

文章编号: 1001-4675(2006)01-0161-06

向海尖底泡沼泽沉积物磁化率特征及其环境意义^{*}

翟正丽^{1, 2}, 王国平^{1, 2}, 刘景双^{1, 2}

(1 中国科学院 东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130012; 2 中国科学院 研究生院, 北京 100030)

摘 要: 以吉林省向海自然保护区尖底泡沼泽湿地为研究对象, 通过²¹⁰Pb, ¹³⁷Cs 建立高分辨率年代序列, 并结合沉积物粒度指标, 分析沉积物粒度与磁化率变化的相关性, 对向海近几百年的环境变化进行探讨。结果表明: 历史时期内陆沼泽沉积物频率磁化率反映的向海气候变化可划分3个阶段, 并与粒度的分析结果基本一致。沼泽沉积物磁化率可以作为恢复历史时期环境变化的指标之一。

关键词: 磁化率; 环境变化; 沼泽沉积物; 向海; 吉林

中图分类号: P931.7 **文献标识码:** A

沼泽一般发育在负地貌部位, 承受和接纳流域自然环境变化和人类活动的影响, 赋存着环境变化的大量信息^[1]。沼泽发育过程中堆积的各种沉积物, 真实地记录了区域环境演变与沼泽发育过程, 因此, 利用沼泽沉积物可以高分辨率地恢复过去气候、环境变化的过程^[2]。

气候变化通过控制风化、剥蚀及沉积作用使湖相沉积物的磁性发生变化, 也就是说磁性特征的变化是对气候控制诸多过程的响应^[3]。磁性矿物是环境信息的重要载体, 因此, 可以作为古环境/气候重建的代用指标^[4]。磁性测量具有快速简便、经济易行、对样品无破坏等特点, 目前已成为环境演变研究的重要测试手段之一^[5]。该技术已广泛应用于黄土堆积、海洋和湖泊沉积物的研究中^[6-9]。而且, 在不同地质岩性、不同气候类型带的几十个湖泊的数百孔沉积物样芯的研究中得到了成功应用^[10, 11]。磁化率在利用陆地和海洋、湖泊沉积物重建古环境和古气候变化研究中所起的作用越来越重要^[12]。但是, 有关内陆沼泽湿地沉积物磁化率变化的研究还处于比较薄弱的阶段。

沉积物的磁化率以及粒度参数是气候变化的良好替代指标。虽然在机制上还存在诸多疑问, 但磁化率和粒度在指示气候冷暖变化方面具有独特的敏感性^[13]。本文以吉林省向海沼泽区尖底泡沉积为例, 通过对沉积物磁化率的测定, 结合粒度分析, 探讨了沼泽区沉积物的磁化率特征及其所反映的气候环境变化。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

向海沼泽区位于无尾河—霍林河下游的漫流区, 由河流漫散形成, 常年接纳来自霍林河上游的陆源物质。研究区处于吉林省西部半干旱地区和农牧交错带, 年平均气温 5.1℃; 年平均降水量 408.2 mm; 年平均蒸发量 1 945 mm, 对自然环境变迁的反应非常敏感。本文选取的剖面位于向海保护区尖底泡(122°20.148' E, 45°00.078' N), 海拔 175 m。

1.2 样品采集和测定方法

样品采于2005年3月, 垂直挖取剖面, 获得54 cm的柱状沉积芯, 以2 cm间隔采样。尖底泡地表生长芦苇, 表层2 cm是淤泥质层, 2~9 cm是黑色的沉积物, 9~31 cm为黑色粉砂土层, 32~54 cm是青灰色的沉积物, 潜育化比较严重(图1)。样品装入自封袋密封后运回实验室, 风干, 进行环境指标分析。

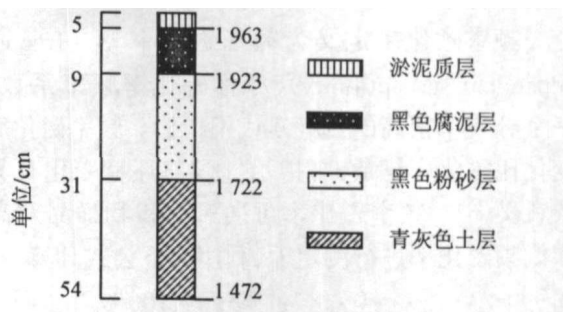


图1 尖底泡沉积柱状结构示意图

Fig. 1 Histogram of sediment in Jiandi Wetland

^{*} 收稿日期: 2005-07-11; 修订日期: 2005-10-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(40471136); 省部共建实验室开放基金(DS2004-01)资助

作者简介: 翟正丽(1980-), 女, 硕士研究生, 主要从事湿地过程与环境研究, E-mail: zzli993@126.com

^{210}Pb , ^{137}Cs 年代测定采用美国 OTEC 公司多道低本底能谱仪, 对样品进行无损坏直接测定。粒度分析采用激光粒度仪 (Mastersizer 2000, Malvern Instruments, 英国)。取少许样品用双氧水浸泡 1 d 以除去沉积样品中的有机质, 然后加入六偏磷酸钠, 用超声波振荡仪分散, 最后将处理好的样品用激光粒度仪测定, 其粒度测量范围为 $0.02 \sim 2\,000\ \mu\text{m}$, 重复测量误差小于 3%。样品分析在中国科学院南京地理与湖泊研究所完成。

磁化率测定: 将风干样品在陶瓷研钵中轻轻研磨至粉状 (以不损坏自然颗粒为度), 放入 $2\text{ cm} \times 2\text{ cm} \times 2\text{ cm}$ 无磁塑料盒中, 压实, 称重。采用英国 Bartington 仪器公司生产的 MS2 型双频磁化率仪测定样品的低频磁化率 (χ_{lf} , 0.46 kHz) 和高频磁化率 (χ_{hf} , 4.6 kHz), 其分析误差 $\pm 1\%$, 同时计算频率磁化率、质量磁化率。

1.3 年代序列确立方法

沉积层年代通过测定 ^{137}Cs , ^{210}Pb 的放射性比度, 采用 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 回归法计算, 辅以 ^{137}Cs 时标校正方法来实现, 初步建立了该剖面的年代序列。通过测定 ^{210}Pb 的放射性比度, 利用恒定放射性通量模式 (CRS) 推算沉积柱芯年代^[14], 建立沼泽沉积层年代序列。 ^{137}Cs 分子扩散作用不足以改变其在沉积物柱芯垂直剖面上的峰值位置, 依据 ^{137}Cs 的全球降落通量与年代关系, 可求出柱状样品 ^{137}Cs 出现峰值深度所对应的年代。

1.4 磁化率计算方法

质量磁化率定义为

$$\chi = (\chi'_{\text{lf}} - 1/2\chi'_{\text{lf空}}) / m \times 10$$

式中, χ 为样品质量磁化率 (单位 $10^{-8}\text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$); χ'_{lf} 为样品低频磁化率读数; $\chi'_{\text{lf空}}$ 为样品取出后空气的磁化率。

频率磁化率定义为频率磁化率 χ_{fd} (frequency dependent susceptibility), 亦称磁化率频率系数, 是一个分辨率很高的古气候代用指标。频率磁化率的变化比磁化率复杂, 对指示气候与环境变化有其独特意义^[15]。频率磁化率可通过沉积物样品对高频和低频磁化率进行测定后, 利用如下公式计算得出:

$$\chi_{\text{fd}} = (\chi_{\text{lf}} - \chi_{\text{hf}}) / \chi_{\text{lf}} \times 100\%$$

2 结果与分析

2.1 年代序列的确立

在剖面 5 cm 深度处有一个明显的 ^{137}Cs 峰值

64.26 Bq/kg, 对应于 1963 年全球 ^{137}Cs 散落高峰期。根据 ^{210}Pb 计算得出, 17 cm 处对应的年代是 1960 年, 与 ^{137}Cs 时标对应的年代有较高的一致性。说明该沉积柱芯受到的扰动比较小, 得出的年代具有很高的精确度。

根据 ^{210}Pb CRS 模式可以得出沉积物任一层的沉积年龄和沉积速率。沉积物某一层的沉积年龄用以下公式计算得出:

$$t = -\lambda^{-1} \ln (1 - \Sigma C / \Sigma C_0) = Z / S$$

式中, ΣC_0 为沉积物柱芯中的 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 总累计输入量 ($\text{Bq} \cdot \text{cm}^{-2}$); ΣC 为某一质量深度 Z 以上各层沉积物中的 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 累计量 ($\text{Bq} \cdot \text{cm}^{-2}$); λ 为 ^{210}Pb 的放射性衰变常数 ($\lambda = 0.031\text{ a}^{-1}$); Z 为质量深度, 某一深度 Z 以上沉积物的累计值, 由孔隙度校正而得 ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$); S 为沉积速率 ($\text{g} \cdot \text{a}^{-1}\text{cm}^{-2}$)。

该柱的 ^{210}Pb 测定深度下限为 23 cm, 对应年代为 1816 年, 在 23 cm 以下我们可以用质量深度/平均沉积通量得出不同深度所对应的年代, 平均沉积通量 $124\text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}\text{a}^{-1}$ 。经推算得出 53 cm 深处对应的年代为 1472 年。根据 ^{137}Cs 垂直剖面峰值的时标和 ^{210}Pb 测定的平均沉积通量推算, 建立了该孔的年代序列 (图 2)。

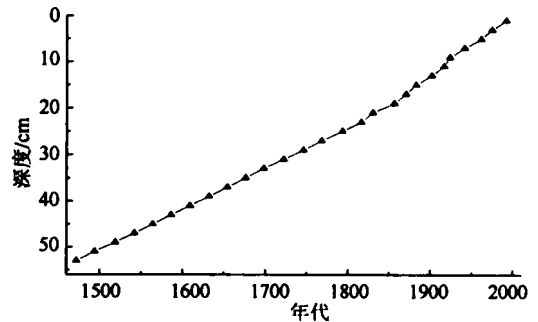


图 2 (AD) 尖底泡沼泽深度与年代关系

Fig. 2 The depth-age relationship of the core samples from Jiandi Wetland

2.2 沼泽沉积物的粒度分析

水流能量是控制沉积物粒度分布的主要因素, 细粒和粗粒沉积物分别代表了水物理能量降低和增强的阶段, 也分别代表了沼泽的高水位时期 (河流水动力冲击强) 及低水位时期^[16]。沉积物的粒度特征是反映沉积环境变化的有效标志之一^[17]。因此, 沼泽沉积物颗粒粗细变化能指示与沼泽高水位相对应的湿润气候及与沼泽低水位相对应的干旱气候^[2]。

中值粒径 ($D[0.5]\ \mu\text{m}$) 是经常使用的粒度参数, 一般采用 1957 年福克和沃德提出的定义与计算

公式。尖底泡沉积物的中值粒径曲线见图 2。剖面中值粒径的范围是 30.58 ~ 167.77 μm , 剖面 26 ~ 28 cm 处出现峰值, 为 167.77 μm 。42 ~ 44 cm 处出现低值。10 ~ 42 cm 中值粒径偏高。

沉积物颗粒的分选系数是表示颗粒沉积时的均一性或一致性, 分选系数按照福克和沃德的划分标准进行计算。该剖面 S_0 (分选系数) 的变化范围是 4.91 ~ 13.57 μm , 均值是 7.91 μm , 说明沉积物分选差。 σ (标准偏差) 的变化范围是 1.37 ~ 1.83 ϕ , 均值是 1.59 ϕ , 按照福克和沃德 (1957) 及弗里德曼 (1962) 分别提出的对 σ 分级, 各段的分选性均较差。经分析表明, S_0 与 σ 分级结果基本一致, 整个柱芯分选性较差。

除个别层序外, 可以 27 cm 为界限 (约 1765AD) 分为整体趋势向上变细粒与向下变细粒的两段, 属于一段“正韵律”, 一段“反韵律”。在 0 ~ 27 cm, 分选系数变化较小, 27 cm 以下分选系数变化较大。“反韵律”的存在, 说明水流发生了变化^[18]; 分界线处环境发生过明显变化。向海沉积物颗粒表现出来的韵律性准周期变化特征揭示了流域气候“干-湿-干-湿”的周期性演替。

2.3 磁化率分析

从图 3 可以看出, 低频磁化率 (χ_{lf})、高频磁化率 (χ_{hf})、质量磁化率 (χ) 的变化趋势是一致的。沉积物质量磁化率的平均值为 $5.56 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$, 磁化率最高为 $10.39 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$, 磁化率最低为 $4.18 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$, 表层的磁化率较高, 剖面下部磁化率高低波动不大。总的特征是: 从地表到 5 cm 处低频、高频、质量磁化率的值迅速下降, 到 5 cm 处都达到较低的值, 分别为 5.08×10^{-8} , 3.53×10^{-8} , $5.41 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$, 而频率磁化率 (χ_d) 从地表到 5 cm (1963 年) 则迅速上升, 到 5 cm 处其值达到最大, 为 $30.43 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ 。5 ~ 9 cm (1963-1923 年), 低频、高频、质量磁化率又呈上升趋势, 到 9 cm 处达到较大值, 为 6.07×10^{-8} , 5.26×10^{-8} , $6.19 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ 。频率磁化率则呈下降趋势, 在 9 cm 处达到较小值, 为 $13.46 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ 。9 ~ 31 cm (1923-1722 年), 低频、高频、质量磁化率均比较小, 且变化不大, 但频率磁化率波动比较大。在 31 cm (1722-1472) 以下, 质量磁化率又呈逐渐上升趋势。在 31 cm 处, 低频、高频、质量磁化率都达到最低值, 分别为 4.06×10^{-8} , 3.62×10^{-8} , $4.18 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

频率磁化率的变化与低频、高频磁化率呈负相关, 但相关系数不大, 分别为 -0.153 和 -0.392 (表 1)。质量磁化率和频率磁化率呈反向关系。质量磁化率值高, 频率磁化率则低, 但相关系数只有 -0.097。在约 5 cm 处, 低频、高频磁化率都达到较低的值, 而频率磁化率在此深度达到最大值, 为 30.4%。

表 1 尖底泡沼泽沉积样品磁化率、中值粒径指标的相关系数

Tab. 1 Correlation coefficients between the magnetic susceptibility and median diameter of swamp samples from Jiandi Wetland				
	低频磁化率	高频磁化率	质量磁化率	频率磁化率
高频磁化率	0.969			
质量磁化率	0.997	0.952		
频率磁化率	-0.153	-0.392	-0.097	
中值粒径	-0.548	-0.494	-0.555	-0.045

沉积物粒度与磁化率也有一定的相关关系。在该沉积剖面中, 很明显细粒沉积物的磁化率值较高, 如沉积物质量磁化率与中值粒径的相关性比较好 ($\chi = -0.555$), 在图 3 中可以直观地看到这一点。沉积物颗粒的粗细本身, 并不会影响到磁化率的高低, 这两者间应是间接关系。其直接的物理原因是由于磁化矿物相对集中在沉积物细颗粒组分中。由图 3 可以看出, 13 ~ 31 cm 段沉积物中值粒径偏高, 是沉积物中粒径最高的一部分, 分选性较好, 低频、高频、质量磁化率的值均较低, 波动较小, 而效率磁化率的值较高, 且波动较大。

2.4 向海湿地历史时期环境变化分析

磁化率与环境之间存在着十分复杂的正负反馈关系, 频率磁化率可间接地反映气候的干湿变化, 气候偏湿阶段, 频率磁化率呈高值段; 气候偏干阶段, 频率磁化率值降低^[19]。

综合以上磁参数及其比值随深度变化的分析结果, 可将柱芯的沉积物分为 A、B、C 3 段 (图 3), 在不同时段内磁性特征、粒度发生了比较明显的变化。这种变化可能提示气候环境发生了相应的变化。

A 段 (5 cm 以上) 对应的年代是 1963 年到现在, 沉积物中磁性参数特征是: 低频、高频和质量磁化率呈下降趋势, 频率磁化率则呈上升的趋势, 在 5 cm 处对应的年代是 1952-1963 年, 频率磁化率达到较高值, 说明该阶段对应的气候偏湿, 这与粒度中值粒径曲线所示的沉积物颗粒较细一致。也与丁士晟的 1951-1961 年的 11 a 间多雨有很好的耦合性^[20]。

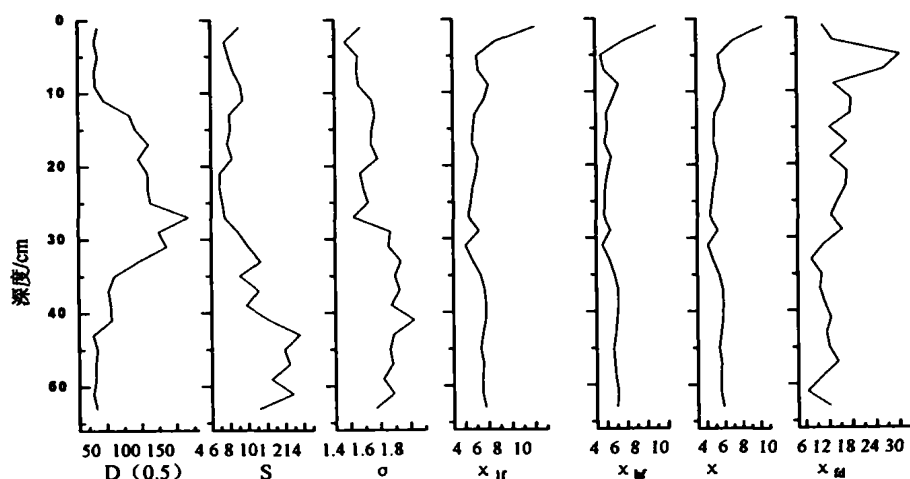


图3 尖底泡沼泽沉积物环境指标变化

Fig. 3 Change of environment parameters revealed by swamp sediment in Jiandi Wetland

B段(5~31 cm)约为1720~1910年,在该阶段沉积物中低频、高频和质量磁化率的值均比较低,质量磁化率最高值为 $5.30 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$,最低值为 $4.18 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$,变化不大。频率磁化率在该阶段波动比较大,流域气候经历了“干-湿”的韵律性准周期变化,但总体上呈下降的趋势,说明该阶段气候偏干,这与向海沼泽湿地孢粉组合研究所得出的结果相一致:1851~1760年期间大气候非常干旱,可能还可比较冷^[20]。同时,这阶段粒度中值粒径偏高,并呈上升趋势,这也说明了该阶段气候偏干,且分选系数与标准偏差偏低,沉积物分选性较好。在9 cm处(约1922年),质量磁化率达到较高值,频率磁化率达到较低值,为 $13.46 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$,对应年代为1919~1932年,频率磁化率较低,说明该时期气候干旱,这与向海1922~1927年是比较突出的干旱期的研究结果一致^[2],并与孢粉分析得出的1922~1935年流域内经历相对干旱的气候环境相一致^[21]。在1720~1768年,频率磁化率偏高,中值粒径偏低,说明在大气候非常干旱的背景下,此时段气候较湿润。

C段(31 cm以下)是1720年以前,该阶段沉积物中低频、高频和质量磁化率不大,曲线比较平缓。频率磁化率呈上升趋势,中间也有波动,说明气候随深度增加有变湿的趋势,但中间也有“干-湿”交替。这与该阶段粒度的曲线相一致:中值粒径呈下降趋势,说明气候变湿。且该阶段粒度较小,从下向上呈增大趋势,分选系数和标准偏差较高,变化较大,说明沉积环境多变,分选性较差。

3 几点认识

本文对向海沼泽区尖底泡沉积物进行了磁化率、频率磁化率的测量,同时分析了沉积物的中值粒径,得出如下几点认识:

(1) 沼泽沉积物的磁化率与沉积物粒度呈明显负相关关系,与湖泊沉积物磁化率同粒度的关系一致。

(2) 向海尖底泡沼泽沉积物的频率磁化率高值段对应气候偏湿期,低值对应气候干旱时段,分别与气候粒度的偏细和偏粗(相对中值粒径)一致。

(3) 沼泽沉积物的磁化率、频率磁化率可作为反应古气候、古环境变化的灵敏间接指标。特别是频率磁化率,能灵敏地记录微小的古气候波动,具有更明确的古气候意义。

不过,由于该指标受流域自然环境与人类活动的综合影响,这给利用沉积物的磁性特征来恢复历史时期的气候环境变化带来一定的困难。因此,需要结合粒度、孢粉、地球化学指标的分析测试,建立多环境指标的综合分析方法。

参考文献(References):

- [1] 黄锡畴. 试论沼泽的分布与发育规律[A]. 黄锡畴. 中国沼泽研究[C]. 北京: 科学出版社, 1988. 1~8. [Huang Xishou. The discussion of distribution and development law of the Wetland[A]. Huang Xishou. The Wetland Research in China[C]. Beijing: Science Press, 1988. 1~8.]
- [2] 王国平, 刘景双, 汤洁. 半干旱区沼泽沉积物粒度特征及环境意义[J]. 干旱区研究, 2003, 20(3): 211~216. [Wang Guoping, Liu Jingshuang, Tang Jie. The characteristics and

- environmental significance of the granularity of swampy sediment in semiarid areas[J]. *Arid Zone Research*, 2003, 20(3): 211–216.]
- [3] Oldfield F, Barnosky C, Leopold E B, et al. Mineral magnetic studies of lake sediments[J]. *Hydrobiologia*, 1983, 103: 37–44.
- [4] 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, Northwestern Yunnan, China[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2002, 22(4): 413–419.]
- [5] Oldfield F. Environmental magnetism—A personal perspective[J]. *Quaternary Science Reviews*, 1991, 10: 73–85.
- [6] 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 Rujin, Wang Sumin. Implication of magnetic frequency dependent susceptibility on environmental variation from lacustrine sediment in Daihai Lake[J]. *Geographical Research*, 1998, 17(3): 297–302.]
- [7] 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 Huamei. 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.]
- [8] Rosenbaum J G. A record of middle Pleistocene climate change from Buck Lake, Cascade range, southern range, southern Oregon: Evidence from sediment magnetism, trace element geochemistry, and pollen[J]. *Geological Society of American Bulletin*, 1996, 108(10): 1328–1332.
- [9] 刘昆, 黄春长, 杨前进, 等. 汾渭盆地全新世成壤环境演变比较研究[J]. *干旱区研究*, 2004, 21(3): 294–298. [Liu Kun, Huang Chunchang, Yang Qianjin, et al. Comparative study of the Holocene soil formation environmental evolution in the Weihe and Fenhe Basins[J]. *Arid Zone Research*, 2004, 21(3): 294–298.]
- [10] 曹希强, 郑祥民, 周立文, 等. 洪湖沉积物的磁性特征及其环境意义[J]. *湖泊科学*, 2004, 16(3): 227–232. [Cao Xiqiang, Zheng Xiangmin, Zhou Limin, et al. Paleoenvironmental implication of magnetic measurements on sediments core from Honghu Lake[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2004, 16(3): 227–232.]
- [11] 胡守云, 王苏民, Appel E. 呼伦湖泊沉积物磁化率变化的环境磁学机制[J]. *中国科学(D 辑)*, 1998, 28(4): 334–339. [Hu Shouyun, Wang Sumin, Appel E. The mechanism of environmental magnetism to the changes of magnetic susceptibility in lacustrine sediments, in Hulun Lake[J]. *Science in China(Series D)* 1998, 28(4): 334–339.]
- [12] Geiss Christoph E, Banerjee Subir K, Camill Phil, et al. Sediment magnetic signature of land use and drought as recorded in lake sediment from southcentral Minnesota, USA[J]. *Quaternary Research*, 2004, 62(2): 117–125.
- [13] 钟巍, 王立国. 塔里木盆地南缘沉积物磁化率、 $\delta^{13}\text{C}$ 与粒度及其气候环境意义[J]. *地理研究*, 2005, 24(1): 98–104. [Zhong Wei, Wang Liguang, Li Cai. The correlation and climatic significance of the mass susceptibility, carbonate $\delta^{13}\text{C}$ and grain size revealed from a historic sediment in the southern margin of Tarim Basin[J]. *Geographical Research*, 2005, 24(1): 98–104.]
- [14] 万国江. 现代沉积的 ^{210}Pb 计年[J]. *第四纪研究*, 1997(3): 230–239. [Wan Guojiang. ^{210}Pb dating for recent sedimentation[J]. *Quaternary Sciences*, 1997(3): 230–239.]
- [15] 吴瑞金. 湖泊沉积物的磁化率、频率磁化率及其古气候意义——以青海湖、岱海近代沉积为例[J]. *湖泊科学*, 1993, 5(2): 128–135. [Wu Rujin. Susceptibility and frequency susceptibility of lake sediments and its palaeoclimate significance—Example of neoteric sediments of Qinghai Lake and Daihai[J]. *Journal of Lake Science*, 1993, 5(2): 128–135.]
- [16] 黄春长. 环境变迁[M]. 北京: 科学出版社, 2000. [Huang Chunchang. *Environmental Changes*[M]. Beijing: Science Press, 2000.]
- [17] 李志忠, 海鹰, 罗若愚, 等. 乌鲁木齐河下游地区湖泊沉积物的粒度特征与沉积环境[J]. *干旱区研究*, 2000, 17(3): 1–5. [Li Zhizhong, Hai Ying, Luo Ruoyu, et al. Grain size characteristics and sedimentary environment in the lacustrine deposit of downstream area in Wulumuqi River science 30 kaBP[J]. *Arid Zone Research*, 2000, 17(3): 1–5.]
- [18] 朱宣清, 何乃华. 运用粒度分析方法恢复河流地貌[J]. *河北省科学院学报*, 1990(1): 17–29. [Zhu Xuanqing, He Naihua. The restore of river geomorphology by the method of grain size analysis[J]. *Journal of the Hebei Academy of Sciences*, 1990(1): 17–29.]
- [19] 张振克, 吴瑞金. 近 300 年来岱海流域气候干湿变化与人类活动的湖泊响应[J]. *首都师范大学学报(自然科学版)*, 2001, 22(3): 70–76. [Zhang Zhenke, Wu Ruijin. Climatic variation and human activities recorded by lake sediment in the catchment of Daihai Lake during the past 300 years[J]. *Journal of Capital Normal University*, 2001, 22(3): 70–76.]
- [20] 吉林省地方志编纂委员会. 吉林省志·气象志[M]. 长春: 吉林人民出版社, 1996. 318–321. [The Editor Committee of Jilin Province Records. *The Records of Jilin Province: Climate Records*[M]. Changchun: Jilin People Press, 1996. 318–321.]
- [21] 王国平, 张淑芹, 刘景双. 向海湿地孢粉记录及其环境意义[J]. *湿地科学*, 2003, 1(1): 7–12. [Wang Guoping, Zhang Shuqin, Liu Jingshuang. Pollen records and environmental significance in the Xianghai Wetlands[J]. *Wetland Science*, 2003, 1(1): 7–12.]

Characteristics and Environmental Significance of Magnetic Susceptibility of Sediment in Jiandi Wetland in Xianghai

ZHAI Zheng-li^{1, 2}, WANG Guo-ping^{1, 2}, LIU Jing-shuang^{1, 2}

(1 *Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China;*

2 *Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*)

Abstract: Currently, the research on the magnetic susceptibility of swamp sediment is relatively feeble. The study area, Jiandi Wetland ($45^{\circ}00.078'N$, $122^{\circ}20.148'E$, 175 m a. s. l.), is located in a farming-pasturing ecotone, a semiarid region in west Jilin Province, China, where the annual temperature, precipitation and evaporation are $5.1^{\circ}C$, 408.2 mm and 1945 mm respectively, and the response of natural environment to climate change is sensitive. In this paper, the content of different grain sizes from $0.2\ \mu m$ to $2\ 000\ \mu m$ and the magnetic susceptibility are measured to study the correlation between the granularity and magnetic susceptibility of sediment, and a case study on the characteristics and environmental significance of magnetic susceptibility in Jiandi Wetland is carried out. The correlation between the granularity and the magnetic susceptibility of sediment in Jiandi Wetland is analyzed based on measuring the radionuclide dating and the magnetic susceptibility of sediment, and the environment change in Jiandi Wetland since recent several hundred years is researched. The results show that the climate change revealed by the magnetic susceptibility of swamp sediment can be divided into three stages, which accord basically with the analyzed results of granularity of sediment; there is a negative correlation between the magnetic susceptibility and the granularity of sediment; the value of magnetic susceptibility of sediment was high when precipitation was increased; the magnetic susceptibility of swamp sediment can be regarded as one of the main indexes in revealing the environment change in historical periods.

Key words: magnetic susceptibility; environment change; swamp sediment; Xianghai; Jilin.