

最近 13 ka 以来长江中游古水文变化

谢树成¹, 胡超涌¹, 顾延生¹, 黄咸雨¹, 朱宗敏¹, 黄俊华²

1. 中国地质大学生物地质与环境地质国家重点实验室, 湖北武汉 430074

2. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 湖北武汉 430074

摘要: 长江中游是旱涝灾害频发区, 但人们对该地区的古水文变化规律了解得很少。基于长江中游地区的大九湖泥炭沉积和清江和尚洞石笋研究, 综合集成 4 个古水文代用指标, 重建了本地区 13 ka 以来的古水文, 探讨其变化规律, 识别出持续时间达千年以上的 3 个长时间尺度的较干时期(11.7~10.7 ka BP、6.4~5.5 ka BP、4.0~3.0 ka BP)和 3 个长时间尺度的湿润期(13.0~11.7 ka BP、8.7~6.4 ka BP、3.0~1.7 ka BP)。其中, 8.7~6.4 ka BP 的长时间湿润期可能具有大区域性乃至全球性的特点(全新世大暖期), 对应于以定居的村落为规模的水稻种植发展。随后的 6.4~5.5 ka BP 的长时间较干时期也具有大区域性乃至全球性的特点, 对应地出现了复杂的、具有国家性质的社会。长时间的湿润期之前或之后出现了长时间较干时期。此外, 还识别出 5 个短时间尺度的较干时期(9.8~9.2 ka BP、9.0~8.7 ka BP、5.0~4.2 ka BP、1.7~1.1 ka BP、0.7~0.0 ka BP)与 5 个短时间尺度的湿润期(10.7~9.8 ka BP、9.2~9.0 ka BP、5.5~5.0 ka BP、4.2~4.0 ka BP、1.1~0.7 ka BP)。长江中游地区大部分较干时期表现出暖干的特点, 这与北方的冷干现象不同。同时, 湿润气候既可以出现在温暖时期, 也可以出现在寒冷时期, 水热配置存在不稳定性。尽管古温度与古水文的关系比较复杂, 但当温度从一种状态向另一种状态转变时, 长江中游地区的干旱程度加剧。长江中游古水文对古文化产生重要影响。

关键词: 古水文; 长江流域; 全球变化; 地球生物学; 生物地球化学; 气候学。

中图分类号: P532; P593; P942

文章编号: 1000-2383(2015)02-0198-08

收稿日期: 2014-10-23

Paleohydrological Variation since 13 ka BP in Middle Yangtze Region

Xie Shucheng¹, Hu Chaoyong¹, Gu Yansheng¹, Huang Xianyu¹, Zhu Zongmin¹, Huang Junhua²

1. State Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: Middle Yangtze in South China is well known by the frequent occurrence of flooding in association with drought events. However, less is known about the hydrological variation in the ancient times. Here we are able to reconstruct the paleohydrological conditions since 13 ka BP in this region based on the synthesis of 4 proxies extracted from the Dajiuhu peatland and stalagmite in Heshang cave near Qingjiang River. Three long-term drier periods (11.7–10.7 ka BP, 6.4–5.5 ka BP and 4.0–3.0 ka BP) and three long-term humid/flooding periods (13.0–11.7 ka BP, 8.7–6.4 ka BP, 3.0–1.7 ka BP), each lasting over one thousand years, were identified in this time interval. The humid period at 8.7–6.4 ka BP (known as Holocene Optimum) is of a broad region or on a global scale, when the sedentary village-based rice cultivation was developed. The subsequent drier periods at 6.4–5.5 ka BP is also of a broad region or even of global scale when the complicate state-level society structure was established. The long-lasting drier periods could be presented prior to or post the long-lasting humid periods. In addition, 5 short-term drought events (9.8–9.2 ka BP, 9.0–8.7 ka BP, 5.0–4.2 ka BP, 1.7–1.1 ka BP, 0.7–0.0 ka BP) and 5 short-term humid periods (10.7–9.8 ka BP, 9.2–9.0 ka BP, 5.5–5.0 ka BP, 4.2–4.0 ka BP, 1.1–0.7 ka BP) were also identified. In middle Yangtze region, most drier periods occurred at the warm conditions, different from the cold-drought association in North China. Meanwhile, the humid climate could occur at both the cold and warm conditions, indicating the complicate rela-

基金项目: 国家自然科学基金项目(No.41330103); 国家重点基础研究发展计划“973”项目(No.2011CB808800); 高等学校学科创新引智计划(111计划)项目(No.B08030)。

作者简介: 谢树成(1967—), 男, 教授, 主要从事地质微生物与古环境研究。E-mail: xiecu@163.com

引用格式: 谢树成, 胡超涌, 顾延生, 等, 2015. 最近 13 ka 以来长江中游古水文变化. 地球科学——中国地质大学学报, 40(2): 198–205.

relationship between temperature and humidity. It is notable that the aridity increases when the temperature shifts from one state to another (i.e., from cold to warm or from warm to cold conditions) in Middle Yangtze. Hydrological conditions also play an important impact on historical cultures in this region.

Key words: paleohydrology; Yangtze River catchment; global change; geobiology; biogeochemistry; climatology.

在全球温度变化过程中,降水、洪涝灾害、干旱化等水文事件也在发生巨大的变化.在地质记录中,识别古水文事件及其与古温度的相互关系极其重要,它对于人们了解全球变暖对中国不同区域的水文影响具有重要的意义.在我国,水文事件在南方与北方具有很大的空间差异性(叶瑾琳等,1997).长江中游作为构建西部和东部的桥梁,是我国气候环境研究比较薄弱的地区.但同时,该地区受多种季风的叠加影响,研究难度极大,这导致了人们对长江中游地区的水文事件了解得很少.在长江中游,区域降水及其相关的水文条件的变化直接关系到本地区的洪涝灾害,进而影响到长江流域的古文化变迁.长江中游洪涝灾害的发生、孕灾环境的变化是在全球变化背景下,流域自然环境系统波动和变异的结果,与水文条件的变化密切相关.因此,查明地质历史时期长江中游的古水文条件显得非常重要.

得益于全球变化国际重大科学计划的实施,人们已经建立了许多古温度的代用指标,如海洋有孔虫的氧同位素组成、藻类的长链烯酮不饱和度 U_K^{37} 、古菌脂类 GDGT 参数的 TEX_{86} 等.由此,人们对地质历史时期古温度的变化有了大致的了解,特别是对晚更新世以来的古温度变化有了相当程度的认识.与古温度相比,反映古水文事件的代用指标却很少.而且,由于许多地质过程(包括物理、化学和生物过程)同时受控于温度和水文条件等诸多环境因子,一些物理学、化学和生物学的环境代用指标很难将这 2 个环境因子分离开来,它们往往记录了诸多环境因子的综合信号,一些古水文指标还可能叠加了古温度等其他环境因子的影响,导致人们对地质历史时期古水文事件了解得很少.虽然人们对一个地区的季风变化(特别是亚洲季风)有了比较深入的认识,但对一个具体地区的古水文事件的认识还极其有限,对区域古水文事件如何响应全球变化了解得更少.因此,人们迫切需要建立反映长江中游地区的古水文代用指标.

不同于古温度,古水文存在很大的空间差异性.要研究一个地区的古水文事件,需要同一个地区多个地点的地质记录才有可能得出比较大区域的古水文信号.如果能实现一个地区不同地点、不同代用指标

的相互校验,那么由此得出的区域古水文事件就比较可靠.在长江中游地区,发育多种适合古气候研究的地质载体,包括湖泊沉积、泥炭沉积和洞穴石笋.笔者从 2000 年开始,先后对本地区的泥炭和石笋等多种载体开展涉及地球生物学、地球化学和地球物理学等多学科指标的古气候研究.经过十余年的努力,笔者提出了 4 个反映本地区的古水文代用指标以及部分古温度代用指标,这里笔者对这些成果进行一个系统总结和综合,以全面了解长江中游不同时间尺度的古水文变化及其与古温度之间的关系.

1 古水文代用指标

1.1 泥炭地古水文的代用指标

泥炭地是全球变化的一个重要载体,不仅可以记录全球温度的变化,而且对水位等与水文条件有关的环境变化特别灵敏.水位过高,泥炭地就容易变成湖泊;水位过低泥炭地则会干枯而消失.泥炭地是同时记录温度和水文信号的极佳载体.而且,由于特殊的酸性和缺氧环境,泥炭地易于有机质的保存,通常含有含量高且种类丰富的生物脂类分子.同时,泥炭沉积具有时间分辨率高、沉积稳定、对气候变化敏感等特点,是研究过去全球气候变化的良好载体.

基于湖北西部神农架大九湖泥炭地的研究,笔者提出了 2 个反映古水文事件的地球生物学指标(Xie *et al.*, 2013; Huang *et al.*, 2013b),它们分别是反映好氧细菌的生物量和活动强度的地质脂类分子.第 1 个古水文指标是来源于好氧细菌的藿类堆积速率(Xie *et al.*, 2013).大九湖泥炭地检测到的藿类化合物包括 C_{32} 藿醇、 $C_{32} 17\alpha$, $21\beta(H)$ 藿酸, $C_{32} \sim C_{33} 17\beta$, $21\alpha(H)$ 藿酸和 $C_{31} \sim C_{34} 17\beta$, $21\beta(H)$ 藿酸、 C_{27} 藿酮、 $C_{31} 17\alpha$, $21\beta(H)$ 藿烷,还有少量的 $C_{27} \sim C_{32} 17\beta$, $21\beta(H)$ (缺 C_{28}) 和 $C_{29} \sim C_{31} 17\beta$, $21\alpha(H)$ 藿烷等.藿类化合物最早被认为是好氧细菌的标志化合物,但后来人们也在厌氧微生物中发现这些化合物.在微生物中,这些化合物由藿烷环化酶基因 *sqhC* 通过角鲨烯的环化而形成.通过分析藿烷环化酶基因就可以判断藿类化合物的生物源.藿烷环化酶基因研究显示,大九湖泥炭地的这些藿类化合物

主要(90%~94%以上)来自好氧细菌(Xie *et al.*, 2013).而好氧细菌的丰度与泥炭水位有着密切的关系(Jaatinen *et al.*, 2007),这是因为泥炭的氧化还原条件主要受水位的控制(Charman, 2002),而好氧细菌因需要氧气而与氧化还原条件有关.因此,反映好氧细菌丰度的藓类化合物应该可以反映泥炭地水位的变化.笔者对大九湖泥炭地进行现代过程的调查也进一步确定这些化合物的丰度确实与泥炭地水位有关(Xie *et al.*, 2013).为了消除不同沉积速率对藓类丰度造成的影响,笔者利用泥炭藓类化合物的堆积速率来示踪泥炭地的水位.即藓类堆积速率低时,对应于泥炭地的高水位(Xie *et al.*, 2013).

第 2 个古水文指标是通过好氧细菌对高等植物脂类的改造作用来表征的(Huang *et al.*, 2013b).植物三萜烯的芳构化主要由好氧细菌完成(Wakeham *et al.*, 1980; Wolff *et al.*, 1989; Bechtel *et al.*, 2002),可根据这些化合物的芳构化程度来示踪好氧细菌的活动强度,由此可以记录古水文的变化.在大九湖泥炭地鉴别出 3 类芳构化化合物:芳构化脱 A 环三萜、芳构化五环三萜和 C 环断裂的芳构化五环三萜.其中,芳构化五环三萜的种类和含量均较高,以三芳、四芳和五芳的五环三萜烯为主.三芳五环三萜包含具有 340、342 和 326 不同分子量的 3 个系列.四芳五环三萜也具有 324、322 和 308 不同分子量的 3 个系列.为了计算芳构化的相对比例,这里主要以奥利烯系列为主进行计算(Huang *et al.*, 2013b).三芳奥利烯相对含量(Tri-AT%) = $([340] + [342] + [326]) \times 100 / ([340] + [342] + [326] + [322] + [324] + [306])$,四芳奥利烯相对含量(Tetra-AT%) = $([322] + [324]) \times 100 / ([340] + [342] + [326] + [322] + [324] + [306])$,五芳奥利烯相对含量(Penta-AT%) = $[306] \times 100 / ([340] + [342] + [326] + [322] + [324] + [306])$.其中, [342]、[340]、[326]、[324]、[322]、[306] 分别为四降一奥利-1, 3, 5(10), 6, 8, 11, 13-七烯、四降一奥利-1, 3, 5(10), 6, 8, 11, 13, 15-八烯、五降一奥利-1, 3, 5(10), 6, 8, 11, 13, 17(18)-八烯、五降一奥利-1, 3, 5(10), 6, 8, 11, 13, 15, 17(18)-九烯、五降一奥利一十烯和六降一奥利一十一烯的相对丰度.在此基础上,笔者可以计算出平均芳环数 $AAR = [三芳奥利烯相对含量] \times 3 + [四芳奥利烯相对含量] \times 4 + [五芳奥利烯相对含量] \times 5$. AAR 数值越大,表示芳环数越多,好氧细菌作用强度越大,反映泥炭地水位越低(Huang *et al.*, 2013b).

1.2 石笋古水文的代用指标

除了泥炭地的 2 个古水文指标外,笔者还在大九湖泥炭地南边的清和尚洞石笋中建立了 2 个古水文代用指标,分别是地球物理和地球化学指标.第 1 个指标是石笋磁学参数中的 ARM/SIRM(Xie *et al.*, 2013).饱和等温剩磁(SIRM)是石笋样品中能记录剩磁的所有亚铁磁性物质(包括单畴 SD、准单畴 PSD 和多畴颗粒 MD)的综合反映,而非磁滞剩磁 ARM 对样品中细颗粒主要是 SD 颗粒更加敏感(Thompson and Oldfield, 1986; Peters and Dekkers, 2003).在所分析的石笋样品中,ARM 与 SIRM 具有很好的相关性($r = 0.94, p < 0.001$),显示了它们可能受控于同样的因子(如磁性颗粒的含量),而 ARM/SIRM 能够反映样品中 SD 磁性颗粒与 MD、PSD 颗粒的相对含量(Peters and Dekkers, 2003),即细颗粒的相对含量.由于石笋中的这些颗粒物质主要由地下水从洞外搬运再通过滴水沉积下来(Bosch and White, 2004; Lascu and Feinberg, 2011),因而这些颗粒物质的变化情况可以反映地下水动力特征.当降水量大时,地下水动力强,滴水中的粗颗粒含量就会相对增加,ARM/SIRM 比值就降低.反之,在干旱时期,滴水中的细颗粒含量就会相对增加,ARM/SIRM 比值就升高.因此,石笋 ARM/SIRM 比值可以反映降水量的相对变化.

第 2 个指标是利用两地石笋的氧同位素差值(Hu *et al.*, 2008).石笋 $\delta^{18}O$ 是在全球变化研究中应用得最为广泛的指标之一,但单一石笋 $\delta^{18}O$ 受多种环境因子的影响,包括温度、蒸发量、水汽源的 $\delta^{18}O$ 以及传输距离等.为了消除其他环境因子对 $\delta^{18}O$ 的影响,提取出降水量信息,笔者提出了利用同一水汽输送途径上相距较远的 2 个地点的石笋 $\delta^{18}O$ 差值重建区域降水的方法(Hu *et al.*, 2008).从总体上来说,在同一个水汽来源的输送途径上,由于瑞利分馏和蒸发效应的影响,随着途中降水量的增加,水汽中的 $\delta^{18}O$ 会越来越小.这样,在同一水汽途径的 2 个地点,其 $\delta^{18}O$ 的差异($\Delta\delta^{18}O$)就与这 2 个地点所在地区的降水量有关.因此,笔者分别利用长江中游和尚洞石笋与南方的贵州董哥洞石笋的 $\delta^{18}O$ 差值($\Delta\delta^{18}O$)来反映本地区的降水量变化: $\Delta\delta^{18}O$ 值越大,反映了本地区的降水量也越大(Hu *et al.*, 2008).

2 不同时间尺度的干旱时期

笔者将以上 4 个古水文代用指标分别用于大九

湖泥炭地岩芯与和尚洞石笋的研究 (Hu *et al.*, 2008; Xie *et al.*, 2013; Huang *et al.*, 2013a), 综合建立了 13 ka 以来长江中游的古水文变化(图 1)。从图 1 可以看出,由不同载体(泥炭地、洞穴石笋)的不同指标(涵盖了地球生物学、地球化学与地球物理学)建立的古水文变化历史具有很好的相似性,说明了研究结果的可靠性,可以反映本地区所研究时间段的古水文变化。不同指标之间存在的一些细微差别,可能与不同地点(大九湖泥炭地和清江和尚洞)的古水文差异有关,因为古水文的空间差异比较大。而同一地点不同指标之间的细小差别,则可能受到其他非水文因子的影响。例如,大九湖泥炭地的 2 个古水文指标, AAR 主要反映好氧细菌对高等植物三萜烯的芳构化作用,除了好氧细菌作用外,高等植物类型也会有一定影响。

但总体上很明显,根据 4 个古水文代用指标,可以识别出 8 个较干时期(DL1~DL3, DS1~DS5)。其中持续时间达千年的较长时间尺度的较干时期有 3 个,分别是 11.7~10.7 ka BP(DL1)、6.4~5.5 ka BP(DL2)、4.0~3.0 ka BP(DL3)。与这 3 个较干时期相比,其他较干时期持续时间相对较短,分别为 9.8~9.2 ka BP(DS1)、9.0~8.7 ka BP(DS2)、5.0~4.2 ka BP(DS3)、1.7~1.1 ka BP(DS4)、0.7~0.0 ka BP(DS5)。

第 2 个长时间尺度的较干时期 6.4~5.5 ka BP(DL2)特别值得注意。这是全新世大暖期结束以后出现的长时间较干时期。6.0 ka BP 出现的较干时期可能是个大区域乃至全球性的事件。在北半球的亚热带地区,它相当于今天看到的全球沙漠带广泛出现的时间(Brooks, 2006)。这个较干时期特别是在非洲的撒哈拉东部与埃及、地中海西部、东南亚地区美索不达米亚的两河流域,以及南美洲秘鲁海岸带、北美大平原等地被记录下来(Yu *et al.*, 1997; Brooks, 2006; Zielhofer and Linstädter, 2006)。我国新疆的巴里坤湖和博斯腾湖在 6.0 ka BP 出现湖面缩小、水位下降(韩淑媿和瞿章, 1992; 钟巍和舒强, 2001)。这一大区域性的较干时期可能与北半球季风系统的南移有关。这一时期也是北半球太阳辐射降低最剧烈的时期。伴随这个大区域性较干时期出现了复杂的、具有国家性质的社会,反映了古气候对古文明的影响(Brooks, 2006)。

第 3 个长时间尺度的较干时期 4.0~3.0 ka BP(DL3)同样也引人瞩目。干旱气候使北方夏商文化南下。商汤求雨救旱的故事流传极广,在《墨子》、《荀

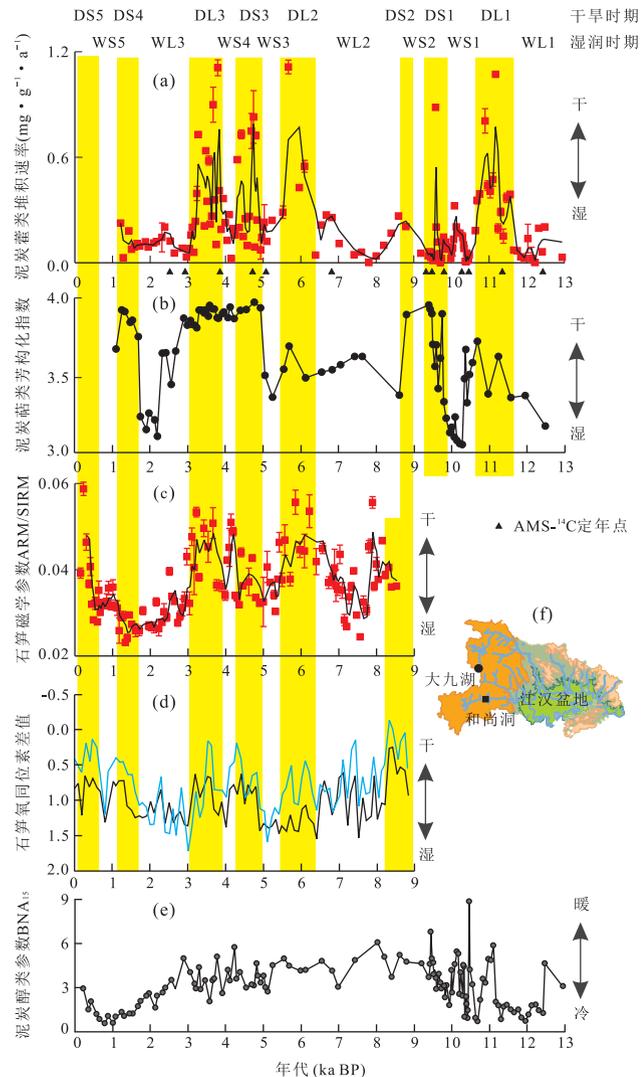


图 1 长江中游 13 ka 以来综合的古水文变化

Fig.1 Composite paleohydrological variation since 13 ka BP in the middle Yangtze region

古水文事件由大九湖泥炭地好氧细菌藎类化合物的堆积速率(a) (Xie *et al.*, 2013)与五环三萜烯的平均芳环数 AAR(b) (Huang *et al.*, 2013b)以及清江和尚洞磁学参数 ARM/SIRM 比值(c) (Xie *et al.*, 2013)、石笋氧同位素差值(d) (Hu *et al.*, 2008)等 4 个古水文代用指标所揭示。DL1~3 和 DS1~5 分别代表 3 个长时间尺度和 5 个短时间尺度的较干时期(黄色背景区), WL1~3 和 WS1~5 分别代表 3 个长时间尺度和 5 个短时间尺度的湿润期。藎类化合物的堆积速率(a)和磁学参数(c)上的曲线为 3 点滑动平均。在 2 条氧同位素差值曲线(d)中,一条是已经报道的清江和尚洞 HS4 石笋与贵州董哥洞石笋氧同位素的差值(Hu *et al.*, 2008, 黑色曲线),另一条是新增的清江和尚洞 HS4 石笋与贵州董哥洞另一根石笋氧同位素(Dykoski *et al.*, 2005, 蓝色曲线)所计算出的差值。温度曲线(e)依据大九湖泥炭地脂肪醇 BNA₁₅ 建立(BNA₁₅ = (C₁₅ 的异构脂肪醇 + C₁₅ 反异构脂肪醇)/C₁₅ 正构脂肪醇, Huang *et al.*, 2013a)。f. 湖北省地势图,显示了大九湖泥炭地和清江和尚洞的位置

子》、《尸子》、《吕氏春秋》、《尚书》、《史记》、《说苑》、《韩诗外传》、《淮南子》等文献中均有记载(张渭莲, 2006)。例如,《庄子·秋水篇》:“汤之时,八年七旱”。“汤有七年之旱灾”就是这一较干时期的体现。在商朝,鄂西山区很少有古文化遗址存在。相反,商朝著名的盘龙城却建在了武汉的长江边上。干旱半干旱地带的农牧交替带的北界南移了近 1 个纬度(张兰生等, 1997)。位于北纬 40° 现今季风边缘区的岱海、青海湖等湖泊,以及青藏高原西部的班公湖的湖面到距今 4.0 ka 时湖面开始迅速收缩,湖泊水位急剧下降(王苏民和王富葆, 1992; 王富葆和施雅风, 1992)。这些均反映当时比较干旱的气候条件。

3 不同时间尺度的湿润期

与较干时期相对应,可以识别出 8 个湿润期(图 1)。其中 3 个持续时间达千年的长时间尺度的湿润期,分别是 13.0~11.7 ka BP(WL1)、8.7~6.4 ka BP(WL2)、3.0~1.7 ka BP(WL3)。值得注意的是,13.0~11.7 ka BP(WL1)、8.7~6.4 ka BP(WL2)这 2 个湿润期结束后出现 2 个长时间尺度的千年较干时期(DL1、DL2),而在 3.0~1.7 ka BP(WL3)湿润期之前出现了长时间尺度的千年较干时期(DL3)。不管如何,长时间尺度的较干时期与长时间尺度的湿润期是相邻出现的。除了这 3 个长时间尺度的湿润期,还出现了 5 个短时间尺度的湿润期,分别是 10.7~9.8 ka BP(WS1)、9.2~9.0 ka BP(WS2)、5.5~5.0 ka BP(WS3)、4.2~4.0 ka BP(WS4)、1.1~0.7 ka BP(WS5)。

第 1 个长时间尺度的湿润期 13.0~11.7 ka BP(WL1),是新仙女木寒冷气候条件下的湿润期。该时期的湿润气候与江汉平原湖沼相沉积环境发育以及江汉湖群的出现有关(金伯欣等, 1992)。这与西北的冷干气候明显不同。新仙女木湿润期也在中国东北的哈尼和南方的江西定南出现(Zhou *et al.*, 2010)。在江西定南,新仙女木期孢粉以 *Alnus* (桤木属) 的为主,是一个冷湿的气候条件(Zhou *et al.*, 2004)。因此,新仙女木期干、湿气候条件存在强烈的空间差异,不仅在中国,在北美洲从北到南也有这种现象出现(Zhou *et al.*, 2004)。

第 2 个长时间尺度的湿润期 8.7~6.4 ka BP(WL2),正是全新世的大暖期,也是以定居的村落为单元的水稻种植发展时期。在这个时期,在江汉盆地的许多考古遗址中出现了洪水沉积记录(王红星,

1998),在三峡地区玉溪文化下层(7.6~6.3 ka BP, 相当于城背溪文化主体时期)出现了 11 个较典型的古洪水沉积层(朱诚等, 2008)。长江中游湖泊的水位达到最高(An *et al.*, 2000)。孢粉资料显示中国东部的湿度达到最大值(Zhao *et al.*, 2009),大九湖泥炭地的常绿树孢粉含量最高(Zhu *et al.*, 2008)。该时期的湿润气候与中全新世(7.5~7.0 ka BP)江汉湖群的扩张有关(金伯欣等, 1992)。这个湿润期后出现了大区域性的大较干时期(6.4~5.5 ka BP, DL2)。

第 3 个长时间尺度的湿润期 3.0~1.7 ka BP(WL3),贯穿了楚文化从开始出现、发展到最后消亡的整个时期,这导致了水对楚国的农业、宗教和军事等产生了深远的影响。楚国人不仅继承了利用火来拓展农田这一新石器文化时期的农业活动,还利用水淹没草地来获得种植水稻的肥料。楚人不仅修建了堤防工程,而且还有排灌工程等水利工程。水产品,特别是鱼成了楚国人除了米饭以外的第二大日常食物。水神也成为楚地宗教崇拜中的重要内容,楚人所祭祷的水神除了江、汉、雩、漳外,还有“大水”、“大川”、“汉女”、“湘君”及“湘夫人”、“大波”、“淮河”、“曲池”等,北方常见的“河伯”、“玄冥”、“罔两”和“水上”、“溺人”等厉鬼,亦偶享祭祷(杨华, 2007)。

在 5 个短时间尺度的湿润期中,发生在 4.2~4.0 ka BP(WS4)湿润期特别值得关注。这个时期是新石器文化崩溃的时间,长江中游先后发现的 16 座新石器时代城址都在这时消失。这是尧、舜、禹时代大洪水发生的时间,著名的大禹治水大约就在这个时期。《尚书》、《墨子》、《论语》、《左传》、《楚辞》、《山海经》、《吕氏春秋》等众多文献记载了夏初发生洪水、大禹治水之事(孙森, 1987)。“尧有九年之水患”就是对这一时期湿润气候的真实写照。这也是长江中游古云梦泽出现的时期(羊向东等, 1998)。北欧、中欧在这个时期也极其湿润(Hsu, 1998)。值得注意的是,在中国北方,特别是在东亚季风的北部边缘地带,如青海、内蒙古的岱海等湖水位很低,是个干旱的时期(Wu and Liu, 2004)。在地中海地区、北非、东南亚也是个干旱时期(Weiss and Raymond, 2001)。因此,这一时期古水文的空间差异极其显著,在中国出现了北旱南涝的格局(Wu and Liu, 2004)。

4 古水文与古温度的关系

现代过程研究表明(Huang *et al.*, 2013a),脂肪酸 BNA₁₅ 参数与温度有很好的相关关系。Huang

et al.(2013a)利用大九湖泥炭地来源于微生物的脂肪醇 BNA₁₅ 参数重建了长江中游地区 13 ka 以来的温度变化.这一古温度指标独立于以上的 4 个古水文指标,这使得本文能够探索长江中游地区古温度与古水文之间的相互关系.从总的情况来看,长江中游地区古温度与古水文之间的关系远比北方的要复杂得多.

与古温度变化相对比(图 1),可以发现 11.7~10.7 ka BP(DL1)、6.4~5.5 ka BP(DL2)、4.0~3.0 ka BP(DL3)这 3 个长时间尺度的较干时期对应温度比较高,是暖干的气候条件.9.8~9.2 ka BP(DS1)与 1.7~1.1 ka BP(DS4)正好对应温度降低时期,是冷干的气候条件,而 9.0~8.7 ka BP(DS2)、5.0~4.2 ka BP(DS3)、0.7~0.0 ka BP(DS5)这 3 个短时间尺度的较干时期对应于暖干的气候条件.大部分干旱化事件总体上发育在暖期,表现出暖干的特征.这与北方特别是黄土高原的冷干现象明显不同.

结合温度曲线,可以发现 13.0~11.7 ka BP(WL1)与 3.0~1.7 ka BP(WL3)的 2 个湿润期对应于冷湿的气候条件,而 8.7~6.4 ka BP(WL2)对应于暖湿.10.7~9.8 ka BP(WS1)、1.1~0.7 ka BP(WS5)对应于冷湿气候,而 9.2~9.0 ka BP(WS2)、5.5~5.0 ka BP(WS3)、4.2~4.0 ka BP(WS4)是暖湿.湿润气候既可以出现在温暖时期,也可以出现在寒冷时期,水热配置存在不稳定性.

从总的趋势分析,8 个较干时期中的 6 个集中在 2 个时间段,分别是 11.7~8.7 ka BP(包括 DL1、DS1、DS2)和 6.4~3.0 ka BP(包括 DL2、DL3、DS3).这 2 个时间段正是温度发生转换时期,11.7~8.7 ka BP 是末次冰期向全新世暖期的转换时期,6.4~3.0 ka BP 是全新世大暖期向晚全新世降温期的转换时期.因此,尽管古温度与古水文之间的关系比较复杂,但当温度从一种状态向另一种状态转变时(冷期向暖期或暖期向冷期转变),长江中游地区的干旱程度会加剧.

5 结论

长江中游地区出现 3 个持续事件达千年以上的长时间尺度较干时期,分别为 11.7~10.7 ka BP、6.4~5.5 ka BP、4.0~3.0 ka BP.出现 3 个持续时间达千年以上的湿润期,分别为 13.0~11.7 ka BP、8.7~6.4 ka BP、3.0~1.7 ka BP.长时间尺度的较干时期与长时间尺度的湿润期相邻出现.5 个短时间

尺度的较干时期分别为 9.8~9.2 ka BP、9.0~8.7 ka BP、5.0~4.2 ka BP、1.7~1.1 ka BP、0.7~0.0 ka BP.5 个短时间尺度的湿润期分别是 10.7~9.8 ka BP、9.2~9.0 ka BP、5.5~5.0 ka BP、4.2~4.0 ka BP、1.1~0.7 ka BP.

长江中游地区的古水文与古温度关系比较复杂.湿润气候既可以出现在暖期(如全新世大暖期),也可以出现在冷期(如新仙女木事件),水热配置存在不稳定性.总的情况是,当温度从一种状态向另一种状态转变时,本地区的干旱程度加剧.

古水文条件对本地区的古文化有重要影响.6.4~5.5 ka BP 的较干时期可能是个大区域性乃至全球性的事件,在全球对应出现了复杂的、具有国家性质的社会.楚文化的出现、发展和消亡均在 3.0~1.7 ka BP 长时间尺度的湿润期发生,水对楚国的农业、宗教、军事等产生重要影响.尧、舜、禹的时代对应于 4.2~4.0 ka BP 短时间尺度的湿润期,此时中国北方则是个干旱时期.

致谢:谨以此文庆祝殷鸿福院士八十华诞,感谢他长期以来坚持倡导走学科交叉的发展道路,将地球生物学与全球变化紧密结合,形成具有我校鲜明特色的第四纪全球变化研究.

References

- An, Z. S., Porter, S. C., Kutzbach, J. E., et al., 2000. Asynchronous Holocene Optimum of the East Asian Monsoon. *Quaternary Science Reviews*, 19(8): 743–762. doi:10.1016/S0277-3791(99)00031-1
- Bechtel, A., Sachsenhofer, R. F., Kolcon, I., et al., 2002. Organic Geochemistry of the Lower Miocene Oberdorf Lignite (Styrian Basin, Austria): Its Relation to Petrography, Palynology and the Palaeoenvironment. *International Journal of Coal Geology*, 51(1): 31–57. doi:10.1016/S0166-5162(02)00079-4
- Bosch, R. F., White, W. B., 2004. Lithofacies and Transport of Clastic Sediments in Karstic Aquifers. In: Sasowsky, I. D., Mylroie, J., eds., *Studies of Cave Sediments: Physical and Chemical Records of Paleoclimate*. Springer, Dordrecht, 1–12. doi:10.1007/978-1-4419-9118-8_1
- Brooks, N., 2006. Cultural Responses to Aridity in the Middle Holocene and Increased Social Complexity. *Quaternary International*, 151(1): 29–49. doi:10.1016/j.quaint.2006.01.013
- Charman, D., 2002. *Peatlands and Environmental Change*. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, 312.
- Dykoski, C. A., Edwards, R. L., Cheng, H., et al., 2005. A

- High-Resolution, Absolute-Dated Holocene and Deglacial Asian Monsoon Record from Dongge Cave, China. *Earth and Planetary Science Letters*, 233(1–2): 71–86. doi: 10.1016/j.epsl.2005.01.036
- Han, S. T., Zhai, Z., 1992. Holocene Climate Evolution in the Inland North Xinjiang. *Science in China (Series B)*, (11): 1201–1209 (in Chinese).
- Hsu, K. J., 1998. Sun, Climate, Hunger, and Mass Migration. *Science in China (Series D)*, 41(5): 449–472. doi: 10.1007/BF02877737
- Hu, C. Y., Henderson, G. M., Huang, J. H., et al., 2008. Quantification of Holocene Asian Monsoon Rainfall from Spatially Separated Cave Records. *Earth and Planetary Science Letters*, 266(3–4): 221–232. doi: 10.1016/j.epsl.2007.10.015
- Huang, X. Y., Meyers, P. A., Jia, C. L., et al., 2013a. Paleotemperature Variability in Central China during the Last 13 ka Recorded by a Novel Microbial Lipid Proxy in the Dajiuhe Peat Deposit. *The Holocene*, 23(8): 1123–1129. doi: 10.1177/0959683613483617
- Huang, X. Y., Xue, J. T., Wang, X. X., et al., 2013b. Paleoclimate Influence on Early Diagenesis of Plant Triterpenes in the Dajiuhe Peatland, Central China. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 123: 106–119. doi: 10.1016/j.gca.2013.09.017
- Jaatinen, K., Fritze, H., Laine, J., et al., 2007. Effects of Short- and Long-Term Water-Level Drawdown on the Populations and Activity of Aerobic Decomposers in a Boreal Peatland. *Global Change Biology*, 13(2): 491–510. doi: 10.1111/j.1365-2486.2006.01312.x
- Jin, B. X., Deng, Z. R., Li, X. M., 1992. Comprehensive Investigations on the Lakes in Jiangnan Basin. Hubei Science & Technology Press, Wuhan (in Chinese).
- Lascu, L., Feinberg, J. M., 2011. Speleothem Magnetism. *Quaternary Science Reviews*, 30(23–24): 3306–3320. doi: 10.1016/j.quascirev.2011.08.004
- Peters, C., Dekkers, M. J., 2003. Selected Room Temperature Magnetic Parameters as a Function of Mineralogy, Concentration and Grain Size. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 28(16–19): 659–667. doi: 10.1016/S1474-7065(03)00120-7
- Sun, M., 1987. Notes on the History of Xia and Shang Dynasties. Culture Relics Press, Beijing, 159–164 (in Chinese).
- Thompson, R., Oldfield, F., 1986. Environmental Magnetism. Springer Netherlands, Berlin. doi: 10.1007/978-94-011-8036-8
- Wakeham, S. G., Schaffner, C., Giger, W., 1980. Poly Cyclic Aromatic Hydrocarbons in Recent Lake Sediments-II. Compounds Derived from Biogenic Precursors during Early Diagenesis. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 44(3): 415–429. doi: 10.1016/0016-7037(80)90041-1
- Wang, F. B., Shi, Y. F., 1992. Basic Features of the Holocene Climate and Environment in Tibetan Plateau. In: Shi, Y. F., Kong, Z. C., eds., Climate and Environment of the Holocene Optimum in China. China Ocean Press, Beijing, 197–205 (in Chinese).
- Wang, H. X., 1998. Distribution of Neolithic Sites in Middle Yangtze Region and Its Relationship with Paleoenvironments. *Journal of Jiangnan Archaeology*, (1): 53–76 (in Chinese).
- Wang, S. M., Wang, F. B., 1992. Lacustrine Records of Holocene Climate Change. In: Shi, Y. F., Kong, Z. C., eds., Climate and Environment of the Holocene Optimum in China. China Ocean Press, Beijing, 146–152 (in Chinese).
- Weiss, H., Bradley, R. S., 2001. Archaeology-What Drives Societal Collapse? *Science*, 291(5506): 609–610. doi: 10.1126/science.1058775
- Wolff, G. A., Trendel, J. M., Albrecht, P., 1989. Novel Monocyclic Triterpenoid Hydrocarbons Occurring in Sediments. *Tetrahedron*, 45(21): 6721–6728. doi: 10.1016/S0040-4020(01)89142-0
- Wu, W. X., Liu, T. S., 2004. Possible Role of the “Holocene Event 3” on the Collapse of Neolithic Cultures around the Central Plain of China. *Quaternary International*, 117(1): 153–166. doi: 10.1016/S1040-6182(03)00125-3
- Xie, S. C., Evershed, R. P., Huang, X. Y., et al., 2013. Concordant Monsoon-Driven Postglacial Hydrological Changes in Peat and Stalagmite Records and Their Impacts on Prehistoric Cultures in Central China. *Geology*, 41(8): 827–830. doi: 10.1130/G34318.1
- Yang, H., 2007. Research on the Water Deity in Chu Area. *Jiangnan Tribune*, (8): 98–104 (in Chinese with English abstract).
- Yang, X. D., Zhu, Y. X., Jiang, X. Z., et al., 1998. Environmental Changes from Spore-Pollen Record of Mianyang Region Over the Past 10 000 Years. *Journal of Lake Sciences*, 10(2): 23–29 (in Chinese).
- Ye, J. L., Wang, S. W., Li, X. D., 1997. A Study of Drought/Flood Type in Eastern China. *Journal of Applied Meteorological Science*, 8(1): 69–77 (in Chinese with English abstract).
- Yu, Z. C., McAndrews, J. H., Eicher, U., 1997. Middle Holocene Dry Climate Caused by Change in Atmospheric Circulation Patterns: Evidence from Lake Levels and Stable Isotopes. *Geology*, 25(3): 251–254. doi: 10.1130/

- 0091-7613(1997)025<0251;MHDCCB>2.3.CO;2
- Zhang, L.S., Fang, X.Q., Ren, G.Y., et al., 1997. Environmental Changes in the North China Farming-Grazing Transitional Zone. *Earth Science Frontiers*, 4(1-2): 127-136 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, W.L., 2006. Climate Change and Shang People Moving to the South. *Culture Relics of Central China*, (1): 37-45 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, Y., Yu, Z.C., Chen, F.H., et al., 2009. Vegetation Response to Holocene Climate Change in Monsoon-Influenced Region of China. *Earth-Science Reviews*, 97(1-4): 242-256. doi:10.1016/j.earscirev.2009.10.007
- Zhong, W., Shu, Q., 2001. Paleoclimatic and Paleohydrologic Oscillations since about 12.0 ka B.P. at Bosten Lake, Southern Xinjiang. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 32(2): 213-220 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, W.J., Yu, X.F., Timothy Jull, A.J., et al., 2004. High-Resolution Evidence from Southern China of an Early Holocene Optimum and a Mid-Holocene Dry Event during the Past 18 000 Years. *Quaternary Research*, 62(1): 39-48. doi:10.1016/j.yqres.2004.05.004
- Zhou, W.J., Zheng, Y.H., Meyers, P.A., et al., 2010. Postglacial Climate-Change Record in Biomarker Lipid Compositions of the Hani Peat Sequence, Northeastern China. *Earth and Planetary Science Letters*, 294(1-2): 37-46. doi:10.1016/j.epsl.2010.02.035
- Zhu, C., Chen, X., Zhang, G.S., et al., 2008. Spore-Pollen-Climate Factor Transfer Function and Paleoenvironment Reconstruction in Dajiuhu, Shennongjia, Central China. *Chinese Science Bulletin*, 53(Suppl. 1): 42-49 doi: 10.1007/s11434-008-5011-x
- Zhu, C., Ma, C.M., Wang, H.L., et al., 2008. Characteristics of Paleoflood Deposits Archived in Unit T0403 of Yuxi Site in the Three Gorges Reservoir Areas, China. *Chinese Science Bulletin*, 53(Suppl. 1): 1-16 (in Chinese).
- Zielhofer, C., Linstädter, J., 2006. Short-Term Mid-Holocene Climatic Deterioration in the West Mediterranean Region: Climatic Impact on Neolithic Settlement Pattern? *Z. Geomorph. N.F.*, 142(Suppl.): 1-17.

附中文参考文献

- 韩淑媿, 瞿章, 1992. 北疆巴里坤湖内陆型全新世气候特征. 中国科学(B辑), (11): 1201-1209.
- 金伯欣, 邓兆仁, 李新民, 1992. 江汉湖群综合研究. 武汉: 湖北科学技术出版社.
- 孙淼, 1987. 夏商史稿. 北京: 文物出版社, 159-164.
- 王富葆, 施雅风, 1992. 青藏高原全新世气候及环境基本特征. 见: 施雅风, 孔昭宸编, 中国全新世大暖期气候与环境. 北京: 海洋出版社, 197-205.
- 王红星, 1998. 长江中游地区新石器时代遗址分布规律、文化中心的转移与环境变迁的关系. 江汉考古, (1): 53-76.
- 王苏民, 王富葆, 1992. 全新世气候变化的湖泊记录. 见: 施雅风, 孔昭宸编, 中国全新世大暖期气候与环境. 北京: 海洋出版社, 146-152.
- 杨华, 2007. 楚地水神研究. 江汉论坛, (8): 98-104.
- 羊向东, 朱育新, 蒋雪中, 等, 1998. 沔阳地区一万多年来孢粉记录的环境演变. 湖泊科学, 10(2): 23-29.
- 叶瑾琳, 王绍武, 李晓东, 1997. 中国东部旱涝型的研究. 应用气象学报, 8(1): 69-77.
- 张兰生, 方修琦, 任国玉, 等, 1997. 我国北方农牧交错带的环境演变. 地学前缘, 4(1-2): 127-136.
- 张渭莲, 2006. 气候变迁与商人南下. 中原文物, (1): 37-45.
- 钟巍, 舒强, 2001. 南疆博斯腾湖近 12.0 ka B.P. 以来古气候与古水文状况的变化. 海洋与湖沼, 32(2): 213-220.
- 朱诚, 马春梅, 王慧麟, 等, 2008. 长江三峡库区玉溪遗址 T0403 探方古洪水沉积特征研究. 科学通报, 53(增刊 1): 1-16.