

江陵剖面沉积物的粒度特征及其古气候意义

王秋良¹ 李长安¹ 谢远云² 马永法¹

(1. 中国地质大学地球科学学院, 湖北 武汉 430074; 2. 哈尔滨师范大学地理系, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘要:通过对江汉平原江陵剖面高分辨率采样, 利用激光粒度仪对沉积物粒度进行测试, 分析了粒度的组成及其参数特征, 结合孢粉资料和岩性特征, 探讨了粒度在该区的古气候意义。结果表明, 降水量较大的湿润气候条件下沉积物的粗颗粒组分明增多; 而降水量相对较少的干旱气候条件下沉积物的粗颗粒组分明减少。通过与邻区对比, 江汉平原江陵剖面沉积物粒度所揭示的该区近 9000 a B.P. 以来的古气候变化与国内相邻区域其他指标的研究结果相一致。

关键词:江陵剖面; 粒度特征; 古气候; 古环境

中图分类号: P532 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2006)06-1406-05

沉积物的粒度特征是恢复古气候、古环境状况的一个重要指标, 深海沉积物的研究表明, 沉积物各组分含量的高低可以度量洋流速度大小以及其搬运能力^[1]。已有的湖泊沉积学研究也揭示了湖水能量是控制沉积物粒度分布的重要因素, 粒度的粗细代表了水动力的强弱、湖泊输入水量的相对大小, 在一定程度上可以反映湖区降水的变化, 因而具有干湿变化的指示意义^[2,3]。一般而言^[4,5], 粗粒沉积物指示低水位时期的干旱气候, 细粒沉积物指示高水位时期的湿润气候。但是, 湖泊沉积物的粒度组成不仅受湖泊本身(如湖泊面积、湖水水位、湖泊水动力条件等)的影响, 而且受湖区多种地理因子(如地貌、植被、气候、湖区风化程度等)乃至人类活动等诸多因素的影响, 因此, 湖泊沉积物的粒度组成所反映的古气候可能要复杂得多。

江汉平原位于长江中游, 汉水之南。在大地貌上是二级与一级阶梯的衔接处, 是长江流出三峡的迅速堆积地区。在气候上是东南季风的盛行区, 亦是气候波动的敏感地带, 长期以来一直是地学界关注的地区^[6-8]。笔者将以江汉平原江陵剖面沉积物的粒度特征为研究对象, 并结合孢粉分析所反映的古植被和古气候的演化阶段, 探讨该区沉积物粒度的古气候意义。

1 剖面描述及样品采集与测量

江汉平原江陵剖面位于湖北省荆州市江陵县境内(图 1)。地理位置: N30°11.257', E112°22.003'。剖面点原为一面积较小的积水洼地, 由人工挖泥烧砖而出露的河湖相沉积剖

面。剖面厚 594 cm, 未见底。岩性由下而上为青灰色泥质粉砂(厚 111 cm)、青灰色粘土(厚 55 cm)、黑色淤泥(泥炭)夹多层粉砂(厚 117 cm)、浅黄或红褐色粉砂质粘土(厚 311 cm)。

对剖面以 2 cm 为间距, 进行粒度分析, 共分析样品 297 块。取 1.5 g 左右样品置于 500 ml 的烧杯中, 视有机质多少加入 10~30 ml 的双氧水(H₂O₂)后搅拌, 静置 12 h 滤去清液; 加入 10 ml 的 10% 盐酸(HCl)并搅拌, 静置 12 h 后滤去清液; 加入 10 ml 的 10% 的分散剂六偏磷酸钠(NaPO₃)₆, 用超声波震荡 15 min 后进行测量。测量仪器为英国 Malvern 公司的 Mastersize 2000 激光粒度分析仪分析粒度, 粒度测量范围为 0.02~2 000 μm, 重复测量误差小于 2%。可提供每一粒度组分的百分含量、频率曲线、累计曲线及其他各种粒度参数。粒度组成的粒级划分按照 Udden-Wentworth 标准, 并根据 Folk 和 Ward(1957)公式计算沉积物的粒度参数。

用于孢粉分析的样品以不同的间距分段进行采样, 对于层厚 < 20 cm 的层位在层的中间取样, 层厚 > 20 cm 的层位按照 10 cm 间距采样, 共采得孢粉样 52 个。孢粉提取和分析采用氢氟酸和过筛法, 结果用百分比和浓度表示, 浓度用外加石松孢子法计算。

为建立江陵剖面的年代标尺, 采集了 7 个样品, 利用沉积物中的有机碳采用常规 ¹⁴C 方法进行年代测定(表 1)。根据所测 7 个年龄值, 经处理得出回归方程 Y=0.006X+106, 相关系数 R=0.95, 相关性非常好, 因此剖面其他层位年龄数据可以通过线性内插获得, 经推算在剖面顶部的年代为 500 a B.P.。

收稿日期: 2006-03-20; 改回日期: 2006-05-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(90411005, 40472151, 40372079)和国家重点基础研究发展规划项目(2004CB720204)资助。

作者简介: 王秋良, 男, 1972 年生, 博士生, 从事第四纪环境与流域资源的研究工作; E-mail: wq10703@sohu.com。



图1 江陵剖面位置

Fig.1 Location of the Jiangling section

2 粒度特征分析

2.1 剖面粒度组成

粒度组成是表述碎屑类沉积物特征的重要指标之一,在作为沉积物命名的定量依据的同时,用以追溯沉积物形成的力学性质、物质来源、输送介质和沉积环境等,但国内外所运用的粒度标准并不统一。笔者对粒径分组采用了如下的划分方案:砂($>63\mu\text{m}$)、粉砂($63\sim 4\mu\text{m}$)和粘土($<4\mu\text{m}$)。从图2中可以看出,整个剖面的粒度组成与岩性特征相一致,波动性变化明显,沉积物颗粒中的砂($>63\mu\text{m}$)含量除少数样品外,其余样品均小于20%,剖面中砂含量变化大,最大含量41.01%,最小为0,剖面平均8.43%。粉砂组分($63\sim 4\mu\text{m}$)是江陵剖面沉积物的主体组分,含量较高,多数样品含量为60%~85%,剖面平均值为73.04%。在不同层位上,该粒组变化较大,最大含量88.57%,最小仅为38.18%。粘粒组分($<4\mu\text{m}$)占5.88%~51.66%,该粒组变化也较大,其平均含量18.53%。

2.2 剖面粒度参数

江陵剖面各粒度参数有着很好的对应关系且与砂和粘

土组分在变化幅度上一致。剖面沉积物的平均粒径在 $3.94\sim 35.35\mu\text{m}$ 之间变化,平均 $13.93\mu\text{m}$,说明剖面沉积物以粉砂组分为主。标准差变化幅度为1.151~3.548,平均1.709,从分选等级来看,属于分选差和分选较差的类型,其中以分选差的样品占绝对优势(占86.85%);偏度值介于 $-0.427\sim 0.354$ 之间,变化范围较宽,从很负偏态到很正偏态等5个峰态等级都有,其中又以正偏和近于对称的样品居多,指示细颗粒组分占据一定优势;峰态值为0.661~1.988,从很平坦到很尖锐的5个峰态等级都有,但绝大多数属于中等尖锐和尖锐,平均值为1.088。

2.3 粒度垂向变化的阶段特征

分析剖面粒度组成及其参数的变化特点,可以看出沉积动力随时间在垂向上有着良好的规律性变化。整个剖面自下而上可分为4段:

(1)底部594~483 cm(代表8900~6070 a B.P.)。粘土含量在7.19%~21.23%,为剖面的最低值,平均为11.67%,平均粒径和砂含量偏高且自下而上降低,标准差指示分选较差,变化的波动很小,反映搬运力性质比较单一、沉积动力比较稳定。偏度指示粒度曲线为不对称正偏态,峰态为中等尖锐,表明中等水动力条件下有较多粗颗粒沉积。相应孢粉浓度较低但喜暖湿环境的水蕨含量较高。沉积物中大量粗颗粒物质的存在说明前期流域降水丰沛,较多的地表粗碎屑物质被地表径流携带至洼地沉积,而后期粗碎屑物质的减少反映该阶段降水量趋向于降低,湖泊水位逐渐收缩,气候由温湿向干旱转化。此时为全新世第一个暖湿期,亚洲夏季风盛行,为全新世第一次湖泊沉积期。洞庭湖和江汉地区的孢粉资料^[9]及敦德冰心^[10]和古里雅冰心^[11]所揭示的8000~6000 a B.P.为全新世暖湿期。

(2)483~428 cm(代表6070~4600 a B.P.)。平均粒径和砂含量为剖面的低值,粘土含量较高且达到剖面最高值,标准差指示其分选较差,偏度指示粒度曲线为近对称,峰态为中等尖锐,表明该阶段内水动力条件较弱,细颗粒增多。粒度特征显示流域降水量较低,地表粗碎屑颗粒难以到达洼地沉积。孢粉浓度较低但趋向于增大,藜科花粉含量及藜/蒿比值较高^①。这一时期为全新世第一个暖湿期后的干早期,夏季风退却,气候相对冷干。洞庭湖和江汉地区^[9]显示该期为冷干气候时期;敦德冰心^[10]和红原泥炭^[12]也记录该期属于低温期。

(3)428~311 cm(代表4600~2500 a B.P.)。平均粒径和

表1 江陵剖面¹⁴C测年结果Table 1 ¹⁴C dating of the Jiangling section

样品号	1	2	3	4	5	6	7
取样位置/cm	71	217	325	385	461	535	593
¹⁴ C 年龄/a B.P.	1026±100	2110±190	2660±160	3416±190	5530±80	7345±85	8850±100

注:由兰州大学地理系放射性碳同位素测年实验室分析。

①王秋良.江汉平原9 kaB.P.以来古气候变化的沉积学记录[D].武汉:中国地质大学档案馆,2004.

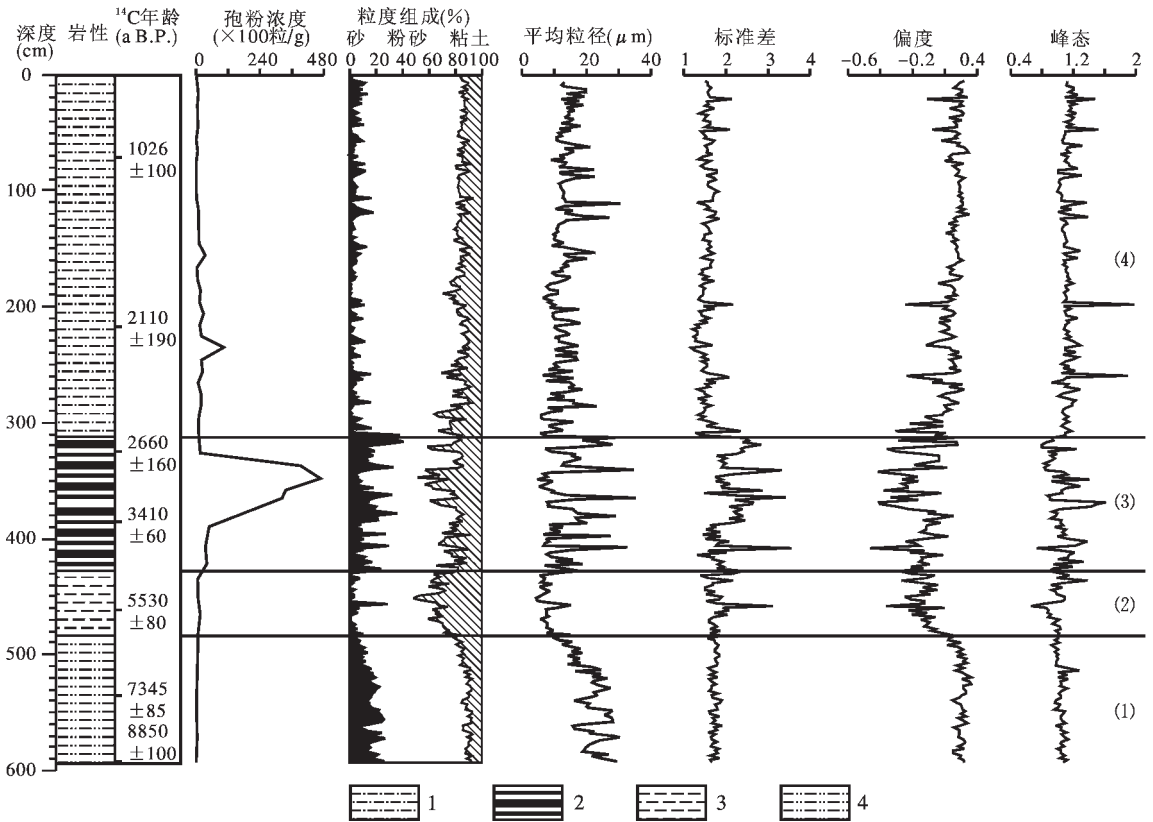


图2 江陵剖面孢粉浓度和粒度特征

1—粉砂质粘土;2—泥炭层;3—粘土;4—泥质粉砂

Fig.2 Concentration of sporopollen and grain-size characteristics of the Jiangling section

1—Silty clay;2—Peat bed;3—Clay;4—Muddy silt

砂含量为剖面的最高值且波动幅度剧烈,粉砂含量为剖面最低。标准差变化范围为 1.299~3.548,平均值为 2.106,说明沉积物的分选性差,分选系数变化较大,反映搬运营力的性质也变化较大、沉积动力不稳定。偏态值变化范围为-0.427~0.247,平均值为-0.06,属于近对称。峰态值变化范围为 0.736~1.612,平均值为 1.051,峰态中等尖锐,且有较大波动变化。本段粒度及岩性特征反映水动力较强,为泥炭发育的湖沼沉积环境。该段孢粉浓度为极高值,达到 47 000 粒/g,有机碳同位素值明显偏负^[9],说明当时气候相当温暖,降水量丰富,流域植被繁茂,湖泊或湖沼发育,且水域面积较大,属温暖湿润气候。此期是全新世第二个暖湿期,在敦德冰心 $\delta^{18}O$ 记录^[10]中,4900~2900 a B.P.为高温期;鄱阳湖湖口地区^[13]的孢粉资料指示 4 500~2 350 a B.P.为气候暖湿期;长江、黄河流域古文化遗址数量也较前猛增^[10];红原泥炭^[12]记录该期属于高温期。

(4)311~0 cm(代表 2 500~500 a B.P.)。该段剖面沉积环境发生了显著变化,2 500 a B.P. 以前为洼地湖及湖沼相沉积,沉积物为古云梦泽标志性堆积物—青灰色泥质粉砂及黑

色泥炭,为水体相对较深的还原环境沉积;从 2 500 a B.P.开始,该地区洪水漫滩堆积,为水体相对较浅、暴露的氧化环境。沉积物砂和粘土含量明显降低且变化幅度较小,粒度参数也显示出较稳定的沉积环境,孢粉含量较低,表明 2 500 a B.P.以来江陵地区气候偏凉,且降雨少。与 2 350 a B.P.以来鄱阳湖湖口地区^[13]气候偏凉相吻合。

3 剖面粒度指示的古气候意义

沉积物的粒度特征是恢复古气候环境的重要代用指标,可以为沉积物搬运介质的性质、能量和搬运方式的确定等提供重要的环境分析依据^[14-15]。一般而言,对于面积较大或水体较深的湖泊,由湖岸到湖心,随着水深的不断加大,湖水的物理能量及水动力条件由强变弱,沉积物颗粒逐渐变细且平行于湖岸线呈环带状分布,即从湖岸到湖心大致出现砾-砂-粉砂-粘土的沉积规律。因此,沉积物颗粒粗细变化可以反映湖泊水位的高低变化,进而指示气候的干湿变化,细粒和粗粒分别代表湖泊的高水位和低水位时期,分别对应气候的湿润期和干旱期。然而,对于一个面积较小或水体较浅的湖泊,湖水

物理能量或湖泊水位的变化对沉积物粒度的影响可能变得很小,这时就难以用湖泊水位的涨落来解释沉积物的粒度变化。相反,湖泊流域降雨量的变化则有可能是控制沉积物粒度的重要因素,尤其在降雨量较大的热带、亚热带地区。降雨量的变化通过影响地表径流发育的强度从而在很大程度上决定着进入湖泊的陆源碎屑的粗细和多少,进而影响沉积物粒度。在降雨量大的湿润年份,地表径流发育,其剥蚀和搬运能力增强,更多的粗颗粒物被携带至湖盆而使沉积物粒径增大;在降雨量小的干旱年份,地表径流贫乏,粗颗粒物难以搬运至湖泊而使沉积物粒径减小。因此,沉积物粒径的变化也可反映湖区降雨量的变化;粒径大指示降水较多的湿润气候,粒径小指示降水较少的干旱气候^[9]。江汉平原是典型的由河间洼地组成的洪泛平原,长江、汉江形成主干河间洼地,其支流又分割主干河间洼地形成次级河间洼地。这些洼地积水后就成为面积小、水体浅、湖底平坦、岸线不稳的湖泊或沼泽,故江汉平原的湖泊多数属于河间洼地湖。这些洼地湖的水源补给主要为降水和洪水,丰水期可与其他洼地湖连成一片,枯水期则被周围出露的滩地所环绕而成为积水洼地。江汉平原河间洼地湖的这些特征,使其有利于地表径流将周边高地冲刷而下的陆源粗颗粒物搬运至这些洼地湖泊内沉积下来。这时,控制地表径流发育程度的湖盆流域降水量的变化将成为控制江陵剖面积水洼地湖沉积物粒度的主要因素。在这种情况下,剖面沉积物的粗颗粒指示流域降水量大的湿润时期;而细颗粒则反映了降水量较少的干旱时期。

4 结论

根据江陵剖面沉积物的孢粉、粒度资料及江汉平原河间洼地湖的成因特征和沉积物的岩性特征分析,江陵剖面湖泊沉积物粒度与气候间存在如下关系:粗颗粒对应气候的湿润时期,而细颗粒则对应气候的干旱时期。其形成机制在于,研究区江汉平原是由河间洼地组成的洪泛平原,控制地表径流发育程度的湖盆流域降水量的变化成为控制江陵剖面积水洼地湖沉积物粒度变化的主要因素。暖湿气候条件下降水量的增加,使其有利于地表径流将周边高地冲刷而下的陆源粗颗粒物在这些湖沼洼地内沉积下来,是造成入湖粗颗粒物明显增多的主要原因。冷干气候条件下,地表径流贫乏,粗颗粒物难以搬运至湖沼洼地内,沉积物粒径减小。通过与邻区对比,沉积物粒度揭示的江陵地区近9000 a B.P.气候环境变化与其他气候记录具有一致性,但又有明显的区域差异性。

致谢:粒度、孢粉及¹⁴C测年分别在南京师范大学海岸与第四纪研究所粒度分析实验室、中国地质科学院水文地质环境地质研究所和兰州大学地理系放射性碳同位素测年实验室完成,在此一并表示感谢。

参考文献(References):

- [1] Bianchi G G, McCave I N. Holocene periodicity in North Atlantic climate and deep-ocean flow south of Ice land [J]. *Nature*, 1999,397:515~517.
- [2] Campell C. Late Holocene lake sedimentology and climate change in southern Alberta, Canada[J]. *Quaternary Research*, 1997,49:96~101.
- [3] 陈敬安,万国江,唐德贵,等. 洱海近代气候变化的沉积物粒度与同位素记录[J]. *自然科学进展*,2000,10(3):253~259.
Chen Jing'an, Wan Guojiang, Tang Degui, et al. Climate change from sediment particle size and isotopes record during modern times in Lake Erhai [J]. *Natural Science Progress*, 2000,10 (3):253~259(in Chinese).
- [4] Finney B P, Johnson T C. Sedimentation in Lake Malawi (East Africa) during the past 10,000 years: A continuous paleoclimatic record from the southern tropics [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1991,85:351~366.
- [5] 陈敬安,万国江. 云南洱海沉积物粒度组成及其环境意义辨识[J]. *矿物学报*, 1999,19(2):175~182.
Chen Jing'an, Wan Guojiang. Sediment particle size distribution and its environmental significance in Lake Erhai, Yunnan Province [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 1999,19 (2):175~182 (in Chinese with English abstract).
- [6] 羊向东,朱育新,蒋雪中,等. 沔阳地区一万多年来孢粉记录的环境演变[J]. *湖泊科学*, 1998,10(2):23~29.
Yang Xiangdong, Zhu Yuxin, Jiang Xuezhong, et al. Environmental changes from spore-pollen record of Mianyang region over the past 10000 years [J]. *Journal of Lake Sciences*, 1998,10 (2):23~29 (in Chinese with English abstract).
- [7] 张玉芬,李长安,陈国金,等. 江汉平原湖区周老镇钻孔磁化率和有机碳稳定同位素特征及其古气候意义[J]. *地球科学-中国地质大学学报*, 2005,30(1):114~120.
Zhang Yufen, Li Chang'an, Chen Guojin, et al. Characteristics and paleoclimatic significance of magnetic susceptibility and stable organic carbon isotopes from a bore in Zhoulaotown, Jianghan plain [J]. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 2005,30(1):114~120(in Chinese with English abstract).
- [8] 谢远云,李长安,王秋良,等. 江汉平原江陵地区近9ka B.P. 以来的气候演化:有机碳同位素记录[J]. *中国地质*,2006, 33(1):98~103.
Xie Yuanyun, Li Chang'an, Wang Qiuliang, et al. Climatic change over the past 9ka in the Jiangling area, Jianghan plain: Records of organic carbon isotopes[J]. *Geology in China*, 2006,33(1):98~103(in Chinese with English abstract).
- [9] 张丕远,主编. 中国历史气候变化[M]. 济南:山东科学技术出版社,1996.1~440.
Zang Piyuan. *Climatic Change of China History* [M]. Jinan: Shandong Science and Technology Press, 1996.1~440 (in Chinese).
- [10] 施雅风,孔昭宸,王苏民,等. 中国全新世大暖期气候与环境的基本特征[A]. 见:施雅风,孔昭宸主编. 中国全新世大暖期气候与环境[C]. 北京:海洋出版社,1992.1~18.
Shi Yafeng, Kong Zhaochen, Wang Sumin, et al. The features of environment and climate during the Holocene Megathermal in China[A]. In: Shi Yafeng, Kong Zhaochen (eds.). *The Climate and*

- Environment in China during the Holocene Megathermal [C]. Beijing: Ocean Press, 1992. 1~18 (in Chinese).
- [11] 姚檀栋, Thompson LG, 施雅风, 等. 古里雅冰芯中末次间冰期以来气候变化记录研究[J]. 中国科学(D 辑), 1997, 27(5): 447~452. Yao Tandong, Thompson L G, Shi Yafeng, et al. A study of climatic variations since last interglaciation in the Guliya ice core[J]. Science in China (Series D), 1997, 27(5): 447~452 (in Chinese).
- [12] 徐海, 洪业汤, 林庆华, 等. 红原泥炭纤维素氧同位素指示的距今 6 ka 温度变化[J]. 科学通报, 2002, 47(15): 1181~1186. Xu Hai, Hong Yetang, Lin Qinghua, et al. Temperature variations in the past 6000 years inferred from ^{18}O of peat cellulose from Hongyuan, China[J]. Chinese Science Bulletin, 2002, 47(15): 1181~1186 (in Chinese).
- [13] 吴艳宏, 羊向东, 朱海虹. 鄱阳湖湖口地区 4500 年来孢粉组合及古气候变化[J]. 湖泊科学, 1997, 9(1): 29~34. Wu Yanhong, Yang Xiangdong, Zhu Haihong. Pollen assemblage and paleoclimatic change in HuKou Area of PoYang Lake for the past 4500 years [J]. Journal of Lake Sciences, 1997, 9 (1): 29~34 (in Chinese with English abstract).
- [14] Wang H, Liu H, Cui H, et al. Terminal Pleistocene/Holocene palaeoenvironmental changes revealed by mineral magnetism measurements of lake sediments for Dali Nor area, southeastern Inner Mongolia Plateau, China [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2001, 170: 115~132.
- [15] 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 paleoenvironment significance [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2001, 21 (1): 93~95 (in Chinese with English abstract).
- [16] 陈敬安, 万国江, 张峰, 等. 不同时间尺度下的湖泊沉积物环境记录—以沉积物粒度为例[J]. 中国科学(D 辑), 2003, 33(6): 563~568. Chen Jing'an, Wan Guojiang, Zhang Feng, et al. Environment recorded by lake sediments from different time scale: a case study of sediment grain size [J]. Science in China (Series D), 2003, 33(6): 563~568 (in Chinese).

Grain-size characteristics of sediments in the Jiangling section and their paleoclimatic significance

WANG Qiu-liang¹, LI Chang-an¹, XIE Yuan-yun², MA Yong-fa¹

(1. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China

2. Geography Department, Harbin Normal University, Harbin 150080, Heilongjiang, China)

Abstract: The grain sizes of sediments were measured and their distribution and parameters were analyzed through high-resolution sampling of the Jiangling section of the Jiangnan plain and by using a Mastersize 2000 laser analyzer, and the paleoclimatic significance of the grain sizes in the area is discussed on the basis of the aforesaid analysis, combined with the sporopollen and lithologic data. The results show that coarse grains evidently increase in the sediments deposited in a warm-moist climate and decreased in a cold-dry climate. By comparison with the neighboring areas, the paleoclimatic change in the Jiangling area since 9 000 a B.P. revealed by the grain sizes of sediments is consistent with the results of study of other indicators in neighboring area in China.

Key words: Jiangling section; grain-size characteristics; paleoclimatic; paleoenvironment

About the first author: WANG Qiu-liang, male, born in 1972, doctoral candidate, engages in Quaternary environment and valley resource; E-mail: wql0703@sohu.com.