

吴立, 张梦翠, 计超, 等. 全新世巢湖沉积物炭屑记录的火环境变化[J]. 地理科学, 2016, 36(12): 1920-1928. [Wu Li, Zhang Mengcui, Ji Chao et al. Charcoal Recorded Fire Environment Change During the Holocene from the Sediment of the Chaohu Lake, East China. Scientia Geographica Sinica, 2016, 36(12): 1920-1928.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2016.12.018

全新世巢湖沉积物炭屑记录的火环境变化

吴立^{1,2}, 张梦翠¹, 计超¹, 张诗陶¹

(1. 安徽师范大学国土资源与旅游学院/安徽自然灾害过程与防控研究省级实验室, 安徽 芜湖 241002;

2. 中国科学院遥感与数字地球研究所数字地球重点实验室, 北京 100094)

摘要:通过对巢湖湖泊沉积岩芯不同粒级炭屑浓度和磁化率等指标变化的研究,揭示了全新世以来的区域火环境变化及人类活动影响。结果表明:①全新世早期,气候由寒冷干旱向温暖湿润过渡,但仍较为干旱,炭屑浓度也相对略高,火活动比较频繁,地方性和区域性火时有发生;②全新世中期是最温暖湿润的适宜期,炭屑浓度出现全新世以来的低值,火活动微弱,但在文化兴盛时期炭屑浓度出现峰值,则归因于人类活动的影响;③全新世晚期,在气候趋于凉干的环境背景下,人类活动的增强更加剧了火活动的频率和强度,炭屑浓度大幅增加;④近200 a炭屑浓度的降低可能与湖区附近已没有足够生物量引起火灾有关。

关键词:巢湖;全新世;炭屑记录;火环境;湖泊沉积

中图分类号:F129.9

文献标识码:A

文章编号:1000-0690(2016)12-1920-09

火作为一种重要且独特的环境生态因子,是反映气候变化的主要指标之一^[1-3]。人类的火活动对陆地生态系统产生了很大的影响^[4],自然火和人类火活动对所有全球变化的因子,尤其是气候变化和土地利用变更等方面均相当敏感^[5-8]。随着厄尔尼诺现象频繁出现,极端气候事件所引起的诸如印度尼西亚、巴西、澳大利亚等世界许多地方特大火灾事件频繁发生,火灾问题已成为各国科学家高度关注的焦点^[9]。进一步理解火灾发生的时空规律、降低未来火灾风险,对较长尺度区域范围内火历史演变过程的研究具有重要的理论和现实意义。其中,存在于沉积物中的炭屑被认为是反映过去火活动历史的重要指标^[10,11],国外火环境演化的研究就是开始于美国西部树木年轮的火疤分析和欧洲湿地沉积物中的炭屑识别技术^[12-16]。炭屑是植物有机体不完全燃烧所产生的黑色无机碳化合物^[17],它广泛保存在不同时期的沉积物中,常被风和流水从源地带到沉积地保存下来,特别是保存于湖沼沉积中的炭屑,由于沉积连

续性好,已公认为是过去火演化一个敏感的替代指标^[18],成为火环境变化历史记录的主要信息源,如储国强^[19]探讨了湖光岩玛珥湖近2 000 a来炭屑沉积通量变化与人类活动的关系,伍婧和刘强^[20]通过晚冰期月亮湖的炭屑记录反映了古气候演化等。巢湖流域位处以合肥为中心的安徽省会经济圈的核心区域,而该流域较长时空尺度火灾及火事件问题的研究还很少^[21,22],对洪涝等其它灾害关注较多^[23,24]。因此,本研究以巢湖湖泊沉积物炭屑分级统计及不同粒级炭屑面积浓度的对比为主要手段,系统的揭示全新世早中期火环境与气候变化之间的响应关系,在全新世晚期则深入探讨火环境变化与人类活动驱动加强之间的互动影响,为区域有效防灾减灾和自然-社会-经济协调发展提供科学借鉴。

1 材料与方法

巢湖位于安徽省中部、淮河与长江之间,属北亚热带和暖温带过渡性季风气候区。由于巢湖处

收稿日期:2016-01-20;**修订日期:**2016-04-25

基金项目:国家自然科学基金项目(41401216)、中国科学院数字地球重点实验室开放基金项目(2015LDE012)、安徽师范大学科研培育基金项目(2014rcpy13)资助。[Foundation: National Natural Science Foundation of China (41401216), Open Research Fund of Key Laboratory of Digital Earth Science, Chinese Academy of Sciences (2015LDE012), Scientific Research Cultivating Foundation of Anhui Normal University (2014rcpy13).]

作者简介:吴立(1985-),男,浙江海宁人,博士,副教授,主要从事湖泊沉积、环境考古与地貌演化研究。E-mail:jedi-wuli@163.com

在南北气候交界地带,并且本身仅有一条河流与长江相通,形成一个准封闭的湖泊,连续稳定的湖相沉积地层内蕴藏着丰富的流域古气候环境演变信息。从2006年4月至2015年7月,作者所在团队对巢湖湖区进行了10余次野外调研与湖泊沉积岩芯系列钻孔采样,其中在西湖区31°33′44.60″N,117°23′39.40″E位置水深3 m处获得4.9 m连续沉积岩芯(编号CH-1,采样时间2006年5月,取芯率98%,图1),岩性为青灰色淤泥,属湖泊相沉积物。

在实验室内以5 cm间隔分割获得98个炭屑样品;磁化率分析每隔1 cm取样获得245个样品。样品在室内自然风干后,分别进行炭屑浓度和磁化率分析测试。① 炭屑面积浓度分析:样品采用炭屑分级统计方法^[25],结合筛选法和花粉流程法2种分析方法的优点,利用筛选法对125 μm以上的粗粒炭屑进行提取统计,花粉流程法则获取粒径在125 μm以下的细粒炭屑。样品前处理完成后利用Leitz光学投射显微镜进行炭屑镜下分级统计,分别计算>125 μm和<125 μm炭屑的面积浓度,将所获得的炭屑统计结果作曲线和沉积率图。② 磁化率测试:样品自然风干后编号装入标

准塑料盒中,用Bartington MS2型便携式磁化率仪进行测量,测试样品的低频磁化率(χ_{lf})和高频磁化率(χ_{hf})值,并用公式 $\chi_{fd} = (\chi_{lf} - \chi_{hf}) / \chi_{lf} \times 100\%$ 计算样品频率磁化率(χ_{fd}),获得有效数据693个。

由于整个CH-1湖相岩芯都为较纯净的青灰色中粉砂、细粉砂并夹少量极细粉砂,未见包含物及植物残体,故选择7个湖泊沉积物全样进行AMS¹⁴C年代学测试,由北京大学核物理与核技术国家重点实验室完成(表1)。测年结果除第一个数据(深度0.87 m处)外,其它6个数据的线性关系很好。考虑到整个岩芯未见沉积间断痕迹,推测下部6个数据¹⁴C年代受到“碳库效应”影响^[26],因此,对岩芯深度1.27 m以下的6个年代数据依次进行了树轮校正^[27,28]和线性回归校正^[29,30](已另文发表,本文不再赘述)。校正后7个日历年代序列与深度呈很好的线性关系($R^2=0.9775$),使用外推内插法计算出岩芯其它深度的年代。

2 结果分析

2.1 炭屑浓度分析结果

炭屑实验共获得196个统计数据,分析结果表

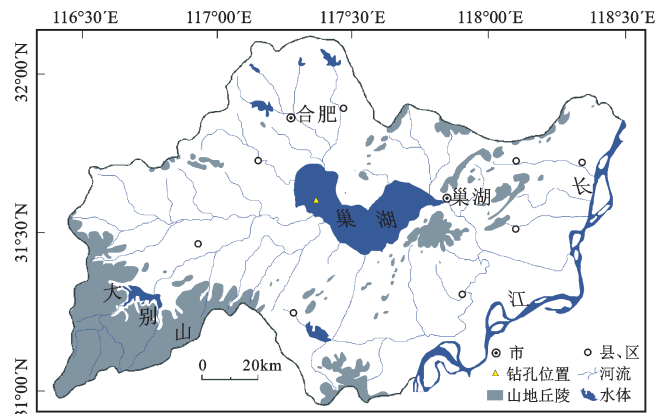


图1 巢湖CH-1岩芯取样位置及流域地貌水系特征

Fig.1 The sampling site of CH-1 core and regional geomorphic-drainage characteristics in Chaohu Lake

表1 巢湖CH-1岩芯AMS¹⁴C年代序列及校正结果

Table 1 The AMS¹⁴C ages and their calibrated results of CH-1 core in Chaohu Lake

实验室编号	样品	深度(m)	AMS ¹⁴ C年代(a BP)	2σ树轮校正年代	线性回归校正年代(cal. a BP)
BA061038	湖泊底泥	0.87	1065±35	890AD(95.4%)1030AD	1040±70
BA061039	湖泊底泥	1.27	4855±35	3710BC(79.2%)3630BC	2550±40
BA061040	湖泊底泥	1.89	5955±50	4970BC(95.4%)4710BC	3720±130
BA061041	湖泊底泥	2.27	6795±40	5740BC(95.4%)5630BC	4565±55
BA061042	湖泊底泥	2.87	7785±40	6690BC(95.4%)6500BC	5475±95
BA061043	湖泊底泥	3.87	8685±50	7840BC(93.9%)7580BC	6590±130
BA061044	湖泊底泥	4.87	10825±40	10935BC(95.4%)10850BC	9770±40

明:大于125 μm 炭屑的面积浓度为5.757~355.343 grains/ml, 小于125 μm 炭屑的面积浓度为0.180~22.302 cm^2/ml 。根据剖面炭屑面积浓度变化特征和孢粉百分比的CONISS聚类分析结果^[30], 剖面自下而上划分5个带(图2), 各带炭屑分析结果分述如下:

I带:深度490~337 cm(9 870~6 040 cal. a BP), 大于125 μm 炭屑的面积浓度为21.457~195.727 grains/ml, 平均值62.451 grains/ml, 具有4次明显的峰值, 分别在465 cm、455 cm、380 cm、370 cm处; 小于125 μm 炭屑的面积浓度为0.645~7.380 cm^2/ml , 平均值3.307 cm^2/ml 。大于125 μm 炭屑面积浓度相对略高, 小于125 μm 炭屑面积浓度整体较低。

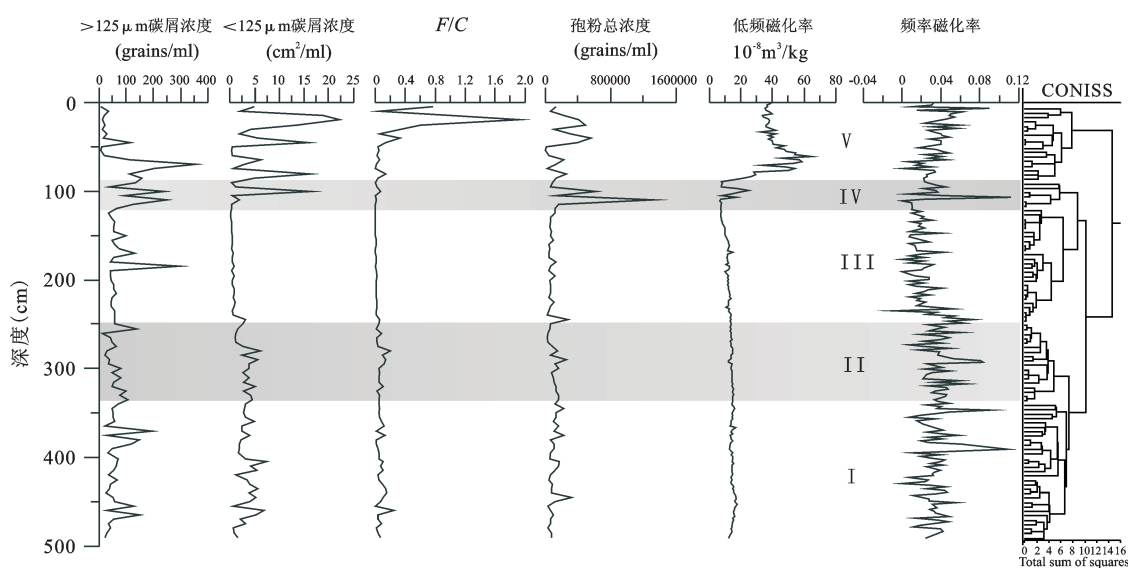
II带:深度337~247 cm(6 040~4 860 cal. a BP), 大于125 μm 炭屑的面积浓度为13.797~138.446 grains/ml, 平均值60.594 grains/ml, 在255 cm处有一较大的峰值; 小于125 μm 炭屑的面积浓度为1.029~6.022 cm^2/ml , 平均值3.233 cm^2/ml 。本带炭屑面积浓度稍有降低。

III带:深度247~117 cm(4 860~2 170 cal. a BP), 大于125 μm 炭屑的面积浓度为34.218~295.130 grains/ml, 平均值66.170 grains/ml, 在185 cm处有一较大的峰值, 在170 cm、150 cm处有较小的峰值; 小于125 μm 炭屑的面积浓度为0.180~3.154 cm^2/ml , 平均值0.633 cm^2/ml 。本带大于125 μm 炭屑面积浓度略有升高, 而小于125 μm 炭屑的面积浓度是整个剖面中最低的。

IV带:深度117~87 cm(2 170~1 040 cal. a BP), 大于125 μm 炭屑的面积浓度为38.465~250.379 grains/ml, 平均值146.469 grains/ml, 在110 cm、100 cm处出现2次较大的峰值; 小于125 μm 炭屑的面积浓度为0.279~16.415 cm^2/ml , 平均值3.429 cm^2/ml , 100 cm处有一较大的峰值。大于125 μm 和小于125 μm 炭屑的面积浓度都迅速增加, 为炭屑面积浓度的高值阶段。

V带:深度87~0 cm(1 040 cal. a BP至今), 大于125 μm 炭屑的面积浓度为5.757~355.343 grains/ml, 平均值73.37 grains/ml, 在70 cm、45 cm处出现2次峰值, 其中70 cm处为剖面炭屑面积浓度的最大值; 小于125 μm 炭屑的面积浓度为0.274~22.302 cm^2/ml , 平均值7.15 cm^2/ml , 在80 cm、45 cm、20 cm处出现峰值。大于125 μm 炭屑面积浓度变化较大, 在本带的上部降低较多; 小于125 μm 炭屑的面积浓度在本带上部进一步增加。

分析沉积物炭屑面积浓度的变化趋势(图2), 其特点集中表现在:① 大于125 μm 炭屑的面积浓度波动较大, 出现多次峰值; 小于125 μm 炭屑的面积浓度则经历了由相对平稳到波动明显的变化; ② 相较而言, 炭屑浓度在全新世早期较高, 除文化兴盛期炭屑浓度出现峰值外, 全新世中期炭屑浓度在整个剖面最低, 而炭屑浓度在全新世晚期大幅增加; 全新世以来炭屑面积浓度总体上呈增大趋势; ③ 大于125 μm 炭屑面积浓度变化更为显著。



注: F/C 为小于125 μm 炭屑与大于125 μm 炭屑面积浓度的比值。

图2 巢湖CH-1岩芯炭屑、孢粉与磁化率环境代用指标变化

Fig.2 Changes of environmental proxies of charcoal, pollen and magnetic susceptibility of CH-1 core in Chaohu Lake

2.2 炭屑沉积率的变化

以 500 a 为一个时间段,共划分为 20 个阶段,计算全新世以来的炭屑沉积率平均值并作移动平均曲线(图 3),方法为 $F_c = C_i / 500 \times 100\%$,式中 C_i 为经过年代插值后每 500 a 内样品的总炭屑浓度 (grains/ml 或 cm^2/ml), F_c 为炭屑沉积率平均值 (grains/ml·a 或 $\text{cm}^2/\text{ml} \cdot \text{a}$),其可反映一定时段内每年单位体积炭屑沉积含量的变化。由图 3 可以看出,炭屑沉积率变化明显,移动平均曲线呈现峰谷交替现象。其中,最为明显的 2 个峰值出现在全新世早期的 7 500~6 000 cal. a BP 以及全新世晚期的最近两千年来。全新世早期炭屑沉积率峰值主要受控于气候因素;孢粉记录表明^[31],巢湖地区 7 700 cal. a BP 左右发生了一次显著的干旱事件,使得本区全新世早期气候由先前的温暖湿润向温和干燥的方向发展;当时旱生草本含量较高的混交林植被为天然火的发生提供了充足的可供燃烧的生物量,加之温和干燥的气候,使得天然火灾频繁而较强烈的发生,炭屑沉积率从 7 500 cal. a BP 开始迅速上升并达峰值。近两千年来炭屑沉积率迅速升高则是气候与人类活动叠加影响的结果。考古与孢粉资料表明^[31],该时段本区气候向凉干方向发展,而人类活动自汉代以来大大加强,森林植被退缩并迅速演替为草地,说明当时人类大量砍伐或火烧森林以发展农业种植,这是近 2 000 a 来炭屑沉积率迅速增加的主要原因。

2.3 磁化率分析

已有的研究表明,沉积物的低频磁化率可以反映天然湖泊沉积物的磁性强弱^[32]。在湖泊沉积物中磁化率较高代表当时水动力条件较强,环境较为湿润;而磁化率较低则表示环境较为干旱^[33],进而湖泊沉积物的磁化率可以反映气候的干湿和降水量变化。根据试验结果(图 2),岩芯沉积物的低频磁化率值介于 $6.59 \times 10^{-8} \sim 64.49 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ 之间,平均值 $18.34 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$;频率磁化率最大值 (107 cm 处) 11.17%,平均值 3.50%;频率磁化率与低频磁化率之比的最大值为 0.86%,平均值 0.21%。在深度 117 cm (2 170 cal. a BP) 以下低频磁化率曲线较平稳,深度 160~117 cm 略呈下降趋势,而深度 117 cm 以上低频磁化率开始大幅升高;频率磁化率则呈现出不同幅度的振荡,具有 6 次明显的峰值,分别在 385 cm、345 cm、295 cm、247 cm、107 cm、7 cm 处,237 cm (4 700 cal. a BP) 处出现全岩芯的最低值,总体 237 cm 以下频率磁化率较其以上高。以上揭示全新世早期气候向温暖潮湿过渡,但仍较为干旱,中期气候温暖湿润,晚期可能受到较多的人类活动影响。

3 讨论

为了更好地利用炭屑探讨巢湖地区全新世以来火环境变化信息,可以从气候、物源、传播机制和动力等方面结合历史文献和考古资料进行详细对

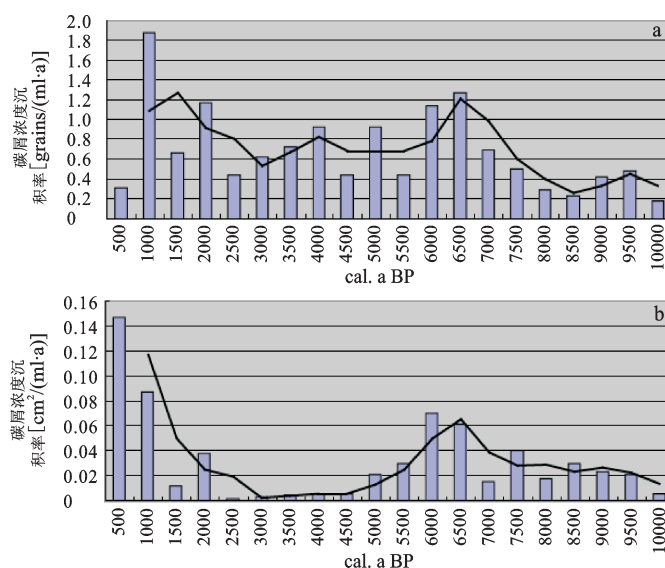


图3 巢湖CH-1岩芯>125 μm (a)和<125 μm (b)炭屑面积浓度沉积率变化

Fig.3 Changes of deposition rates of >125 μm (a) and <125 μm (b) charcoal concentration of CH-1 core in Chaohu Lake

比研究,岩芯各环境代用指标综合变化见图2。

3.1 炭屑的环境意义与搬运机制

沉积物中的炭屑是火的替代指示计,通过炭屑的定量统计和形态分析等,可以恢复地质历史时期火的发生频率、强度和变化^[10]。炭屑浓度高指示火活动强烈,浓度低则反映火活动微弱^[34]。而气候条件是火事件发生的重要因素,高强度火灾常常与干旱少雨的气候条件关联^[35]。气候越是干旱,火灾发生的可能性越大,频率越高^[36,37]。此外,火的发生常与人类活动有密切关系,炭屑沉积通量的变化便能反映人类活动的强度^[19]。因此,炭屑浓度的变化不仅能指示气候干湿变化,还可以反映研究区人口数量和活动强度的变化^[38]。

火活动发生后,少量的炭屑(约1.5%~2%)随烟雾升空,而后顺风传播;大部分炭屑则原处沉积,由径流携带至湖盆沉积^[39]。从炭屑传播和沉积的规律看,粗粒炭屑传播距离较短,源区离沉积地点较近;细粒炭屑的源区较远,传播路程相对较长,故炭屑粒级大小能够指示火源区与沉积区的相对远近^[40]。大于125 μm 的粗粒炭屑面积浓度代表地方性火活动事件,小于125 μm 的细粒炭屑面积浓度则反映区域性火活动事件^[25]。从岩芯中大于125 μm 和小于125 μm 炭屑的面积浓度变化趋势看,粗粒级炭屑浓度变化较为明显,它对当地火活动特征的指示作用更强。

利用小于125 μm 细粒炭屑与大于125 μm 粗粒炭屑面积浓度的比值(F/C)来指示沉积地与炭屑源区的距离^[41]。 F/C 值越大表明沉积地离炭屑源区的距离越远,反之则代表沉积地离炭屑的源区距离越近。从图2中可以看出,巢湖CH-1岩芯总体上 F/C 值很小,平均值只有0.096,表明巢湖湖泊沉积物中炭屑主要来源于湖泊周边地区,能够很好的代表研究区的火环境变化。

3.2 全新世火环境变化的时间序列特征

对巢湖CH-1岩芯炭屑和磁化率等相关环境代用指标的综合分析表明:

1) 全新世早期(9 870~6 040 cal. a BP, I带),气候由末次冰期的寒冷干旱向温暖湿润过渡^[42]。大于125 μm 和小于125 μm 炭屑的面积浓度整体上相对略高,其中大于125 μm 炭屑的面积浓度出现4次峰值,炭屑沉积率呈增加趋势并迅速上升至峰值,表明火活动比较频繁,地方性和区域性火灾时有发生。低频磁化率值较低,平均值 14.86×10^{-8}

m^3/kg ,频率磁化率值也处于一个相对较低的阶段,孢粉总浓度在该带为111 613 grains/ml,是相对较高的阶段。该时期是晚冰期之后气温波动回升期,但气候条件仍相对干旱,因温度提高可燃物质变干燥易于燃烧,且生物物质积累的增加也为火的发生提供了很大可能。较为干燥的气候导致火活动频繁,保存炭屑量较多。

2) 全新世中期(6 040~2 170 cal. a BP, 包括II带和III带),其中,II带所处时间段是巢湖全新世最温暖湿润的时期^[22]。虽然该时期气温增高,植被覆盖率大大增加,但由于降水量丰富,一方面使空气湿度提高,导致可燃物的可燃性减小;另一方面使可燃物自身充分吸水而降低了可燃性,因此火活动大为减弱。从大于125 μm 和小于125 μm 炭屑面积浓度的分析结果看,炭屑含量较全新世早期低,炭屑沉积率处于较为平缓的低谷,火活动微弱。气候湿润致使火活动发生频率低,沉积物中保存的炭屑量也就少。这一阶段频率磁化率值峰谷交替、激烈震荡,表明气候有数次波动。但是,在255 cm(4 990 cal. a BP)处大于125 μm 炭屑的面积浓度出现一次峰值,这可能与人类活动影响有一定联系。考古发掘资料表明,这一时期是巢湖流域新石器文化形成与发展的重要阶段,出现了以含山凌家滩^[43]、韦岗^[44]和肥西古埂^[45]等为代表的众多新石器时代遗址,古人类活动的加剧使流域火活动的频率上升。进入III带以后,大于125 μm 炭屑的面积浓度出现了较大波动,有3次峰值,而小于125 μm 炭屑的面积浓度是整个剖面中最低的;磁化率值降低,气候向干旱的方向转化。尤其是185 cm(3 645 cal. a BP)出现一次全新世中期以来的最大值,达到295.130 grains/ml。这些可能与商周文化时期人类活动频率的提高而导致的焚林、围猎、取暖、刀耕火种有密切关系。现有考古资料表明,商周时期本区古文化较为发达,发现了100多处遗址,分布密度很大^[46]。这同样表明人类活动是重要的火成因子。

3) 全新世晚期(2 170 cal. a BP至今,包括IV带和V带),气候有向干旱化发展的趋势,但冷暖波动明显。大于125 μm 和小于125 μm 炭屑的面积浓度大幅度增加,出现几次较大的峰值,炭屑沉积率迅速增加至剖面最大,表明该时期火活动相当频繁。进入全新世晚期,孢粉组合表明落叶阔

叶、常绿阔叶混交林迅速被破坏,演替成以禾本科为主的草地,孢粉总浓度增加较多,磁化率值异常升高^[30]。该时期巢湖流域植被受到人类活动强烈的影响,主要表现在砍伐或火烧森林、农业种植活动增强等方面。秦汉时期以来农业生产水平大幅度提高,进入封建社会,人类不断毁林开荒,这种大规模的生产活动导致的人为火灾相当突出。然而,气候本身的干旱化也是十分明显的。特别值得注意的是,2 170 cal. a BP 是全新世历史上巢湖干旱程度较高的一次,湖面又一次缩小^[30,47]。通过对唐咀遗址文化层含碳较高层位¹⁴C 测年结果 2 090±130 a BP 的综合分析^[48],推测 2 170 cal. a BP 左右可能是历史上巢湖湖面最小的一个阶段,湖盆局部地区可能出露,湖滩面积扩大,唐咀遗址经济文化较繁荣。另据康熙年间编纂的《巢县志·巢湖志》记载^[49],自明嘉靖二年(1523 年)至清康熙十年(1671 年)的 100 多年间就有 9 次大的干旱发生,记录的火灾旱灾达 48 次;故这个时期火活动的加剧不仅与气候的干旱期相对应,而且与人类活动的强烈干扰有密切联系。在气候环境变化和人类活动加剧的双重影响下,火灾发生频率增高,使保存在沉积物中的炭屑量在整个全新世居最高,特别是在明清小冰期(1500~1900 AD)^[4]。通过广泛查阅巢湖地区的《巢县志·巢湖志》^[49]、《合肥县志》^[50]、《无为州志》^[51]、《含山县志》^[52]以及《巢湖地区简志》^[53]、《合肥市志》^[54]等古今地方志书统计发现在明清时期与炭屑浓度密切相关的火灾旱灾次数远多于其它历史时期(表 2),平均每 5~6 a 就会发生一次较大的火灾旱灾事件。至本阶段末,大于 125 μm 炭屑面积浓度降低较多,小于 125 μm 炭屑面积浓度则进一步增加, F/C 值增大并出现剖面最高值,说明湖区附近可能已没有足够的生物量引起火灾,而远处区域性火灾常有出现,来自周边地区的炭屑量增多。

4 结论

1) 巢湖湖泊沉积物中炭屑主要来源于湖泊周边地区,能够很好的代表研究区的火环境变化;炭屑含量变化是区域自然变化与人类活动因素叠加的结果,不仅可以指示气候干湿变化,而且可以反映研究区域人口数量和人类活动强度的变化。

2) 提取了全新世巢湖地区火环境变化的信息。全新世早期,气候由寒冷干旱向温暖湿润过

表2 巢湖地区唐代以来火灾旱灾的历史文献记录统计

Table 2 The statistics of historical document records of fire disaster and drought in Chaohu area since the Tang Dynasty

朝代	年号	公元纪年/AD	时间长度(a)	火灾旱灾次数
唐	乾封	666~668	3	1
	贞元	785~805	11	2
	元和	906~820	21	1
宋	大中祥符	1008~1016	9	1
	绍兴	1131~1162	32	3
	淳熙	1174~1189	16	2
	绍熙	1190~1194	5	3
	庆元	1195~1200	6	1
	淳祐	1241~1252	12	1
	咸淳	1265~1274	10	1
	大德	1297~1307	11	1
元	泰定	1324~1328	5	2
	天历	1328~1330	3	1
明	宣德	1426~1435	10	1
	成化	1465~1487	23	3
	弘治	1488~1505	18	3
	正德	1506~1521	16	3
	嘉靖	1522~1566	45	14
	隆庆	1567~1572	6	2
	万历	1573~1620	48	6
	天启	1621~1627	7	1
清	崇祯	1628~1644	17	5
	顺治	1644~1662	18	4
	康熙	1662~1723	61	16
	雍正	1723~1736	13	2
	乾隆	1736~1796	60	12
	嘉庆	1796~1821	25	6
	道光	1821~1851	30	2
	咸丰	1851~1862	11	3
民国	同治	1875~1909	13	2
	光绪	1909~1912	24	3
	——	1912~1949	27	12

渡,但仍较为干旱,炭屑含量也相对较高,火活动比较频繁,地方性和区域性火时有发生;全新世中期是全新世最为温暖湿润的时期,炭屑含量出现全新世以来的低值,火活动微弱,但在文化兴盛期炭屑含量出现峰值,则是人类活动的结果;全新世晚期,在气候趋于凉干的环境背景下,人类活动增强更加剧了火活动的频率和强度,炭屑含量大幅增加。近 200 a 来炭屑浓度降低可能与湖区附近已没有足够生物量引起火灾有关。

致谢: 特别感谢王心源研究员、张恩楼研究员、肖霞云副研究员、张广胜副教授、贾玉连副教授、蒋庆丰副教授、管后春博士和徐军工程师在野外采样与实验分析工作中给予支持与帮助。

参考文献(References):

- [1] Tan Z H, Huang C C, Pang J L et al. Wildfires related to climate and land-use change over the Weihe River Basin, China [J]. *Quaternary International*, 2011, 234: 167-173.
- [2] Huang C C, Pang J L, Chen S E et al. Charcoal records of wild-fire history in the Holocene loess-soil sequences over the southern Loess Plateau of China [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2006, 239: 28-44.
- [3] Parkner T, Kasai M. Tectonic and volcanic forcing on fluvial system: two case studies from Hokkaido, Japan [J]. *Past Global Changes Magazine*, 2014, 22(1): 36-37.
- [4] 朱诚, 谢志仁, 李枫, 等. 全球变化科学导论(第三版)[M]. 北京: 科学出版社, 2012. [Zhu Cheng, Xie Zhiren, Li Feng et al. An introduction to global change science (3rd Edition). Beijing: Science Press, 2012.]
- [5] 阎敏华. 大兴安岭森林火灾对林区沼泽小气候的影响[J]. *地理科学*, 1993, 13(4): 389-390. [Yan Minhua. Impact of forest fire on the mire microclimate of forest zone in the Great Khingan. *Scientia Geographica Sinica*, 1993, 13(4): 389-390.]
- [6] 刘银良, 阎敏华, 孟宪民, 等. 大兴安岭森林火灾对沼泽土壤的影响[J]. *地理科学*, 1995, 15(4): 378-384, 394. [Liu Yinliang, Yan Minhua, Meng Xianmin et al. Effect of forest fire of the Da Hinggan Mountain on swamp soil. *Scientia Geographica Sinica*, 1995, 15(4): 378-384.]
- [7] 成爱芳, 冯起, 张建恺, 等. 未来气候情境下气候变化响应过程研究综述[J]. *地理科学*, 2015, 35(1): 84-90. [Cheng Aifang, Feng Qi, Zhang Jiankai et al. A review of climate change scenario for impacts process study. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(1): 84-90.]
- [8] 神祥金, 周道玮, 李飞, 等. 中国草原区植被变化及其对气候变化的响应[J]. *地理科学*, 2015, 35(5): 622-629. [Shen Xiangjin, Zhou Daowei, Li Fei et al. Vegetation change and its response to climate change in grassland region of China. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(5): 622-629.]
- [9] 毛德华, 温家洪, 潘安定. 灾害学[M]. 北京: 科学出版社, 2011. [Mao Dehua, Wen Jiahong, Pan Anding. *Catastrophology*. Beijing: Science Press, 2011.]
- [10] Tan Z H, Han Y M, Cao J J et al. Holocene wildfire history and human activity from high-resolution charcoal and elemental black carbon records in the Guanzhong Basin of the Loess Plateau, China [J]. *Quaternary Science Reviews*, 2015, 109: 76-87.
- [11] 吕静, 王宇飞, 李承森. 古木炭屑与古森林火[J]. *古地学报*, 2002, 4(2): 71-76. [Lu Jing, Wang Yufei, Li Chengsen. Fossil charcoal and ancient forest fire. *Journal of Palaeogeography*, 2002, 4(2): 71-76.]
- [12] McGinnes E A J, Szopa P S, Phelps J E. Use of scanning electron microscopy in studies of wood charcoal formation [J]. *Proc Workshop SEM and Plant Sci*, 1974, 2: 469-476.
- [13] Clark J S. Fire and climate change during the last 750 yr in northwestern Minnesota [J]. *Ecological Monographs*, 1990, 60(2): 135-159.
- [14] Johnson E A. Fire and Vegetation Dynamics: Studies from the North American Boreal Forest [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1992.
- [15] Chaloner W G. Fossil charcoal as an indicator of palaeoatmospheric oxygen level [J]. *Journal of the Geological Society*, 1989, 146(1): 171-174.
- [16] Jones T P. Ultrastructural and chemical studies on Oligocene fossil wood from Bovey Tracey, Devon, UK [J]. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 1994, 81(2-4): 279-288.
- [17] Patterson III W A, Edwards K J, Maguire D J. Microscopic charcoal as a fossil indicator of fire [J]. *Quaternary Science Reviews*, 1987, 6: 3-23.
- [18] 沈吉, 薛滨, 吴敬禄, 等. 湖泊沉积与环境演化[M]. 北京: 科学出版社, 2010. [Shen Ji, Xue Bin, Wu Jinglu et al. *Lake sediment and environmental evolution*. Beijing: Science Press, 2010.]
- [19] 储国强. 湖光岩玛珥湖近2000年来炭屑沉积通量的变化与人类活动[J]. *第四纪研究*, 2001, 21(2): 183. [Chu Guoqiang. Sediment flux change of charcoal and human activities over 2000 years in the Huguangyan Maar Lake. *Quaternary Sciences*, 2001, 21(2): 183.]
- [20] 伍婧, 刘强. 晚冰期月亮湖炭屑记录反映的古气候演化[J]. *地质科学*, 2013, 48(3): 860-869. [Wu Jing, Liu Qiang. Charcoal-recorded climate changes from Moon Lake in Late Glacial. *Chinese Journal of Geology*, 2013, 48(3): 860-869.]
- [21] 吴开亚. 巢湖流域环境经济系统分析[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2008. [Wu Kaiya. *Analysis on environmental economic system in Chaohu Basin*. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 2008.]
- [22] 谢平. 翻阅巢湖的历史——蓝藻、富营养化及地质演化[M]. 北京: 科学出版社, 2009. [Xie Ping. *Reading about the Histories of Cyanobacteria, Eutrophication and Geological Evolution in Lake Chaohu*. Beijing: Science Press, 2009.]
- [23] 吴立, 王传辉, 王心源, 等. 巢湖流域灾害链成因机制与减灾对策[J]. *灾害学*, 2012, 27(4): 85-91. [Wu Li, Wang Chuanhui, Wang Xinyuan et al. Formation mechanism of disaster chain and countermeasures of disaster deduction in the Chaohu Lake Basin, East China. *Journal of Catastrophology*, 2012, 27(4): 85-91.]
- [24] 程先富, 郝丹丹. 基于OWA-GIS的巢湖流域洪涝灾害风险评估[J]. *地理科学*, 2015, 35(10): 1312-1317. [Cheng Xianfu, Hao Dandan. Flood risk assessment in Chaohu Basin based on OWA-GIS. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(10): 1312-1317.]
- [25] 李小强, 周新郢, 尚雪, 等. 黄土炭屑分级统计方法及其在火演化研究中的意义[J]. *湖泊科学*, 2006, 18(5): 540-544. [Li

- Xiaoqiang, Zhou Xinying, Shang Xue et al. Different-size method of charcoal analysis in loess and its significance in the study of fire variation. *Journal of Lake Sciences*, 2006, 18(5): 540-544.]
- [26] 沈吉. 湖泊沉积研究的历史进展与展望[J]. 湖泊科学, 2009, 21(3): 307-313. [Shen Ji. Progress and prospect of palaeolimnology research in China. *Journal of Lake Sciences*, 2009, 21(3): 307-313.]
- [27] Stuiver M, Reimer P J, Bard E, et al. INTCAL98 Radiocarbon age calibration 24,000 - 0 cal BP [J]. *Radiocarbon*, 1998, 40: 1041-1083.
- [28] Stuiver M, Reimer P J, Reimer R W. CALIB 5.0 [EB/OL]. [WWW program and documentation]. 2005.
- [29] 张广胜. 湖泊沉积记录的9870cal.aB.P.以来巢湖流域环境演变研究[D]. 芜湖: 安徽师范大学, 2007. [Zhang Guangsheng. Lake Sediment Records of Environment Changes in the Chaohu Lake Basin since 9870 cal.aB.P.. Wuhu: Anhui Normal University, 2007.]
- [30] Wang X Y, Zhang G S, Wu L, et al. Environmental changes during early-middle Holocene from the sediment record of the Chaohu Lake, Anhui Province [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2008, 53(Supp. I): 153-160.
- [31] 王心源, 莫多闻, 吴立, 等. 长江下游巢湖9870cal. aB.P.以来孢粉记录的环境演变[J]. 第四纪研究, 2008, 28(4): 649-658. [Wang Xinyuan, Mo Duowen, Wu Li et al. Pollen record from Chaohu Lake in the lower reaches of the Changjiang River and environmental changes since 9870cal. aB. P. *Quaternary Sciences*, 2008, 28(4): 649-658.]
- [32] Zhu L P, Zhang P Z, Xia W L, et al. 1400-yr cold/warm fluctuations reflected by environmental magnetism of a lake sediment core from the Chen Co, southern Tibet, China [J]. *Journal of Paleolimnology*, 2003, 29(4): 391-401.
- [33] 杨建强, 崔之久, 易朝路, 等. 云南点苍山全新世以来的冰川湖泊沉积[J]. 地理学报, 2004, 59(4): 525-533. [Yang Jianqiang, Cui Zhijiu, Yi Chaolu et al. Glacial lacustrine sediment's response to climate change since Holocene in Diancang Mountain. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(4): 525-533.]
- [34] 李小强, 赵宏丽, 阎敏华, 等. 东北三江平原全新世火演化及其与植被和气候的关系[J]. 地理科学, 2005, 25(2): 177-182. [Li Xiaoqiang, Zhao Hongli, Yan Minhua et al. Fire variations and relationship among fire and vegetation and climate during Holocene at Sanjiang Plain, Northeast China. *Scientia Geographica Sinica*, 2005, 25(2): 177-182.]
- [35] 曹艳峰, 黄春长, 韩军青, 等. 黄土高原东西部全新世剖面炭屑记录的火环境变化[J]. 地理与地理信息科学, 2007, 23(1): 92-96. [Cao Yanfeng, Huang Chunchang, Han Junqing et al. Changes of fire environment recorded by charcoal hided in Holocene profiles in the eastern and western Loess Plateau. *Geography and Geo-Information Science*, 2007, 23(1): 92-96.]
- [36] 张佳华, 孔昭宸, 杜乃秋. 北京房山甘池15000年以来炭屑分析及对火发生可能性的探讨[J]. 植物生态学报, 1997, 21(2): 161-168. [Zhang Jiahua, Kong Zhaochen, Du Naiqiu. Charcoal analysis and fire changes at Dongganchi of Fangshan in Beijing since 15000 years B. P.. *Acta Phytocologica Sinica*, 1997, 21(2): 161-168.]
- [37] 谭志海, 黄春长, 庞奖励, 等. 陇东黄土高原北部全新世野火历史的木炭屑记录[J]. 第四纪研究, 2008, 28(4): 733-738. [Tan Zhihai, Huang Chunchang, Pang Jiangli et al. Charcoal recorded Holocene fire history in the northern part of the Longdong Loess Plateau. *Quaternary Sciences*, 2008, 28(4): 733-738.]
- [38] 许清海, 孔昭宸, 陈旭东, 等. 鄂尔多斯东部4000余年来的环境与入地关系的初步探讨[J]. 第四纪研究, 2002, 22(3): 105-112. [Xu Qinghai, Kong Zhaochen, Chen Xudong et al. Discussion on the environment changes and the effects of human impacts in the east Ordos Plateau since 4 000aB. P.. *Quaternary Sciences*, 2002, 22(3): 105-112.]
- [39] Kershaw A P. Climatic change and aboriginal burning in north-east Australia during the last two glacial/interglacial cycles [J]. *Nature*, 1985, 322: 47-49.
- [40] Sun X J, Li X, Chen H C. Evidence for natural fire and climate history since 37 ka BP in the northern part of the South China Sea. *Science in China (Series D)*, 2000, 43(5): 487-493.
- [41] Huang F, Sun X J. Palynological record during the Pleistocene (between 1.05 Ma and 0.36 Ma) from ODP1144, northern South China Sea. *Science in China Ser. D Earth Sciences*, 2004, 47(1): 30-36.
- [42] 姜修洋, 杨邦, 王晓艳, 等. 黔北洞穴石笋记录的末次冰消期至早全新世百年~十年际气候变化[J]. 地理科学, 2015, 35(6): 773-781. [Jiang Xiuyang, Yang Bang, Wang Xiaoyan et al. The centennial to decadal scale variation of summer monsoon precipitation in northern Guizhou Province during the last deglacial. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(6): 773-781.]
- [43] 朔知. 崧泽时代皖江两岸的聚落与文化[J]. 东南文化, 2015, (1): 66-78. [Shuo Zhi. Settlements and cultures in the Wanjiang River basin during the Songze cultural period. *Southeast Culture*, 2015, (1): 66-78.]
- [44] 朔知, 陈小春, 刘松林. 安徽含山县韦岗遗址新石器时代遗存发掘简报[J]. 考古, 2015, (3): 35-50. [Shuo Zhi, Chen Xiaochun, Liu Songlin. Brief excavation report of Neolithic remains in the Weigang Site of Hanshan County, Anhui. *Archaeology*, 2015, (3): 35-50.]
- [45] 杨德标, 杨立新. 安徽肥西县古埂新石器时代遗址[J]. 考古, 1985, (7): 577-583. [Yang Debiao, Yang Lixin. Gugeng Neolithic Site in the Feixi County, Anhui. *Archaeology*, 1985, (7): 577-583.]
- [46] Wu L, Wang X Y, Zhou K S et al. Transmutation of ancient settlements and environmental changes between 6000-2000 aBP in the Chaohu Lake Basin, East China [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2010, 20(5): 687-700.
- [47] 贾铁飞, 戴雪荣, 张卫国, 等. 全新世巢湖沉积记录及其环境变化意义[J]. 地理科学, 2006, 26(6): 706-711. [Jia Tiefei, Dai Xuerong, Zhang Weiguo et al. Sediment records in Chaohu

- Lake and its significance on environmental change in Holocene. *Scientia Geographica Sinica*, 2006, 26(6): 706-711.]
- [48] Wu L, Wang X Y, Zhu C et al. Ancient culture decline after the Han Dynasty in the Chaohu Lake basin, East China: A geoarchaeological perspective [J]. *Quaternary International*, 2012, 275: 23-29.
- [49] 陆龙腾, 于觉世, 李恩绶. 巢县志·巢湖志(清)[M]. 合肥: 黄山书社, 2007. [Lu Longteng, Yu Jueshi, Li Enshou. Chorography of Chao County and Chaohu Lake (Qing Dynasty). Hefei: Huangshan Publishing House, 2007.]
- [50] 左辅. 合肥县志(清)[M]. 合肥: 黄山书社, 2006. [Zuo Fu. Chorography of Hefei County (Qing Dynasty). Hefei: Huangshan Publishing House, 2006.]
- [51] 顾浩, 吴元庆. 无为州志(清)[M]. 合肥: 黄山书社, 2011. [Gu Hao, Wu Yuanqing. Chorography of Wuwei State (Qing Dynasty). Hefei: Huangshan Publishing House, 2011.]
- [52] 赵灿. 含山县志(清)[M]. 合肥: 黄山书社, 2008. [Zhao Can. Chorography of Hanshan County (Qing Dynasty). Hefei: Huangshan Publishing House, 2008.]
- [53] 巢湖地区地方志编纂委员会. 巢湖地区简志[M]. 合肥: 黄山书社, 1995. [Chorography Compilation Committee of Chaohu Region. Brief Chorography of Chaohu Region. Hefei: Huangshan Publishing House, 1995.]
- [54] 合肥市地方志编纂委员会. 合肥市志[M]. 合肥: 安徽人民出版社, 1999. [Chorography Compilation Committee of Hefei City. Hefei: Anhui People's Publishing House, 1999.]

Charcoal Recorded Fire Environment Change During the Holocene from the Sediment of the Chaohu Lake, East China

Wu Li^{1,2}, Zhang Mengcui¹, Ji Chao¹, Zhang Shitao¹

(1. *Anhui Key Laboratory of Natural Disaster Process and Prevention, College of Territorial Resources and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu 241002, Anhui, China*; 2. *Key Laboratory of Digital Earth Science, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China*)

Abstract: By analyzing the concentration of different-sized charcoals and magnetic susceptibility of the CH-1 core from the Chaohu Lake during the Holocene, the laws of charcoal content and the features of fire environmental changes were studied. In the early Holocene (9 870-6 040 cal. a BP), the climate was still dry although it was becoming warmer and wetter. The dry climate apparently creating the favorable conditions for natural fires to occur, which suggested the charcoal concentration was high. The middle Holocene (6 040-2 170 cal. aBP) was the warmest and wettest period during the Holocene, and very little charcoal was found in the core with the exception of cultural phases because the high precipitation during this period apparently suppressed natural fires. But human activities increased the fire frequency during the cultural phase. Archaeological investigations indicate that a large number of settlement sites distribute around the Chaohu Lake. Moreover, the remains of the Lingjiatan Culture (5 500-5 300 cal. a BP) are also identified with the presence of many types of exquisite jade objects. So value peaks in the charcoal concentration were showed. During the late Holocene (2 170 cal. a BP~), the climate became drier and cooler and conditions were once again favorable for fires to occur naturally. The water level of the Chaohu Lake reached the lowest as the lakebed possibly exposed. The concentration of charcoal in the core greatly increased during this period that showed the greatest levels of fire activity. Therefore, the great amount of charcoal concentration was related to both the drier climate and the increased human activities. These correlate well with the results from the archaeological evidence of ancient Juchao City. During the recent two hundred years, the amount of charcoal concentration sharply decreased and fire occurrence disappeared gradually because there was not enough biomass in the Chaohu Lake Region.

Key words: Chaohu Lake; Holocene; charcoal record; fire environment; lake sediment