

文章编号:1000-0550(2018)02-0310-09

DOI: 10.14027/j.issn.1000-0550.2018.035

# 南岭东部定南大湖沉积物粒度敏感组分及末次冰消期环境记录

商圣潭, 钟巍, 魏志强, 朱婵, 薛积彬

华南师范大学地理科学学院, 广州 510631

**摘要** 为进一步探究定南大湖晚冰期以来的水文特征及气候变化,对研究区 K02 钻孔的粒度特征进行了详细的分析,采用粒级—标准偏差法和主成分分析法对 348 个沉积样品提取了对环境变化比较敏感的三个粒级组分:0.6~7.1  $\mu\text{m}$ (组分 1),20~44.8  $\mu\text{m}$ (组分 2)和 89.3~447.7  $\mu\text{m}$ (组分 3)。结合湖泊沉积物粒度一般分布规律,并根据敏感组分 2 和<sup>14</sup>C 测年数据探讨了该区域近 16 ka B.P.以来的气候变化。结果表明在过去的 16 000 年里,大湖地区的水文及气候变化可以分为 4 个阶段:1)在 16.0~11.5 ka B.P.期间,气候总体偏冷干,敏感组分含量增降比较明显,能较好的对应老、中、新仙女木事件和 B/A 暖期;2)11.5~6.0 ka B.P.期间,大湖地区进入了湿润的全新世适宜期,敏感组分总体含量偏低;3)6.0~3.8 ka B.P.期间,敏感粒度组分含量迅速升高且波动较大,大湖湖沼地区进入一个相对干冷的时期;4)3.8 ka B.P.至今为第四阶段,敏感粒度组分含量总体偏低,考虑到人为干扰因素,暂不做详细讨论。通过对大湖地区水文状况的研究发现,大湖湖沼地区自晚冰期以来气候变化很不稳定。与格陵兰 GISP 2 冰芯、董哥洞 D4 石笋及其 K02 钻孔其他指标的记录对比可以发现,敏感组分 2 对仙女木、9.5 ka、8.2 ka 等冷事件的记录更加明显,也说明了大湖地区的气候变化具有全球性,这种气候变化可能与太阳活动有关。

**关键词** 定南大湖;晚冰期;粒度敏感组分;气候变化

**第一作者简介** 商圣潭,男,1989 年出生,硕士,气候与环境变化,E-mail: sstan2012@163.com

**通信作者** 钟巍,男,教授,E-mail: DL06@senu.edu.cn

**中图分类号** P532 P534.63 文献标志码 A

末次冰消期以来,千年、百年尺度的快速气候突变事件一直是国内外许多学者研究的热点。根据格陵兰冰芯的记录,晚冰期表现为一系列的千年尺度和百年尺度的气候变化波动<sup>[1]</sup>,在全新世的气候变化研究中,也有越来越多的证据表明全新世的气候是不稳定的<sup>[2-8]</sup>。近年来,以泥炭、冰芯、湖泊沉积物为对象来重建古气候变化的研究越来越多<sup>[9-14]</sup>。我国南岭及以南纬度地区是研究东亚夏季风的理想区域,Zhou *et al.*<sup>[15]</sup>和萧家仪等<sup>[16]</sup>以孢粉、总有机碳、岩相等为研究对象对大湖地区末次冰消期以来的植物与环境演变进行了探讨。薛积彬等<sup>[17]</sup>通过对南岭东部大湖泥炭沉积记录的腐殖化度、总有机碳及磁化率等环境代用指标的综合分析,在可靠<sup>14</sup>C 测年技术的支持下,重建了南岭东部大湖 12 ka 以来的气候与环境变化过程。欧阳军等<sup>[18]</sup>对定南大湖 K02 和 KD 钻孔的研究揭示了该区 16.0 ka B.P.以来的水文变化过程。Zhong *et al.*<sup>[19-22]</sup>也运用干密度、平均粒径、腐殖化度、碳同位素等多种代用指标,对当地的自然环境

演化做了详细的论述。

湖泊沉积物粒径作为一种有效的古气候、古环境重建指标,在相关研究中其发挥的作用和意义显著。近年来运用数学方法提取敏感组分作为古环境古气候重建指标的研究已经取得了很多成果,如孙东怀等<sup>[23]</sup>提出从数学特征上提取敏感组分的方法;向荣等<sup>[24-25]</sup>对位于东海陆架济州岛西南泥质区的 B2 钻孔进行了沉积物粒度分析,从中提取出了对沉积环境变化敏感的粒度组分;肖尚斌等<sup>[26]</sup>对东海内陆架泥质沉积区的 DD2 钻孔和悬浮体进行了陆源物质提取,通过计算粒级—标准偏差的变化获得了对沉积环境变化较为敏感的粒度组分;薛积彬等<sup>[27]</sup>根据中国西北干旱区巴里坤湖 BLK-1 剖面沉积物的粒度分析,采用粒级—标准偏差法提取了对沉积环境变化敏感的粒度组分,重建了过去 200 年和 9.4 ka B.P.以来的风沙活动。

本文基于<sup>14</sup>C 测年的结果,建立准确的年代序列,通过提取对环境敏感的粒度组分来探讨定南大湖

收稿日期:2016-11-14; 收修改稿日期:2017-07-05

基金项目:国家自然科学基金项目(41571187,41071137);广东省自然科学基金项目(2014A030313435,S2011010003413);华南师范大学研究生创新计划项目[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 41571187,41071137; Natural Science Foundation of Guangdong Province, No. 2014A030313435, S2011010003413; Innovation Project of Graduate School of South China Normal University]

地区晚冰期以来的水文变化过程。

### 1 研究材料和实验分析

大湖湖沼 (24°45.3'~24°45.7'N, 115°02.1'~115°02.3'E) 位于粤赣两省的交界处 (图 1), 湖沼总面积

0.80 km<sup>2</sup>, 海拔 246 m。研究区三面环山, 破碎的低山丘陵和众多大小不等的红色盆地相间分布, 花岗岩广泛露出, 易风化的粗粒与中粒斑状黑云母花岗岩风化后在洼地处堆积, 形成深厚疏松的红色风化层, 大气降水迅速下渗形成丰富的地下水, 大量的植物残体在

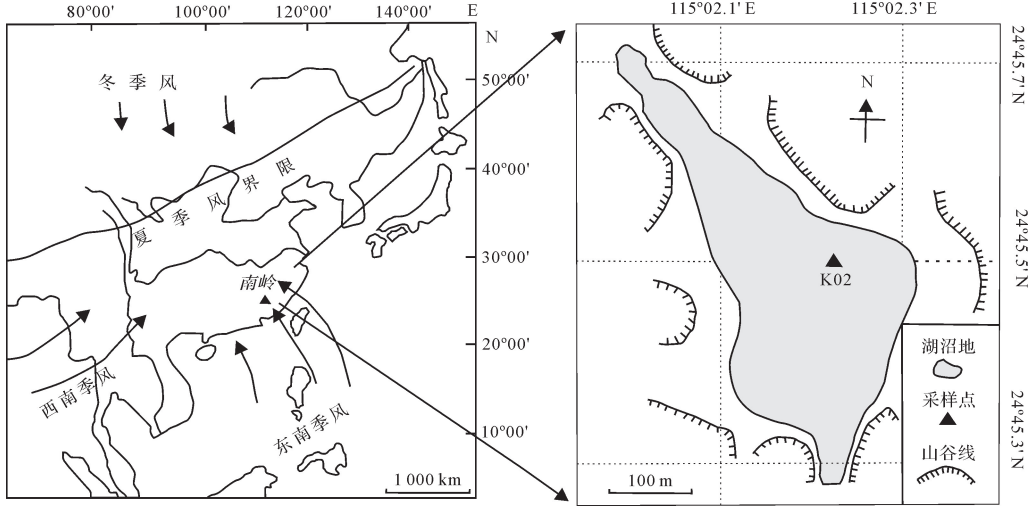


图 1 研究区位置图

Fig.1 Location of the study area

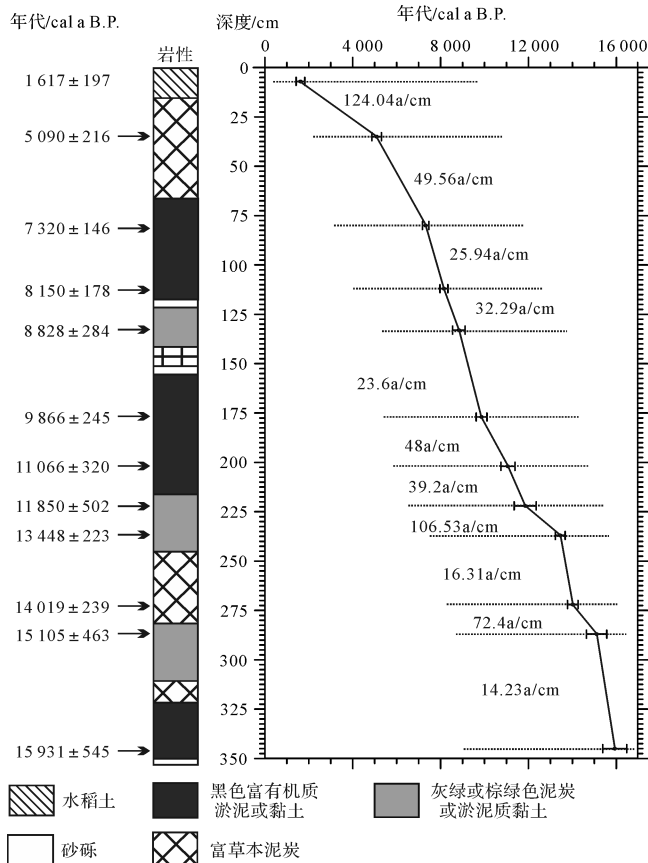


图 2 大湖湖沼 K02 孔剖面岩性及其年代标尺

低洼处封闭的储水环境中沉积下来, 发育沼泽, 堆积泥炭<sup>[28]</sup>。研究区气候属于亚热带季风性湿润气候, 且同时受到东亚季风和南亚季风的共同影响, 1 月平均气温 8.3 °C, 7 月平均气温 27.3 °C, 多年的平均气温 17.8 °C, 年均降水量约 1 592 mm<sup>[29]</sup>。

K02 钻孔位于湖沼偏东北方向, 岩芯总长 348 cm, 按 1 cm 间距在现场进行连续取样获得样品 348 个。粒度实验在华南师范大学地理科学学院粒度实验室完成, 采用 Malvern 2000 激光粒度分析仪进行分析, 测量量程为 0.02~2 000 μm, 样品重复测量误差小于 5%, 具体实验过程、岩性和年代图的建立参照 Zhong et al.<sup>[21]</sup> 的研究成果。K02 钻孔测年样品为 12 个, 详细测年材料与方法参照参考文献[18], 测年结果显示 K02 钻孔底部年龄约为 16.0 ka B.P.(图 2)。

### 2 敏感组分的提取

在提取沉积物中的环境敏感粒度组分时, 粒级—标准偏差算法已经得到了广泛的应用, 其原理是通过研究激光粒度仪所输出的样品每一粒级所对应含量的标准差变化而获得整个沉积序列粒度变化存在显著差异的粒度组分的个数和分布范围<sup>[30]</sup>。标准差越大则数据变异程度越大; 反之亦然。一般情况下, 差

Fig.2 Lithostratigraphy and chronology for Core K02 in Dahu Swamp

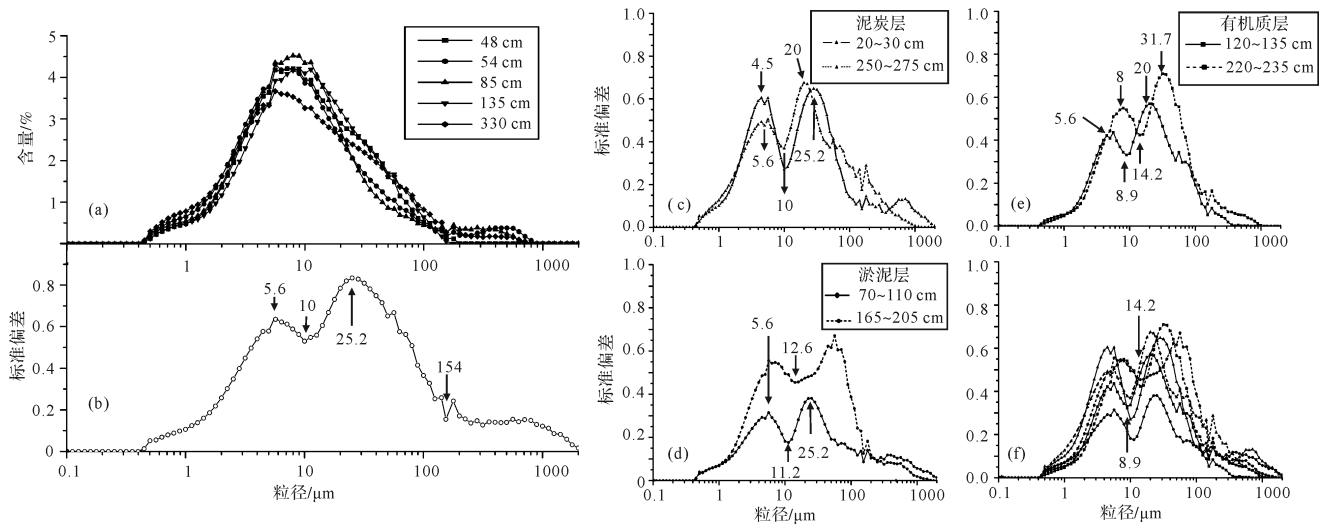


图3 大湖湖沼 K02 孔总剖面沉积物频率分布曲线(a)、粒径—标准偏差变化曲线(b)、和各地层岩性粒级—标准偏差曲线(c-f)  
Fig.3 Frequency distribution(a) and standard deviation curves (b) of different grain-size in Core K02 and Curve of the grain-size standard deviation from the different lithostratigraphic unit(c-f) of K02 from Dahu Swamp

异大的粒径区间即为对环境比较敏感的组分。沉积物粒度的频率分布曲线能比较直观的反应出其粒度组分特征,从图 3a 的 K02 钻孔各层位样品粒级含量的频率分布曲线可以看出,其形态和分布范围大体一致,主要表现为一明显的单峰,可能指示了整个 K02 钻孔的沉积环境相对稳定,控制因素为较单一的物源或水动力条件。

从图 3b 所示的 K02 岩芯整个剖面的粒径—标准偏差曲线可以清楚看出,在 5.6  $\mu\text{m}$  和 25.2  $\mu\text{m}$  处有 2 个标准偏差波峰,在 10  $\mu\text{m}$  处为波谷,因此可以认为, K02 钻孔至少存在两个对环境比较敏感的组分。另外,从图 3 所示出的不同岩性层位的粒径—标准偏差曲线可以得知,泥炭层对沉积环境较为敏感的组分可以划分为 <10  $\mu\text{m}$  和 >10  $\mu\text{m}$ ;有机质层对沉积环境较为敏感的组分可以划分为 <8.9  $\mu\text{m}$  和 >14.2  $\mu\text{m}$ ;淤泥层对沉积环境较为敏感的组分可以划分为 <11.2  $\mu\text{m}$  和 >12.6  $\mu\text{m}$ 。通过对比各个层位和整个剖面的敏感组分,暂且可以把 K02 钻孔对沉积环境较为敏感的组分划分为粒径 <8.9  $\mu\text{m}$  和粒径 >14.2  $\mu\text{m}$  两个较大的粒度敏感组分范围。

为进一步确定对环境变化较为敏感的粒级,以粒级为变量,通过 SPSS.19 软件进行主成分因子分析,获得三个主控因子 F1、F2 和 F3,分别可以解释粒级对环境变化敏感程度的 37.5%, 30.3%, 14.4%。系数的绝对值越大,即越接近  $\pm 1$ ,该变量对该因子的代表性就越大,也就更能反映该因子的特征<sup>[31]</sup>。为了

使选取出的敏感组分更具有代表性,我们认为三个主成分的系数大于 0.7 时,所对应的粒径对环境的变化比较敏感。因此,如图 4 所示,我们最终确定了 3 个敏感组分,即 0.6 ~ 7.1  $\mu\text{m}$  为组分 1 (C1), 20 ~ 44.8  $\mu\text{m}$  为组分 2 (C2), 89.3 ~ 447.7  $\mu\text{m}$  为组分 3 (C3)。

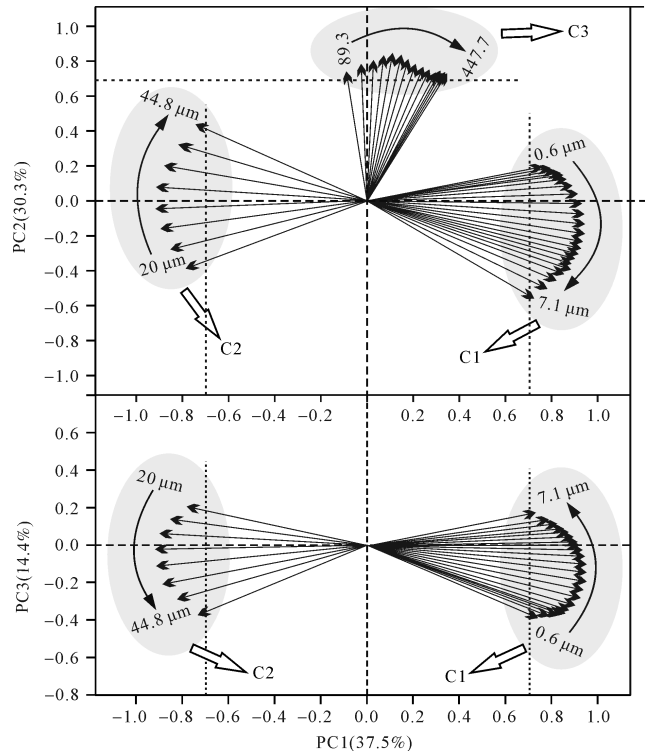


图4 敏感组分的主控因子得分

Fig.4 PCA factor scores of three sensitive components

### 3 大湖湖沼 K02 孔沉积物粒度组分的讨论及指示意义

#### 3.1 敏感粒度组分的讨论

C1 和 C2 两个敏感组分的百分含量在剖面垂直方向上的变化如图 5 所示,C1 和 C2 都有着明显的波动变化,且变化方向大体相反。在与总体剖面平均粒径的变化曲线对比中发现,C2 含量与总体平均粒径的变化较为一致,而 C1 则呈现相反变化。然而,从图 6 的两个敏感组分的平均粒径曲线来看,C1 的平均粒径在整个剖面中没有明显的变化,几乎呈现一条直线,而 C2 的平均粒径变化则十分的明显。这表明总体剖面平均粒径的变化主要是由 C2 所引起的,C2 是 K02 剖面中对环境变化较为敏感的粒度组分。另外,之前学者的研究表明,大湖湖沼地区由于被低山环绕形成封闭性的湖盆,并没有河流的注入,所以其沉积物的来源应该是花岗岩风化物被雨水形成的坡面流水冲刷到湖沼当中的。定南大湖坡面流水的水动力比较弱,所以不太可能携带大颗粒的物质进入湖沼<sup>[23]</sup>。因此 C3 大粒径敏感组分的形成可能是由于个别样品的贡献,也可能代表了某段时间的极端气候变化所带来的大颗粒物质,又由于 C3 总体含量低于 3.5%,所以,本文主要讨论了 C2 可能代表的环境指示意义。

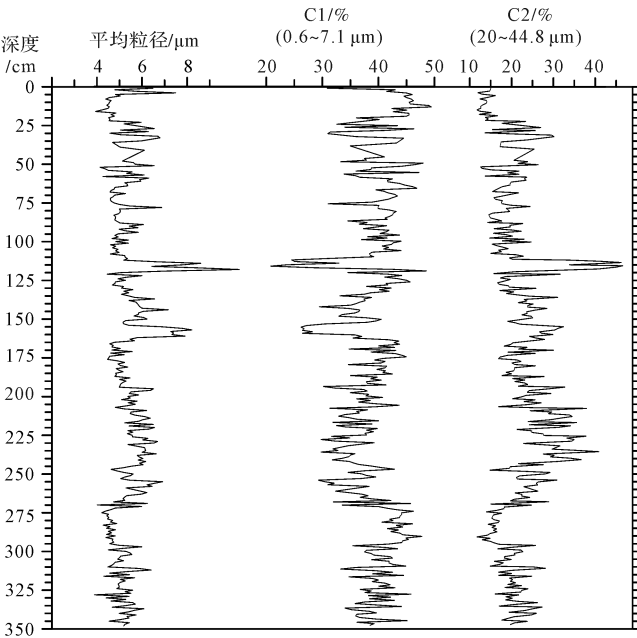


图5 K02 剖面平均粒径与敏感组分含量的变化趋势对比  
Fig.5 Comparison of the trends between the mean grain-size and the content of sensitive components in the Core K02

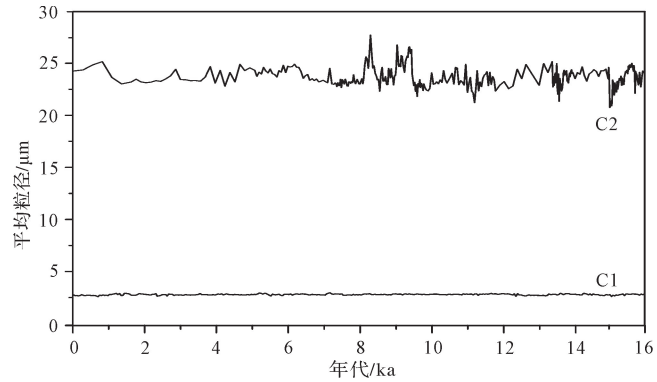


图6 C1 和 C2 的平均粒径变化趋势  
Fig.6 Trends in the mean grain-size of two sensitive grain-size components

由图 5 已经得知,K02 岩芯总体剖面粒径与 C2 百分含量的变化趋势比较一致。为了说明 C2 作为敏感组分比总体剖面平均粒径更能指示近 16 000 以来的气候变化,我们比较了其在 16 ka B.P. 之间的变化幅度。从图 7 中的变化曲线可以看出,C2 敏感组分相比总剖面粒径在近 16 ka B.P. 以来的变化幅度要更加明显。尤其是在 16~15 ka、14~13 ka、11~12 ka、10~7 ka、6~4 ka 之间,C2 敏感组分的变化幅度比较大,相比总剖面平均粒径的变化幅度也更加直观,可能对应于老、中、新仙女木事件以及 9.5 ka、8.2 ka、5.5 ka、4.2 ka 等冷事件。因此可以说明,C2 组分相对总剖面粒径对气候的响应更加敏感。综合上文对敏感组分的讨论,以 C2 作为敏感组分来探究其可能指示的环境意义是可行的。

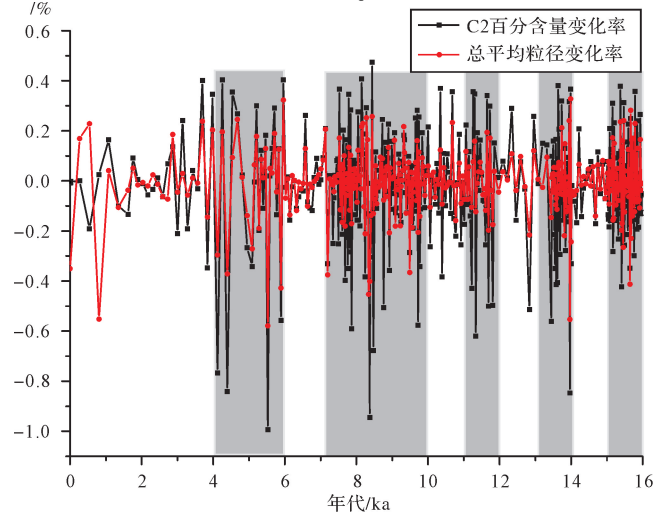


图7 C2 敏感组分与总剖面平均粒径的变化幅度比较  
Fig.7 Comparison of the variation of the sensitive component C2 and the total average grain size

### 3.2 敏感组分与其他指标的对比

已有学者在大湖地区气候变化研究方面已经取得了许多成果<sup>[18-20,22]</sup>,本文通过与前人所用大湖指标的对比来探讨敏感组分所反映的干湿状况变化,所选取的指标包括有机碳含量(TOC)、 $\delta^{13}\text{C}$ 和干密度。当降水量少的时候,表现为 TOC 增高, $\delta^{13}\text{C}$  偏正,干密度偏小;降水量增多时,表现为 TOC 降低, $\delta^{13}\text{C}$  偏负,干密度偏大<sup>[19-20]</sup>。

根据 C2 敏感组分的变化(图 8),可以划分为四个阶段:1)晚冰期(16~11.5 ka B.P.)的敏感粒度与其他代用指标有着相似的变化趋势。16~15 ka B.P.期间,C2 含量偏高,范围为 10.28~25.55%,可能指示大湖湖泊水位偏低,气候比较干旱,这与 Zhong *et al.*<sup>[22]</sup>的研究认为的此时期 $\delta^{13}\text{C}$  值偏正对应冷干气候的结论一致,可能对应于老仙女木事件。15~12.8 ka B.P.期间,C2 含量偏低,尤其是在 15~14 ka B.P.期间,C2 含量范围为 13.38%~17.17%,指示了较高

的湖泊水位和较湿润的气候,之前的研究认为此期间 TOC、 $\delta^{13}\text{C}$  值偏低,气候温暖,可能对应于博令暖期; C2 对冷事件的记录也比较明显,比如 13.5 ka B.P.前后,C2 含量的突然升高,此时的气候突变可能对应于中仙女木事件。此后 12.8~11.5 ka B.P.期间,C2 含量突然升高,范围在 19.0~30.9%之间,气候干旱,此时期与 TOC、 $\delta^{13}\text{C}$  值偏高、干密度降低所指示的冷干气候的结论一致,大湖湖沼进入了晚冰期以来最冷的阶段—新仙女木时期。2)早中全新世 11.5~6 ka B.P.阶段,C2 组分含量介于 13.21%~44.52%,平均值为 20.88%,且总体呈下降趋势,指示了湖泊水位偏高及湿润的气候条件;C2 含量的上限值(44.52%)较高的原因,可能是受到“9.5 ka”、“8.2 ka”等冷事件的影响;这一结果与 Zhong *et al.*<sup>[22]</sup>的研究 $\delta^{13}\text{C}$  值和 TOC 偏低、干密度增大所指示的全新世适宜期时间是基本对应的。萧家仪等<sup>[16]</sup>根据对江西定南大湖泥炭中的孢粉研究,也认为该研究区 11.5~6ka B.P.为

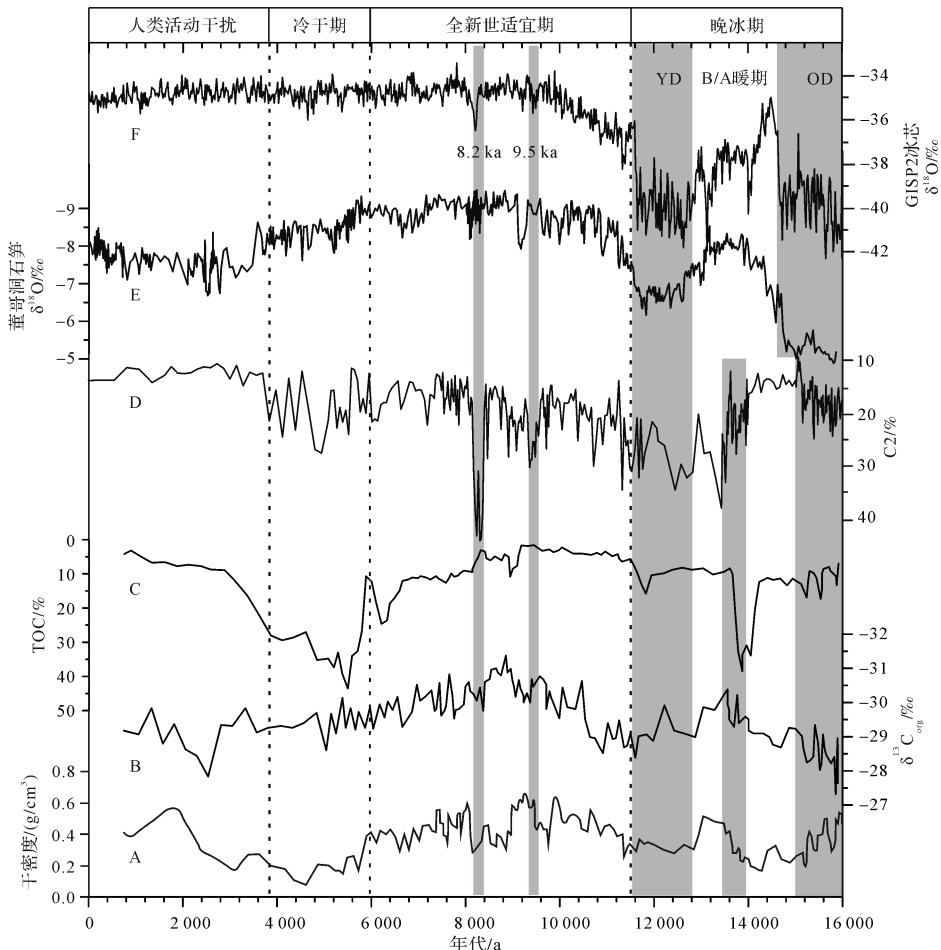


图 8 大湖湖沼 K02 岩芯敏感粒度组分和其他气候指标记录的对比

Fig.8 Comparison of the climate variability recorded by sensitive grain-size component of Core K02 with the other multiple climate indexes in Dahu swamp

全新世适宜期,气候温暖湿润。3)全新世中晚期 6~3.8 ka B.P.阶段,C2 组分含量迅速升高且波动较大,指示了当时的气候不太稳定;结合 TOC、 $\delta^{13}\text{C}$  值升高、干密度值减小认为,大湖湖沼地区此时期的气候可能比较干旱。4)全新世晚期 3.8 ka 至今,由于人类活动因素逐渐加强<sup>[15]</sup>,且该阶段的敏感组分分辨率较低,在此不做详细讨论。

综合定南大湖各项指标以及与 GISP2 冰芯<sup>[11]</sup>、董哥洞 D4 石笋 $\delta^{18}\text{O}$ <sup>[32]</sup>的对比发现,大湖湖沼 C2 含量在晚冰期阶段与 GISP 2 冰芯、董歌洞石笋记录有比较一致的对应关系,且时间对应比较好,这说明大湖地区近 16 ka B.P.的气候变化具有全球性。进入全新世以后,董歌洞石笋 $\delta^{18}\text{O}$  记录与 C2 含量记录变化较为一致,对“8.2 ka”、“9.5 ka”等冷事件的记录也基本在同一时间范围内;敏感组分 C2 对于仙女木、“8.2 ka”、“9.5 ka”等冷事件的记录要比 K02 孔的其他指标所记录的信息更加明显。

## 4 研究区水文环境的形成机理

湖泊悬浮微粒沉积过程与其输导机制和沉积环境的密切关系,已经被很多学者广为接受<sup>[34]</sup>。湖泊沉积物粒度组成的控制因素一般认为主要有三个:1)碎屑物质来源,2)湖泊水位变化,3)湖泊水动力<sup>[34-35]</sup>。由于定南大湖湖盆较小,且相对封闭,水动力较弱<sup>[23]</sup>,湖泊粒度成分可能主要受到碎屑物质来源和水位变化的影响。另外,已有学者通过对湖泊沉积与水动力模型的研究,得出中国大理湖表层沉积物 5 种粒度组分 C1、C2、C3、C4 和 C5 所对应的粒度大小分别为 0.7~1.6、1.9~8.8、10.5~53.0、68.2~157.7 和 203.0~514.7  $\mu\text{m}$ ;并认为,这 5 种粒度组分分别可以指示悬浮黏土颗粒成分、离岸悬浮细粉砂成分、离岸悬浮中粗粉砂成分、近岸悬浮细砂成分和近岸跃移中砂成分<sup>[36]</sup>。Huang *et al.*<sup>[37]</sup>对中国南海钻孔的研究也认为,13~28  $\mu\text{m}$  的粒度组分主要是受到水位变化的影响。

因此,从上文我们所得到的定南大湖的三个粒度敏感组分来看,C1(0.6~7.1  $\mu\text{m}$ ),C2(20~44.8  $\mu\text{m}$ ) C3(89.3~447.7  $\mu\text{m}$ )可以分别代表离岸悬浮黏土细粉砂成分、离岸悬浮中粗粉砂成分和近岸细中砂成分。当气候湿润、降水增多、湖泊水位偏高时,K02 钻孔位置离岸偏远,C1 百分含量偏高,C2 百分含量偏低;相反,当气候干旱、降水偏少、湖泊水位降低时,K02 钻孔离岸较近,C1 百分含量偏低,C2 百分含量偏高(图 5)。这也说明了较大(小)的平均粒径和敏

感组分可能反应了较浅(深)的湖泊水位或较强(弱)的水动力<sup>[38]</sup>;而 C3 的百分含量在近 16 ka B.P.以来都是偏低的,可能是因为当湖泊水位偏低甚至转为湖沼过程中,气候干旱雨水偏少,周围湖盆冲刷进湖泊的碎屑物质偏少;再者,生长旺盛的地表植被也对碎屑物质起到了一定的阻碍作用。

以上分析表明,定南大湖粒度敏感组分的变化趋势可以反应定南大湖的水文变化特征。当 C2 敏感组分含量高的时候,说明悬浮颗粒中的中粗粉砂含量偏高,可能指示了当时定南大湖气候比较干旱,降水偏少,湖面萎缩,水位降低,K02 孔位置离岸较近;反之,C2 敏感组分含量低的时候,气候比较湿润,降水较多。因此,研究区敏感组分的变化与降水有着密切的联系。研究区属于亚热带季风性湿润气候,降水主要受到亚洲夏季风的影响。夏季风强,大湖地区降水多,气候表现的就较为湿润;夏季风弱,大湖地区降水少,气候表现的就较为干旱。而对于亚洲季风强弱的形成机制,已有很多学者做了比较全面的研究,例如 Wang *et al.*<sup>[39]</sup>在贵州荔波董歌洞的研究中,对石笋的氧同位素与太阳活动记录进行了对比,发现两者之间有比较好的相关性:较高的太阳辐射(较低的大气剩余  $\Delta^{14}\text{C}$ )对应较强的亚洲夏季风,较低的大气剩余  $\Delta^{14}\text{C}$  对应较弱的亚洲夏季风;Zhong *et al.*<sup>[40]</sup>通过对南岭西部大坪泥炭钻孔的有机碳同位素分析表明,较低的大气剩余  $\Delta^{14}\text{C}$  对应较强的亚洲夏季风,较高的大气剩余  $\Delta^{14}\text{C}$  对应较弱的亚洲夏季风。

本文将 16 ka B.P.以来大湖 C2 百分含量与大气剩余  $\Delta^{14}\text{C}$  值丰度值做了对比,并且运用 Schulza 和 Mudelsee 共同设计的周期分析软件(Redfit38)对 K02 孔的 C2 含量进行了周期分析。如图 9 所示,在 90% 的置信度检验下,检验出了 1 070 a 这一个千年尺度周期和若干个百年尺度周期(349 a,291 a,217 a,170 a,136 a,128 a,121 a 和 116 a);其中所检验出来的 349 a,291 a,217 a,136 a 和 121 a 的周期在大气剩余  $\Delta^{14}\text{C}$  的周期中也有明显的对应,而且 1 070 a、349 a 和 291 a 的周期与 Lim *et al.*<sup>[41]</sup>在对韩国济州岛湖泊沉积物的研究所得到的 1 056 a、370 a 和 289 a 的太阳活动周期非常接近,349 a 的周期与 Sagawa<sup>[42]</sup>和 Liu *et al.*<sup>[43]</sup>所研究的 350 a 的太阳活动周期对应较好;Cosford *et al.*<sup>[44]</sup>通过金滩湾洞石笋 $\delta^{18}\text{O}$  所得到的 121 a 周期和 Zhang *et al.*<sup>[45]</sup>通过石笋研究所得到的 117 a、138 a 的太阳活动周期记录,也与本研究所得

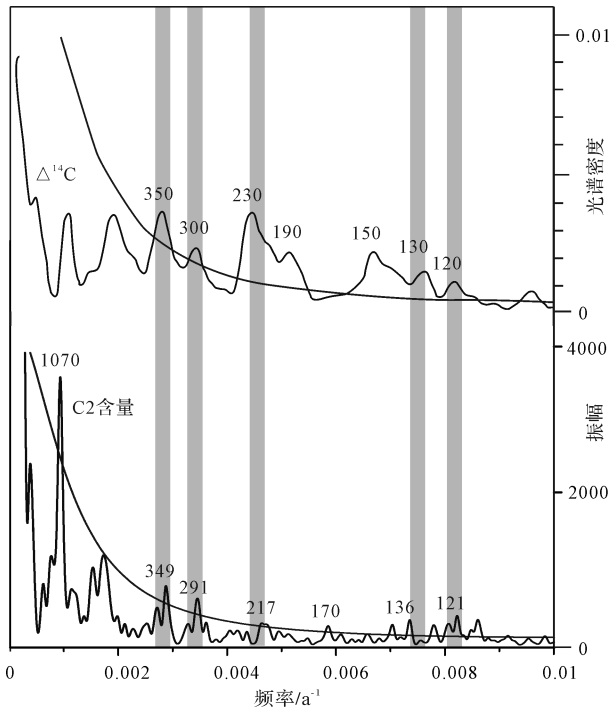


图9 大湖湖沼 K02 钻孔敏感粒度组分和大气剩余  $\Delta^{14}\text{C}$  周期分析的对比

Fig.9 Comparison of periodic analysis between sensitive grain-size component of Core K02 and atmosphere  $\Delta^{14}\text{C}$  records

到的 136~116 a 的周期记录相吻合。

以上分析表明,通过定南大湖沉积物 C2 敏感组分所提取的能够反映研究区水文环境特征的周期与通过大气剩余  $\Delta^{14}\text{C}$  所反应出的太阳活动周期是具有可比性的,与他人研究得到的周期对应也较好。太阳活动的周期变化可能影响了亚洲夏季风的强弱变化,从而影响了定南大湖地区的水文变化特征,这说明定南大湖地区的气候环境变化可能受太阳活动驱使。

## 5 结论

通过对大湖湖沼地区粒度的分析,对粒度运用粒级—标准偏差法和主成分分析法提取出了对环境变化敏感的组分,并用敏感组分 C2 探讨了定南大湖近 16 ka B.P. 以来的气候变化。通过与该区其他指标对比发现,在 16.0~11.5 ka B.P. 期间,C2 含量波动较大,依次经历了老仙女木事件、B/A 暖期、新仙女木事件;全新世以后降水逐渐增多,在 6.0~3.8 ka B.P. 期间,降水则减少;与冰芯  $\delta^{18}\text{O}$ 、董歌洞 D4 石笋  $\delta^{18}\text{O}$  的对比可以说明,定南大湖地区作为夏季风的桥头堡对全球气候的波动有比较敏感的反映。本文又对大湖地区 C2 含量与大气剩余  $\Delta^{14}\text{C}$  丰度值做了对比,并通过 Redfit38 周期分析软件得出研究区的几个太阳

活动周期,与其他学者的研究周期有很好的吻合度。结果表明,南岭大湖地区的环境变化可能与太阳活动有关。

## 参考文献 (References)

- [1] Stuiver M, Grootes P M, Braziunas T F. The GISP2  $\delta^{18}\text{O}$  climate record of the past 16,500 years and the role of the sun, ocean, and volcanoes[J]. *Quaternary Research*, 1995, 44(3): 341-354.
- [2] Enzel Y, Ely L L, Mishra S, et al. High-resolution Holocene environmental changes in the Thar Desert, northwestern India[J]. *Science*, 1999, 284(5411): 125-128.
- [3] 郭正堂,魏兰英,吕厚远,等. 晚第四纪风尘物质成分的变化及其环境意义[J]. *第四纪研究*, 1999, 19(1): 41-48. [Guo Zhengtang, Wei Lanying, Lü Houyuan, et al. Changes in the composition of late Pleistocene aeolian dust and the environmental significance [J]. *Quaternary Sciences*, 1999, 19(1): 41-48.]
- [4] 陈发虎,朱艳,李吉均,等. 民勤盆地湖泊沉积记录的全新世千百年尺度夏季风快速变化[J]. *科学通报*, 2001, 46(17): 1414-1419. [Chen Fahu, Zhu Yan, Li Jijun, et al. Abrupt Holocene changes of the Asian monsoon at Millen-Nial-and centennial-scales: evidence from lake sediment document in Minqin Basin, NW China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2001, 46(17): 1414-1419.]
- [5] Baker P A, Seltzer G O, Fritz S C, et al. The history of South American tropical precipitation for the past 25,000 years [J]. *Science*, 2001, 291(5504): 640-643.
- [6] Baker P A, Rigsby C A, Seltzer G O, et al. Tropical climate changes at millennial and orbital timescales on the Bolivian Altiplano[J]. *Nature*, 2001, 409(6821): 698-701.
- [7] Noren A J, Bierman P R, Steig E J, et al. Millennial-scale storminess variability in the northeastern United States during the Holocene epoch[J]. *Nature*, 2002, 419(6909): 821-824.
- [8] Mayewski P A, Rohling E E, Stager J C, et al. Holocene climate variability[J]. *Quaternary Research*, 2004, 62(3): 243-255.
- [9] 施雅风,孔昭宸,王苏民,等. 中国全新世大暖期的气候波动与重要事件[J]. *中国科学(B辑)*, 1992, 22(12): 1300-1308. [Shi Yafeng, Kong Zhaochen, Wang Sumin, et al. The climatic fluctuation and important events of Holocene megathermal in China [J]. *Science in China (Series B)*, 1992, 22(12): 1300-1308.]
- [10] 李志忠,凌智永,陈秀玲,等. 新疆伊犁河谷晚全新世风沙沉积粒度旋回与气候变化[J]. *地理科学*, 2010, 30(4): 613-619. [Li Zhizhong, Ling Zhiyong, Chen Xiuling, et al. Late Holocene climate changes revealed by grain-size cycles in Takemukul Desert in Yili of Xinjiang [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2010, 30(4): 613-619.]
- [11] Leuenberger M C, Lang C, Schwander J. Delta  $^{15}\text{N}$  measurements as a calibration tool for the paleothermometer and gas-ice age differences: A case study for the 8200 B.P. event on GRIP ice [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 1999, 104(D18): 22163-22170.
- [12] 吴锡浩,安芷生,王苏民,等. 中国全新世气候适宜期东亚夏季

- 风时空变迁[J]. 第四纪研究, 1994, 14(1): 24-37. [Wu Xihao, An Zhisheng, Wang Sumin, et al. The temporal and spatial variation of East Asian summer monsoon in Holocene optimum in China [J]. Quaternary Sciences, 1994, 14(1): 24-37.]
- [13] An Z S. The history and variability of the East Asian paleomonsoon climate [J]. Quaternary Science Reviews, 2000, 19(1/2/3/4/5): 171-187.
- [14] An Z S, Porter S C, Kutzbach J E, et al. Asynchronous Holocene optimum of the East Asian monsoon [J]. Quaternary Science Reviews, 2000, 19(8): 743-762.
- [15] Zhou W J, Yu X F, Jull A J T, et al. High-resolution evidence from southern China of an early Holocene optimum and a mid-Holocene dry event during the past 18,000 years [J]. Quaternary Research, 2004, 62(1): 39-48.
- [16] 萧家仪, 吕海波, 周卫健, 等. 末次盛冰期以来江西大湖孢粉植被与环境演变[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2007, 37(6): 789-797. [Xiao Jiayi, Lü Haibo, Zhou Weijian, et al. Evolution of vegetation and climate since the last glacial maximum recorded at Dahu peat site, South China [J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2007, 50(8): 1209-1217.]
- [17] 薛积彬, 钟巍, 彭晓莹, 等. 南岭东部大湖泥炭沉积记录的古气候[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2007, 27(5): 105-113. [Xue Jibin, Zhong Wei, Peng Xiaoying, et al. Paleo-climate significance for the past 12 kaBP revealed by Dahu peat record in the eastern south mountain [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2007, 27(5): 105-113.]
- [18] 欧阳军, 钟巍, 薛积彬, 等. 我国低纬季风区晚冰期以来水文变化: 南岭东部高分辨率湖沼沉积记录[J]. 地质学报, 2010, 84(12): 1839-1853. [Ouyang Jun, Zhong Wei, Xue Jibin, et al. Hydrological variation of monsoon-dominated low latitude region since late glacial: High-resolution lake sedimentary record from East Nanling Mountains, China [J]. Acta Geologica Sinica, 2010, 84(12): 1839-1853.]
- [19] Zhong W, Xue J B, Zheng Y M, et al. Variations of monsoonal precipitation over the last 16,000 years in the eastern Nanling Mountains, South China [J]. Journal of Paleolimnology, 2010, 44(1): 177-188.
- [20] Zhong W, Xue J B, Zheng Y M, et al. Climatic changes since the last deglaciation inferred from a lacustrine sedimentary sequence in the eastern Nanling Mountains, South China [J]. Journal of Quaternary Science, 2010, 25(6): 975-984.
- [21] Zhong W, Xue J B, Zheng Y M, et al. Sediment geochemistry of Dahu Swamp in the Nanling Mountains, South China: implication for catchment weathering during the last 16,000 years [J]. International Journal of Earth Sciences, 2012, 101(2): 453-462.
- [22] Zhong W, Xue J B, Cao J X, et al. Bulk organic carbon isotopic record of lacustrine sediments in Dahu Swamp, eastern Nanling Mountains in South China: implication for catchment environmental and climatic changes in the last 16,000 years [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2010, 38(3/4): 162-169.
- [23] 孙东怀, 安芷生, 苏瑞侠, 等. 古环境中沉积物粒度组分分离的数学方法及其应用 [J]. 自然科学进展, 2001, 11(3): 269-276. [Sun Donghuai, An Zhisheng, Su Ruixia, et al. The mathematic methods about separating the particle-size components of sediment and its application in paleoenvironment [J]. Progress in Natural Science, 2001, 11(3): 269-276.]
- [24] 向荣, 杨作升, Saito Y, 等. 济州岛西南泥质区近 2300 a 来环境敏感粒度组分记录的东亚冬季风变化 [J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2006, 36(7): 654-662. [Xiang Rong, Yang Zuosheng, Saito Y, et al. East Asia Winter Monsoon changes inferred from environmentally sensitive grain-size component records during the last 2300 years in mud area southwest off Cheju Island, ECS [J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2006, 49(6): 604-614.]
- [25] 向荣, 杨作升, 郭志刚, 等. 济州岛西南泥质区粒度组分变化的古环境应用 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2005, 30(5): 582-588. [Xiang Rong, Yan Zuosheng, Guo Zhigang, et al. Paleoenvironmental implications of grain-size component variations in the mud area southwest off Cheju Island, ECS [J]. Earth Science——Journal of China University of Geosciences, 2005, 30(5): 582-588.]
- [26] 肖尚斌, 李安春. 东海内陆架泥区沉积物的环境敏感粒度组分 [J]. 沉积学报, 2005, 23(1): 122-129. [Xiao Shangbin, Li Anchun. A study on environmentally sensitive grain-size population in inner shelf of the East China Sea [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2005, 23(1): 122-129.]
- [27] 薛积彬, 钟巍. 干旱区湖泊沉积物粒度组分记录的区域沙尘活动历史: 以新疆巴里坤湖为例 [J]. 沉积学报, 2008, 26(4): 647-654, 669. [Xue Jibin, Zhong Wei. Variations in dust event reflected by grain-size component of lacustrine records in Droughty area: A case study on Barkol Lake, Xinjiang, China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008, 26(4): 647-654, 669.]
- [28] 钟金岳. 赣南埋藏泥炭的分布规律及类型特征 [J]. 东北师大学报(自然科学版), 1981(4): 75-82. [Zhong Jinyue. The distribution law and the pattern feature of the buried peat in the southern area of Jiangxi province [J]. Journal of Northeast Normal University (Natural Science Edition), 1981(4): 75-82.]
- [29] 吕海波. 南岭山地末次盛冰期以来古植被古气候的演化 [D]. 南京: 南京师范大学, 2006. [Lü Haibo. The evolution of paleovegetation and paleoclimate since Last Maximal Glacial Period at Nanling Mountain region in southern China [D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2006.]
- [30] 万世明, 李安春, Stuu J B W, 等. 南海北部 ODP1146 站粒度揭示的近 20 Ma 以来东亚季风演化 [J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2007, 37(6): 761-770. [Wan Shiming, Li Anchun, Stuu J B W, et al. Grain-size records at ODP Site 1146 from the northern South China Sea: Implications on the East Asian monsoon evolution since 20 Ma [J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2007, 37(6): 761-770.]
- [31] 马龙, 吴敬禄, 吉力力·阿不都外力. 新疆柴窝堡湖沉积物中环境敏感粒度组分揭示的环境信息 [J]. 沉积学报, 2012, 30(5): 945-954. [Ma Long, Wu Jinglu, Jilili Abuduwaili. Environ-



- mental changes inferred from environmentally sensitive grain-size component records in Chaiwopu Lake, Xinjiang[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2012, 30(5): 945-954.]
- [32] Dykoski C A, Edwards R L, Cheng H, et al. A high-resolution, absolute-dated Holocene and deglacial Asian monsoon record from Dongge Cave, China[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2005, 233(1/2): 71-86.
- [33] McLaren P, Bowles D. The effects of sediment transport on grain-size distributions[J]. *Journal of Sedimentary Research*, 1985, 55(4): 457-470.
- [34] Håkanson L, Jansson M. *Principles of Lake Sedimentology* [M]. New York, NY: Springer, 1983: 316.
- [35] Xiao J L, Fan J W, Zhou L, et al. A model for linking grain-size component to lake level status of a modern clastic lake[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2013, 69: 149-158.
- [36] Xiao J L, Fan J W, Zhai D Y, et al. Testing the model for linking grain-size component to lake level status of modern clastic lakes[J]. *Quaternary International*, 2015, 355: 34-43.
- [37] Huang J, Li A C, Wan S M. Sensitive grain-size records of Holocene East Asian summer monsoon in sediments of northern South China Sea slope[J]. *Quaternary Research*, 2011, 75(3): 734-744.
- [38] Lerman A, Baccini P. Lakes - chemistry, geology, physics[J]. *Journal of Geology*, 1978, 88(2): 249-250.
- [39] Wang Y J, Cheng H, Edwards R L, et al. A high-resolution absolute-dated late Pleistocene Monsoon record from Hulu Cave, China[J]. *Science*, 2001, 294(5550): 2345-2348.
- [40] Zhong W, Xue J B, Ouyang J, et al. Evidence of late Holocene climate variability in the western Nanling Mountains, South China[J]. *Journal of Paleolimnology*, 2014, 52(1/2): 1-10.
- [41] Lim J, Matsumoto E, Kitagawa H. Eolian quartz flux variations in Cheju Island, Korea, during the last 6500 yr and a possible Sun - monsoon linkage[J]. *Quaternary Research*, 2005, 64(1): 12-20.
- [42] Sagawa T, Kuwae M, Tsuruoka K, et al. Solar forcing of centennial-scale East Asian winter monsoon variability in the mid-to late Holocene[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2014, 395: 124-135.
- [43] Liu X X, Vandenberghe J, An Z S, et al. Grain size of Lake Qinghai sediments: implications for riverine input and Holocene monsoon variability[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2016, 449: 41-51.
- [44] Cosford J, Qing H R, Lin Y, et al. The East Asian monsoon during MIS 2 expressed in a speleothem  $\delta^{18}\text{O}$  record from Jintanwan Cave, Hunan, China[J]. *Quaternary Research*, 2010, 73(3): 541-549.
- [45] Zhang H L, Yu K F, Zhao J X, et al. East Asian Summer Monsoon variations in the past 12.5 ka; high-resolution  $\delta^{18}\text{O}$  record from a precisely dated aragonite stalagmite in central China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2013, 73: 162-175.

## Evolution of Climate Recorded by Sensitive Grain-Size Components of Dahu Swamp Since 16ka, Nanling Mountains, South China

SHANG ShengTan, ZHONG Wei, WEI ZhiQiang, ZHU Chan, XUE JiBin

School of Geography, South China Normal University, Guangzhou 510631, China

**Abstract:** The content and distribution of Dahu swamp Core granularity extracted from Mastersizer 2000 were analyzed based on standard deviation change. Three environmental sensitive grain-size components: 0.6-7.1  $\mu\text{m}$  (C1), 20-44.8  $\mu\text{m}$  (C2) and 89.3-447.7  $\mu\text{m}$  (C3) of its sediments at the depth of 348 cm were identified by the mathematical method of grain-size classes and standard deviation values. Combined with the distribution characteristic of sediment and the results of radiocarbon dating, we select C2 as an index to establish a sequence of 16 000 years of climate change in the Dahu swamp Core. During the period of 16.0-11.5 ka B.P., sensitive component of the overall content is low, the climate and environment of the studied area was relatively dry. During the period of 11.5-6.0 ka B.P., sensitive component of the overall content is low and the climate is wet. During the period of 6.0-3.8 ka B.P., the climate became dry, and sensitive grain-size group content increased. From 3.8 ka B.P. to now, the content of sensitive particle fraction is generally low. Considering the anthropogenic interference factors, this paper does not discuss in detail. The study found that the climate was very unstable through reconstructing the paleoclimate of Dahu lake-swamp area since the Late Glacial. In addition, we can draw a conclusion that climate change of Dahu lake-swamp is global by contrast to the GISP2 ice core climate records and D4 stalagmite in Dongge cave. And we find that the climate change in the study area may be related to solar activity.

**Key words:** Dahu swamp; Late Glacial; sensitive grain-size; climatic and environmental changes