

蒙城尉迟寺文化层的地质地球化学研究 II ——古遗址气候变化反演及代用指标选择

徐利斌^{1,2}, 孙立广^{1,2}, 彭子成², 罗泓灏^{1,2}, 王吉怀³

- (1. 中国科学技术大学极地环境研究室, 安徽合肥 230026;
2. 中国科学技术大学地球和空间科学学院, 安徽合肥 230026;
3. 中国社会科学院考古研究所, 北京 100710)

摘要:考古遗址剖面研究正在突破传统文物考古研究的学科局限,应用孢粉学、地质地球化学等多学科交叉和新技术新方法,提供研究人类历史有意义的信息.通过对安徽蒙城尉迟寺遗址剖面中各种元素、粒度等指标的综合研究分析,区分了剖面各种指标对人为影响、自然影响的响应程度,并且利用主要受自然影响的指标恢复了5 050~4 000 cal. aB. P. 间尉迟寺遗址地区的气候变化历史.在与经典亚洲夏季风指标对比的基础上,探讨影响气候变化的原因,以及气候变化与原始文化之间的关系.并在此基础上,提出古遗址剖面气候研究中使用代用指标时需要特别注意的问题.

关键词:尉迟寺遗址;气候变化;主成分分析;气候影响因素;夏季风;人口数量

中图分类号:X142 **文献标识码:**A

Geochemical research on prehistorical culture of Yuchisi Site in Mengcheng II — Reconstruction of climatic changes and discussion on proxy selection

XU Li-bin^{1,2}, SUN Li-guang^{1,2}, PENG Zi-cheng², LUO Hong-hao^{1,2}, WANG Ji-huai³

- (1. Institute of Polar Environment, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China;
2. School of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China;
3. The Archaeology Institute of Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100710, China)

Abstract: Application of the new methods of palynology, geochemistry and so on can help researches based on the archaeological profile to break free from the disciplinary limitations that beset cultural relic researches, and provide meaningful information for archaeological research. 230 samples were collected from a 460 cm deep sediment profile named YC1 in the Yuchisi Site in Mengcheng, Anhui Province at an interval of 2 cm. The site contains cultural layers of the Dawenkou Culture and Longshan Culture, aged from 5 050 cal. aB. P. to 4 000 cal. aB. P. Based on the statistical analysis of elements and grain size in the cultural layers of Yuchisi Site in Mengcheng of Anhui, the extent of every index responding to human activities and climate was obtained, and the climatic change of Yuchisi Site from 5 050 cal. aB. P. to 4 000 cal. aB. P. was reconstructed using climatic impacting indexes, such as factor2 from Principle component

收稿日期:2009-03-06;修回日期:2009-04-22

基金项目:中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-151)资助.

作者简介:徐利斌,男,1981年生,博士生.研究方向:环境科学. E-mail: lbxu3@mail.ustc.edu.cn

通讯作者:孙立广,教授. E-mail: slg@ustc.edu.cn

analysis, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ and clay concentration. Results show that the climate in the Dawenkou Culture (from 5 050 cal. aB. P. to 4 400 cal. aB. P.) was quite warm and wet, but in the Longshan Culture (from 4 400 cal. aB. P. to 4 000 cal. aB. P.) it was quite cold and dry. From the comparison with classical Asian monsoon index (Stalagmitic $\delta^{18}\text{O}$ records in Dongge Cave) and solar activity, the reasons for climatic change, and the correlation between climatic change and cultures in primitive society were discussed. Based on this study, it is recommended that the climatic proxy that is heavily influenced by human activities should be avoided.

Key words: Yuchisi Site; climatic change; principle component analysis; climatic impacting factors; summer monsoon; ancient population

0 引言

考古遗址地层与自然沉积地层相比,它不仅记录了自然环境变化的信息,还记录了人为活动的变化. 考古遗址地层的研究可以丰富田野考古对历史、文化、社会、科技、环境发展的认识,并提供传统文物考古无法获得的但又是非常有意义的信息. 通过古遗址地层中的孢粉^[1~6]、粒度^[7~10]、地球化学元素^[9, 11~13]以及同位素^[14]等指标的研究,可以反演古人类活动时期的生活环境以及气候变化,探讨其和人类活动以及古文化更替的关系. 渭河流域先周至西周时代主要考古遗址剖面中磁化率、粒度和 CaCO_3 含量等环境指标研究^[10]表明,从 3 100 a. B. P. 开始,渭河流域气候向着干旱化发展,降水量减少、蒸发量增大、植被退化;这个时期游牧民族大规模南移,包括周人历史上著名的“古公迁岐”、“文王迁丰”和“平王东迁”等事件,其中很大的一个原因是环境恶化和水草资源的退化. 长江三峡中坝遗址地层的 Rb/Sr 比值结果^[12]显示,长江三峡地区自全新世中晚期以来(4.3 ka. B. P.)气候开始趋于恶劣,并且气候冷暖波动非常剧烈,在西周中期和末期、战国末期、秦汉初期以及明清初期均发生气候快速变冷事件. 湖北辽瓦店遗址地层中的地球化学元素综合分析^[15]表明,Al、Fe、Li、Sc、Cd、Na、Sr 等元素主要受自然环境的影响,Cu、P、Zn、Ca、Pb 等元素主要受人类活动的影响; $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO})/\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 MnO/CaO 、粒度等指标指示夏代时期气候较温暖湿润,东周时期气候向干旱特征转变,东周文化末期气候又进入暖湿期,而到了明清时期气候整体又趋于干凉.

安徽蒙城尉迟寺遗址是新石器时代中晚期黄淮地区重要的聚落遗址^[16],作者对尉迟寺遗址地质地球化学的先期研究^[17]表明,P、Cu、Ca、Mn、Zn、Sr、

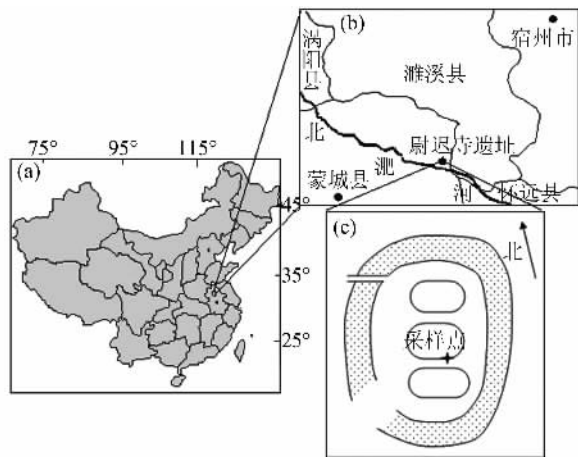
Ni 和 Na 等地球化学指标主要受控于人类活动的影响,并利用统计分析的方法恢复了古文化时期尉迟寺遗址地区的人口数量变化. 本文主要是在此基础上深入探讨该遗址历史时期的气候变化特征. 将第四纪古气候环境的代用指标用来恢复考古遗址地层历史时期气候环境变化,是常用的方法. 但是,绝大部分研究在使用替代性指标时都直接从第四纪古气候研究方法中借鉴过来,缺乏对指标的可行性分析. 特别是使用地球化学元素指标的时候,比如 CIA 指数^[18]、Rb/Sr^[19]等,几乎没有探讨其可行性. 考古遗址地层和自然沉积地层是有区别的,自然沉积地层中绝大部分指标都是受到自然变化的影响,但是考古遗址地层同时记录了人类活动的影响. 如果不排除这些影响来反演气候环境变化,就可能会造成误判.

本文在对气候代用指标进行可行性分析的基础上,区分了人类因素和自然因素,利用多指标综合的方法重建了尉迟寺遗址地区 5 050~4 000 cal. aB. P. 间的气候变化记录,探讨了气候变化和人类活动以及文化更替之间的关系,并且给出了在考古遗址剖面使用气候代用指标时的建议.

1 研究区域、样品采集和分析方法

1.1 研究区域和样品采集

尉迟寺遗址(图 1),位于安徽省蒙城县($32^{\circ}55' \sim 33^{\circ}29' \text{N}$, $116^{\circ}16' \sim 116^{\circ}46' \text{E}$),地处淮北平原中南部,是黄淮地区重要的新石器时代聚落遗存,遗址属于大汶口文化晚期到龙山文化时期(5 050~4 000 cal. aB. P.)^[16,20]. 在遗址中心南北方向上有该遗址考古发掘第二阶段的 3 个发掘区,我们于 2004 年 7 月在围沟内的中间发掘区的南壁(见图 1(c)),对一深度为 460 cm 的堆积剖面(命名为 YC1)进行了考查并采集土壤样品,各个层位的划分是在



(c)为尉迟寺遗址固堆现状及采样地点,阴影部分是环绕固堆周围的围沟遗迹,中间为发掘第二阶段的3个考古发掘区

图1 尉迟寺遗址地理位置图(a,b)和采样地点(c)

Fig. 1 The location of Yuchisi Site (a,b) and the sampling position (c)

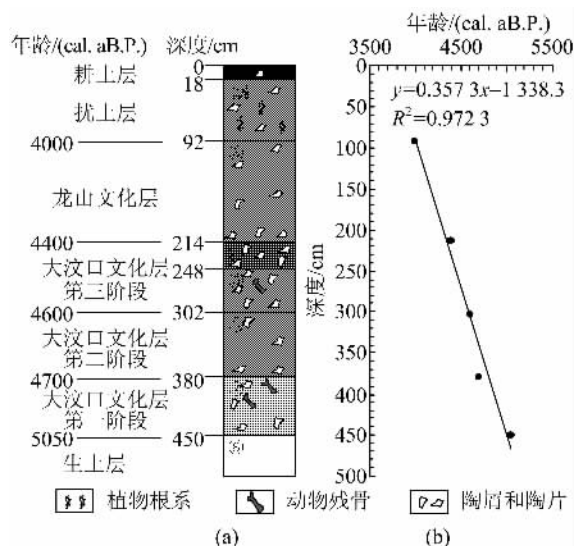


图2 尉迟寺遗址剖面层位详细情况(a)和文化层年龄深度关系(b)剖面的年龄^[20]

Fig. 2 Detailed strata relationship of the Yuchisi Site (a) and the Age-depth model of paleoculture (b)

野外现场确定的,年龄采用的是中国社科院考古研究所确定的各文化层的分界年龄^[20](图2)。详细的区域概况、采样情况和层位岩性描述见本系列文章 I^[17]。

整个剖面除了表面的耕土层外,土壤结构均比较坚实,主体颜色偏黄色,粒度较细,属于粘土一类。整个剖面均未发现有明显水流作用痕迹,如青色淤泥层或黄色沙层等。另外需要说明的是,剖面中除了

灰坑层可能代表了祭祀坑之外,整个剖面采集区域没有发现房基或者墓葬,即剖面位于遗址中心区域的一块空地。

1.2 样品分析

所有样品取回实验室后,保存在 $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰柜中。所有样品分析前首先在洁净实验室自然风干,并除去大块的有机残体和陶片,然后进行各项分析。

样品松散后,各称取 2 g 送往中国科学院土壤研究所进行粒度测定。样品先经过 H_2O_2 和稀盐酸除去有机质和碳酸盐,然后加入分散剂(六偏磷酸钠)过夜,随后在激光粒度分析仪(COUTER LS-230)上测定,获得了粒径范围在 $0.4\sim 2\ 000\ \mu\text{m}$ 的累计分布曲线。

所有样品在玛瑙钵中充分研磨,至粉末状后进行总有机碳(TOC)和无机元素的浓度测定。总有机碳的测定采用了化学体积分法^[21],重复误差为 $\pm 5\%$ 。

将干燥的样品在玛瑙钵中充分研磨至粉末状,然后在中国科学技术大学理化实验中心用X射线荧光光谱仪测定Na、K、Ca、Mg、Mn、Fe(总Fe)、Ti、Al、Si和P的含量。在聚四氟乙烯坩埚中用 HF/HClO_4 混合酸溶解样品,然后用原子吸收分光光度仪(AAS,型号PZ-1100)测定Zn、Cu、Ni、Sr、Pb和Cd的含量。将样品在 5% 的盐酸中充分溶解,然后用原子吸收分光光度仪进行可溶性Sr(SSr)的测定。将样品于硝酸和 H_2O_2 中溶解,并加入氧化催化剂(Fe^{3+} 溶液,氧化 Hg^0 为高价态,防止 Hg^0 的散失),过夜后再加入少量 H_2O_2 并在电磁炉上微沸,冷却后定容到 25 ml ,最后在原子荧光光度仪(AFS,型号XDY-1)进行总汞量的测定。各样品测试过程中插入标准样品进行监控,标样的重复测定误差在 5% 以内。

2 结果和讨论

2.1 年代学和剖面堆积速率

尉迟寺遗址堆积剖面的深度和年龄^[20]关系如图2(b)所示。由图可以看出,5个年龄与深度有较好的一致性,对年龄作线性拟合其相关系数 $R=0.986$ ($p<0.01$)。该遗址剖面的平均沉积速率为 0.36 cm/a ,各个时期略有差别。这说明遗址地层是连续沉积的,并没有出现大的扰动。本文采用线性内插方法建立古文化时期的剖面时间序列。

2.2 古文化层的多指标综合分析

对多指标进行综合的聚类分析和主成分分析,是探寻不同指标共同来源的良好方法^[17, 22, 23]. 利用软件 SPSS 13.0 对文化层中(92~450 cm) 19 种化学元素的原始数据^[17]进行标准化后,进行 R 型分层聚类分析和主成分分析.

R 型分层聚类分析用 Pearson 相关系数的方法对各元素进行组间聚类连接,结果如图 3 所示. 距离越小,表示相关系数越大. 从图 3 可以看出,Fe、Mg、Al、K、Ti 互相之间相关性最好,聚为一类,表示其有着共同的来源或者主导因素;Ca、P、Mn、TOC、Sr、Cu、Zn、Ni、SSr(可溶性 Sr)互相之间相关性最好,聚为另一类,同样表示其有着共同的来源或者主导因素.

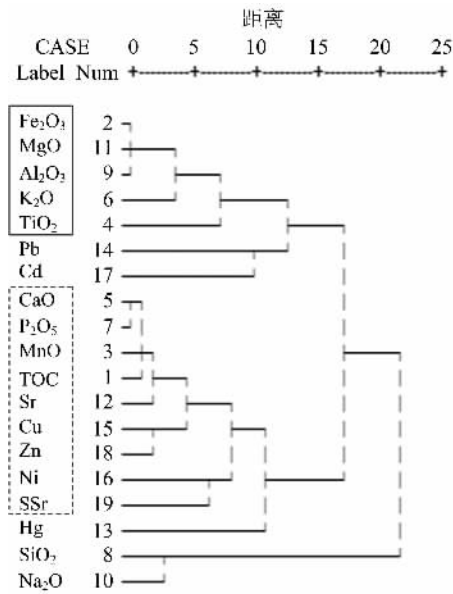


图 3 文化层中化学元素的 R 型聚类分析

Fig. 3 R-mode clustering results for the chemical elements in the cultural layers

主成分分析方法是以前各变量的相关系数矩阵为基础的,其前 2 个因子的方差累计贡献为 73.12%,可以说包含了所有信息中的绝大部分,而第三主因子方差贡献仅为 8.95%. 主成分分析的因子载荷矩阵结果(各变量与各主成分之间的相关矩阵)见表 1. 由表 1 可以看出,第一主因子(factor1)中具有最高载荷(与第一主因子具有最大的相关系数)的变量有 P、TOC、Cu、Ca、Mn、Zn、Sr、Na、SSr 和 Ni,其中正载荷有 P、TOC、Cu、Ca、Mn、Zn、Sr、SSr 和 Ni,与聚类分析的结果一致;而 Na 为负载荷,所以在聚

表 1 文化层中化学元素的因子载荷矩阵

Tab. 1 Component matrix of the chemical elements in cultural layers

	component		
	1	2	3
P	0.946	-0.214	-0.094
TOC	0.922	-0.239	-0.082
Cu	0.910	0.179	0.015
Ca	0.887	-0.347	-0.189
Mn	0.886	-0.239	0.031
Zn	0.833	-0.004	0.392
Sr	0.765	-0.525	-0.143
Na	-0.746	-0.563	0.222
SSr	0.640	0.278	-0.005
Ni	0.630	0.615	-0.093
Al	-0.027	0.972	-0.181
Fe	0.217	0.957	-0.015
Mg	0.208	0.951	-0.118
Si	-0.402	-0.848	0.023
K	0.066	0.756	0.444
Ti	-0.612	0.673	-0.279
Pb	-0.319	0.268	0.680
Cd	0.245	0.289	0.619
Hg	0.400	-0.356	0.497

类的时候没有聚在一起.

尉迟寺遗址是该地区古人的聚落中心,频繁的人为活动使得围沟内生长的植物比较少;另外,围沟的存在使得围沟以外的非人为影响的植物腐质酸等有机物很难进入围沟以内. 所以,文化层中的有机质来源主要受人为影响. 马春梅等^[11]关于尉迟寺遗址另一剖面的研究显示, Ca、Sr、P 在近 3 m 深的生土层中几乎保持不变,而在文化层中含量明显升高,并且波动非常明显,说明文化层中的 Ca、Sr、P 主要受人为来源影响. Parnell 等^[24]对墨西哥危地马拉的 Piedras Negras 遗址研究表明, P、Mn 主要与人为有机物的丢弃有关. 而 Ca、Sr、P、Mn、TOC 都是第一主因子代表变量,因此第一主因子代表了尉迟寺遗址的人为有机质输入. 而剖面中主要的人为有机质来源是古人随机洒落的食物残渣以及他们的生活垃圾和排泄物. 而生活垃圾和排泄物是和食物数量呈正相关的,在生产力并不高的原始社会,食物的多少和农业收成有关;另外,随机洒落的食物残渣也和农业收成有很大的关系. 总的说来,农业(包括种植业和畜牧业)收成越多,随机洒落的食物残渣就越多,同时他们的生活垃圾和排泄物也越多. Cu、Mn、Ca、

Zn、Ni、Sr 等元素都是动、植物蛋白质中的主要微量元素^[25],因此农业收成越高,剖面中的 Cu、Mn、Ca、Zn、Ni、Sr 的含量也会越高.假设这些有机物掉落在研究范围内的几率相同,那么由 TOC 等变量所代表的第一主因子,可以代表古文化时期的农业生产总量,间接代表了人口数量的变化^[17].

第三主因子中具有最高载荷的变量为 Pb、Cd、Hg,为受人类活动产生污染源的影响.由于文化层没有发现任何金属遗物和遗迹^[16,20],所以第三主因子可能和当时的手工业以及非本地的冶金活动有关.本文主要讨论第二主因子的变化.

第二主因子中具有最高载荷值的变量为 Al、Fe、Mg、Si、K 和 Ti,其中属正载荷值(正相关)的为 Al、Fe、Mg、K、Ti,同样也是聚类分析(图 3)中聚为一类的变量;而 Si 为负载荷(负相关),所以没有聚为一类.从这些变量之间的相关系数(表 2)可以发现,变量之间都有很好的相关性,而且大部分变量之间都是显著相关($P < 0.01$),特别是 Al、Fe、Mg 和所有的这些元素都是显著相关($P < 0.01$).所以说,第二主因子中这些具有最高载荷的变量都是来自于同一个来源,或者说它们的变化都是由于同一种因素控制的.对于尉迟寺遗址地层堆积中的各种化学元素变化的因素,主要受控于人为影响和自然(气候环境)影响.既然第一和第三主因子都是由人为活动所控制的,那么第二主因子很有可能是自然因素,也就是气候因素所控制的.

YC1 剖面中的 SiO₂ 含量在 70% 左右,土壤主要以硅酸盐矿物为主. Al、Fe、Mg、Si、K 和 Ti 都是硅酸盐矿物及其风化产物的主要成分,如钾长石、蒙脱石、白云母、伊利石、高岭石、绿泥石等.风化程度的差别可以导致沉积物中矿物组成的不同,而矿物组成的变化将导致元素含量的变化.硅酸盐地区土壤风化的元素地球化学研究表明^[26],随着风化强度

的增强,Al 和 K, Al 和 Mg, Al 和 Ti 存在很好的正相关关系,而 Al 和 Si 存在较好的反相关关系;即风化强度增强,沉积物中 Al、K、Mg、Ti 的含量会增加,而 Si 的含量会减少.另外,随着风化强度的提高,沉积物的粒度也会相对变细;而 Al、Fe、Mg、K 的含量随着粒级的增大而减少, Si 的含量随着粒级的增大而增大^[27,28].所以说,沉积物中的 Al、Fe、Mg、K、Ti 含量与风化程度成正相关关系,而 Si 的含量与风化程度成反相关关系.因此,我们认为,第二主因子代表了沉积物总的风化程度.而风化程度在很大程度上决定于夏季温度和降水量,因此第二主因子间接代表了夏季风的变化.

应用 CIA^[18]、Rb/Sr^[19]、(CaO + MgO + Na₂O)/TiO₂^[29]、Na/Al^[30]等指标,反演受古人类活动影响沉积剖面的风化强度或者夏季风变化时应慎重,避免将人为影响主导含量变化的元素用于气候讨论.比如尉迟寺遗址剖面中 Ca、Sr、Mn、Na 等元素的变化主要是人类活动影响导致的,而不是自然气候变化导致,所以 CIA、Rb/Sr、(CaO + MgO + Na₂O)/TiO₂ 和 Na/Al 等含有这些人为主导影响元素的指标在这里均不可用.由于硅酸盐岩风化成土过程中存在明显的脱硅富铝钾镁作用,而无明显的脱钙作用,所以利用 Al 和 Si 构成的指标 Al₂O₃/SiO₂,比用 Al、K、Na、Ca 构成的 CIA 指标更能反应土壤的风化强度^[26].同时 YC1 剖面中 Al 和 Si 都不是人为主导影响的元素,所以这里用 Al₂O₃/SiO₂ 来反映剖面的风化强度变化,同时检验第二主因子(factor2)的解释是否正确.

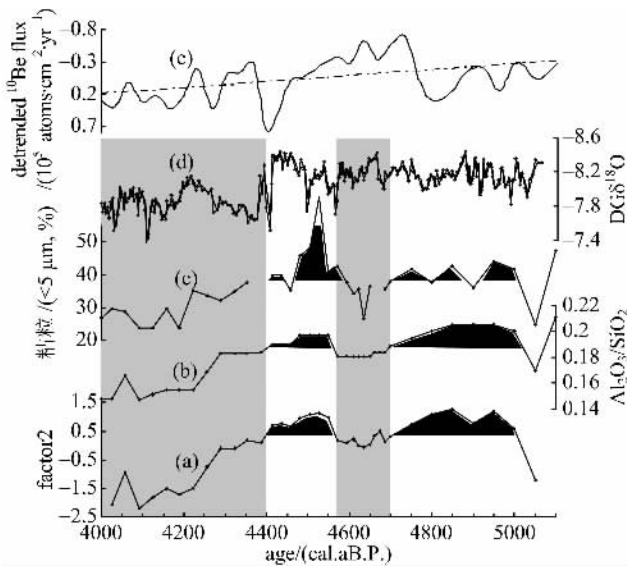
提取主成分分析中的第二主因子 factor2,并与文化层中的 Al₂O₃/SiO₂ 进行比较(图 4(a),(b)),发现两者存在明显的正相关关系,相关系数 $r = 0.976$ ($p < 0.01$).当 Al₂O₃/SiO₂ 升高,风化强度增加的时候, factor2 也同时升高;当 Al₂O₃/SiO₂ 降

表 2 第二主因子中主要代表元素的相关性

Tab. 2 Correlation coefficients between the factor 2 presenting elements

	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO
Fe ₂ O ₃	1.000					
TiO ₂	0.475*	1.000				
K ₂ O	0.750*	0.311	1.000			
SiO ₂	-0.940*	-0.274	-0.649*	1.000		
Al ₂ O ₃	0.935*	0.728*	0.655*	-0.800*	1.000	
MgO	0.972*	0.533*	0.717*	-0.904*	0.950*	1.000

【注】* 双尾检验在 0.01 水平上显著相关.



(a)、(b)、(c)分别为 YC1 剖面中气候因子 factor2、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 、粘粒含量在古文化时期的变化趋势；(d)为贵州董哥洞石笋高分辨 $\delta^{18}\text{O}$ 记录^[35]；(e)为去除长时间变化幅度的格陵兰冰芯 (GISP2) 中 ^{10}Be 通量变化^[37, 38]，反映了太阳辐射强度的变化

图 4 YC1 剖面中记录的古文化时期夏季风强度变化及其与董哥洞石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 记录、GISP2 中 ^{10}Be 记录的对比

Fig. 4 Comparison of the summer monsoon of paleocultural periods recorded in YC1 profile with $\delta^{18}\text{O}$ from DG stalagmite and detrended ^{10}Be flux from GISP2

低,风化强度减弱的时候, factor2 也同时降低. 两者如此好的相关性证明了 factor2 确实代表了沉积物的风化强度,间接代表了夏季风的变化.

土壤粘粒与风化成壤作用密切相关^[31],其数量随着风化成壤作用的发展而增加^[32],间接指示了夏季风强度的变化^[33]. 其中, $<5\ \mu\text{m}$ 的粘粒含量是夏季风强度的良好替代指标^[34],粘粒含量越高,夏季风就越强. YC1 剖面中, $<5\ \mu\text{m}$ 的粘粒含量变化如图 4(c),其与 factor2 的变化趋势基本一致,进一步说明了 factor2 代表了古文化时期的夏季风强度变化.

2.3 尉迟寺遗址古文化时期的气候变化

尉迟寺遗址古文化时期的夏季风变化如图 4(a)、(c)所示. 在大汶口文化时期(5 050~4 400 cal. a.B. P.),尉迟寺遗址地区的夏季风强度整体来说相对比较强,气候偏温暖湿润;只是在距今 4 700 到 4 600 年间,夏季风出现了一些波动,处于较干较冷的时期. 我们对 YC1 剖面中的孢粉组合也进行了分析^[17],结果表明整个大汶口文化时期的孢粉以禾本科-香蒲科-松属组合为特征,气候处于相对湿润的

状态;其中在剖面 410 cm 和 340 cm 处发生 2 次相对的环境恶化事件,第一次对应于距今 4 900 年的夏季风减弱(图 4(a)、(c)),第二次对应于距今 4 700 到 4 600 年间的气候波动事件.

在大汶口文化向龙山文化转变的时期,夏季风由强转弱,气候也由温暖湿润期转变为干旱寒冷期. factor2 和粘粒含量在龙山文化时期(4 400~4 000 cal. a.B. P.)显示出持续的降低,说明龙山文化时期的环境不断恶化,气候越来越寒冷干旱. 孢粉组合也同时显示^[17],龙山文化时期孢粉以耐旱耐盐的藜科-莎草科-鳞盖蕨类组合为特征,指示了一种偏干偏冷的气候环境;不断增长的耐旱的藜科孢粉,说明气候有越来越干的趋势,与 factor2 以及粘粒含量反映的夏季风强度变化有很好的对应关系.

石笋高分辨 $\delta^{18}\text{O}$ 记录是非常好的反演夏季风强度变化的指标^[35,36], $\delta^{18}\text{O}$ 值越偏负,代表降水越多,夏季风越强. 贵州董哥洞石笋高分辨 $\delta^{18}\text{O}$ 值记录了全新世 9 000 年以来连续、高分辨(达到 5 年分辨率)亚洲夏季风变迁历史^[35],为研究全新世亚洲各地夏季风的变迁提供了良好的参照序列. 比较 YC1 剖面中 factor2、粘粒含量记录和董哥洞石笋高分辨 $\delta^{18}\text{O}$ 记录(图 4(a)、(c)、(d))可以发现,它们在距今 5 050 到 4 000 年间总体变化的趋势是一致的: 5 050~4 400 cal. a.B. P., $\delta^{18}\text{O}$ 较小(更偏负)并且变化幅度不大,表明亚洲夏季风处于一个相对稳定和比较强盛的状态,气候比较温暖湿润,与 YC1 剖面所反映的大汶口文化时期的夏季风记录吻合;而 4 400~4 000 cal. a.B. P. 间, $\delta^{18}\text{O}$ 比 4 400 cal. a.B. P. 之前明显偏大,表明夏季风变弱,气候进入干旱寒冷期,也与 YC1 剖面记录的龙山文化时期的夏季风结果一致. 距今 4 400 年左右,突然升高的董哥洞石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 值指示了亚洲夏季风变弱,气候快速变干变冷的事件,刚好对应于尉迟寺遗址地区由大汶口文化向龙山文化转变时的气候转型事件;YC1 剖面孢粉证据显示^[17],此时孢粉极其稀少,并且许多孢粉都在此处消失了,指示了一种非常干旱的气候环境.

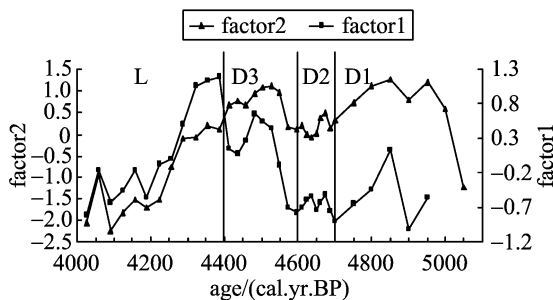
由宇宙射线带来的 ^{10}Be 产率是太阳辐射强度的良好指标,其与太阳辐射强度成反相关的关系^[39]: ^{10}Be 产率越低,太阳辐射强度越大. 去除长时间变化幅度后的格陵兰冰芯 (GISP2) ^{10}Be 通量^[37,38] 记录如图 4(e)所示. 由图可以发现,在距今 5 050 到 4 000 年间,太阳辐射强度有一个明显变弱的趋势;特别是距

今4 400年到4 000年间,太阳辐射强度明显要比之前低.太阳辐射强度的减弱可能是导致亚洲夏季风强度在4 400 cal. a.B. P.之后明显减弱的主要原因;太阳辐射强度减小,直接导致ITCZ(赤道辐合带)南移,造成中低纬度降雨量减少,亚洲夏季风减弱^[35].其中,距今4 400年左右亚洲夏季风的突然大幅度减弱,以及尉迟寺遗址的气候转型,与格陵兰冰芯¹⁰Be通量所反映的此时太阳辐射的显著降低有着直接的对应关系.太阳辐射强度的减弱很可能是这次事件的直接主导原因.

马春梅等^[11]对尉迟寺遗址的气候研究认为,尉迟寺遗址大汶口文化时期时候比较干冷,而龙山文化时期气候相对温暖潮湿,与我们研究结果以及石笋记录的亚洲夏季风变化^[35,40]相反.探讨其原因,马春梅等利用了指 标 $(Fe + Al + Mn + Cr + Co + Ni)/(K + Na + Ca + Mg + Sr + Ba)$ 、 Mg/Ca 、 Zr/Sr 、 Ti/Sr 和磁化率来反演古文化时期的气候变化,而这些指标中的Ca、Sr和磁化率均为该地区人为影响主导其含量变化的元素^[11,17],气候影响并不是占主要地位,用含有这些元素的代用指标来反演气候的变化可能是不合适的;另外,人类活动对古土壤的磁化率影响很大^[11],利用磁化率来反演遗址历史时期气候变化也值得商榷.所以,我们在探讨受古人类活动影响的沉积剖面的自然气候变化时应慎重,避免将人为主导影响或者干扰很大的因素用于气候代用指标中讨论.

2.4 尉迟寺遗址古文化时期的气候变化与人类文明的关系

尉迟寺遗址各个古文化时期人口数量变化趋势^[17](factor1)及其与夏季风强度的关系(factor2)如图5所示.值得注意的是:夏季风在距今4 700年左右开始波动降低的时候,刚好对应于大汶口文化第一阶段(D1)结束,第一批大汶口人迁徙离开的时候^[16];夏季风在距今4 700到4 600年间的波动,使得第二批大汶口人也没在尉迟寺遗址定居很久,大汶口文化第二阶段在距今4 600年左右迅速结束^[16];大汶口文化第三阶段气候开始好转,但是在距今4 400年左右,夏季风突然变弱,气候由温暖湿润转为干旱寒冷,大汶口文化第三阶段也结束了;而再次迁徙至此定居的龙山文化^[17],虽然文化更为先进,生产力更为发达,但是由于夏季风的不断减弱,气候持续的干旱寒冷,最终在距今4 000年左右也消亡或者离开了^[16].可见,在生产水平有限的原始社会,



D1:大汶口文化第一阶段;D2:大汶口文化第二阶段;
D3:大汶口文化第三阶段;L:龙山文化阶段

图5 尉迟寺遗址地区人口数量变化及其与夏季风强度的关系

Fig. 5 Comparison of population with summer monsoon recorded in YC1 profile

恶劣的气候条件是导致文化迁徙或消亡的重要原因.

其次,在尉迟寺各个文化时期内部比较当地人口数量与夏季风强度关系时可以发现,人口数量的变化都和夏季风强度有着相当好的一致性:当夏季风比较强,气候比较温暖湿润的时候,尉迟寺地区人口数量就比较多;当夏季风减弱,气候相对寒冷干旱的时候,尉迟寺地区人口就会随之减少(图5).在4 000多年前的原始氏族社会,当定居已经成为古人的生活方式的时候,农业生产是古人最根本也是最重要的活动,古人所有的生活和生产都是以农业为基础的,而农业生产又是和气候极具相关的.当夏季风越强,气候越温暖湿润的时候,农业生产就越顺利,收获的粮食也就越多,然后才有多余的粮食来满足增加的人口;而当夏季风变弱,降水减少的时候,落后的生产力和生产工具使得农业生产受到影响,收获的粮食也会减少.原始社会的粮食储备是极其有限的,粮食减产不能保证最基本的生存需求,导致人口数量减少.可见,在4 000多年前处于农耕文明的原始氏族社会,人口数量受到气候变化的深刻影响.

3 结论

(I)尉迟寺遗址 YC1 剖面中 Al、Fe、Mg、Si、K 和 Ti 的含量变化主要受风化程度影响,主成分分析提取的第二主因子(factor2)是夏季风强度的良好替代指标.

(II)在古遗址剖面等受古人类活动影响的环境中探讨历史时期的自然气候变化时,应避免选择人

为影响很大的气候代用指标。

(Ⅲ)尉迟寺遗址地区在5 050~4 400 cal. aB. P. 间,夏季风较强并且相对平稳,气候相对温暖湿润;在4 400~4 000 cal. aB. P. 间,夏季风明显减弱,气候进入相对寒冷干旱时期。气候由暖湿向干冷的转型时期发生在距今4 400年左右。

(Ⅳ)尉迟寺遗址地区各个不同文化阶段的人口数量与夏季风强度有较好的相关性:夏季风越强,人口数量越多;反之亦然。恶劣的气候条件是原始文化迁徙或者消亡的重要原因。

致谢 感谢朱仁斌博士在野外采集样品和实验分析时提供的帮助,感谢刘晓东博士以及博士生袁林喜和黄婧在成文过程中提供的建议和帮助。

参考文献(References)

- [1] Xia Zheng-kai, Chen Ge, Zheng Gong-wang, et al. Climate background of the evolution from Paleolithic to Neolithic cultural transition during the last deglaciation in the middle reaches of the Yellow River[J]. Chinese Science Bulletin, 2002, 47(1): 71-75.
夏正楷, 陈戈, 郑公望, 等. 黄河中游地区末次冰消期新旧石器文化过渡的气候背景[J]. 科学通报, 2001, 46(14):1 204-1 208.
- [2] Wei Xing-tao, Kong Zhao-chen, Yu Xin-hong. A preliminary study on Plant remains in Shangpo Site of Xiping in Henan[J]. Huaxia Archaeology, 2007, (3): 57-64.
魏兴涛, 孔昭宸, 余新红. 河南西平上坡遗址植物遗存试探[J]. 华夏考古, 2007, (3):57-64.
- [3] Zhang Zhen-yu, Zhou Kun-shu, Yang Rui-xia, et al. Environmental archaeology in the Shuangji River Basin[J]. Quaternary Sciences, 2007, 27(3): 453-460.
张震宇, 周昆叔, 杨瑞霞, 等. 双洎河流域环境考古[J]. 第四纪研究, 2007, 27(3):453-460.
- [4] Zhang Yu-lan. Cause investigation of Liangzhu Culture's vanishment based on analysis of spore-pollen and alga[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2008, 36(3):303-306.
张玉兰. 从孢粉、藻类分析探究良渚文化突然消亡的原因[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2008, 36(3): 303-306.
- [5] Mo Duo-wen, Yang Xiao-yan, Wang Hui, et al. Study on the environmental background of Niuheliang Site, Hongshan Culture, and the relationship between ancient man and environment[J]. Quaternary Sciences, 2002, 22(2):174-181.
莫多闻, 杨晓燕, 王辉, 等. 红山文化牛河梁遗址形成的环境背景与入地关系研究[J]. 第四纪研究, 2002, 22(2):174-181.
- [6] Zong Y, Chen Z, Innes J B, et al. Fire and flood management of coastal swamp enabled first rice paddy cultivation in east China [J]. Nature, 2007, 449(7 161):459-462;doi:10. 1038/nature06135.
- [7] Zhu Cheng, Zhang Qiang, Zhang Zhi-heng, et al. Rise and fallon of human civilization and eco-environment evolution at Three Gorges of the Yangtze River[J]. Quaternary Sciences, 2002, 22(5): 343-351.
朱诚, 张强, 张之恒, 等. 长江三峡地区汉代以来人类文明的兴衰与生态环境变迁[J]. 第四纪研究, 2002, 22(5):343-351.
- [8] Xu Li-bin, Sun Li-guang, Zhang Ju-zhong, et al. 2500BC: the beginning of Chalcolithic Period in China recorded by Hg[J]. Quaternary Sciences, 2008, 28(6):1 170-1 180.
徐利斌, 孙立广, 张居中, 等. 公元前 2500 年: 中国进入铜石并用时代的汞记录[J]. 第四纪研究, 2008, 28(6):1 070-1 080.
- [9] Zhu C, Ma C M, Xu W F, et al. Characteristics of paleoflood deposits archived in unit T0403 of Yuxi Site in the Three Gorges reservoir areas, China[J]. Chinese Sci Bull, 2008, 53:1-17.
- [10] Huang Chun-chang, Pang Jiang-li, Chen Bao-qun, et al. Land degradation and its social impact in the Weihe River drainage basin during the predynastic Zhou-Western Zhou Dynasty [J]. Quaternary Sciences, 2003, 23(4):404-414.
黄春长, 庞奖励, 陈宝群, 等. 渭河流域先周一西周时代环境和水土资源退化及其社会影响[J]. 第四纪研究, 2003, 23(4):404-414.
- [11] Ma Chun-mei, Zhu Cheng, Zhu Guang-yao, et al. Magnetic susceptibility and elemental geochemistry analysis of the archaeological strata at the Yuchisi Site, Anhui[J]. Journal of Stratigraphy, 2006, 30(2): 124-130.
马春梅, 朱诚, 朱光耀, 等. 安徽蒙城尉迟寺遗址地层的磁化率与元素地球化学记录研究[J]. 地层学杂志, 2006, 30(2):124-130.
- [12] Huang Run, Zhu Cheng, Zheng Chao-gui, et al. The characteristics of distribution of Rb and Sr and paleoclimatic changes in the stratigraphy at the site of Zhongba of the Three Gorges [J]. Quaternary Sciences, 2004, 24(5):531-536.
黄润, 朱诚, 郑朝贵, 等. 长江三峡中坝遗址底层中的

- Rb 和 Sr 的分布特征及其古气候演变[J]. 第四纪研究, 2004, 24(5):531-536.
- [13] Dong Guang-hui, Jia Xin, An Cheng-bang, et al. Response of sediment elements to human activities and climatic variation in Changning Site, Qinghai Province during late Holocene [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2008, 28(2):115-119.
董广辉, 贾鑫, 安成邦, 等. 青海省长宁遗址沉积物元素对晚全新世人类活动和气候变化的响应[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2008, 28(2):115-119.
- [14] Liu Quan-yu, Lu Hua-yu, Li Xiao-qiang, et al. A tentatively quantitative reconstruction of palaeoprecipitation and palaeovegetation for the Banpo Neolithic site, Xi'an (China) [J]. *Archaeology and Cultural Relics*, 2007, (1):107-112.
刘全玉, 鹿化煜, 李小强, 等. 利用孢粉和有机质碳同位素重建半坡人时期古环境再探[J]. *考古与文物*, 2007, (1):107-112.
- [15] Li Zhong-xuan, Zhu Cheng, Zhang Guang-sheng, et al. Relationship between human activity and environment of the Liaowadian Site in Hubei Province[J]. *Quaternary Sciences*, 2008, 28(6): 1 145-1 159.
李中轩, 朱诚, 张广胜, 等. 湖北辽瓦店遗址地层记录的环境变迁与人类活动的关系研究[J]. *第四纪研究*, 2008, 28(6):1 145-1 159.
- [16] The Archaeology Institute of Chinese Academy of Social Sciences. The Yuchisi Site of Mengcheng: The Exhumation and Research of the Neolithic Settlement Site in North Anhui Province [M]. Beijing: Science Press, 2001: 6-12.
中国社会科学院考古研究所. 蒙城尉迟寺遗址: 皖北新石器时代聚落遗存的发掘与研究[M]. 北京: 科学出版社, 2001:6-12.
- [17] Xu Li-bin, Sun Li-guang, Zhang Zhi-hui, et al. Geochemical research on prehistorical culture of Yuchisi Site in Mengcheng[J]. *Journal of University of Science and Technology of China*, 2007, 37(8):1 022-1 030.
徐利斌, 孙立广, 张志辉, 等. 蒙城尉迟寺文化层的地质地球化学研究[J]. *中国科学技术大学学报*, 2007, 37(8):1 022-1 030.
- [18] Nesbitt H W, Young G M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites[J]. *Nature*, 1982, 299:715-717.
- [19] Chen J, An Z S, Head J. Variation of Rb Sr ratios in the loess-paleosol sequences of central China during the last 130,000 years and their implications for monsoon paleoclimatology[J]. *Quaternary Res.*, 1999, 51(3): 215-219.
- [20] The Archaeology Institute of Chinese Academy of Social Sciences, Mengcheng Cultural Bureau of Anhui. The Yuchisi Site of Mengcheng II [M]. Beijing: Science Press, 2007:7-10;289-290.
中国社会科学院考古研究所, 安徽省蒙城县文化局. 蒙城尉迟寺遗址 II [M]. 北京: 科学出版社, 2007:7-10; 289-290.
- [21] Soil Science Society of China. Chemical analysis methods of soil agriculture [M]. Beijing: China Agricultural Science & Technology Press, 2000: 107-108.
中国土壤协会. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 107-108.
- [22] Sun L G, Xie Z Q, Zhao J L. Palaeoecology: A 3,000-year record of penguin populations[J]. *Nature*, 2000, 407(6 806):858-858.
- [23] Liu X D, Zhao S P, Sun L G, et al. Geochemical evidence for the variation of historical seabird population on Dongdao Island of the South China Sea [J]. *J Paleolimnol*, 2006, 36(3):259-279.
- [24] Parnell J J, Terry R E, Nelson Z. Soil chemical analysis applied as an interpretive tool for ancient human activities in Piedras Negras, Guatemala [J]. *Journal of Archaeological Science*, 2002, 29(4): 379-404.
- [25] Gilbert R I, Mielke J H. The analysis of prehistoric diets[M]. Orlando: Academic Press, 1985: 339-358.
- [26] Song Zhao-liang. Weathering and pedogenesis of Karst Catchments, behavior of mineral elements and environmental quality [D]. Beijing: Graduate University of Chinese Academy of Sciences (Institute of Geochemistry), 2006: 37-39.
宋照亮. 喀斯特流域风化成土作用及其矿质元素行为与环境质量[D]. 北京: 中国科学院研究生院(地球化学研究所), 2006: 37-39.
- [27] Yang De-fu, Peng Shu-zhen. A preliminary study on the main chemical elements distributions of the different particles in eolian deposition[J]. *Journal of Shandong Agriculture University (Natural Science)*, 2001, 32(2):152-156.
杨得福, 彭淑贞. 风成堆积中不同粒径主要化学元素分布规律的初步研究[J]. *山东农业大学学报(自然科学版)*, 2001, 32(2):152-156.
- [28] Du De-wen, Shi Xue-fa, Meng Xian-wei, et al. Geochemical granularity effect of sediment in the Yellow Sea[J]. *Advances in Marine Science*, 2003, 21(1):78-82.
杜德文, 石学法, 孟宪伟, 等. 黄海沉积物地球化学的粒度效应[J]. *海洋科学进展*, 2003, 21(1):78-82.
- [29] Yang S L, Ding F, Ding Z L. Pleistocene chemical

- weathering history of Asian arid and semi-arid regions recorded in loess deposits of China and Tajikistan[J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 2006, 70(7): 1 695-1 709.
- [30] Gu Zhao-yan, Ding Zhong-li, Xiong Shang-fa, et al. A seven million geochemical record from Chinese red-clay and Loess-Paleosol sequence: weathering and erosion in northwestern China[J]. *Quaternary Sciences*, 1999, 19(4):357-365.
顾兆炎, 丁仲礼, 熊尚发, 等. 灵台红粘土和黄土-古土壤序列的地球化学演化[J]. *第四纪研究*, 1999, 19(4):357-365.
- [31] Bronger A, Heinkele T. Micromorphology and Genesis of Paleosols in the Luochuan Loess Section, China: Pedostratigraphic and Environmental Implications[J]. *Geoderma*, 1989, 45:123-143.
- [32] An Zhi-sheng, Wei Lan-ying. Clay cutans of iron precipitation and its formative implication[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1979, 24(8):356-359.
安芷生, 魏兰英. 淀积铁质粘粒胶膜及其成因意义[J]. *科学通报*, 1979, 24(8):356-359.
- [33] Lu H Y, An Z S. Paleoclimatic significance of grain size of loess-palaeosol deposit in Chinese Loess Plateau [J]. *Sci China Ser D*, 1998, 41(6):626-631.
- [34] Guan Qing-yu, Pan Bao-tian, Gao Hong-shan, et al. A good proxy of East Asian Monsoon: Fine grain size [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2004, 18(8):17-19.
- 管清玉, 潘保田, 高红山, 等. 粘粒含量: 夏季风的良好替代指标[J]. *干旱区资源与环境*, 2004, 18(8): 17-19.
- [35] Wang Y J, Cheng H, Edwards R L, et al. The Holocene Asian monsoon: Links to solar changes and North Atlantic climate [J]. *Science*, 2005, 308(5 723):854-857.
- [36] Wang Y J, Cheng H, Edwards R L, et al. Millennial- and orbital-scale changes in the East Asian monsoon over the past 224,000 years[J]. *Nature*, 2008, 451(7 182):1 090-1 093.
- [37] Finkel R C, Nishiizumi K. Beryllium 10 concentrations in the Greenland Ice Sheet Project 2 ice core from 3-40 ka[J]. *J Geophys Res-Oceans*, 1997, 102 (C12): 26 699-26 706.
- [38] Bond G, Kromer B, Beer J, et al. Persistent solar influence on north Atlantic climate during the Holocene [J]. *Science*, 2001, 294(5 549):2 130-2 136.
- [39] Masarik J, Beer J. Simulation of particle fluxes and cosmogenic nuclide production in the Earth's atmosphere [J]. *J Geophys Res-Atmos*, 1999, 104 (D10):12 099-12 111.
- [40] Shao X H, Wang Y J, Cheng H, et al. Long-term trend and abrupt events of the Holocene Asian monsoon inferred from a stalagmite delta O-18 record from Shennongjia in Central China [J]. *Chinese Sci Bull*, 2006, 51(2):221-228.