

黄东海陆架区表层沉积物磁化率 空间分布及其影响因素分析

周鑫¹, 刘毅¹, 程文翰¹, 贾楠¹, 李超伦², 孙松², 孙立广¹

(1. 中国科学技术大学 地球和空间科学学院 极地环境研究室, 合肥 230026;

2. 中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

摘要: 沉积物磁化率已被广泛用于古气候重建,但在黄东海陆架区,其在短时间尺度气候演化中的指示意义仍不明确,原因之一是目下尚缺乏对现代沉积物磁化率空间分布特征的系统研究。本文通过测定黄东海陆架区81个点位表层沉积物的磁化率,得到该区域磁化率的空间分布特征。结果显示,黄海北部磁化率较低,与其物源主要为来自黄河/黄河故道的泥沙有关;黄海南部及东海磁化率较高,为长江口高磁化率物质输入所致;长江口以东远岸(31°~33°N, 123°~125°E)的高磁化率区可能受地形控制。因此,在黄东海陆架区不同区域,磁化率反映的环境信息有所差别。本研究可为磁化率在陆架区沉积物物源分析和短时间尺度古气候重建中的应用提供依据。

关键词: 磁化率; 黄海; 东海; 陆架区; 表层沉积物

中图分类号: P736.21 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-9901(2011)02-0356-06

Spatial distribution of magnetic susceptibility of the surface sediments on the Yellow Sea and the East China Sea continental shelf

ZHOU Xin¹, LIU Yi¹, CHENG Wen-han¹, JIA Nan¹, LI Chao-lun², SUN Song², SUN Li-guang¹

(1. Institute of Polar Environment & School of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China; 2. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China)

Abstract: Magnetic susceptibility (MS) of sediments has been widely used as an indicator in paleoclimate reconstructions. But its significance is still not clear in short-term climate change studies in the Yellow Sea and East China Sea continental shelf, partly because of the lack of systematically analysis on magnetic susceptibility of the surface sediments. In this study, MS of 81 surface sediment samples from the Yellow Sea and the East China Sea continental shelf were analyzed. The results are as follows: MS values in the northern Yellow Sea, the main source of which is the Yellow River or the Old Yellow River, are lower than that in the southern Yellow Sea and the East China Sea, the main source of which is the Yangtze River. The higher MS in the "31°~33°N, 123°~125°E" region might be caused by the topography. Therefore, the environmental information indicated by the MS is variable in different regions of the Yellow Sea and the East China Sea continental shelf. These are helpful for using MS in source analyzing and short-term paleoclimate reconstructions in the continental shelf.

Key words: magnetic susceptibility; the Yellow Sea; the East China Sea; continental shelf; surface sediment

磁化率是表征物质在外磁场作用下被磁化难易程度的物理量。因其快速、简便易行、经济且不破坏样品等优点而被广泛应用于沉积物的测试,成为研

究古环境演变的重要手段。在沉积物中,磁化率的主要控制因素为粒度和铁磁性矿物含量的高低(Thompson and Oldfield, 1986; 王建等,1996)。

收稿日期:2011-02-20

基金项目:国家重点基础研究发展计划(2010CB428902, 2009CB42160x)

通讯作者:孙立广, E-mail:slg@ustc.edu.cn

目前,陆相和海相沉积物磁化率皆已被广泛用于古环境重建。在这些研究中,对黄土磁化率及其环境意义的探讨较为深入,且取得了显著成就。研究发现黄土-古土壤的磁化率序列与深海氧同位素曲线存在良好的相关性(Heller and Liu,1982),并认为磁化率可作为夏季风指标(An et al,1990,1991)。后来的研究从机制上对这一观点进行了验证(Zhou et al,1990;Liu et al,2007),并从定量角度对磁化率重建古季风降水进行了探讨(吕厚远等,1994; Maher and Thompson,1995)。在湖泊沉积物研究中,磁化率也被认为可以反映湖泊沉积动力变化,进而用于重建古环境变迁(俞立中等,1995;胡守云等,1998;张振克等,1998;张俊辉等,2010)。另外,深海(Bloemendal and deMenocal,1989)和一些边缘海沉积物(Richter et al,1999)的磁化率也被用于轨道尺度气候变化的重建,且能够与深海氧同位素曲线较好对比。

在黄东海陆架海区,目前对沉积物的磁学性质虽已有较为细致的研究(刘健等,1997,2007;Liu et al,2003;Liu et al,2010;Wang et al,2009,2010),但由于该区域沉积相发生了较大变化,沉积物磁化率与深海氧同位素在轨道时间尺度上并无良好相关性,因此被认为难以反演轨道时间尺度古气候演化特征(葛淑兰等,2005)。黄东海陆架区在约7000~6000年前形成相对较为稳定的浅海沉积环境(Xiao et al,2006;王利波等,2009),但目前还缺乏对该区域在较短时间尺度上、尤其是几千年来沉积物磁化率的系统研究,磁化率的气候环境指示意义也不明确,且表层磁化率研究仅仅集中在部分区域(葛淑兰等,2001;Liu et al,2003;Liu et al,2010),因此,对该区域表层沉积物磁化率空间整体分布特征的研究亟待进行。

本文拟通过磁化率测试,得到黄东海陆架区表层沉积物的磁化率空间分布,结合物源、洋流和地形等,探讨空间上不同区域磁化率的主要影响因素及其在古气候重建中的潜力。

1 材料与方法

表层沉积物样品采自黄东海陆架区的81个点位(图1),分布于 $29^{\circ} \sim 39^{\circ} \text{N}$, $119^{\circ} \sim 125^{\circ} \text{E}$ 。样品分别来自中国科学院海洋研究所2009年中国近海

科学考察开放航次春季和秋季航次。

在室内,我们首先将样品自然风干,在不损伤自然粒度的情况下碾碎,装入特制样品盒中,称重后使用英国产Bartington MS2磁化率仪进行测量得到低频磁化率,即文中用到的磁化率值。

2 结果与讨论

2.1 结果

研究区表层沉积物磁化率分布范围为 $13 \times 10^{-8} \sim 161 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$,以 34°N 分界线,总体上呈南高北低特征(图2)。

在 34°N 以北区域,沉积物磁化率大部分低于 $30 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$,变化幅度整体较小,仅渤海和山东半岛南部的个别样品达到 $45 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ 左右。

在 34°N 及其以南区域,磁化率值基本上均高于 $30 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$,纬向上有较大变化,高值主要集中于长江口以东附近区域,最高可达 $161 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ 。在古黄河口附近也出现较高磁化率值,可达 $60 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ 左右。 34°N 线和 30°N 以南,磁化率由近岸向远岸逐渐降低。然而在 $31 \sim 33^{\circ} \text{N}$ 区域,远岸磁化率反而较高。

2.2 讨论

王建等(1996)的研究认为,沉积物磁化率主要受沉积环境(包括物源和沉积动力等)影响,还与沉积后环境变化(次生变化)关系较为密切。黄东海陆架区沉积物磁化率的空间变化也应结合这些因素进行分析。

在黄东海陆架区靠近我国部分,沉积物物源主要为黄河、黄河故道和长江输入泥沙。黄河及黄河故道的泥沙主要来自黄土高原,为磁化率较低的物质;而长江泥沙中含有来自长江上游和下游地区出露的中酸性火成岩(杨守业和李从先,1999),其中含有大量的铁磁性矿物,磁化率较高(葛淑兰等,2001;刘健等,2007)。表层沉积物磁化率在黄海南部较低,在黄海南部和东海较高的整体分布应主要受物源的影响。

然而,在古黄河口以南附近,虽然物源主要为来自黄土高原的泥沙,但沉积物磁化率仍较高,可能由两个因素造成:(1)该处为苏北灌溉总渠入海口,该渠修建于1951年,是淮河排洪入海的出路之一;

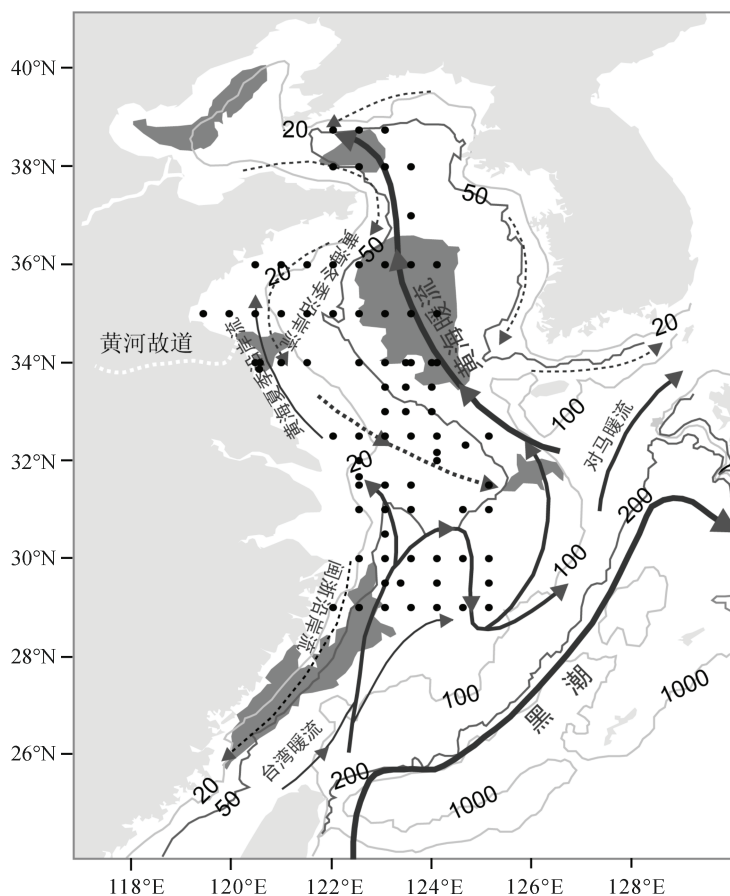


图1 采样位置分布

黑点为采样位置分布,图内数字表示等深线深度(m),深灰色阴影区域为泥质区
(底图根据 Yuan and Hsueh,2010,刘健等,2007)

Fig. 1 Distribution of the sites studied

Surface sediment samples are shown in black dots, topographic lines are shown in light grey, mud areas are shown in dark grey (map is modified from Yuan and Hsueh, 2010, Liu et al,2007)

(2) 黄海夏季沿岸流(苏北夏季沿岸流)将长江流域高磁化率的物质带到古黄河口附近,导致磁化率增加。从距离考虑,前者的影响应占主导。山东半岛附近沉积物磁化率略高也可能为区域因素所致,即山东半岛上大量裸露花岗岩风化后的高磁化率物质由河流带入海洋所致。

一般情况下,受磁化率较高的陆源物质的影响,海洋沉积物磁化率随着与海岸距离的增加而减小,但研究区内 $31^{\circ}\sim 33^{\circ}\text{N}$ 区域中沉积物磁化率并不遵循这一规律,反而显示出相反趋势。葛淑兰等(2001)认为这一高磁化率区与长江口附近的铁质结核分布区有关。从另外一个角度看,在近海口附近,沉积物磁化率受粒度控制,粒度大时磁化率高(孟庆勇等,2009)。而在长江口远岸 $20\sim 50\text{m}$ 等深线之间存在一个较大的平缓区域,能够接受大量的陆源沉积,且这一区域沉积物粒度较粗(许东禹,

1985),因而该区域磁化率高值也可能与地形造成的粗粒度沉积有关。

另外,海洋沉积物的源还包括当地生物沉积和洋流带来的物质,特定区域沉积物磁化率变化可能受这些因素的控制。由于海洋生物沉积主要为碳酸盐等非磁性矿物,因此具有低磁化率特点。例如,在东海黑潮流经区域,沉积物的磁化率基本上低于 $30\times 10^{-8}\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$ (Liu et al, 2003)。因此,在陆源输入较为稳定的区域,沉积物磁化率能够反映海洋生产力或洋流路径及强度变化。在本研究区,磁化率空间分布的等值线在一些区域似乎与洋流的路径有一定一致性。比如,在台湾暖流以及黄海暖流流经区域磁化率变化都出现明显的流场特征(图3)。但在这些区域是否由洋流控制沉积物磁化率变化,仍需更多数据进行进一步研究。

由以上分析可见,黄东海陆架区沉积物磁化率

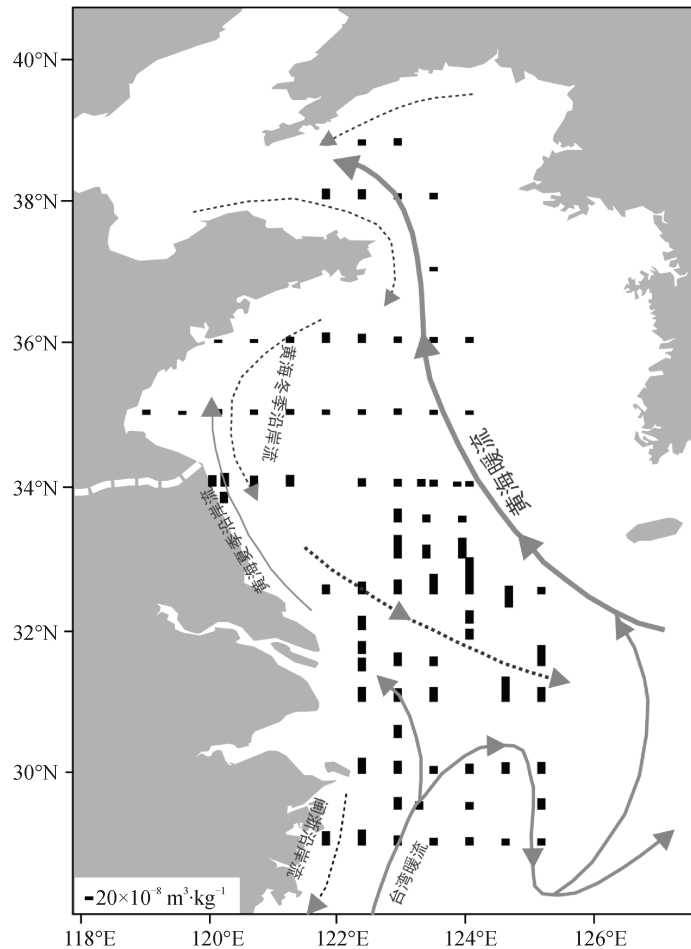


图2 黄东海陆架区表层沉积物磁化率空间分布(底图根据 Yuan and Hsueh, 2010)
Fig. 2 Spatial distribution of magnetic susceptibility of the surface sediments on the Yellow Sea and the East China Sea continental shelf (map is modified from Yuan and Hsueh, 2010)

受多种因素的影响,包括物源本身的磁化率、洋流的位置和强弱以及地形等。当然,沉积区的次生作用,即黄东海海域所处的氧化还原环境对铁矿物的作用,也会影响沉积物磁化率(葛淑兰等,2001)。其中物源变化是控制磁化率空间分布的基本因素,其他因素通过影响各物源物质输入量变化等产生作用。对于柱状沉积物来说,磁化率的变化主要由其物质组成变化导致,进而受控于物质输送的动力过程。所以,该区域沉积物磁化率能够用于指示物源。

当气候发生变化导致不同物源物质含量的变化时,沉积物磁化率亦可用于反演相应的古气候信息。例如,在河口区域,河流径流量控制河流输入泥沙的多少,进而影响沉积物磁化率。而河流径流量与流域降水有良好相关性,故河口区域沉积物磁化率变化具有重建区域降水变化潜力。对黄东海陆架区广泛存在的泥质沉积来说,这些沉积物主要为冬季沿

岸流输送长江或黄河口的悬浮物质(孙效功等,2000),其粒度等指标与气候因素密切相关,被用于重建古气候演化历史(Xiao et al,2005,2006; Xiang et al,2006),同为物理指标的磁化率也应具相应的气候指示意义。因此,虽然空间上黄东海陆架区沉积物磁化率所受驱动因素较为复杂,但具有重建短时间尺度古气候演化历史的潜力。

3 结论

本文重建了黄东海陆架区表层沉积物磁化率的空间分布特征,并对其驱动因素进行初步探讨,得到以下结论:

(1) 黄海北部与渤海区域磁化率较低,南黄海东部沿岸区域磁化率较高,长江口以东远岸(31°~33°N, 123°~125°E)出现高磁化率区,山东半岛和老黄河口以南附近区域磁化率也较高。

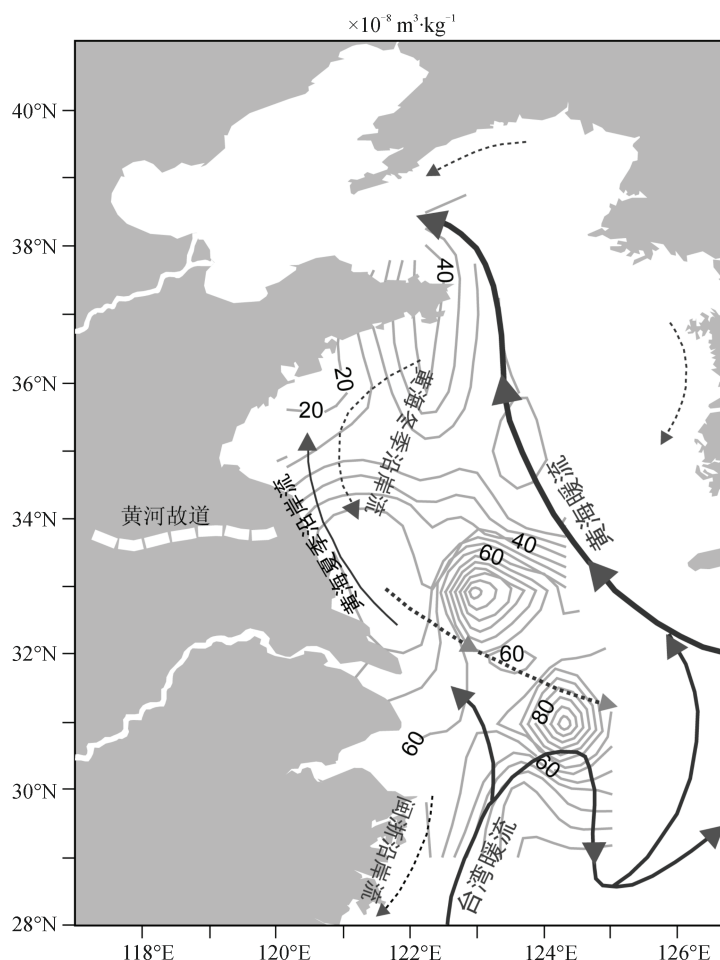


图3 黄东海陆架区表层沉积物磁化率等值线分布

(底图根据 Yuan and Hsueh, 2010)

Fig. 3 Isoline of magnetic susceptibility of the surface sediments on the Yellow Sea and the East China Sea continental shelf (map is modified from Yuan and Hsueh, 2010)

(2) 该区域的磁化率空间分布主要受物源控制,进而受海流和地形等因素影响,主要影响因素随区域出现较大差别;

(3) 特定区域的沉积物磁化率主要受相应物源、沉积动力及至气候影响,因此具有重建沉积物物源及短时间尺度古气候演化历史的潜力。

致谢:本文样品采集得益于中国科学院海洋研究所 2009 年中国近海科学考察开放航次春季和秋季航次,实验过程中受到南京大学鹿化煜老师、戈双文、王晓勇、王先彦的热心帮助,在此衷心感谢。

参考文献

葛淑兰,石学法,韩贻兵. 2001. 南黄海海底沉积物的磁化率特征[J]. *科学通报*, 46(增刊): 34-38.
葛淑兰,石学法,朱日祥,等. 2005. 南黄海 EY02-2 孔磁性

地层及古环境意义[J]. *科学通报*, 50: 2531-2540.

胡守云,王苏民,Appel E,等. 1998. 呼伦湖湖泊沉积物磁化率变化的环境磁学机制[J]. *中国科学(D辑)*, 28: 334-339.

刘健,李绍全,王圣洁,等. 1997. 南黄海东北陆架 YSDP 105 孔冰消期以来沉积层序的磁学特征研究[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 17: 13-24.

刘健,秦华峰,孔祥淮,等. 2007. 黄东海陆架及朝鲜海峡泥质沉积物的磁学特征比较研究[J]. *第四纪研究*, 27: 1031-1039.

吕厚远,韩家懋,吴乃琴,等. 1994. 中国现代土壤磁化率分析及其古气候意义[J]. *中国科学(B辑)*, 24: 1290-1297.

孟庆勇,李安春,徐方建,等. 2009. 东海内陆架 EC2005 孔沉积物磁化率与粒度组分的相关性研究[J]. *科技导报*, 27: 32-36.

孙效功,方明,黄伟. 2000. 黄、东海陆架区悬浮体运输的时空变化规律[J]. *海洋与湖沼*, 31: 581-587.

- 王 建, 刘泽纯, 姜文英, 等. 1996. 磁化率与粒度、矿物的关系及其古环境意义[J]. *地理学报*, 51: 155-163.
- 王利波, 杨作升, 赵晓辉, 等. 2009. 南黄海中部泥质区 YE-2 孔 8.4 ka BP 来的沉积特征[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 29: 1-11.
- 许东禹. 1985. 东海陆架泥质沉积作用[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 5: 17-26.
- 杨守业, 李从先. 1999. 长江与黄河沉积物元素组成及地质背景[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 19: 19-26.
- 俞立中, 许 羽, 许世远, 等. 1995. 太湖沉积物的磁性特征及其环境意义[J]. *湖泊科学*, 7: 141-150.
- 张俊辉, 杨太保, 李永国, 等. 2010. 柴达木盆地察尔汗盐湖 CH0310 钻孔沉积物磁化率及其影响因素分析[J]. *沉积学报*, 28: 790-797.
- 张振克, 吴瑞金, 王苏民. 1998. 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*, 17: 297-302.
- An Z S, Liu T S, Lu Y C, et al. 1990. The long-term paleomonsoon variation recorded by the loess-paleosol sequence in central China [J]. *Quaternary International*, 7-8: 91-95.
- An Z S, Kukla G J, Porter S C, et al. 1991. Magnetic susceptibility evidence of monsoon variation on the Loess Plateau of central China during the last 130,000 years [J]. *Quaternary Research*, 36: 29-36.
- Bloemendal J, deMenocal P. 1989. Evidence for a change in the periodicity of tropical climate cycles at 2.4 Myr from whole-core magnetic susceptibility measurements[J]. *Nature*, 342: 897-900.
- Heller F, Liu T. 1982. Magnetostratigraphical dating of loess deposits in China[J]. *Nature*, 300: 431-433.
- Liu J, Zhu R, Li G. 2003. Rock magnetic properties of the fine-grained sediment on the outer shelf of the East China Sea: implication for provenance [J]. *Marine Geology*, 193: 195-206.
- Liu Q, Deng C, Torrent J, et al. 2007. Review of recent developments in mineral magnetism of the Chinese loess [J]. *Quaternary Science Reviews*, 26: 368-385.
- Liu S, Zhang W, He Q, et al. 2010. Magnetic properties of East China Sea shelf sediments off the Yangtze Estuary: Influence of provenance and particle size [J]. *Geomorphology*, 119: 212-220.
- Maher B A, Thompson R. 1995. Paleorainfall reconstruction from pedogenic magnetic susceptibility variations in the Chinese loess and paleosols [J]. *Quaternary Research*, 44: 383-391.
- Richter C, Hayashida A, Guyodo Y, et al. 1999. Magnetic intensity loss and core diagenesis in long-core samples from the East Cortez Basin and the San Nicolas Basin (California Borderland) [J]. *Earth and Planets Space*, 51: 329-336.
- Thompson R, Oldfield F. 1986. Environmental magnetism [M]. London: Allen and Unwin.
- Wang Y, Dong H, Li G, et al. 2010. Magnetic properties of muddy sediments on the northeastern continental shelves of China: Implication for provenance and transportation [J]. *Marine Geology*, 274: 107-119.
- Wang Y, Yu Z, Li G, et al. 2009. Discrimination in magnetic properties of different-sized sediments from the Changjiang and Huanghe Estuaries of China and its implication for provenance of sediment on the shelf [J]. *Marine Geology*, 260: 121-129.
- Xiang R, Yang Z, Saito Y, et al. 2006. 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*, 49: 604-614.
- Xiao S, Li A, Jiang F, et al. 2005. Recent 2000-year geological records of mud in the inner shelf of the East China Sea and their climatic implications [J]. *Chinese Science Bulletin*, 50: 466-471.
- Xiao S, Li A, Liu J P, et al. 2006. Coherence between solar activity and the East Asian winter monsoon variability in the past 8000 years from Yangtze River-derived mud in the East China Sea [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 237: 293-304.
- Yuan D, Hsueh Y. 2010. Dynamics of the cross-shelf circulation in the Yellow and East China Seas in winter[J]. *Deep-Sea Research II*, 57: 1745-1761.
- Zhou L, Oldfield F, Wintle A G, et al. 1990. Partly pedogenic origin of magnetic variations in Chinese loess[J]. *Nature*, 346: 737-739.