

全新世大暖期云南洱海 环境演化的湖泊沉积记录^{*}

张振克[†] 吴瑞金 王苏民 沈吉 吴艳宏 李升峰[†]

(中国科学院南京地理与湖泊研究所 南京 210008)

[†](南京大学大地海洋科学系 南京 210093)

摘要 根据高分辨率湖泊沉积的有机碳稳定同位素记录、硅藻等环境指标分析结果,将洱海全新世大暖期(8.1—3.0ka B.P.)的环境演化分为7个阶段,环境变化序列以温(暖)湿—暖(温)干为主,其中存在明显冷干(湿)事件,冷事件出现在7.2ka B.P.、5.3ka B.P.和3.7ka B.P.。全新世大暖期洱海湖面波动与气候变化具有明显的一致性。洱海湖泊沉积记录的环境演化主要受亚洲季风强弱转换和时空迁移的影响,冷事件与亚洲冬季风加强有关,暖干气候受东亚夏季风加强影响,温(暖)湿气候反映西南季风加强。

关键词 湖泊沉积 洱海 环境演变 西南季风 东亚季风 全新世大暖期

学科分类号 P343.3

重建地质时期环境演变可为未来环境变化趋势的预测提供科学依据,在全球变暖和全球变化研究广泛受到关注背景下,中国学者在中国东中部全新世大暖期气候和环境基本特征(施雅风等,1992)、全新世东亚古季风时空变迁与环境演化(安芷生等,1993;吴锡浩等,1994)等研究领域取得了巨大进展。相对而言,中国西南季风区全新世气候与环境演化研究比较薄弱,近年来依靠湖泊沉积记录对西南季风区环境演变的研究日益受到重视(宋学良等,1994;陶发祥等,1996;蒋雪中等,1998;张振克等,1998),但对全新世大暖期高分辨率湖泊沉积记录的环境演化尚无专门研究。本文根据洱海湖泊沉积物有机碳稳定同位素记录,结合硅藻分析结果,主要探讨全新世大暖期(8.1—3.0ka B.P.)云南洱海地区的环境演化,并在对比不同区域气候与环境变化的基础上,探讨区域环境演化与季风变迁的关系。

1 采样与分析

1996年7月在洱海金梭岛以西湖中央平台水域(水深4.6m)用重力采样器(Livingston)采得连续柱状岩芯310cm,野外按2cm间隔采样,对样品进行了沉积年代、有机碳稳定同位素($\delta^{13}\text{C}$)、硅藻等环境指标分析。岩芯98—102cm、144—148cm、198—203cm处有机质的 ^{14}C 年龄分别为 $4\,473 \pm 40\text{a B.P.}$ 、 $5\,825 \pm 85\text{a B.P.}$ 和 $7\,754 \pm 45\text{a B.P.}$ 。对湖泊

^{*} 国家自然科学基金资助项目,49672132号;中国科学院创新工程项目,KZCX1-Y-05号。张振克,男,出生于1963年11月,博士,E-mail: xke@netra.nju.edu.cn

收稿日期:1998-08-12,收修改稿日期:1999-11-08

表层沉积速率(柱状岩芯按 1cm 间隔采样)用 ^{137}Cs 方法进行,测得表层 1cm 以下 ^{137}Cs 的蓄积量已经消失,现代沉积速率 $\leq 0.25\text{mm/a}$,考虑沉积物沉积后的压实作用,则表层沉积速率测试结果与 ^{14}C 测年结果计算的平均沉积速率一致。湖泊沉积物有机碳稳定同位素 ($\delta^{13}\text{C}$) 分析用真空灼烧—冷冻分离、净化法制备 CO_2 气体,在 Finigan MAT251 型质谱仪上测定 $\delta^{13}\text{C}$ 值。硅藻分析用重液浮选法分离,制成玻片在显微镜下鉴定并统计,最后计算硅藻浓度。

2 有机碳稳定同位素 ($\delta^{13}\text{C}$) 和硅藻的环境意义

近年来湖泊沉积物有机碳稳定同位素在古环境演化研究中得到广泛应用(陶发祥等, 1996; 沈吉等, 1996; 呈敬禄等, 1996; 张振克等, 1998)。湖泊沉积物有机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 值与有机碳的来源有关。洱海湖泊沉积物中总有机碳(TOC)和总氮(TN)的 C/N 比值变化范围在 30—50 之间,指示湖泊有机质以陆源输入为主; $\delta^{13}\text{C}$ 值的变化受流域不同光合作用类型的陆生植物影响,陆生植物按其光合作用途径主要分为 C_3 和 C_4 两种类型。 C_3 植物光合作用的最初产物为三磷酸甘油酯,而 C_4 植物光合作用的最初产物为四碳二羧酸,故相应地分别成为 C_3 与 C_4 植物。 C_3 植物喜低辐射、低温度环境,在 15—25℃ 静吸收 CO_2 的强度最大,其 $\delta^{13}\text{C}$ 值较低,一般为 -21‰ — -33‰ ,平均为 -27‰ (PDB)左右;而 C_4 植物喜高辐射、高温环境,30—45℃ 静吸收 CO_2 的强度最大, C_4 植物 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 -10‰ — -21‰ ,平均为 -14‰ (PDB)左右(郎格等, 1985),故湖泊沉积物 $\delta^{13}\text{C}$ 值的变化不仅直接反映植被的变化,而且可间接指示气候变化,偏正和偏负的 $\delta^{13}\text{C}$ 值对应偏暖、偏冷气候(沈吉等, 1996)。洱海沉积物有机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 值平均为 -25.5‰ (PDB),偏正 ($> -25\text{‰}$) 和偏负 ($< -26\text{‰}$) 分别对应偏暖和偏冷气候,其间视为温和。洱海湖泊沉积物硅藻组合为 *Cyclotella radiosae*—*Cyclotella* sp., 代表广水、较深水环境;附生硅藻 *Fragilaria pinnata* 浓度是反映湖泊水位波动的重要环境指标,*F. pinnata* 浓度升高指示湖泊水位降低,反之代表湖泊扩张(Walker, 1986)。

3 环境演化阶段

根据洱海湖泊沉积物有机碳稳定同位素、硅藻记录(图 1),全新世大暖期 8.1—3.0ka B.P. 期间洱海地区的环境演化分为 7 个阶段,各阶段的气候干湿变化和湖泊水位变化特征一致。湖泊沉积环境指标记录反映洱海地区全新世大暖期气候变化以温(暖)湿—(温)干变化序列为主,期间还存在冷干—冷湿气候波动,其中 7.2ka B.P.、5.3ka B.P. 和 3.7ka B.P. 左右的低温特征明显。

4 讨论

洱海地区地处东亚季风与西南季风气候系统的交错地带,气候系统的变化对区域环境演化有直接影响。在与临近区域古环境记录对比的基础上,探讨洱海湖泊沉积记录的古气候古环境变化与季风活动的关系具有重要意义。

4.1 环境变化序列与季风活动的关系

全新世大暖期洱海湖泊沉积记录的环境演变主要受西南季风的强弱转换与时空迁移的控制,通过不同区域古环境记录的比较,可以揭示全新世大暖期中国西南季风区古气候古环境变迁与季风活动的关系。北半球太阳辐射增强引起的季风环流在 9—6ka B.P. 达到最强盛阶段,印度洋西南季风加强,北非、西亚、中亚气候湿润,湖面扩张(Sirocko *et al.*, 1993; COHMAP members, 1988; 于革, 1997); 同期青藏高原湖泊以高湖面为主,但仍有

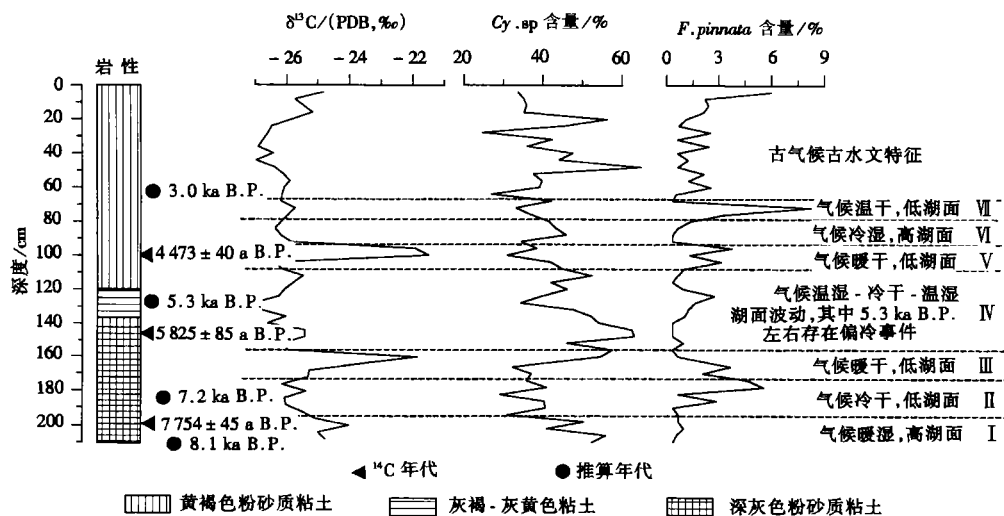


图1 洱海湖泊沉积记录的环境变化

Fig.1 Environmental changes recorded by the lake sediments from Erhai Lake

波动(王苏民等, 1992), 阿拉伯海近海岸高分辨率沉积记录的环境演变研究发现, 8 850—7 850a B.P. 西南季风最为强大(Sirocko *et al*, 1993)。洱海 8.1—5.9ka B.P. 气候总体特征是气温偏暖, 早期(8.1—7.4ka B.P.) 气候暖湿、湖面较高, 与西南季风加强对应。伴随太阳辐射和西南季风环流强度的减弱, 5.9ka B.P. 之后洱海湖泊沉积记录的气候有明显降温的趋势。

青藏高原东南部现代气候的研究发现: 暖干气候对应西太平洋副热带高压西伸加强阶段(孙鸿烈, 1996); 利用近 40 年来的气象观测资料, 对西南地区现代气候的研究发现气候变化具有暖干—冷湿的组合特点(李克让等, 1996)。全新世大暖期洱海湖泊沉积记录到两次发生在大约 6.9—5.9ka B.P. 和 4.7—4.0ka B.P. 的明显暖干事件(图 1), 推断该暖干事件与西太平洋副热带高压加强并西伸, 阻止西南暖湿气流进入西南地区有关。对中国东部黄河流域的环境考古研究也发现在龙山文化晚期、夏代(开始约 4.0ka B.P.) 之前, 气候偏干(王守春, 1992), 反映 5—4ka B.P. 前后东南季风加强, 雨带向偏北、偏西迁移, 内蒙古岱海、青藏高原湖泊为高湖面时期, 青藏高原泥炭广泛发育; 4.0ka B.P. 之后, 内蒙古岱海与青藏高原多数湖泊萎缩加快, 出现旱化趋势, 指示雨带向南、东迁移, 同期洱海与鹤庆盆地的沉积环境研究显示, 4.0ka B.P. 之后存在一个短暂的冷(凉)湿阶段, 湖泊水位上升(张振克等, 1998; 蒋雪中等, 1998)。

4.2 湖泊沉积记录的低温事件与亚洲冬季风的关系

在洱海全新世大暖期湖泊沉积记录的气候变化序列中, 7.2ka B.P.、5.3ka B.P. 左右出现明显的偏冷干事件。该两次冷事件在我国西南季风和内陆干旱区、东南季风区均有反映, 波及范围广, 贵州草海(陶发祥等, 1996)、江苏固城湖(王苏民等, 1996)、敦德冰芯和北京平原沉积记录(施雅风等, 1992) 等均有表现, Denton(1973) 对北半球的新冰期的研究发现 5.3ka B.P. 是一个明显的冷峰。洱海地区湖泊记录的气候冷干特征明显, 指示东亚冬季

风加强,而夏季西南季风强度减弱的季风变迁特征。

4.3 关于 4.0—3.0ka B.P. 气候冷湿—温干转换

洱海湖泊沉积记录显示 4.0—3.5ka B.P. 呈冷湿特征,湖面较高;洱海所在云贵高原及其相临的青藏高原东南部、长江中下游等较大范围的湖泊—泥炭沉积记录反映该阶段湖泊扩张(王苏民等,1992)。受太阳辐射驱动的季风环流强度减弱的影响,4.0—3.5ka B.P. 中国东、中部有效降水量峰值由北、西向东、南迁移,位置大体在云贵高原—江汉平原—华北平原一线,而其北部的黄土高原、内蒙古等广大区域该阶段气候偏干冷(张丕远,1996)。对洱海地区而言,该冷湿阶段亚洲季风特征是:东亚夏季风减弱、西南季风和东亚冬季风相对加强。3.5ka B.P. 以后中国东部有效降水峰值带移向华南地区(吴锡浩等,1994),洱海湖泊沉积记录的环境演化则由冷湿向温干转换,与中国东部有效降水峰值带的迁移一致,其形成原因和机制尚待进一步研究。

致谢 羊向东副研究员、夏威岚高级工程师参加野外采样,谨致谢忱。

参 考 文 献

- 于 革, 1997. 全球晚第四纪湖泊数据库的研究. 湖泊科学, 9(3): 193—202
- 王苏民, 王富葆, 1992. 全新世气候变化的湖泊记录. 见: 施雅风编. 中国全新世大暖期气候与环境. 北京: 海洋出版社, 146—152
- 王苏民, 羊向东, 马 燕等, 1996. 江苏固城湖 15ka 来的环境变迁与古季风关系探讨. 中国科学(D 辑), 26(2): 137—141
- 王守春, 1992. 黄河流域气候环境变化的考古文化与文字记录. 见: 施雅风. 中国全新世大暖期气候与环境. 北京: 海洋出版社, 175—184
- 孙鸿烈, 1996. 青藏高原的形成演化. 上海: 上海科学技术出版社, 100—193
- 安芷生, 波特 S, 吴锡浩等, 1993. 中国中东部全新世气候最宜期与东亚夏季风变迁. 科学通报, 38(14): 1 302—1 305
- 李克让, 尹思明, 沙万英, 1996. 中国现代干旱灾害的时空特征. 地理研究, 15(3): 6—15
- 宋学良, 李百福, Brenner M 等, 1994. 云南中部石灰岩地区高原湖泊古湖沼学研究. 昆明: 云南科技出版社, 1—114
- 吴锡浩, 安芷生, 王苏民等, 1994. 中国全新世气候最宜期东亚夏季风时空变迁. 第四纪研究, (1): 24—35
- 吴敬禄, 王苏民, 1996. 湖泊沉积物中有机碳同位素特征与古气候意义. 海洋地质与第四纪地质, 16(2): 103—108
- 张振克, 吴瑞金, 王苏民等, 1998. 近 8ka B.P. 来云南洱海地区气候演化的有机碳稳定同位素记录. 海洋地质与第四纪地质, 18(3): 23—29
- 张丕远, 1996. 中国历史气候变化. 济南: 山东科学技术出版社, 283—300
- 沈 吉, 王苏民, 羊向东, 1996. 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, 27(4): 400—404
- 施雅风, 孔昭宸, 王苏民等, 1992. 中国全新世大暖期的气候波动与重要事件. 中国科学(B 辑), (12): 1 300—1 308
- 朗格 O L, 卡彭 L, 舒尔茨 E D 著, 1985. 樊梦康等译, (1985). 水分与植物生活——问题与研究现状. 北京: 科学出版社, 203—248
- 陶发祥, 洪业汤, 姜洪波, 1996. 贵州草海最近 8ka 的气候变化. 科学通报, 41(16): 1 489—1 492
- 蒋雪中, 王苏民, 羊向东, 1998. 云南鹤庆盆地 30ka 以来的古气候与环境变迁. 湖泊科学, 10(2): 10—16

- COHMAP members, 1988. Climatic changes of the last 18 000 years: observations and model simulations. *Science*, 241(26): 1 043—1 052
- Denton G H, 1973. Holocene climatic variations—their pattern and possible cause. *Quaternary Research*, 3: 155—205
- Sirocko F, Sarnthein M, Erlenkeuser H *et al*, 1993. Century-scale events in monsoonal climate over the past 24 000 years. *Nature*, 364(22): 322—324
- Walker D, 1986. Late Pleistocene-early Holocene vegetational and climatic change in Yunnan Province, Southwest China. *Journal of Biogeography*, 13:477—486

ENVIRONMENTAL EVOLUTION RECORDED BY LAKE SEDIMENTS FROM ERHAI LAKE, YUNNAN PROVINCE IN HOLOCENE MEGATHERMAL

ZHANG Zhen-ke, WU Rui-jin, WANG Su-min, SHEN Ji,
WU Yan-hong, LI Sheng-feng[†]

(*Nanjing Institute of Geography and Limnology, The Chinese Academy of Sciences, Nanjing, 210008*)

[†](*Department of Geography and Oceanography, Nanjing University, Nanjing, 210093*)

Abstract Based upon the high resolution environmental proxy data including radiocarbon ages, organic carbon stable isotope ratios and diatom concentrations from Erhai Lake sediment cores, the environmental evolution in Holocene Megathermal (ca. 8.1—3.0ka B.P.) is divided into seven stages with the main sequences of temperate or warm-wet and warm (temperate)-dry. The events of cold wet (3.7ka B. P.) and cold dry (7.2ka B.P. and 5.3ka B.P.) are recorded by the sediments from Erhai Lake in Holocene Megathermal. During the period the lake level fluctuations were coincided with climate variations. The environmental evolution recorded by lake sediments was mainly affected by the strong-weak transition and temporal-spatial changes of the monsoon in Asia. Stages of warm (temperate)-dry in Holocene Megathermal were controlled by the west-moving of subtropical high pressure in the Northwest Pacific Ocean, which indicates that southeast monsoon was intensified in summer. Stages of temperate (warm)-wet show the intensification of southwest monsoon. The cold events were the results of the enhancement of winter monsoon in East Asia.

Key words Lake sediment Erhai Lake Environmental changes Southwest monsoon
East Asian monsoon Holocene Megathermal

Subject classification number P343.3