

安徽巢湖湖相地层记录的早全新世气候事件^①

胡 飞¹⁾ 杨玉璋¹⁾ 张居中¹⁾ 郑洪波²⁾

1) 中国科学技术大学科技史与科技考古系 安徽合肥 230026;

2) 南京师范大学地理科学学院 江苏南京 210046

摘 要:通过对安徽巢湖西岸杭埠河入口三角洲地区 CH 孔岩芯湖泊相沉积物的色度、磁化率及地球化学等古环境代用指标的分析与研究,揭示了巢湖地区早全新世时期(11.7~7.5 cal. kaBP)的极端气候事件。研究表明:研究区 11.7~7.5 cal. kaBP 期间沉积环境极不稳定,气候波动明显,并分别约在 7.8 cal. kaBP, 8.6 cal. kaBP, 9.4 cal. kaBP, 10.5 cal. kaBP, 11.4 cal. kaBP 出现 5 次显著的冷干气候事件,且以 8.6 cal. kaBP 与 11.4 cal. kaBP 表现最为强烈,与我国冰芯、石笋及湖泊沉积物所记录的早全新世冷事件具有可比性,反映了巢湖湖泊沉积物对我国早全新世北半球中纬度地区的季风气候有明显的响应,这将为我国北半球早全新世气候波动的机理研究提供佐证。

关键词:气候地层,色度,气候波动,冷干事件,早全新世,巢湖,安徽

中图分类号:P534.63,P539 文献标识码:A 文章编号:0253-4959(2015)01-0050-08

湖泊沉积记录是过去气候环境演变的重要载体之一(王苏民、李健仁,1991;Kelts K、丁仲礼,1992;王苏民、张振克,1999),它具有沉积连续性好、储存信息量大、沉积速率快、时间分辨率高等特点,其各种物理、化学、生物等指标可有效恢复过去降水、温度及植被等古气候环境信息,在区域气候环境重建和全球环境对比研究方面有不可替代的优势。早全新世时期,北半球气候经历了剧烈的波动,北大西洋分别于 8.1、9.4、10.3 及 11.1 ka BP 出现冷事件(Bond G *et al.*, 1997)。我国学者利用冰芯(姚檀栋等,1997)、黄土(郝守刚等,2002)、石笋(邵晓华等,2006)以及湖泊沉积物(周静等,2006)等对中国早全新世突发性气候环境事件进行了深入研究,结果表明中国早全新世时期气候波动同样非常显著,且在南北不同地区均出现了程度不同的冷干或冷湿气候事件。上述研究对了解全球早全新世气候突发事件的发生机制及区域响应等具有重要意义,并有助于未来极端气候环境的预测,因此受到各国科学家以及有关政府组织的普遍关注(覃嘉铭等,2004)。

巢湖是我国五大淡水湖之一,地处亚热带季风

气候过渡带,是东亚季风气候演变的敏感地区,其湖相沉积是研究中国东部南北过渡地区全新世以来气候环境波动以及极端气候事件的良好载体。近年来,不少专家学者分别从巢湖湖泊演化、古环境、湖泊污染等方面进行了细致的研究,尤其对约距今 9870 年以来的气候环境变化研究较为深入(王心源等,2008b;吴立等,2008),但仍缺乏对巢湖地区早全新世高分辨率沉积环境演化及其极端气候事件的深入研究。

本次研究在杭埠河与白石山河流入巢湖的交汇处进行科学钻探,获取了连续、完整且具有较高分辨率的早全新世湖相沉积物。杭埠河是流入巢湖的最大河流,使得杭埠河入口三角洲地区的湖相沉积物有利于揭示巢湖流域早全新世沉积环境演化,进而对于探讨巢湖地区早全新世气候环境演变以及极端气候事件等具有重大科学价值(王敏杰等,2012;胡飞等,待刊)。通过对样品进行 AMS¹⁴C 可靠测年,以及色度、磁化率以及地球化学等古环境综合代用指标的分析与研究,以期获取巢湖地区早全新世气候环境波动以及极端气候事件等古气候环境信息,

^① 中国科学院战略先导科技专项“黄淮海地区旱—稻作农业起源与传播”项目(XDA05130503)与国家自然科学基金项目(No. 40772105)。

文稿接受日期:2014-11-22;修改稿收到日期:2014-12-25。

第一作者简介:博士研究生,从事环境考古与科技考古研究;E-mail:hufei08@mail.ustc.edu.cn

通讯作者:张居中,教授,从事新石器时代考古、农业考古及科技考古等研究;E-mail:juzhzh@ustc.edu.cn

郑洪波:教授,从事第四纪地质与过去全球变化、古地磁学与环境磁学以及构造活动与古气候变化关系等研究;E-mail:zhenghb@njnu.edu.cn

并进一步探讨该地区早全新世的气候事件对北亚热带季风气候的区域响应,为我国北半球早全新世气候波动的机理研究提供科学证据。

1 研究区概况

巢湖位于安徽中部($30^{\circ}25'28''\sim 31^{\circ}43'28''N$, $117^{\circ}16'54''\sim 117^{\circ}51'46''E$),地处长江、淮河之间,属于长江下游左岸水系,湖水面积约 770 km^2 ,湖岸线总长 184.66 km ,东北部与东南部多山地岗峦,西北及西南部地势平坦。受地形条件的制约,流域水系呈放射状,水网密度大,流域面积 13349 km^2 ,共有河流 33 条,分别属兆河、白石山河、杭埠河—丰乐

河、派河、南淝河—店埠河、柘皋河、裕溪河等 7 条水系,现仅有裕溪河(全长 60.4 km)在巢湖东岸于裕溪口与长江相联接。该地区气候属亚热带和暖温带过渡性季风气候,气候温和,四季分明,年平均气温约 16°C ,年平均降雨量约 1000 mm ,流域内植被类型属于北亚热带常绿、落叶阔叶林混交林(吴征镒, 1995;王心源等, 2008a)。现今,该地区原生植被大多已经消失殆尽,绝大部分为人工栽培林、次生林及灌木及草本植物代替,包括低山丘陵植被群落、平原岗地植被群落和水生植被群落等三种植被类型(王心源等, 2008b)。



图 1 巢湖流域图及钻孔位置

Fig. 1 Map of Chaohu Basin and the position of drilling

2 材料与方法

经实地考察,我们选择巢湖西岸灵台村($31^{\circ}31'568''N$, $117^{\circ}23'324''E$)进行科学钻探取样(图 1),获取了约 20 m 深的钻孔连续沉积岩芯(编号 CH),岩芯 $0\sim 0.16\text{ m}$ 为近现代耕土层, $0.16\sim 1.72\text{ m}$ 为青白夹棕黄色泥质细砂, $1.72\sim 9.44\text{ m}$ 为青灰色湖相淤泥质黏土, $9.44\sim 10.58\text{ m}$ 为青灰色湖相黏土质粉砂, $10.58\sim 20.6\text{ m}$ 为河流相砂砾层。本文主要分析与研究 CH 孔湖相沉积物所记录的早全新世气候波动、特别是气候突变事件。

CH 孔湖泊沉积物在南京师范大学地理科学学院分样实验室按 2 cm 间隔进行分样,共得到样品 386 个。色度、磁化率以及地球化学元素分析在南

京大学地球科学与工程学院表生地球化学实验室完成,色度使用的是漫反射光谱 Perkin-Elmer Lambda 900 分光光度计测量,扫描间隔为 0.07 mm ;磁化率的测定采用英国 Bartington 公司生产的 MS2E 便携式磁化率仪,扫描间隔为 1 cm ;地球化学元素的测定使用荷兰生产的 Avaatech XRF 岩芯扫描仪,扫描间隔为 1 cm ;总有机碳与总氮分析在南京现代分析中心完成,分析仪器为德国 Heraeus 公司生产的元素分析仪,测试间隔为 20 cm ;有机质稳定碳同位素测试在中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊沉积与环境重点实验室完成,分析仪器 EA-MS 系统由三部分组成,带 AS200 型自动进样器、FLASH EA1112 型元素分析仪、Thermo

FINNIGEN 公司 Delta^{plus} advantage 质谱仪和连续流装置 Conflo III, 测试间隔为 20 cm。

AMS¹⁴C 年代测定在北京大学加速器质谱¹⁴C 年代实验室完成, 采样深度以及 3 个¹⁴C 年龄和校正日历年龄见表 1。同时, 将测年数据的日历年校正结果与岩芯深度进行线性插值内插和外推, 发现年龄与深度呈很好的线性关系 ($R^2 = 0.9979$), 沉积速率为 0.134 cm/a, 并得到巢湖 CH 孔湖相沉积物年代与深度的对应关系(图 2)。

表 1 巢湖 CH 孔岩芯湖相沉积物 AMS¹⁴C 测年数据及校正日历年

Tab. 1 The determined and calibrated AMS¹⁴C ages of lake sediments of core CH from Chaohu Region

实验室 编号	样品 编号	深度/cm	测试材料	¹⁴ C 年龄/ aBP	校正日历年 年龄/cal. aBP
QAS1544	CH1	174~182	泥质黏土	6610±30	7500±39
QAS1545	CH2	475~483	泥质黏土	8580±35	9540±24
QAS1546	CH3	675~683	泥质黏土	9830±40	11240±30

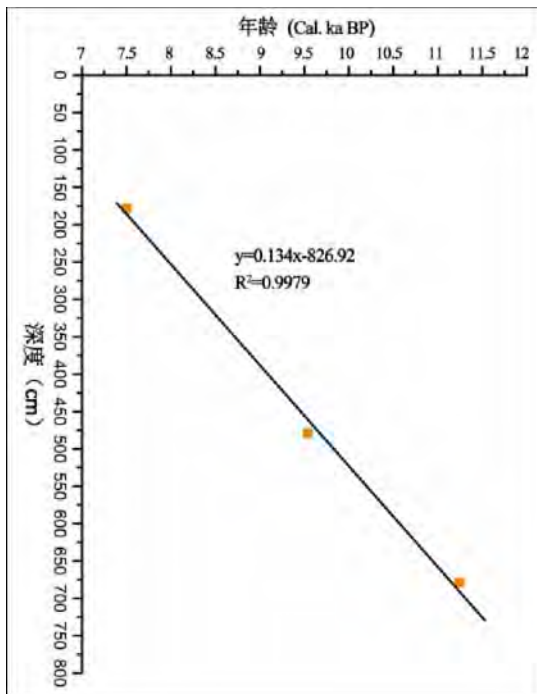


图 2 巢湖 CH 孔湖相沉积物年代深度模式

Fig. 2 Age-depth curve of lake sediments of core CH from Chaohu Region

3 分析结果

3.1 色度特征

颜色是沉积物最直观的特征之一, 取决于沉积物的矿物组成和有机质含量, 能反映沉积物形成时

的环境以及当时沉积环境的氧化—还原程度, 据此可以从其颜色提取沉积物风化沉积过程中的气候变化信息(Balsam *et al.*, 1999, 2004)。在 CIE 表色系中, L^* 值表示亮度, 受控于沉积物的碳酸盐和有机质含量的变化; a^* 值表示红度, 主要受控于碳酸镁含量及二价与三价铁矿物的组成(Ji J. F. *et al.*, 2005)。近些年, 吴艳宏等对湖泊沉积物色度在短尺度的古气候研究中发现, L^* 值(亮度)与沉积物碳酸盐含量正相关, L^* 值高时, 碳酸盐含量较高, 指示气候冷干; 反之则气温上升, 湿度增加(吴艳宏、李世杰, 2004)。王杰明等研究表明, 沉积物 a^* 值(红度)与赤铁矿含量呈正相关性(王杰明等, 2012), 赤铁矿的形成涉及脱水反应, 在蒸发量大于降雨量的干旱环境有利于赤铁矿的生成(Comell & Schwertmann, 1996), 沉积物 a^* 值增大, 而当气候趋于潮湿时, 有利于针铁矿发育, 而赤铁矿含量则降低, 沉积物 a^* 值减小(Schwertmann, 1971)。

巢湖早全新世(11.7~7.5 cal. kaBP)湖相沉积物的色度特征显示(图 3), L^* 值(亮度)的分布范围在 42.5~58.4 之间, 平均 49; a^* 值(红度)的分布范围在 2~10 之间, 平均 5.4。按时间早晚顺序来看, L^* 值总体呈现逐渐上升的趋势, 且大体可分为 11.7~10.5 与 10.5~7.5 cal. kaBP 两个阶段, 并分别在 8.6 以及 10.4 cal. kaBP 出现明显的峰值; a^* 值总体表现的较为稳定, 但也分别在 8.6 以及 10.4 cal. kaBP 出现明显峰值。从巢湖湖泊沉积物 L^* 值与 a^* 值的整体波动情况来看, 两者的相关关系不明显, 整体趋势呈正相关性, 但局部位置则呈现弱负相关性。

按时间早晚顺序总体来看, L^* 值(亮度)曲线呈现逐渐增加的趋势, 而 a^* 值(红度)相对较为稳定, 但两者均分别在 8.6 与 10.4 cal. kaBP 出现明显的异常高值, 指示可能响应较强的极端气候事件。

3.2 磁化率与地球化学元素特征

目前研究表明, 湖泊沉积物的磁性特征与其物源、沉积动力以及沉积后的次生变化等因素密切相关, 而这些因素的变化往往受气候环境等因素影响(张卫国等, 2007)。通常情况下, 内陆封闭湖泊沉积物磁化率的变化与沉积物的粒度组成及其磁性矿物含量相关(王建等, 1996), 因此, 磁化率的变化能间接地反映气候的干湿变化。磁化率高值指示气候偏湿, 而低值则指示气候干旱(张振克等, 1998)。湖泊沉积物中元素 Al、K、Ti、Ca、P 等含量以及 Fe/Mn 与 Zr/Rb 比值可以很好地反映湖泊水体的变化和流域的古气候演变特征。一般认为, 湖泊沉积物的

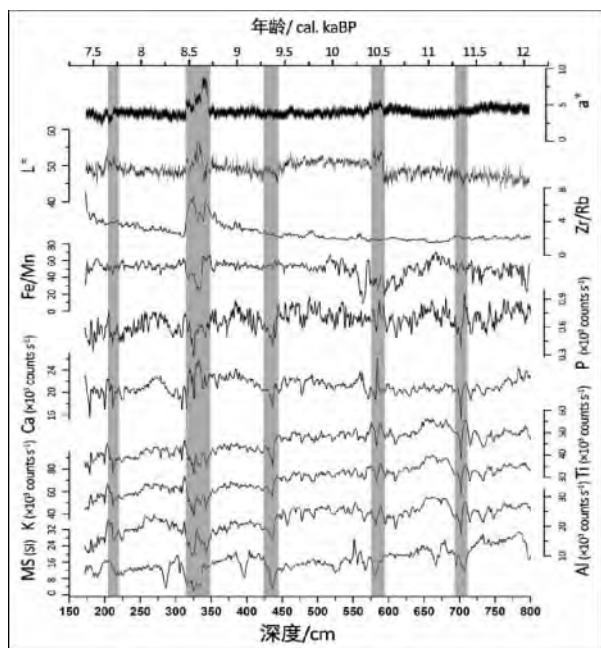


图 3 巢湖 CH 孔早全新世湖相沉积物的色度 (L^* 与 a^* 值)、磁化率及元素强度及其比值的分布曲线

Fig. 3 Distributions of color (L^* and a^* value), magnetic susceptibility, geochemical elements and their ratios of lake sediments during the early Holocene drilled from Chaohu Region

外源性的 Al、K、Ti 等元素含量的变化与夏季风的强弱直接相关,夏季风强盛时,降水增加,河流的径流量也会增加,可能携带更多的外源物质进入湖泊,造成外源性元素含量增加;反之,沉积物中的外源性元素含量则降低(姚政权等,2010)。P 元素含量主要反映湖泊水体的营养化程度。Fe 和 Mn 对氧化还原条件的敏感性不同(Davison, 1993),在缺氧的深水条件下,湖泊沉积物—水界面处于还原状态, Mn 易被消耗, Fe/Mn 比值较高;在浅水的氧化条件下, Fe 易被氧化,湖泊沉积物—水界面处于氧化状态, Fe/Mn 比较低。Zr/Rb 比值主要能反映湖泊沉积物中粗颗粒矿物与细颗粒(黏土级)矿物的相对含量(Dypvik & Harris, 2001)。一般而言,在构造稳定,环境适宜(气温较高,降水较多),化学风化较强时,湖泊沉积物中的细颗粒含量较多, Rb 含量相对较高, Zr/Rb 比值较低;当构造活跃或环境恶劣(气温低,干旱等),化学风化相对较弱时,入湖沉积物中粗颗粒相对较多, Zr 含量相对较高, Zr/Rb 比值也高(陈诗越等, 2003)。

巢湖湖相沉积物的磁化率与地球化学元素强度及其比值表现出明显的波动性(图 3)。磁化率分布在 1.6~30.9SI 之间,平均 16.7SI,按时间从早到晚的变化趋势来看逐渐降低,且波动强烈,分别约在

8.25、8.6、9.1、9.4、10.1、10.5、11.1 以及 11.3 cal. ka BP 出现异常低值。同时,巢湖湖泊沉积物中 Al、K、Ti、Ca、P 的元素强度分别约在 7.8、8.6、9.4、10.5 及 11.4 cal. kaBP 出现异常低值, Fe/Mn 比值约在 8.6 以及 10.5 cal. kaBP 出现明显谷值,而 Zr/Rb 比值则约在 8.6 cal. kaBP 出现显著峰值,其中以 8.6 与 11.4 cal. kaBP 表现的最为强烈。按时间早晚顺序来看,物源性元素 Al、K、Ti 的强度总体呈现逐渐下降的趋势,而 Zr/Rb 比值总体则呈现逐渐上升的趋势。元素 Ca 的强度与 Fe/Mn 比值总体趋势未见明显变化,但波动剧烈。

从上述分析结果来看,巢湖流域在早全新世(11.7~7.5 cal. kaBP)时期湖泊沉积环境极不稳定,反映该地区早全新世时期的气候波动较为剧烈,湖泊水位变迁频繁,磁化率和地球化学及其比值分别约在 7.8 cal. kaBP, 8.6 cal. kaBP, 9.4 cal. kaBP, 10.5 cal. kaBP, 11.4 cal. kaBP 同时出现异常突增或突降数值,而 7.8 cal. kaBP 与 10.5 cal. kaBP 呈现的突增或突降数值相对于其他 3 次则表现稍弱,但以上均指示当时可能遭遇了明显的极端气候事件,只是气候事件发生的时间跨度、变化幅度等有所差异。

3.3 总有机碳(TOC)、总氮(TN)、总氢(TH)含量以及有机碳稳定同位素($\delta^{13}C$)特征

一般认为,湖泊沉积物中有机碳含量指示湖泊生产力以及湖泊区域生物量的变化,温暖湿润的气候条件下有机碳含量高,反之含量低。有机质的碳氮比值以及稳定碳同位素可提供沉积物中有机质的来源信息以及湖区植被和水生植被的生长、大气 CO_2 浓度、气候(温度和降水)及湖水的性质等多方面情况(Dana & Deevey, 1960; Stuiver, 1975; Meyers *et al.*, 1993; 沈吉等, 1996; 吴敬禄等, 1996; 余俊清等, 2001; 王秋良等, 2003)。近些年湖泊沉积物中的氢指数(HI)也被作为湖泊沉积环境的有效指标,可用于判别有机质来源和沉积时的氧化还原环境,并可间接指示水位波动(罗建育、陈镇东, 1998)。HI 低值时,可能是由于陆上沉积物的暴露,或是水中混合氧的分解作用,使有机质的数量与类型发生变化;而 HI 高值时,则代表湖泊内源有机质的增加以及湖泊水深较大的稳定还原环境。

巢湖湖相沉积物中 TOC、TN 及 TH 等含量表现出明显的波动性(图 4)。TOC 含量大约为 0.28%~0.61%,平均 0.45%; TN 含量分布在 0.03%~0.06%之间,平均 0.046%; TH 含量分布范围为 0.42%~0.92%,平均 0.71%;碳氮比值在

7.2~12.2 之间,平均 9.86;有机碳稳定同位素约分布在 -24.23‰ ~ -20.56‰ 之间,平均 -21.93‰ 。按时间从早到晚的顺序来看,TOC、TN 以及 TH 含量呈逐渐降低的趋势,并且呈现阶段性演化,11.7~11.0 cal. kaBP 时段 TOC、TH 含量以及碳氮比值与有机质 $\delta^{13}\text{C}$ 值呈现逐渐上升趋势,TN 含量则表现得相当稳定;11.0~8.6 cal. kaBP 时段 TOC 及 TH 含量以及有机质 $\delta^{13}\text{C}$ 值波动剧烈并呈现逐渐降低趋势,约在 8.6 cal. kaBP 时除 TN 含量以外其余几乎均达到最低值,并且约在 10.5 cal. kaBP 也出现微弱的突变低值;8.6~7.5 cal. kaBP 时段 TOC、TN 及 TH 含量以及有机质 $\delta^{13}\text{C}$ 值呈现先升高后降低的趋势。综上所述,TOC、TN、TH、碳氮比值以及有机质 $\delta^{13}\text{C}$ 值均分别约在 8.6 cal. kaBP (除 TN)、9.4 cal. kaBP 以及 11.4 cal. kaBP 出现突变低值。

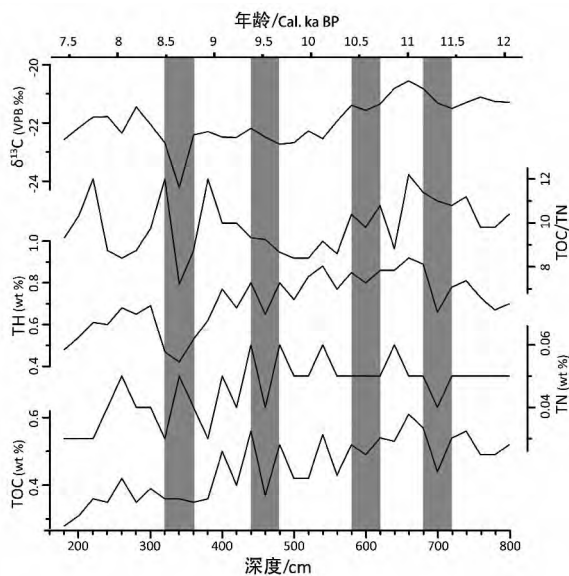


图 4 巢湖 CH 孔早全新世湖泊相沉积物的 TOC、TN、TH 以及 TOC/TN 与有机质 $\delta^{13}\text{C}$ 的分布曲线

Fig. 4 Distributions of total organic carbon, total nitrogen, total hydrogen, the ratios of total organic carbon and total nitrogen and organic $\delta^{13}\text{C}$ value of lake sediments during the early Holocene drilled from Chaohu Region

上述研究结果显示,巢湖早全新世(11.7~7.5 cal. kaBP)湖相沉积物中的有机质主要源于湖泊内自生的藻类等水生植被,受陆源植被影响较小,但可间接反映当时的气温变化,而有机质含量及其稳定碳同位素等数值均此起彼伏,波动显著,尤其分别约在 8.6 cal. kaBP、9.4 cal. kaBP 以及 11.4 cal. kaBP 出现明显的异常谷值,且约在 10.5 cal. kaBP 也出现稍弱的异常谷值,而 7.8 cal. kaBP 则表现

不明显,以上异常谷值均指示可能遭遇极端气候事件。

4 讨论

巢湖是位于长江下游的大型淡水、浅水湖泊,其水位的变化主要依赖于入湖径流量,而流域内各水系主要是以降水补给,且集中在夏季,因此,巢湖水位主要是受夏季风强度和降水的控制,其湖泊相沉积物的色度、磁化率以及地球化学指标对于研究我国北亚热带季风气候的不稳定性具有重要指示意义(张卫国等,2007)。本文通过对巢湖高分辨率的湖泊相沉积物进行色度、磁化率及地球化学指标的综合分析与研究,揭示了巢湖地区早全新世期间(11.7~7.5 cal. kaBP)气候波动及其极端气候事件特征,有助于进一步了解该区域早全新世古气候古环境变化及其与季风活动之间的关系。

据本文的色度、磁化率及地球化学等古环境综合代用指标显示,巢湖早全新世(11.7~7.5 cal. kaBP)气候环境可划分为 3 个阶段,且发生了多次极端气候事件。11.7~11.0 cal. kaBP 期间,巢湖湖相沉积物的色度、磁化率以及地球化学指标均呈现不同程度的波动且略有降低,尤其约在 11.3~11.5 cal. kaBP 期间以上各项指标均出现异常谷值。巢湖湖泊沉积物主要源自西边的大别山区,物源相对较为稳定,湖泊沉积物的磁化率及地球化学指标等变化特征均能有效反映区域性气候环境演化。通常情况下,内陆封闭湖泊沉积物磁化率的变化与沉积物的粒度组成及其磁性矿物含量相关(王建等,1996),地球化学元素含量的变化与夏季风的强弱直接相关。该阶段的磁化率、元素 Al、K、Ti、Ca、P 的强度以及 Fe/Mn 与 Zr/Rb 比值均反映当时的沉积环境与气候环境不太稳定,并且指示约在 11.3~11.5 cal. kaBP 该地区出现化学风化减弱以及降水减少的现象。而 TOC、TN 及 TH 含量以及 TOC/TN 比值与 $\delta^{13}\text{C}$ 值均处于早全新世(11.7~7.5 cal. kaBP)最高平均值并呈现逐渐上升的趋势,结合前人的相关研究(Wang Y. J. *et al.*, 2001),表明该阶段巢湖地区气温逐渐从晚更新世的冷干向温和方向发展,但在 11.3~11.5 cal. kaBP 出现突然降温事件,并且在此次降温事件之后气候又快速转向暖湿。综上所述,该阶段巢湖流域化学风化作用较强,植被快速发育,气候环境从晚更新世的冷干逐渐向温暖偏湿方向发展,且约在 11.4 cal. kaBP 遭遇冷干气候。

11.0~8.6 cal. kaBP 期间,湖泊相沉积物的色

度、磁化率以及地球化学指标均波动剧烈,指示该阶段的沉积环境极不稳定,反映气候环境多变。总体来看,该阶段的磁化率与元素 Al、K、Ti 呈逐渐降低的趋势,Zr/Rb 比值则略呈现增加的趋势,色度中的 L^* 值与元素 Ca 以及 Fe/Mn 比值则略有上升,反映该阶段化学分化作用逐渐减弱,湖泊水位也趋于降低。TOC、TN、TH 含量以及 $\delta^{13}\text{C}$ 值呈现明显的降低趋势,反映湖泊的生产力降低,气温逐渐降低,气候趋向温和偏干。同时,色度、磁化率及地球化学等古环境指标均分别约在 8.6 cal. kaBP, 9.4 cal. kaBP, 10.5 cal. kaBP 出现异常谷值或峰值,其中 TN 含量则在 8.6 cal. kaBP 出现突增现象,这可能与这一时期的硝酸盐输入以及湖泊水位下降导致溶解态硝态氮浓度相对富集而沉积所致(彭晓彤、周怀阳,2002;王东红等,2004),综合认为该阶段巢湖地区分别约在 8.6 cal. kaBP, 9.4 cal. kaBP, 10.5 cal. kaBP 遭遇 3 次冷干气候,且以 8.6 cal. kaBP 的冷干气候最为强烈。总体反映该阶段气候环境由温暖偏润趋于温和偏干。

8.6~7.5 cal. kaBP 期间,湖泊相沉积物的色度、磁化率以及地球化学元素波动曲线稍缓且磁化率大小与物源性元素强度趋于降低,而 TOC、TN、TH 含量以及 $\delta^{13}\text{C}$ 值呈现先升高后降低的趋势,指示该阶段的沉积环境及气候环境相对于前两个阶段均较为稳定,总体反映气候环境从温暖湿润趋于温和偏干。但色度、磁化率及地球化学指标均约在 7.8 cal. kaBP 左右出现微弱谷值,而 TOC/TN 比值则出现异常峰值,这可能是由于湖泊水位下降而造成的陆源植被直接输入所致,但以上均可反映巢湖地区约在 7.8 cal. kaBP 可能遭遇了较小的冷干气候。该阶段总体气候环境从温暖湿润转向温和偏干。

上述分析表明,巢湖湖泊相沉积记录较好地反映了早全新世气候环境的演化过程。通过色度、磁化率及地球化学指标从 3 个不同侧面来相互印证气候环境特征,较为客观地获得了巢湖地区早全新世沉积环境演化过程,并揭示出早全新世气候波动信息及其突变气候事件。结果表明,巢湖地区早全新世(11.7~7.5 cal. kaBP)气候波动明显,11.7~11.0 cal. kaBP 期间气候环境从晚更新世的冷干逐渐向温暖偏湿方向发展,11.0~8.6 cal. kaBP 期间气候波动最为剧烈,气候环境由温暖偏湿趋于温和偏干,8.6~7.5 cal. kaBP 期间总体环境相对前两个阶段较为稳定,气候环境从温暖湿润转向温和偏干。尤其值得关注的是,巢湖 CH 孔湖泊相沉积物记录了巢湖地区早全新世发生了 5 次明显的突变气

候,且以 8.6 cal. kaBP 及 11.4 cal. kaBP 最为强烈,反映巢湖地区早全新世气候环境极为不稳定,且与我国中、高纬度地区的冰芯(王宁练等,2002)、石笋(邵晓华等,2006)及湖泊沉积物(朱诚等,2006)所记录的气候特征相符,反映我国中、高纬度地区的早全新世气候可能受同一东亚季风气候的影响。从色度、磁化率以及地球化学指标的分析特征来看,巢湖地区早全新世分别约在 7.8、8.6、9.4、10.5 以及 11.4 cal. kaBP 均遭遇冷干气候,这可能与我国冰芯(王宁练等,2002)、石笋(邵晓华等,2006)以及湖泊沉积物(朱诚等,2006)记录的早全新世降温事件有关。

巢湖早全新世(11.7~7.5 cal. kaBP)气候环境特征与王心源等(2008b)对巢湖湖泊沉积物的孢粉分析结果基本一致,并与临近区域的大九湖(朱诚等,2006)、固城湖(王苏民等,1996;羊向东等,1996)等的孢粉分析结果具有一定可比性,且分别约在 11.3~11.0 cal. kaBP, 8.5 cal. kaBP, 7.8 cal. kaBP 出现降温波动,表明早全新世气候环境在中纬度地区具有总体一致的演化过程,但为何巢湖湖相沉积物未揭示出全球响应的 8.2 ka BP 冷气候事件,这可能与当时巢湖湖泊的大小、形态、水位以及流域基岩等方面因素所导致的沉积速率较低相关(金章东等,2007),且与新疆博斯腾湖所揭示的早全新世极端气候事件极为相似(钟巍、舒强,2001),其中巢湖湖相沉积物所揭示的 8.6 cal. kaBP 冷事件可能与 8.2 cal. kaBP 气候事件相对应。固城湖沉积物的孢粉信息揭示了 13.6~11.0 cal. kaBP 期间夏季风有所加强,但效应并不突出,气候环境温凉偏湿,但约在 11.3~11.0 cal. kaBP 冬季风加强,气温下降;约 11.0 cal. kaBP 后,夏季风效应显著增强,气温抬升,气候环境温暖湿润,但在 9.0~8.5 cal. kaBP 与 8.0~7.5 kaBP 期间夏季风强度有所减弱,气候温和偏湿;同时,湖北神农架石笋记录了 11.5~9.3 cal. kaBP 期间季风降水持续增加,9.3~4.4 cal. kaBP 时段降水丰沛,并且还记录了 11.0、10.2、9.3、8.6 和 8.2 cal. kaBP 的相对干旱事件。以上与本文巢湖 CH 孔湖泊沉积物所记录的早全新世气候环境特征非常相似,尤其该区域早全新世所发生的 5 次极端气候事件。巢湖地区早全新世发生的 5 次冷干气候记录与我国古里雅冰芯(王宁练等,2002)、湖北神农架石笋(邵晓华等,2006)以及北大西洋深海沉积物(Bond *et al.*, 1997)所记录的气候事件耦合性极强,表明这些气候事件在北半球具有普遍性,揭示我国早全新世中、高纬度地区的气候具

有相同的驱动力。巢湖地区现代气候属于北亚热带季风气候,湖泊沉积环境受夏季风影响很大,这将对研究中纬度地区早全新世气候的不稳定性以及夏季风的演化过程具有重要意义。

5 结 论

通过对巢湖湖泊相沉积物的色度、磁化率及地球化学指标的分析与研究,发现研究区早全新世(11.7~7.5 cal. kaBP)沉积环境极不稳定,气候波动剧烈,并分别约在 7.8、8.6、9.4、10.5 及 11.4 cal. kaBP 出现 5 次显著的冷干气候事件,且以 8.6 cal. kaBP 与 11.4 cal. kaBP 尤为突出,与我国冰芯、石笋以及湖泊沉积物所揭示的早全新世气候事件存在一定可比性,反映巢湖湖泊相沉积物对揭示我国早全新世中纬度地区的气候波动信息以及北亚热带季风气候变化具有重要的科学意义。

南京大学周斌副教授以及实验室周宁老师、南京师范大学王斌博士等对样品采集、前处理以及在测试工作过程中给予极大便利与帮助;中国科学院地质与地球物理研究所顾兆炎研究员帮助测定¹⁴C 年代,在此一并表示衷心感谢!

参 考 文 献

陈诗越,王苏民,金章东,沈吉. 2003. 青藏高原中部湖泊沉积物中 Zr/Rb 值及其环境意义. 海洋地质与第四纪地质, 23(4): 35-38.

郝守刚,马学平,夏正楷,赵朝洪,原思训,郁金城. 2002. 北京斋堂东胡林全新世早期遗址的黄土剖面. 地质学报, 76(3): 420-429.

胡飞,杨玉璋,张居中,郑洪波. 2015. 巢湖地区末次冰消期-早全新世沉积环境演化. 海洋地质与第四纪地质(待刊).

金章东, Y. Jin-min, 吴艳宏, 王苏明. 2007. 8.2 ka BP 冷气候事件确实在中国发生过吗? 地质论评, 53(5): 616-623.

Kelts K, 丁仲礼. 1992. 湖泊沉积——过去变化的信息库. 第四纪研究, 2: 138-143.

罗建育,陈镇东. 1998. 台湾大鬼湖沉积物元素分布所反映的古环境意义. 湖泊科学, 10(3): 13-17.

彭晓彤,周怀阳. 2002. 海岸带沉积物中脱氮作用的研究进展. 海洋科学, 26(5): 31-34.

覃嘉铭,袁道先,程海,林玉石,张美良,王福星,王华. 2004. 新仙女木及全新世早中期气候突变事件: 贵州茂兰石笋氧同位素记录. 中国科学(D辑), 34(1): 69-74.

邵晓华,王永进,程海,孔兴功,吴江滢. 2006. 全新世季风气候演化与干旱事件的湖北神农架石笋记录. 科学通报, 51(1): 80-86.

沈吉,王苏明,羊向东. 1996. 湖泊沉积物有机稳定同位素测定及其古气候环境意义. 海洋与湖沼, 27(4): 400.

王东红,黄清辉,王春霞,马梅,王子健. 2004. 长江中下游浅水湖泊中总氮及其形态的时空分别. 环境科学, 25: 27-30.

王建,刘泽纯,姜文英,董龄祥,朱明哲,高丰. 1996. 磁化率与粒度、矿物的关系及其古环境意义. 地理学报, 51(2): 155-163.

王杰明,闫宝华,吴松,杨积伟,张洒,宋春辉. 2012. 柴达木盆地东北部中新世沉积物色度记录的气候变化. 甘肃地质, 21(1): 6-11.

王敏杰,郑洪波,杨守业,范代读. 2012. 长江水下三角洲记录的全新世以来的环境信息. 同济大学学报(自然科学版), 40(3): 473-477.

王宁练,姚檀栋, Thompson L G, Henderson K A. 2002. 全新世早期强降温事件的古里雅冰芯记录证据. 科学通报, 47(11): 818-823.

王秋良,谢远云,梅惠. 2003. 湖泊沉积物中有机碳同位素特征及其古气候环境意义. 安全与环境工程, 10(4): 18-21.

王苏民,李健仁. 1991. 湖泊沉积——研究历史气候的有效手段: 以青海湖、岱海为例. 科学通报, 36(1): 54-56.

王苏民,羊向东,马燕,潘红玺,童国榜,吴锡浩. 1996. 江苏固城湖 15 ka 来的环境变迁与古季风关系探讨. 中国科学(D辑), 26(2): 137-141.

王苏民,张振克. 1999. 中国湖泊沉积与环境演变研究的新进展. 科学通报, 44(6): 579-587.

王心源,张广胜,张恩楼,肖霞云,蒋庆丰,吴立,王官勇,张生根. 2008a. 巢湖湖泊沉积记录的早-中全新世环境演化研究. 科学通报, 53: 132-138.

王心源,莫多闻,吴立,张广胜,肖霞云,韩伟光. 2008b. 长江下游巢湖 9870 cal. aBP 以来孢粉记录的环境演变. 第四纪研究, 28(4): 649-658.

吴敬禄,王苏民,沈吉. 1996. 湖泊沉积物有机质 $\delta^{13}C$ 所揭示的环境气候信息. 湖泊科学, 8(2): 113.

吴立,王心源,张广胜,肖霞云. 2008. 安徽巢湖湖泊沉积物孢粉-炭屑组合记录的全新世以来植被与气候演变. 古地理学报, 10(2): 183-192.

吴征镒. 1995. 中国植被. 北京: 科学出版社. 1-1375.

吴艳宏,李世杰. 2004. 湖泊沉积物色度在短尺度古气候研究中的作用. 地球科学进展, 19(5): 789-792.

羊向东,王苏民,童国榜. 1996. 江苏固城湖区一万多年来的孢粉植物群及古季风气候变迁. 植物学报, 38(7): 576-581.

姚檀栋,施雅风,秦大河,焦克勤,杨志红,田立德, Thompson L G, Mosley-Thompson E. 1997. 古里雅冰芯中末次间冰期以来气候变化记录研究. 中国科学(D辑), 27(5): 447-452.

姚政权,刘焱光,王昆山,石学法. 2010. 日本海末次冰消期千年尺度古环境变化的地球化学记录. 矿物岩石地球化学通报, 29(2): 119-126.

余俊清,王小燕,李军,安芷生. 2001. 湖泊沉积有机碳同位素与环境变化的研究进展. 湖泊科学, 13(1): 72.

张卫国,戴雪荣,张福瑞,师育新,俞立中, Dearing J A. 2007. 近 7000 年巢湖沉积物环境磁学特征及其指示的亚洲季风变化. 第四纪研究, 27(6): 1053-1061.

张振克,吴瑞金,王苏民. 1998. 岱海湖泊沉积物频率磁化率对历史时期环境变化的反映. 地理研究, 17(3): 297-302.

钟巍,舒强. 2001. 南疆博斯腾湖近 12.0 ka BP 以来古气候与古水文状况变化. 海洋与湖沼, 32: 213-220.

周静,王苏明,杨桂山,肖海丰. 2006. 新仙女木事件及全新世早中期降温事件——来自洱海湖泊沉积的记录. 气候变化研究进展, 2(3): 127-130.

朱诚,马春梅,张文卿,郑朝贵,唐领余,卢雪峰,刘克新,陈惠中.

2006. 神农架大九湖 15.753 kaB. P. 以来的孢粉记录与环境演变. *第四纪研究*, **26**(5):814-826.
- Balsam W L, Deaton B C & Damusth J E. 1999. Evaluating the optical lightness as a proxy for carbonate content in marine sediment cores: implication for marine sedimentation. *Marine Geology*, **161**:141-53.
- Balsam W L, Ji J F & Chen J. 2004. Climatic interpretation of the Luochuan and Lingtai loess sections, China, based on changing iron oxide mineralogy and magnetic susceptibility. *Earth and Planetary Science Letters*, **223**:335-348.
- Bond G, Showers W, Cheseby M, Lotti R, Almasi P, deMenocal P, Priore P, Cullen H, Hajdas I & Bonani G. 1997. A pervasive millennial-scale cycle in North Atlantic Holocene and glacial climate. *Science*, **278**: 1257-1266.
- Comell R M & Schwertmann U. 1996. The iron oxides: structure, properties, reactions, occurrence and uses. Weinheim: VCH Verlagsgesellschaft, 1-573.
- Dana S & Deevey E S. 1960. Carbon 13 in lake waters and its possible bearing on paleolimnology. *American Journal of Science*, **258**(a):253.
- Davison W. 1993. Iron and manganese in lakes. *Earth Science Review*, **34**(2):119-163.
- Dypvik H & Harris N B. 2001. Geochemical facies analysis of fine-grained siliciclastics using Th/U, Zr/Rb and (Zr+Sr)/Sr ratios. *Chemical Geology*, **181**:131-146.
- Ji J F, Shen J, William B, Liu L W & Liu X Q. 2005. Asian monsoon oscillations in the northeastern Qinghai Tibet Plateau since the late glacial as interpreted from visible reflectance of Qinghai Lake sediments. *Earth and Planetary Science Letters*, **233**: 61-70.
- Meyers P, Silliman J & Shaw T. 1993. An organic carbon isotopic of glacial-postglacial change in atmospheric pCO₂ in the sediments of Lake Biwa, Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **105**:171.
- Schwertmann U. 1971. Transformation of hematite to goethite in soils. *Nature*, **232**:624-625.
- Stuiver M. 1975. Climate versus changes in ¹³C content of the organic component of lake sediments during the late Quaternary. *Quat Res*, **5**:251.
- Wang Y J, Cheng H, Edwards R L, An Z S, Wu J Y, Shen C C & Dorale J A. 2001. A high-resolution absolute-dated Late Pleistocene Monsoon record from Hulu Cave, China. *Science*, **394**: 2345-2348.

EARLY HOLOCENE CLIMATIC EVENTS RECORDED IN LACUSTRINE SEDIMENTS IN THE CHAOHU REGION OF ANHUI PROVINCE

HU Fei¹⁾, YANG Yu-zhang¹⁾, ZHANG Ju-zhong¹⁾ and ZHENG Hong-bo²⁾

1) *Department of History of Science and Scientific Archaeology, University of Science and Technology of China, Hefei 230026;*

2) *College of Geographical Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210046*

Abstract On the basis of AMS ¹⁴C, color, magnetic susceptibility and geochemistry of lacustrine sediments from the deltaic area in the estuaries where the Hangbu River enters in the Chaohu Lake, we recovered extreme climatic events during the early Holocene (11.7-7.5 cal. kaBP) in the Chaohu Region. The result shows that the sedimentary environment was extremely unstable with strong climate changes, including five dry-cold events at 7.8 cal. kaBP, 8.6 cal. kaBP, 9.4 cal. kaBP, 10.5 cal. kaBP, and 11.4 cal. kaBP, with the dry-cold events at 8.6 cal. kaBP and 11.4 cal. kaBP being stronger than the others. The climatic history is comparable with abrupt early Holocene climatic events record in ice cores, stalagmites, and lacustrine sediments elsewhere in China, suggesting that the climatic record preserved in lacustrine sediments in the Chaohu Region is a response the monsoonal climate in the mid-latitude regions of the northern hemisphere.

Key words climatostratigraphy, color, climatic fluctuation, dry-cold climate event, Early Holocene, Chaohu Lake, Anhui Province