊的初级生产力水平增加;C/N 比值波动降低,反映较暖气候背景下,湖泊内源有机质的贡献较大.值得注意的是该阶段内还存在气候与环境的波动,特别是 1250 - 1350aAD 为一个偏冷的时段,色素中叶绿素及其衍生物、类胡萝卜素、蓝藻叶黄素等为谷值段,C/N 比值在该冷时期为峰值段,表明较冷湿气候条件下湖泊内源有机质贡献较小,而因降水增加,入湖径流带来的陆源有机质的贡献相对增加.硅藻丰度为峰值段,和总体偏暖的历史气候背景一致;同时,该阶段人类活动在结束长期战乱之后开始迅速增加,并在元代出现人口高峰.人类活动加强,对湖泊营养水平的增加有贡献.

2.2.4 阶段 IV (450 - 130aBP, 10 - 3cm) 气候冷湿 本阶段反映气候冷湿特征环境指标是:色素含量在岩芯剖面上处于低值段,代表冷湿背景下的湖泊初级生产力降低,其中 400 - 350aBP 左右的偏冷的特征最明显,有机碳稳定同位素为岩芯的偏低值段;从历史旱涝记录来看该阶段是偏涝时段^[15],与湖泊沉积记录一致.然而,历史记载明清以来洱海湖滨平原向湖推进,湖区人口大量增加,受湖滨耕作农业规模扩大的影响,入湖径流中陆源有机质增加,故湖泊沉积物

C/N 比值为弱峰值段,反映湖泊内源有机质的贡献较小,陆源有机质的贡献增大.该阶段硅藻丰度降低和气候偏冷环境一致.

2.2.5 阶段 V (130aBP 以来,3cm 以上)气候向偏暖干发展 和前一个阶段相比,有机碳同位素比值呈上升趋势,反映气候偏暖;色素有明显的上升,C/N 比值为低值段,反映在偏暖干背景下内源有机质在湖泊沉积物中有较大的贡献,和本阶段人类活动加强造成的湖泊营养水平上升有关.根据历史气候记录和现代气候观测资料,可以进一步揭示区域气候在较短尺度上的变化规律.历史干旱记录和气候观测记录表明 19 世纪 80 年代、20 世纪 30 年代到 50 年代和 80 年代以来明显偏旱,其它时段则偏涝;气温的波动从 19 世纪 70 年代到 20 世纪 30 年代呈上升趋势,之后下降至 70 年代初,进入 80 年代以来气温再次上升^[15,16].受洱海采样分辨率的限制,无法分辨洱海湖泊沉积物十年尺度气候变化的响应特征.

3 湖泊沉积记录的人类活动

3.1 洱海流域人类活动历史与过程

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 $3770 \pm 85\text{aBP}$,白羊村出土的先民定居的窖穴、房址均有火塘及使用火的遗迹,晚期多木胎泥墙,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^[17].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有较大的影响.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 $3010 \pm 130\text{aBP}$,陶片热释光年代为 $3456 \pm 202\text{aBP}$ ^[18].宋学良等^[8]对云南中部杞麓湖的研究也发现:湖泊沉积物岩芯中 3.6kaBP 前后的植被组成的变化可能受到人类活动的强烈影响.洱海湖泊沉积环境指标的变化显示 100cm 以上磁化率、频率磁化率参数同步迅速上升,间接地表明人类活动造成的土地利用方式的变化在 4500aBP 左右有一个突变,原始的耕作农业发展很快.本文重点讨论近 1800 年来湖泊沉积记录的人类活动变化的湖泊沉积响应.

3.2 人类活动的湖泊沉积响应

洱海流域及其邻近区域一直是云南省人口最集中的区域之一,人口变化过程和整个云南人口变动一致.利用云南历史时期人口变化的记录^[19],间接地指示洱海流域人类活动的强弱变化.这里选择云南人口变化的几个特征时期,探讨人类活动的湖泊响应(图 2).

3.2.1 东汉人口高峰期 战国末到东汉时期,进入云南的外来人口增加,并在东汉后期出现人口第一高峰期,人口总数达到 270 万人^[19].战国时期楚国将领庄乔带兵进入云南滇池一带,其中也带去当时较先进的耕作农业技术,推动云南耕作农业的发展^[19].近 1800 年洱海湖泊沉积记录中,东汉人口高峰带来的湖泊沉积响应十分显著:岩芯底部 40cm 湖泊沉积物磁化率参数为较高的峰值,反映人类活动造成的土壤侵蚀加强;洱海流域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 是土壤中相对富积的元素.所以,人口增加、耕作农业的发展时期,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 元素含量的增加.沉积物化学元素 Fe 在岩芯 40cm 附近含量为较高值段,是东汉人口高峰期人类活动加强、耕作农业发展的结果.洱海湖泊沉积物色素含量在 40cm 左右出现的弱峰值可能与这一时期人口增长和人类活动加强有关,反映人为富营养化的 Osc 含量上升最为显著.

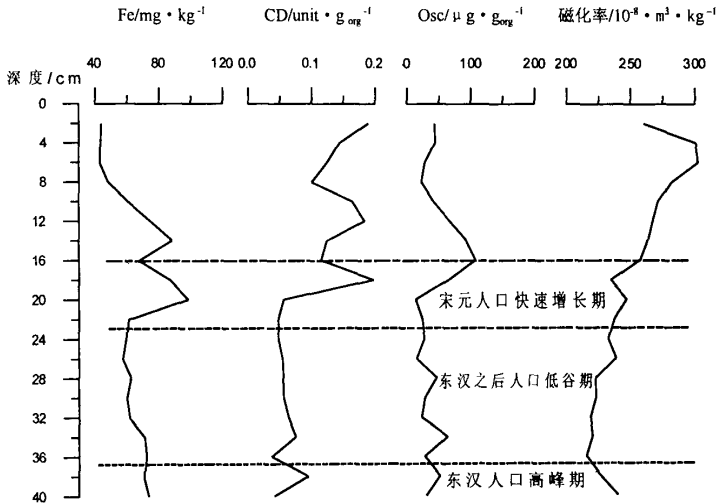


图2 洱海流域历史时期人类活动的湖泊沉积响应

Fig.2 Responses of sediments to the historical human activities in the catchment of Erhai Lake

3.2.2 宋、元人口快速增长期 宋朝战乱造成中原人口向云贵高原迁移,土地开垦进入一个新的时期。人口统计显示,1102年云南人口尚不足30万人,至1276年云南人口超过东汉人口高峰,人口总数达到570万人,出现第二人口高峰时期^[19]。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,云南人口持续快速增长。在洱海湖泊沉积记录中,宋-元人口快速上升时期的磁化率参数也表现为明显上升,元素Fe的含量表现为快速上升;色素记录在20cm附近出现突变,和人类活动快速增加一致。明清以来,磁化率参数、色素处于较高值段,和洱海流域人口持续增加、人类活动加强的直接相关。

3.2.3 东汉之后战乱造成的人口低谷期 云南人口在东汉人口高峰之后,因战乱造成人口迅速减少,据不完全统计,公元464年云南人口为3.6万人,隋代大业五年(公元609年),人口也只有7.5万人^[19],人口增长处于低速增长阶段,持续到北宋后期。该阶段人口减少,耕作农业衰退,植被一定程度得到恢复,土壤侵蚀和水土流失强度降低,受人类活动迅速减弱的影响,洱海湖泊沉积物磁化率急剧降低,元素Fe含量、色素变化和人口变化趋势一致,呈降低态势。

值得一提的是洱海表层沉积物中的元素Fe含量降低,与磁化率的高值段反差明显,其原因是:离子状态的Fe被水生植物大量吸收,造成上部岩芯元素Fe的含量降低;而磁化率参数受铁磁性矿物影响,人类活动影响下大量细铁磁性矿物在湖泊沉积,造成磁化率高值段。

4 结论与讨论

4.1 洱海湖泊沉积记录气候变化特征问题

根据近1800年洱海湖泊沉积记录的气候变化,洱海地区在百年尺度上具有冷湿、暖干的气候变化特征。近期,蒋雪中等对云南高原鹤庆盆地^[6]、陈敬安等对云南程海^[5]不同时间尺度

的湖泊沉积记录的研究,同样发现冷湿-暖干的气候演化特征.因此,西南季风区云南高原气候冷暖干湿组合的演化不同于中国东南季风区黄土和历史文献记录的冷干-暖湿组合特征.是否代表整个西南季风区不同时间尺度的气候变化,还有待更大范围、更多资料的验证.

4.2 气候冷湿-暖干变化和亚洲季风活动的关系

现代气候研究发现近 40 年西南地区的干湿变化与气温变化趋势一致,即暖期偏干,冷期偏湿^[20].八十年代在北半球陆地气候变化变暖背景下,西南地区与青藏高原出现降水偏少的干旱,与地面大气环流形势变化有关,西太平洋副热带高压强烈西伸,阻止西南暖湿气流进入西南地区和青藏高原^[16,20].因此可以推断西南地区的气候变化与东亚夏季风与西南季风的强弱变换有关,东亚夏季风加强,气候偏暖干;东亚夏季风减弱,则东亚冬季风加强、西南季风相对加强,气候偏冷湿.上述初步的认识,还需要进一步的完整,并从不同角度进行验证.

4.3 人类活动的湖泊沉积响应

湖泊沉积物的磁化率、元素 Fe、色素等环境指标对人类活动具有明显反映,人口增加、人类活动加强时期的湖泊沉积环境指标有强烈的响应,呈明显高值段;反之,在人口减少、人类活动减弱阶段,湖泊沉积物上述指标也有反映,为较低值段.受人类活动影响明显的磁化率参数、元素 Fe、色素湖泊沉积物环境指标的变化在环境考古学中具有广阔的应用前景.

4.4 多环境指标综合方法是研究 2000 年时段湖泊沉积记录的重要途径

2000 年时段湖泊沉积记录受到人类活动和气候变化的双重影响,洱海近 1800 年湖泊沉积记录的气候变化、人类活动湖泊响应的研究表明,依靠多环境指标综合分析方法,可以判识人类活动和气候变化的湖泊沉积响应,为合理解释湖泊沉积环境指标的变化、高分辨率研究 2000 年时段的气候变化奠定基础.

致谢 夏威夷高工、羊向东副研究员参加野外采样,李升峰博士分析硅藻浓度,王苏民研究员始终给予指导和帮助,并对本文提出修改建议,在此一并致谢.

参 考 文 献

- 1 Wang Sumin, Zhang Zhenke. New progress of lake sediments and environmental changes research in China. *Chinese Science Bulletin*, 1999, 44(19):1744-1754
- 2 Eisma D, Sun S, Song X et al. Sedimentation in Erhai lake, Yunnan Province, China. *湖泊科学*, 2000, 12(1):25-37
- 3 Hodell D A, Brenner M, Kanfoush S L, et al. Paleoclimte of southwestern China for the past 50000 yr inferred from lake sediment records. *Quaternary Research*, 1999, 52:369-380
- 4 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. *海洋地质与第四纪地质*, 1998, 18(3):145-152
- 5 陈敬安,万国江,黄荣贵.程海近代气候变化的化学记录. *海洋地质与第四纪地质*, 2000, 20(1):39-42
- 6 蒋雪中,王苏民,羊向东.云南鹤庆盆地 30ka 以来的古气候与环境变迁. *湖泊科学*, 1998, 10(2):10-16
- 7 吴艳宏,吴瑞金,薛滨等.13kaBP 以来滇池地区古环境演化. *湖泊科学*, 1998, 10(2):5-9
- 8 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.昆明:云南科学技术出版社,1994.1-120
- 9 R J Wasson. Land use and climate impacts on fluvial systems during the period of agriculture. PAGES Workshop Report, Series 96-2, 1996. 1-51
- 10 倪华,姚秉衡,宫春生.洱海盆地新构造运动与古地理问题.见:沈仁湘编. *云南洱海科学论文集*,昆明:云南民族出版社,1989.186-190
- 11 张振克,吴瑞金,朱育新等.云南洱海流域人类活动的湖泊沉积记录分析. *地理学报*, 2000, 55(1):66-74

- 12 马 燕,王苏民,潘红翌.硅藻和色素在古环境演化研究中的意义——以固城湖为例.湖泊科学,1996,8(1):16-26
- 13 王苏民,余源盛,吴瑞金等.岱海——湖泊环境与气候变化.合肥:中国科学技术大学出版社,1990,142
- 14 沈 吉,王苏民,羊向东.湖泊沉积物中有机碳稳定同位素测定及其古气候意义.海洋与湖沼,1996,27(4):400-404
- 15 徐裕华.西南气候.北京:气象出版社,1991.294-297
- 16 李克让,尹思明,沙万英.中国现代干旱灾害的时空特征.地理研究,1996,15(3):6-15
- 17 云南省博物馆.云南宾川白羊村遗址.考古学报,1981,3:349-368
- 18 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.中国第四纪研究,1989,8(1):65-73
- 19 邹启宇,苗文俊.中国人口(云南分册).北京:中国财政经济出版社,1989.10-58
- 20 孙鸿烈.青藏高原的形成演化.上海:上海科学技术出版社,1996.100-193

Lacustrine Records of Climatic Change and Human Activities in the Catchment of Erhai Lake, Yunnan Province Since the Past 1800 Years

ZHANG Zhenke^{1,2} WU Ruijin² SHEN Ji²
WU Yanhong² ZHU Yuxin² PAN Hongxi²

(1: Department of Geo and Ocean science, Nanjing University, Nanjing 210093, P. R. China;

2: Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, P. R. China)

Abstract

Based on the results of multi-environmental proxies (chronology, pigments, diatom concentration, stable isotope of organic carbon, magnetic susceptibility, chemical element) of lake sediment from Erhai Lake, Yunnan Province, the series of climatic variations in the catchment of Erhai Lake during the past 1800 years has been established. The climatic changes with warm-dry and cold-wet alternations in Erhai Lake are different to the loess records in East Asia monsoon with warm-wet and cold-dry features. The characteristic periods such as the medieval warm period and Little Ice Age are both recorded in the lake sediments from Erhai Lake. The climatic characteristics with warm-dry and cold-wet alternation from the lacustrine records in Erhai Lake have the regional feature in Yunnan Plateau affected by southwest monsoon on the century scale. The lake sediment from Erhai Lake is rich with information of human activities. The proxies such as magnetic susceptibility, chemical element-Fe, pigments have close relationship with the human activities during the historical period. The method of multi-environmental proxies analysis is useful to determine the response of climatic changes and human activities, which has important significance for the research as well as rational explanation on the high-resolution records of lacustrine sediment in the past 1800 years.

Key Words Lake sediment, Erhai Lake, climatic changes, human activities