

文章编号: 1000-0550(2009) 01-0111-07

苏北盆地浅钻沉积物磁化率与粒度记录的 末次冰消期以来的环境变化¹

舒 强¹ 李才林¹ 赵志军¹ 陈 晔¹ 张茂恒¹ 李吉均^{1,2}

(1 南京师范大学地理科学学院 江苏省环境演变与生态建设重点实验室 南京 210046 2 兰州大学资源环境学院 兰州 730000)

摘 要 通过对苏北盆地 YZ 浅钻沉积物磁化率和粒度指标的分析, 揭示了区域气候环境的变化过程和特征。研究表明, 16 7~13 5 cal kaBP 气候相对温暖湿润; 13 5~11 2 cal kaBP 为一个较为显著的冷干期; 11 2~1 1 cal kaBP 为一整体气候相对稳定期, 以温暖湿润为特征; 另外, 还记录到了多次的气候波动事件, 其中较为显著的为 YD 事件和发生于 3 0 cal kaBP 的气候事件。研究结果与中国西南贵州董歌洞石笋和格陵兰 GRIP 冰芯等记录有着较好的对比, 但在细节上存在着一定的差异, 这反映了研究区的气候环境变化具有自身的区域性特征, 同时也反应了与全球气候变化的一致性。

关键词 苏北盆地 气候环境变化 质量磁化率 粒度

第一作者简介 舒强 男 1975 年出生 博士 副教授 自然地理学 E-mail: shuqiang@njnu.edu.cn

中图分类号 P534.63 **文献标识码** A

沉积物磁化率和粒度指标是恢复古气候、古环境状况的良好替代性指标。我国黄土与古土壤沉积序列研究表明, 沉积物磁化率和粒度能够很好的指示东亚季风的变化特征^[1~4]; 内陆湖泊沉积物的磁化率和粒度指标研究也表明, 对于物源稳定的湖沼沉积物, 其磁化率的大小变化与物源中磁性矿物的成分、含量和磁性矿物颗粒大小有关^[5,6], 而沉积磁性矿物的大小主要取决于沉积动力的大小。湖沼沉积物粒度值的大小实际上代表了入湖水动力的强弱, 而入湖水量的相对大小, 在一定程度上可以反映湖区降水的变化, 因而湖沼沉积物磁化率和粒度指标具有指示气候环境变化的作用^[7,8]。深海沉积物中也进行了大量的相关工作, 研究表明磁化率和粒度都具有非常显著的气候环境指示意义^[9,10]。本文将依据东部沿海地区的苏北盆地 YZ 浅钻岩芯沉积物的磁化率和粒度分析结果, 来探讨区域气候环境的变化过程和特征。

1 样品来源与分析方法

YZ 浅钻沉积物样品取自苏北盆地里下河地区的兴化市周庄镇附近(图 1)。苏北盆地西面接盱眙、金湖、六合、仪征等低山丘陵区, 北面为黄淮平原区, 东面由滨海平原延伸入黄海, 南面为长江三角洲。历史上黄河、长江、淮河从江苏东部入海, 在水流的冲积、

沉积作用下, 形成了一片广阔的由北到南分布的平原。苏北平原区主体的绝大部分地区在海拔 50 m 以下, 而里下河地区地处盆地沉降中心, 地势低洼, 河湖众多, 沉积物连续而稳定。在钻孔方案设计和实施过程中, 为了保证获取岩芯的连续性, 在同一地点进行了两个长度相当的平行钻孔的钻取, 为使两孔沉积物岩芯互补, 钻进时要确保两孔同一回次间的钻进深度交替错开。YZ 浅钻岩芯长 613 cm, 顶部 44 cm 为耕作层, 岩性以粘土和粉沙质粘土为主, 是一套沉积过程连续的湖沼相沉积。浅钻岩芯按 2 cm 间距进行采样, 共采实验样品 306 个; 另外, 根据沉积物含碳量的多少, 采取 3 个¹⁴C 样品进行 AMS¹⁴C 年代测定, 测年材料为沉积物中的全样有机质。

质量磁化率测定: 用于质量磁化率测试的所有样品在 40℃ 以下的干燥箱里进行烘干, 然后在不损伤自然颗粒的前提下将样品磨碎, 并装入磁化率测试专用盒中, 进行准确的质量称取后, 然后在兰州大学西部环境教育部重点实验室环境磁学实验室用英国 Bartington 公司生产的 Bartington MS2 型磁化率仪进行磁化率测试。为了保证测试的精确性, 每个样品的磁化率均进行了 6 次测试, 然后取平均值。最后将前面得到的磁化率平均值与质量相除, 得到所需的质量

¹ 国家自然科学基金项目(批准号: 40501075 40471135)、南京师范大学科研启动基金资助。
收稿日期: 2008-01-14 收修改稿日期: 2008-05-05

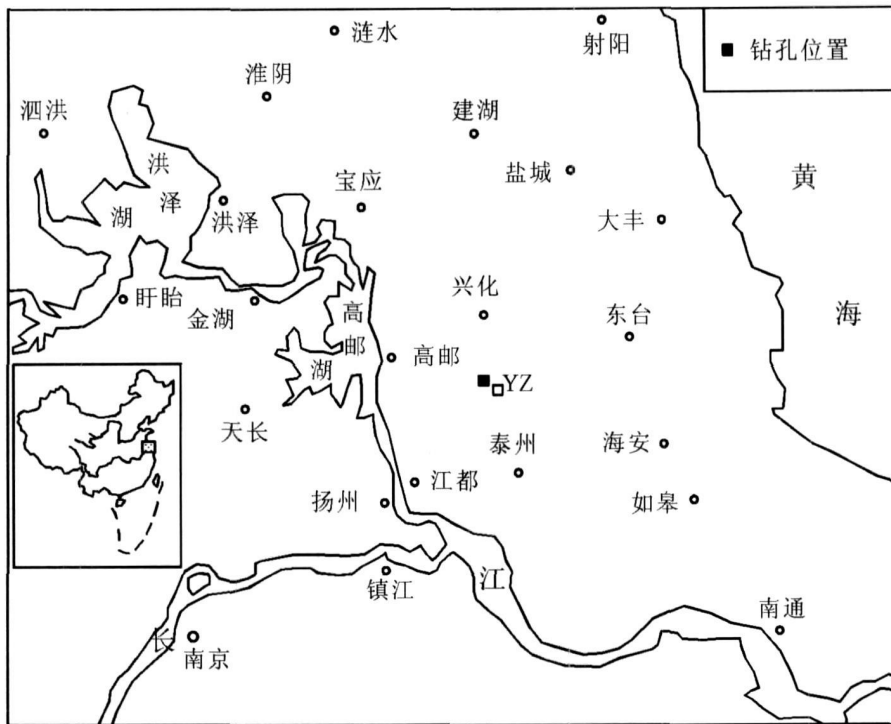


图 1 采样点位置图

Fig 1 Sampling locations of sediments in the YZ core Xinghua

磁化率。

粒度测定: 进行粒度测试样品的预处理严格按照规定进行了洗盐、去除有机质、钙胶结物等步骤, 然后进行样品的中和及清洗钙、氯离子, 最后进行样品的分散和测试。样品的测试是在南京师范大学地理科学学院激光粒度实验室的英国产 Mastersizer2000 粒度仪上进行。

^{14}C 年代在兰州大学西部环境教育部重点实验室年代实验室进行样品前期处理和制靶工作, 然后送北京大学进行 AMS ^{14}C 年龄测试的。

2 实验结果与分析

2.1 年代序列

Colman 等的研究揭示出, 由于沉积物有机质来源复杂, 来源不同可能导致测年结果出现较大的差异^[11]。周卫建等对红原泥炭的年代采取了 3 种研究方法进行对比研究, 发现全样的测年结果比 60~180 μm 粒级泥炭和花粉测年结果偏年轻约 4 ka^[12]。李宜垠等对内蒙古库伦旗泥炭剖面的年代用泥炭全样、植物残体、孢粉三种材料进行了研究, 结果表明在距今约 1300 a 的时段范围内, 泥炭全样测得的年代就比孢粉测得的年代偏小了约 225~340 a^[13]。由于本文 ^{14}C 年代的测年材料为沉积物全样有机质, 这可能

会使得测年的年代比地层的实际年代年轻, 所以, 年代序列的建立是在 AMS ^{14}C 年代测定的基础上, 还采用了气候地层学的方法来对年代序列进行校正。新仙女木事件 (YD—Younger Dryas) 是末次冰期向全新世转换期间升温过程中的最后一次快速降温事件, YZ 浅钻多环境代用指标在约 400~472 cm 之间出现显著的变化, 已有的 AMS ^{14}C 年代测定结果表明, 354 m 处为 7850 cal kaBP, 550 m 处为 11800 cal kaBP, 597 m 处为 13200 cal kaBP, 如果考虑到全样年龄受到“碳库效应”的影响, 利用周卫建和李宜垠研究结果进行初步的年代校正, 可以认为 400~472 cm 之间这次显著的变化对应的应该是 YD 事件。在这一基础上, 我们将通过实验所得到的气候代用指标中值粒径的深度曲线与 Yuan 等^[14] 研究所得的贵州董哥洞石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 曲线进行对比, 选取年代控制点进行校正 (图 2), 随后进行时间—深度的转换, 通过线性内插得到研究钻孔沉积的年代序列。经计算 YZ 浅钻距顶部 44 cm 处的年代约为 1.1 kaBP, 底部年龄为 16.7 kaBP, 样品分辨率大致为 54 a。

2.2 沉积物磁化率与粒度组分变化特征

YZ 浅钻沉积物是以细粒粉砂质粘土为主 (图 3), 粒径的主要分布范围为 3.64~12 ϕ 之间 (即 0~80 μm 范围内); 中值粒径为 6.04 ϕ , 0~4 ϕ (砂) 粒度

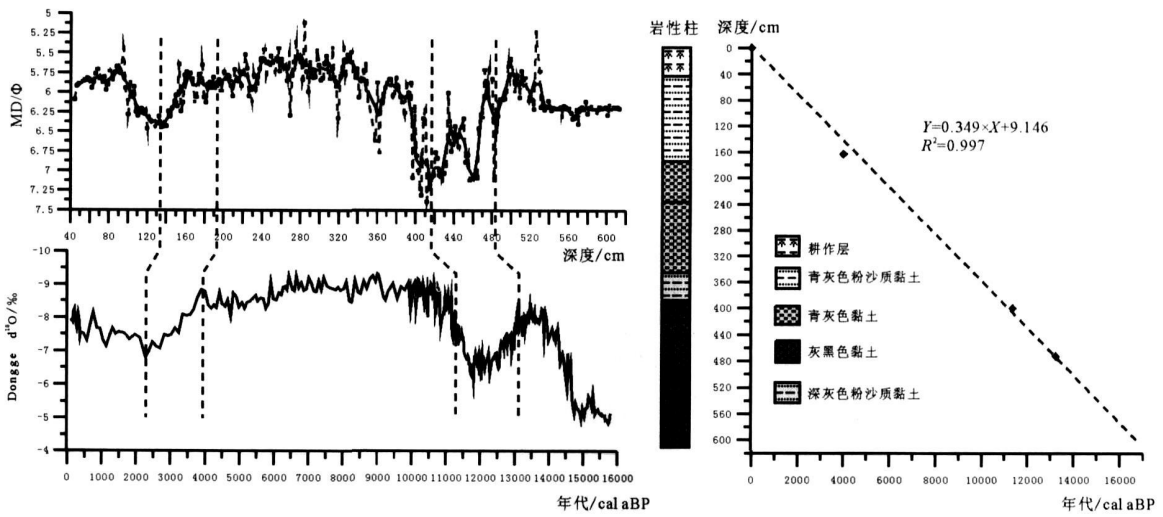


图 2 YZ 钻孔沉积特征、年代—深度关系图

Fig. 2 The figure showing the sedimentary features and the relation between the sedimentary age and depth in the YZ core, Xinghua

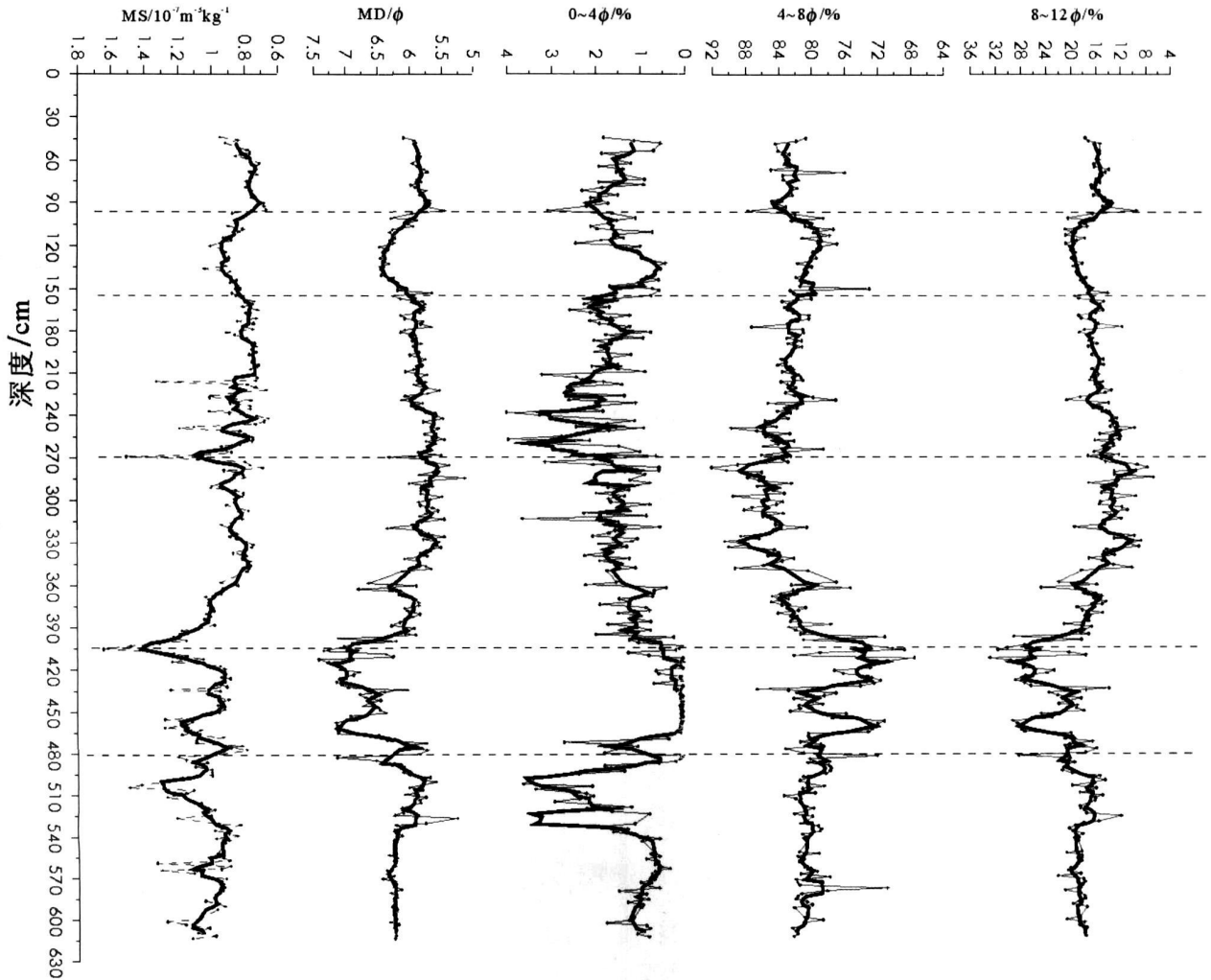


图 3 YZ 浅钻沉积物磁化率与粒度组分对比图

细线为原始数据结果,粗黑线为数据三点平滑结果

Fig. 3 Comparison of magnetic susceptibility and grain sizes in the YZ core

组分的百分含量为 1.42%，4~8φ(粉砂)粒度组分的百分含量为 81.32%；8~12φ(粘土)粒度组分的百分含量为 17.18%。沉积物质量磁化率主要分布在 $0.65 \times 10^{-7} \sim 1.643 \times 10^{-7} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ 之间，最大值约为最小值的 2.5 倍，平均值为 $0.924 \times 10^{-7} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ ，大小波动不大。

此外，从图 3 上还可以看出，磁化率的大小波动与粒度组分波动之间的对应关系有着特殊的变化特征。磁化率的大小变化与细颗粒沉积物的多少呈现显著的正相关关系，即磁化率与中值粒径、8~12φ 粒级组分的百分含量表现为正相关，与 0~4φ 和 4~8φ 粒级组分的百分含量表现为负相关。为了更好的反映出磁化率与不同粒级之间的关系，我们将沉积物粒级进行了进一步的细分，并计算了它们与磁化率之间的相关关系(表 1)。表 1 中可以看出，沉积物磁化率与不同粒级组分百分含量之间的相关系数是不同的。磁化率与 0~6φ 的粗颗粒沉积物之间的相关性表现为负相关，其中与 0~3φ 的粗颗粒沉积物之间的负相关性及其微弱，主要原因可能是这部分颗粒的百分含量极低，平均含量仅为 0.11%；磁化率与 6~12φ 粒级组分之间的相关性表现出明显的正相关，其中与 11~12φ 的相关系数略小，也可能是由于这部分颗粒的百分含量较低所致，平均含量大约为 0.66%。

表 1 沉积物磁化率与粒级之间的相关关系

Table 1 Correlation between sediment magnetic susceptibility and grain size

粒级区间	平均含量	相关系数	粒级区间	平均含量	相关系数
ϕ	%	R	ϕ	%	R
0~1	0.09	-0.047	8~9	7.80	0.426
1~2	0.01	-0.004	9~10	4.83	0.414
2~3	0.01	-0.006	10~11	3.82	0.350
3~4	1.39	-0.203	11~12	0.66	0.146
4~5	17.93	-0.369	0~4(砂)	1.41	-0.194
5~6	29.51	-0.424	4~8(粉砂)	81.05	-0.393
6~7	20.79	0.310	8~12(粘土)	17.11	0.420
7~8	12.82	0.424	中值粒径	6.02/ ϕ	0.407

3 末次冰消期以来苏北盆地的气候环境变化与区域对比

3.1 苏北盆地粒度和磁化率指标的环境指示意义

苏北盆地是一个以外来碎屑沉积为主的沉积型敞流湖盆，进入湖盆的来水是控制沉积物粒径组成变化的主要动力因素。根据沉积物机械分选的原理^[15]，对于湖泊中的不同位置来说，沉积物颗粒的大

小应由湖岸向湖心逐步变细，并呈带状分布；而对于湖泊中的同一位置，沉积物颗粒的大小应该是随着搬运动力的变化而变化的。对于敞流型湖泊来说，当气候相对湿润时，降水相对较多，入湖水量增加，流速加快，水流的搬运动力较强，能够搬运来相对较粗的碎屑物质进行沉积；而当气候相对干旱时，降水较少，入湖水量减少，流速减慢，水流的搬运动力明显下降，能够搬运到同一地方进行沉积的碎屑物质也就相对较细。磁化率作为一项环境指标，它之所以能够指示气候环境的变化，主要在于它是在各种环境之间运动和转化而最终形成的，充当了环境信息的载体。沉积物中磁性矿物的来源多、类型杂，但总的来说，磁性矿物的来源可以归结为三类：外源磁性矿物、自生磁性矿物和成岩磁性矿物^[16]。而在湖盆沉积物中，情况可能要相对简单一点，因为 Hilton 和 Lishman 等人的研究表明，在湖盆沉积物中外源磁性矿物占绝对优势^[16]，磁化率的大小波动受制于外源磁性矿物的变化。另外，大量的研究还证明^[17~20]，沉积物磁化率值的大小主要与测量样品中的磁性矿物种类、粒径、含量有关。而以外源磁性矿物为主的沉积物中磁性矿物种类、粒径、含量等则主要取决于物源区。苏北盆地是以外来碎屑物质输入为主的拗陷盆地，其磁化率的变化情况可能要比内陆封闭湖盆的情况复杂一些，但是沉积物中磁性矿物仍然以外源占绝对优势，磁化率的大小仍然应与输入碎屑物质磁性矿物成分、含量和粒度组成相关，而磁性矿物含量的多少和粒度组成的变化则是在沉积动力大小波动之间进行分选沉积的。如果物源区碎屑物质中磁性矿物以粗颗粒为主，则搬运动力强时，磁化率相对较大；如果物源区碎屑物质中磁性矿物以细颗粒为主，则当搬运动力较弱时，磁化率相对较大。从前面分析的磁化率和粒度组分的相关性结果来看，苏北盆地的磁化率主要与 6~12φ 的中细颗粒组分正相关，磁性矿物主要以中细颗粒为主，当水动力强时，磁化率值就相对较小，而水动力相对较弱时，磁化率就相对较大。因此，苏北盆地 YZ 浅钻沉积物粒度和磁化率的大小变化能够反映水动力条件的变化、指示气候环境的变迁过程。另外，苏北盆地地处东亚季风典型区域，降水的多少与东亚季风的强弱紧密相关，当东亚夏季风较强时，气流能够带来更多的水汽，产生更多的降水，气候环境相对湿润；当东亚夏季风较弱时，水汽来源较少，降水量也明显下降，气候环境会相对变干。因此，粒度的粗细在一定程度上能够指示苏北地区气候环境的变化情

况, 指示东亚夏季风的强弱变化。

3.2 苏北盆地的环境演化阶段与区域对比

根据上述指标的气候与环境指示意义, 将苏北盆地 YZ 浅孔的粒度和磁化率指标与中国西南董歌洞的石笋高分辨率结果^[14]和格陵兰 GRIP 冰芯结果^[21]进行对照研究(图 4), 我们可以发现, 这些指标在过去约 16.7ka 来的变化趋势十分相似, 大致可以分为三个大的阶段, 同时在这些大的变化阶段中也发现了多次突变事件记录。

阶段 iv (613~ 472 m, 16.7~ 13.2 cal kaBP): YZ 浅钻的磁化率出现高值段, 中值粒径 ϕ 值也相对降低, 粗颗粒沉积物含量增加, 表明在这一时段内入湖水量相对较大, 能够搬运来较粗的碎屑物质进行沉淀。同时也指示出东亚夏季风的相对强劲, 能够带来较多的水汽, 降水相对较多, 气候以湿润为主。贵州董歌洞石笋的氧同位素结果也出现逐步增大的趋势(图 4 中曲线 3), 也指示了气候的湿润特征。格陵兰

冰芯氧同位素记录结果也大体支持了这种变化趋势, 只是在时间跨度上稍有不同而已(图 4 中曲线 4)。

阶段 ③ (472~ 400 m, 13.2~ 11.2 cal kaBP): 苏北盆地 YZ 浅钻粒度和磁化率数据表明, 在前一段的相对湿润气候期之后, 气候明显的干旱化, 降水稀少。粒度和磁化率指标均指示出这一时期为近 16.7ka 以来最为干旱的时期, 入湖水量大量减少, 粒度中细颗粒物明显增加; 磁化率也有较大的变化, 以变小的趋势为主, 并且在响应上略弱于粒度的变化。贵州董歌洞石笋氧同位素数据和格陵兰冰芯数据均在这一时期出现显著变化, 指示气候的极端变化。从时间上来说, 这一时段正好对应于末次冰期的 YD 气候事件, 苏北盆地浅孔沉积物数据指示出这样的结果正好说明这一地区对全球气候的变化有着良好的响应。

阶段 ④ (400~ 44 m, 11.2~ 1.1 cal kaBP): 苏北盆地 YZ 孔磁化率指标总体上为一个低值段, 而粒度

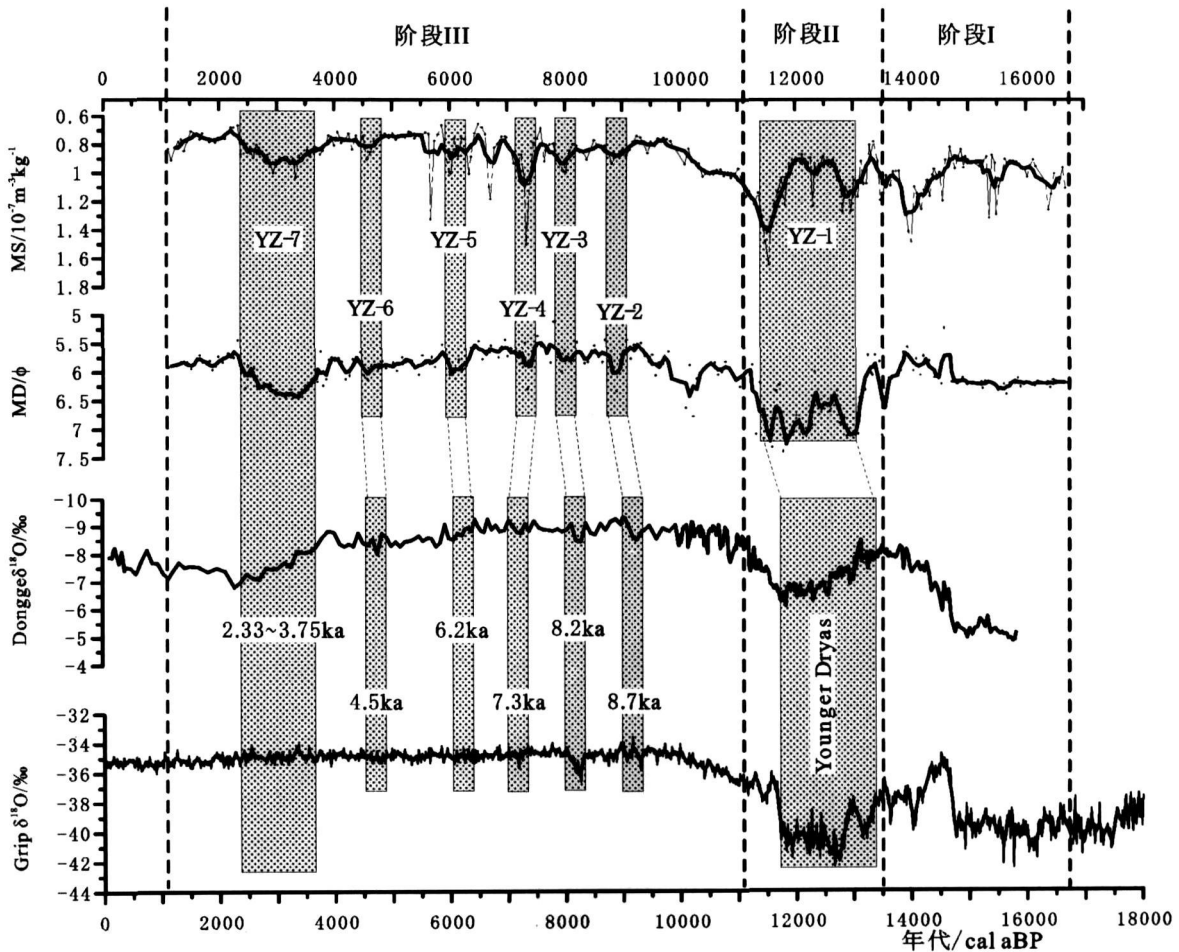


图 4 YZ 浅钻沉积记录与 GRIP 冰芯和董歌洞石笋氧同位素记录的对比

Fig 4 Comparison of climatic proxies among YZ core, GRIP ice core and Donggedong stalagmite $\delta^{18}O$ record
 细线为原始数据结果, 粗黑线为数据三点平滑结果

中值粒径 (ϕ 值) 指标总体上为一个低值段, 两者在此段内均对应的出现多次短暂异常波动。这表明从 11.2 cal kaBP 以来, 苏北盆地的气候环境总体上以湿润为主, 只是间或出现一个短暂的异常波动, 其中, 尤以 3.75~2.33 cal kaBP 期间的一次干旱波动时间最长, 随后, 气候环境又逐步向湿润化转变。如果要将这一段进行进一步的细分, 11.8~9.60 cal kaBP 为早全新世气候, 9.60~3.75 cal kaBP 属于全新世大暖期, 3.75~2.33 cal kaBP 属于晚全新世的一个小寒冷期, 2.33 cal kaBP 以来气候与现代相似。这些变化基本上与贵州董歌洞石笋和格陵兰冰芯记录相一致。

如果将 YZ 浅钻沉积物磁化率和粒度记录进一步进行细节上的分析, 还可以发现苏北盆地 YZ 浅钻也记录到了多次气候事件 (分别以 YZ-1 至 YZ-7 表示), 这些气候事件可以较好的与格陵兰冰芯和贵州董歌洞石笋记录相对应。从气候事件出现的相对位置来看, YZ-1 代表的是末次冰消期以来气候最为严寒的一段时间, 指示的是高低纬都有着良好记录的 Younger Dryas 事件; YZ-2 至 YZ-7 等 6 个事件则可能分别对应于格陵兰冰芯和贵州董歌洞石笋记录发生于 8.7、8.2、7.3、6.2、4.5、3.0 cal kaBP 的气候事件 (图 4)。值得注意的是, 尽管这些气候事件基本上能够进行一一对应, 但个别事件在相位上还是存在一定的差异, 这可能与测年精度和控制点的多少有一定的关系。另外, 目前大部分的研究中认为的 8.2 cal kaBP 事件是冰后期最强的冷事件^[22-25], 虽然 8.2 cal kaBP 事件在苏北钻孔记录中也有显示, 但是表现不是很明显; 周卫键等在对诺尔盖泥炭记录中也发现了类似的情况^[12]。这种差异的出现可能与所处的区域和所选的研究材料有一定关系。

4 结论

苏北盆地 YZ 浅钻沉积物磁化率和粒度组分曲线变化能够较好的反映该区域末次冰消期以来的环境演变: 16.7~13.5 cal kaBP 为气候相对温暖湿润期; 13.5~11.2 cal kaBP 为一个较为显著的冷干期; 11.2~1.1 cal kaBP 为一整体气候相对稳定期。另外, 在这些大的气候变化时期也存在着多次的气候波动事件, 其中较为显著的为 YD 事件和发生于 3.0 cal kaBP 的气候事件。这一结果不仅与同区域的贵州董歌洞高分辨率石笋氧同位素记录相对应, 同时也得到了高纬格陵兰 GRIP 冰芯氧同位素记录的支持。

尽管 YZ 浅钻的代用指标之间、以及它们与其它

经典曲线之间的对应关系较好, 结果能够为区域研究提供较好的参考资料, 但是, 本文报道的记录还是受到目前精确定年数据少的限制, 一些突变事件的发生时间对应上还存在一定的差异, 这还需要进一步进行更精确的定年来加以界定。

参考文献 (References)

- 1 An Z S, Kukla G J, Porter S C, *et al*. Magnetic susceptibility evidence of monsoon variation in the Loess Plateau of central China during the last 13000 years [J]. *Quaternary Research*, 1991, 36: 29-36
- 2 丁仲礼, 余志伟. 第四纪时期东亚季风变化的动力机制 [J]. 第四纪研究, 1997, 42 (1): 66-69 [Ding Zhongli, Yu Zhiwei. Forcing mechanisms of paleomonsoons over east Asia [J]. *Quaternary Sciences*, 1997, 42 (1): 66-69]
- 3 鹿化煜, 安芷生. 黄土高原黄土粒度组成的古气候意义 [J]. 中国科学 (D 辑), 1998, 28 (3): 278-283 [Lu Huayu, An Zhisheng. The components of grain size in Luochuan and paleoclimatic implications [J]. *Science in China (Series D)*, 1997, 28 (3): 278-283]
- 4 丁仲礼, 孙继敏, 杨石岭, 等. 灵台黄土-红粘土序列的磁性地层及粒度记录 [J]. 第四纪研究, 1998 (1): 86-94 [Ding Zhongli, Sun Jimin, Yang Shiling, *et al*. Magnetostratigraphy and grain size record of a thick red clay-loess sequence at Lingtai, the Chinese loess plateau [J]. *Quaternary Sciences*, 1998 (1): 86-94]
- 5 张振克, 吴瑞金, 王苏民. 岱海湖泊沉积物频率磁化率对历史时期环境变化的反映 [J]. 地理研究, 1998, 17 (3): 297-302 [Zhang Zhenke, Wu Ruijin, Wang Sumin. Implication of magnetic frequency dependents susceptibility on environmental variation from lacustrine sediment in Daihai Lake [J]. *Geographical Research*, 1998, 17 (3): 297-302]
- 6 殷勇, 方念乔, 王倩, 等. 云南中甸纳帕海湖泊沉积物的磁化率及环境意义 [J]. 地理科学, 2002, 22 (4): 413-419 [Yin Yong, Fang Nianqiao, Wang Qian, *et al*. Magnetic susceptibility of lacustrine sediments and its environmental significance: evidence from Napahai Lake, Northwestem Yunnan, China [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2002, 22 (4): 413-419]
- 7 孙千里, 周杰, 肖举乐. 岱海沉积物粒度特征及其古环境意义 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2001, 21 (1): 93-95 [Sun Qianli, Zhou Jie, Xiao Jule. Grain-size characteristics of lake Daihai sediments and its paleoenvironmental significance [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2001, 21 (1): 93-95]
- 8 蒋庆丰, 刘兴起, 沈吉. 乌伦古湖沉积物粒度特征及其古气候环境意义 [J]. 沉积学报, 2006, 24 (6): 877-882 [Jiang Qingfeng, Liu Xingqi, Shen Ji. Grain-size characteristics of Wulugu lake sediments and its paleoclimate and paleoenvironment implication [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2006, 24 (6): 877-882]
- 9 汤贤赞, 陈忠, 颜文, 等. 西太平洋暖池温区中心沉积物磁化率记录的 YD 和 Heinrich 冷事件 [J]. 科学通报, 2003, 48 (5): 491-495 [Tang Xianzan, Chen Zhong, Yan Wen, *et al*. Younger Dryas and Heinrich events recorded by magnetic susceptibility of sediments from the central temperature area of western Pacific warm pool [J]. *Chinese*

- Science Bulletin 2003 48(5): 491-495]
- 10 杨小强, 李华梅, 周永章. 南海南部 NS93-5 孔沉积物磁化率特征及其对全球气候变化的记录 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2002 22(1): 31-36 [Yang Xiaoliang, Li Huanmei, Zhou Yongzhang. Magnetic susceptibility oscillation and unstable climate events of core NS93-5 from South China Sea [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2002 22(1): 31-36]
 - 11 Colman SM, Jones G A, Rubin Meyer *et al*. AMS radiocarbon analyses from Lake Baikal Siberia: challenges of dating sediments from a large oligotrophic lake [J]. Quaternary Science Review, 1996, 15: 669-684
 - 12 周卫建, 卢雪峰, 武振坤, 等. 若尔盖高原全新世气候变化的泥炭记录与加速器放射性碳测年 [J]. 科学通报, 2001, 46(12): 1040-1044 [Zhou Weijian, Lu Xuefeng, Wu Zhengkun, *et al*. Peat record reflecting Holocene climatic change in the Zoig Plateau and AMS radiocarbon dating [J]. Chinese Science Bulletin 2001, 46(12): 1040-1044]
 - 13 李宜垠, 魏芳, 周力平. 泥炭样品的 AMS¹⁴C 年龄测定: 全样、植物残体和孢粉浓缩物 [J]. 第四纪研究, 2007, 27(4): 499-506 [Li Yiyin, Wei Fang, Zhou Liping. AMS¹⁴C dating using bulk samples, plant residues and pollen A concentrates from a peat profile at Kulu Innemongo la [J]. Quaternary Sciences, 2007, 27(4): 499-506]
 - 14 Yuan D X, Cheng H, Edwards R L, *et al*. Timing duration and transitions of the last Interglacial Asian monsoon [J]. Science 2004 304: 575-579
 - 15 Lerman A. Lake Chemistry, Geology, Physics Beijing: Springer-Verlag 1978 79-83
 - 16 汤普森 R, 奥尔德费尔德 F, 著. 环境磁学 [M]. 北京: 地质出版社, 1995 [Thompson R, Oldfield F. Environmental Magnetism [M]. Beijing: Geological Publishing House 1995]
 - 17 王建, 刘泽纯, 姜文英, 等. 磁化率与粒度、矿物的关系及其古环境意义 [J]. 地理学报, 1996, 51(2): 155-163 [Wang Jian, Liu Zechun, Jiang Wenying *et al*. Relationship between susceptibility and grain-size and minerals and their paleo-environmental implications [J]. Acta Geographica Sinica 1996 51(2): 155-163]
 - 18 杨小强, 李华梅. 泥河湾盆地沉积物粒度组分与磁化率变化相关性研究 [J]. 沉积学报, 2002, 20(4): 675-679 [Yang Xiaoliang, Li Huanmei. The correlation between the content of the different grain size and magnetic susceptibility in lacustrine sediments Nihewan Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica 2002, 20(4): 675-679]
 - 19 张卫国, 俞立中. 长江口潮滩沉积物的磁学性质及其与粒度的关系 [J]. 中国科学 (D 辑), 2002, 32(9): 783-792 [Zhang Weiguo, Yu Lishong. Relationship between magnetic properties and grain-sizes in intertidal sediments of the Yangtze estuary China [J]. Science in China (Series D), 2002 32(9): 783-792]
 - 20 卢升高. 土壤频率磁化率与矿物粒度的关系及其环境意义 [J]. 应用基础与工程科学学报, 2000 8(1): 9-15 [Lu Shengao. Relationship between frequency magnetic susceptibility and ferrimagnetic mineral grain size in soils and its environmental implications [J]. Journal of Basic Science and Engineering 2000 8(1): 9-15]
 - 21 Johnsen S J, Clausen H B, Dansgaard W, *et al*. Irregular glacial interstadials recorded in a new Greenland ice core [J]. Nature 1992 359: 311-313
 - 22 Alley R B, Mayewski P A, Sowers T, *et al*. Holocene climatic instability: a prominent widespread event 8200yr ago [J]. Geology 1997, 25(6): 483-486
 - 23 Hughen K A, Overpeck J T, Tumbore S *et al*. Rapid climate changes in the tropical Atlantic region during the last deglaciation [J]. Nature 1996 380(6569): 51-54
 - 24 Hu F S, Slawinski D, Wright Jr H E, *et al*. Abrupt changes in north American climate during early Holocene times [J]. Nature 1999 400(6743): 437-440
 - 25 王宁练, 姚檀栋, Thompson L G, 等. 全新世早期强降温事件的古里雅冰芯记录证据 [J]. 科学通报, 2002 47(11): 818-823 [Wang Ninglian, Yao Tandong, Thompson L G. Record of cold event in Early Holocene of Guliyu ice core [J]. Chinese Science Bulletin 2002, 47(11): 818-823]

The Records of Mass Susceptibility and Grain Size for Climate Changes in Subei Basin During the Last Deglaciation

SHU Qiang¹ LI Cai-lin¹ ZHAO Zhi-jun¹
CHEN Ye¹ ZHANG Mao-heng¹ LI Ji-jun^{1,2}

(1. College of Geography Science, Nanjing Normal University, Key Laboratory of Environmental Evolution and Ecological Construct of Jiangsu Province, Nanjing 210046; 2. Department of Geography, Lanzhou University, Lanzhou 730000)

Abstract Based on the synthetic analysis of the mass susceptibility and grain size from the YZ core obtained from Subei basin, the process and characters of palaeoclimate evolution during the past 16.7 ka were revealed. The results show that during the past 16.7 cal kaBP, the palaeoclimate of Subei basin has experienced several phases: 16.7~13.5 cal kaBP, relatively humid period; 13.5~11.2 cal kaBP, extremely arid period; 11.2~1.1 cal kaBP, relatively steady humidity period. In addition, the indexes also recorded several climate events. YD event and 3.0 cal kaBP events are obviously. The arid-humid fluctuations since around 16.7 ka disclosed by YZ core reveals a strong correlation with the GRIP oxygen isotope record and Donggedong stalagmite oxygen isotope record. This indicates that the climate changes in the study area not only has great regional character, but also has great correlation with the global climate changes.

Key words Subei basin, climate change, mass susceptibility, grain size