

# 近 8 ka 东亚冬季风变化的东海 内陆架泥质沉积记录

肖尚斌<sup>1,2</sup>, 李安春<sup>1</sup>, 陈木宏<sup>2</sup>, 刘敬圃<sup>3</sup>, 蒋富清<sup>1</sup>

李铁刚<sup>1</sup>, 谢强<sup>2</sup>, 向荣<sup>2</sup>, 陈忠<sup>2</sup>

1. 中国科学院海洋研究所, 山东青岛 266071

2. 中国科学院南海海洋研究所, 广东广州 510301

3. North Carolina State University, Raleigh, NC 27695

**摘要:** 尝试从陆架上寻找全新世高分辨率的东亚季风替代性指标和记录. 通过对位于东海内陆架闽浙沿岸泥中部的PC-6孔进行AMS<sup>14</sup>C年龄测试和粒度分析, 综合沉积构造、沉积层序与海平面变化讨论该孔的沉积环境, 其下、中、上段分别对应于前滨、近滨和与现今环境基本一致的浅海沉积环境. 因上段的沉积作用主要受控于东海冬季沿岸流, 通过粒级—标准偏差分析, 提取了相对应的粒度组分或粒度子体, 该组分的平均粒径被用来作为研究东亚冬季风演化的替代性指标. 分析表明, 由此方法建立的PC-6孔上段粒径时间序列, 较完整地反映了近8 ka来东亚古季风的演化. 东亚冬季风的变化呈现出3个各具特点的阶段: 7.6~5.1 kaB. P. 为中等强度的高频率波动; 5.1~1.7 kaB. P. 以多期、较频繁的强盛活动为特点; 1.7~0 kaB. P. 为稳定而较弱的时期. 由PC-6孔指示的东亚冬季风活动的强盛期, 均在不同区域和材料的记录中找到了相对应降温的证据, 说明气候变化的区域性以至全球性联系.

**关键词:** 东海; 泥质沉积; 东亚冬季风; 沿岸流; 粒度; 全新世.

中图分类号: P53

文章编号: 1000-2383(2005)05-0573-09

收稿日期: 2005-07-01

## Recent 8 ka Mud Records of the East Asian Winter Monsoon from the Inner Shelf of the East China Sea

XIAO Shang-bin<sup>1,2</sup>, LI An-chun<sup>1</sup>, CHEN Mu-hong<sup>2</sup>, LIU Jing-pu<sup>3</sup>, JIANG Fu-qing<sup>1</sup>,  
LI Tie-gang<sup>1</sup>, XIE Qiang<sup>2</sup>, XIANG Rong<sup>2</sup>, CHEN Zhong<sup>2</sup>

1. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China

2. South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China

3. North Carolina State University, Raleigh, NC 27695, USA

**Abstract:** High resolution proxy and record of the Holocene East Asian monsoon is presented based on AMS<sup>14</sup>C dating and grain-size analysis from Core PC-6, located in the middle of the Yangtze River-derived mud off the Zhejiang-Fujian coasts on the inner shelf of the East China Sea (ECS). The sedimentary environments of its upper, middle and lower sections are fore-shore, nearshore and shallow sea, similar to the present. The sedimentation of the upper section is controlled by the ECS Winter Coast Current, and corresponding grain-size subpopulation is identified by using grain-size vs. standard deviation. The mean grain-size of the subpopulation is used as a proxy of the East Asian winter monsoon (EAWM), and a recent 8 ka grain-size time series is established to study the evolution of the EAWM. The series showing 3 characteristic sections of the

**基金项目:** 中国科学院海洋研究所创新基金项目(No. L61022811); 中国科学院王宽诚博士后基金项目(No. 20040921123415); 中国科学院边缘海地质重点实验室开放基金项目(No. MSG10507); 中国科学院南海海洋研究所博士基金项目(No. 50601-65); 中国科学院知识创新工程项目(No. KZCX3-SW-220); 863计划青年基金项目(No. 2004AA616090); 中国博士后科学基金(No. 200537177).

**作者简介:** 肖尚斌(1970-), 男, 博士, 主要从事海洋沉积学研究. E-mail: shangbinx@163.com

EAWM; moderate and high fluctuation frequency during 7.6–5.1 kaB.P.; much strengthened during 5.1–1.7 kaB.P.; and relatively stable and weakened during 1.7–0 kaB.P.. Periods of the strengthened winter monsoon indicated by PC-6 are all corroborated by other proxies in various areas, which show that regional and even global relationships of climate change exist.

**Key words:** the East China Sea; mud; East Asian winter monsoon; coastal current; grain size; Holocene.

为了对未来环境演化进行预测,它们要重建地质历史时期特别是全新世的环境演变历史.我国学者近年致力于中国东中部全新世大暖期气候和环境基本特征(施雅风等,1992)、全新世东亚古季风时空变迁与环境演化(安芷生等,1993;吴锡浩等,1994)等领域研究并取得了巨大进展.

一直以来,黄土的粒度和磁化率被分别作为东亚冬、夏季风的替代指标,在大尺度东亚季风的演化研究中取得众多举世瞩目的重大研究成果(An *et al.*, 1990, 1991).近年来,冰心、泥炭、孢粉、树木年轮、湖泊沉积物、洞穴碳酸盐沉积(主要指滴石)等,被逐步用作高分辨率的中国古气候研究的替代材料与指标,旨在将东亚的大陆、海洋、大气和冰系统作为一个完整的东亚季风环境系统进行整体研究.目前,海洋古环境研究随着取样技术和测年手段的改进取得了长足进步,在南海对东亚夏季风的研究上已达到 20 年级别的分辨率(Wang and Sarnthein, 1999),但是和陆地的代用指标相比,分辨率仍然偏低.东亚冬季风可能是东亚冬—夏季风系统中的主动因子(Ding *et al.*, 1995),它不仅影响东亚地区的环流与天气气候的变化,而且有行星尺度的作用,它使冬季的低纬热源和辐散中心向东运动并通过遥相关影响东太平洋地区和北美的天气气候(Ding, 1996).另一方面,由于东亚冬季风活动最明显的地区是中国大陆东岸和西太平洋到印度尼西亚一带(孙柏民和李崇银,1997),因而在中国边缘海区特别是浅水陆架上寻找有关东亚季风的信息对于恢复其变化历史具有重要的意义.最近,以位于东海内陆架泥质沉积区北部 DD2 孔的沉积物粒度作为替代指标,初步揭示了其中蕴含的近 2 ka 以来高分辨率的古气候信息(Xiao *et al.*, 2005).本文将位于该泥质区中部的 PC-6 孔作为研究对象,进一步探讨近 8 ka 来的东亚冬季风演化.

## 1 材料与方 法

长江年平均输送约  $4.8 \times 10^8$  t 的沉积物,大多堆积在长江口及其周围特别是南侧浅水区.东海沿

岸流路径的一个重要特点是随季节而变化,即在夏季因东南季风盛行流向北,而在冬季由于偏北风盛行而向南运移(秦蕴珊等,1987;胡敦欣和杨作升,2001; Su, 2001)(图 1a).现代东海内陆架闽浙沿岸表层泥质沉积物,即所谓的“东海内陆架泥质沉积物”,主要是来自长江的悬浮体由冬季沿岸流以悬移方式输送而沉积的(孙效功等,2000;肖尚斌和李安春,2005; Liu *et al.*, 2005),这与该海区悬浮体和水团的分布一致(郭志刚等,1999)(图 1b).强盛的东亚冬季风驱使闽浙冬季沿岸流的流速加快,从而使得沉积物的粒度相应地变粗;反之亦然.本文以此为理论基础探讨近 8 ka 来东亚冬季风的演化.

研究所用的 PC-6 孔重力柱状样,为中科院海洋研究所“科学一号”考察船于 1990 年 3 月取得.该柱状样位于闽浙泥质沉积区的中部( $122^{\circ}34.02'E$ ,  $28^{\circ}58.06'N$ ),远离长江口,水深 56.7 m,柱长 7.5 m(图 1).在室内对岩心进行了详细描述和 2 cm 间隔的采样,样品先后用过量的双氧水和盐酸处理.处理后的样品用 Cilas 940L 激光粒度仪测试,测量范围为  $0.3 \sim 2000 \mu m$ ,重复测量的相对误差  $< 3\%$ .年龄数据送美国 Woods Hole 海洋研究所 AMS 年代测试中心测试,原始测年数据利用 CALIB4.3 软件(Stuiver *et al.*, 1998)进行日历年龄校正,结果见表 1.根据沉积速率,估算泥质沉积段底部(即 450 cm;详见下文的沉积环境分析)的年龄约为 7.64 kaB.P..

## 2 沉积环境与年代地层

### 2.1 岩性与沉积环境

根据该孔的岩性、颜色、沉积构造以及沉积物垂向上的叠加方式等特征,将该孔以 450 cm 和 540 cm 为界分为 3 段(图 2):(1)下段(540 cm 以下)以粉砂质砂为主,底部为粉砂质与砂质粉砂的薄互层;从下向上岩性逐渐变粗,粉砂含量减少,粉砂层减薄,而砂质含量逐渐增加,砂层变厚,呈现反粒序沉积旋回,构成一个完整的滨岸沉积旋回.海平面从海侵到达本地开始慢慢上升至 3~5 m,本段为典型的海岸沉积,沉积动力主要为波浪和潮汐;(2)中段(450~

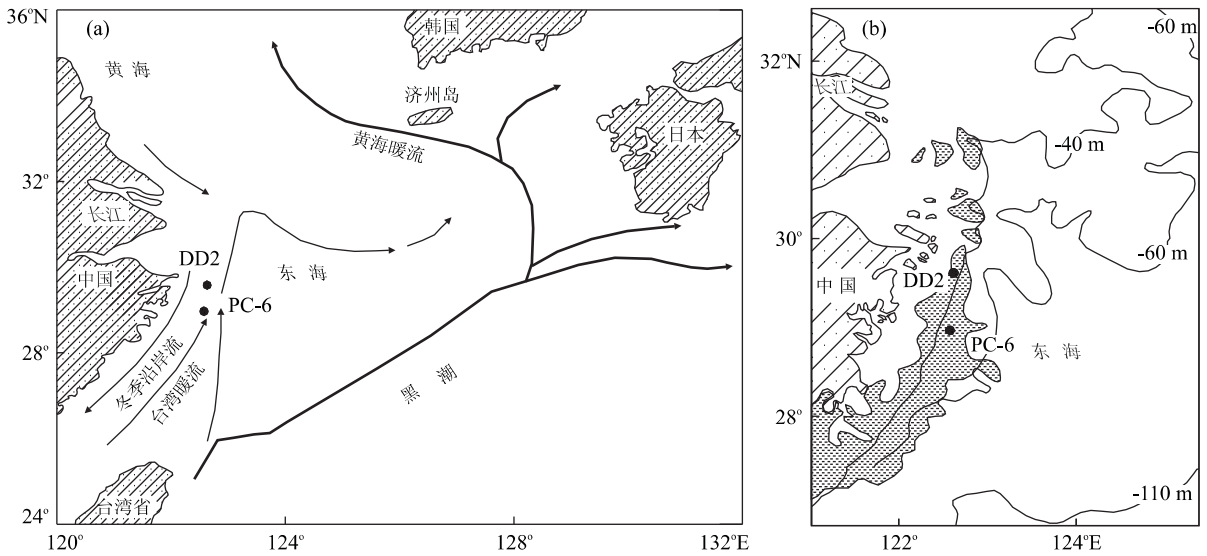


图 1 东海海流(a)与内陆架泥质沉积物分布(b)概图

Fig. 1 Surface currents (a) and distribution of muddy sediments on the inner shelf (b) of the East China Sea  
a. 重绘自秦蕴珊等(1987)、胡敦欣和杨作升(2001)和 Su (2001); b. 重绘自秦蕴珊等(1987)

表 1 PC-6 孔 AMS<sup>14</sup>C 年代数据与样品分辨率

Table 1 AMS<sup>14</sup>C dating age of Core PC-6 and sample resolution

深度/cm	测试材料	<sup>14</sup> C 年龄/aB. P.	日历年龄/aB. P.	层位/cm	沉积速率/(cm · ka <sup>-1</sup> )	样品分辨率/a
74~76		1 830±25	1 357	0~75	53.69	36.76
178~180	混合种底 栖有孔虫	4 860±35	5 213	75~179	26.97	74.15
278~280		6 550±35	7 046	179~279	54.56	36.66
348~350		6 960±35	7 450	279~349	173.27	11.54
428~430		7 140±40	7 602	349~429	540.54	3.7

540 cm)以浅灰、灰褐色砂质粉砂为主,砂质含量明显比下部少,但明显高于上段。下边界为典型的海泛面,海泛面之上海平面快速上升。本段由 2 个向上变细的正粒序构成加积式准层序组,经历了 2 次快速的海平面上升过程,海平面上升幅度分别约为 30 m 和 25 m。随着海平面的迅速上升,水深加大,波浪和潮汐的动力相应减弱,而沿岸流的地位逐渐突出,特别是在第 2 次快速海平面之后,沿岸流成为该区域主要的沉积动力;(3)上段(450 cm 以上)以灰褐色、灰色粘土质粉砂为主,岩性较均一,100 cm 处见砂质粉砂薄夹层;由于近 7.64 kaB. P. 来海平面变化只有约 3~4 m(Liu *et al.*, 2004),其对应的沉积动力条件与沉积环境应该与现今基本一致,即本段为海侵结束后高海平面以来主要受沿岸流控制的浅海沉积。

通过计算 PC-6 孔 450 cm 以上 225 个样品陆源碎屑组分中每个粒级组分标准偏差随粒级组分的变化,分离出对沉积环境敏感的粒级约为 6 μm 和 56 μm,2 个粒度组分的分界线约为 20 μm。细粒组

分(<20 μm)为东海冬季沿岸流携带悬浮体所沉积,而>20 μm 的粗粒组分对应动力条件波浪。

### 2.2 年代地层

AMS<sup>14</sup>C 测年(校正后的日历年龄)与深度关系见图 2。通过分段插值可获得不同深度的年龄序列、沉积速率及分辨率(表 1)。可以看出,该孔的沉积速率变化较大,7~7.64 kaB. P. 沉积速率快,中期沉积速率明显变慢,晚期则又变快。研究表明,由于人类活动的影响,2 ka 以来长江沉积物的年输送量增加了约 1 倍(Li *et al.*, 2000; Hori *et al.*, 2002)。CCM (community climate model) (Winkler and Wang, 1993)古气候模拟则表明,青藏高原的降雨量在约 12 ka 时达到峰值,在 12~6 kaB. P. 之间逐渐减少,而 6 ka 之后急剧减少;而夏季降雨是控制输送古长江沉积物负荷量的主要因素之一。冰后期以来长江入海物质的通量变化与表 1 中 PC-6 孔的沉积速率有较好的对应关系。

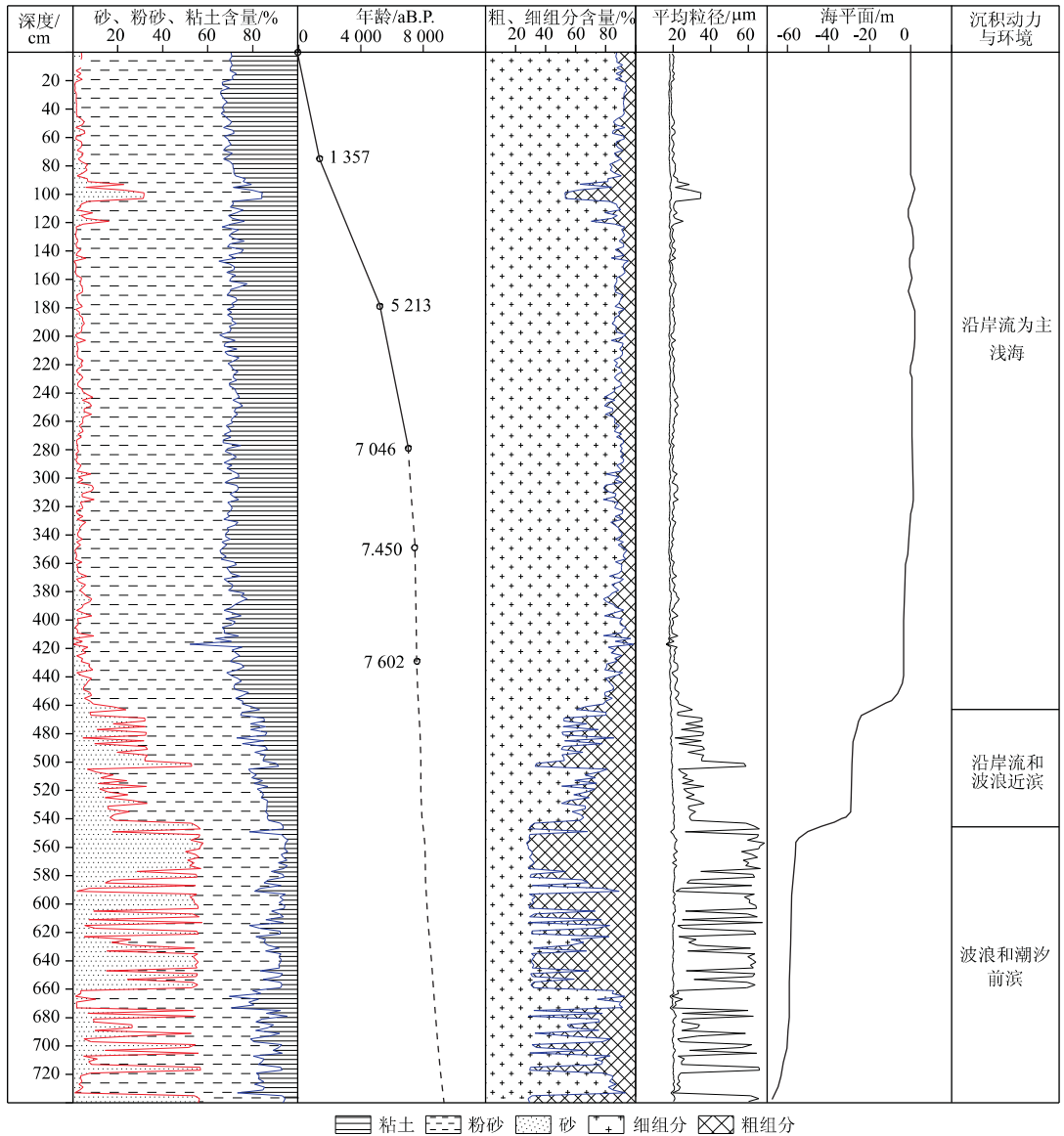


图 2 PC-6 孔岩心粒度、年代地层与沉积动力

Fig. 2 Grain-size, chronology, and sedimentary dynamics analyses of Core PC-6

图中细、粗组分以  $20 \mu\text{m}$  为界线; 平均粒径实线和点划线分别为全粒级和  $<20 \mu\text{m}$  粒级平均; 海平面曲线据 Liu *et al.* (2004); 虚线所示的年龄部分为根据沉积环境及海平面变化曲线推测

### 3 近 8 ka 来的东亚季风演化

图 2 中细、粗组分含量变化曲线指示, 除个别深度外, 450 cm 以上上层粗细 2 个组分的含量变化很小, 细组分的含量一般在 85% 以上, 反映了沉积物沉积时基本为受东海沿岸流控制、相对稳定的沉积动力条件。从图 2 中全粒级平均粒径与  $20 \mu\text{m}$  以下粒级平均粒径的对比可以看出, 对该孔 450 cm 之上的沉积物而言, 除同样的个别深度外, 粗粒组分对平均粒径的影响甚微, 因此本文仅讨论 450 cm 之上

(约 7.64 kaB. P.) 的部分。由于细粒组分为冬季沿岸流以悬浮方式搬运, 本文采用  $20 \mu\text{m}$  以下的细粒级组分的平均粒径作为替代指标, 来反演东亚冬季风的强弱变化。

为方便比较, 对 PC-6 孔 7200 a 之前的粒径采用 3 点平均数据, 并将距平时间序列以阴影图表示 (图 3), 同时还收集了敦德冰心 (施雅风等, 1992)、格陵兰冰心 (Stuiver *et al.*, 1995)、金川泥炭 (洪业汤等, 1997)、红原泥炭 (徐海等, 2002) 氧同位素数据, 后 2 者也以距平形式作图。考虑到分辨率, 对格

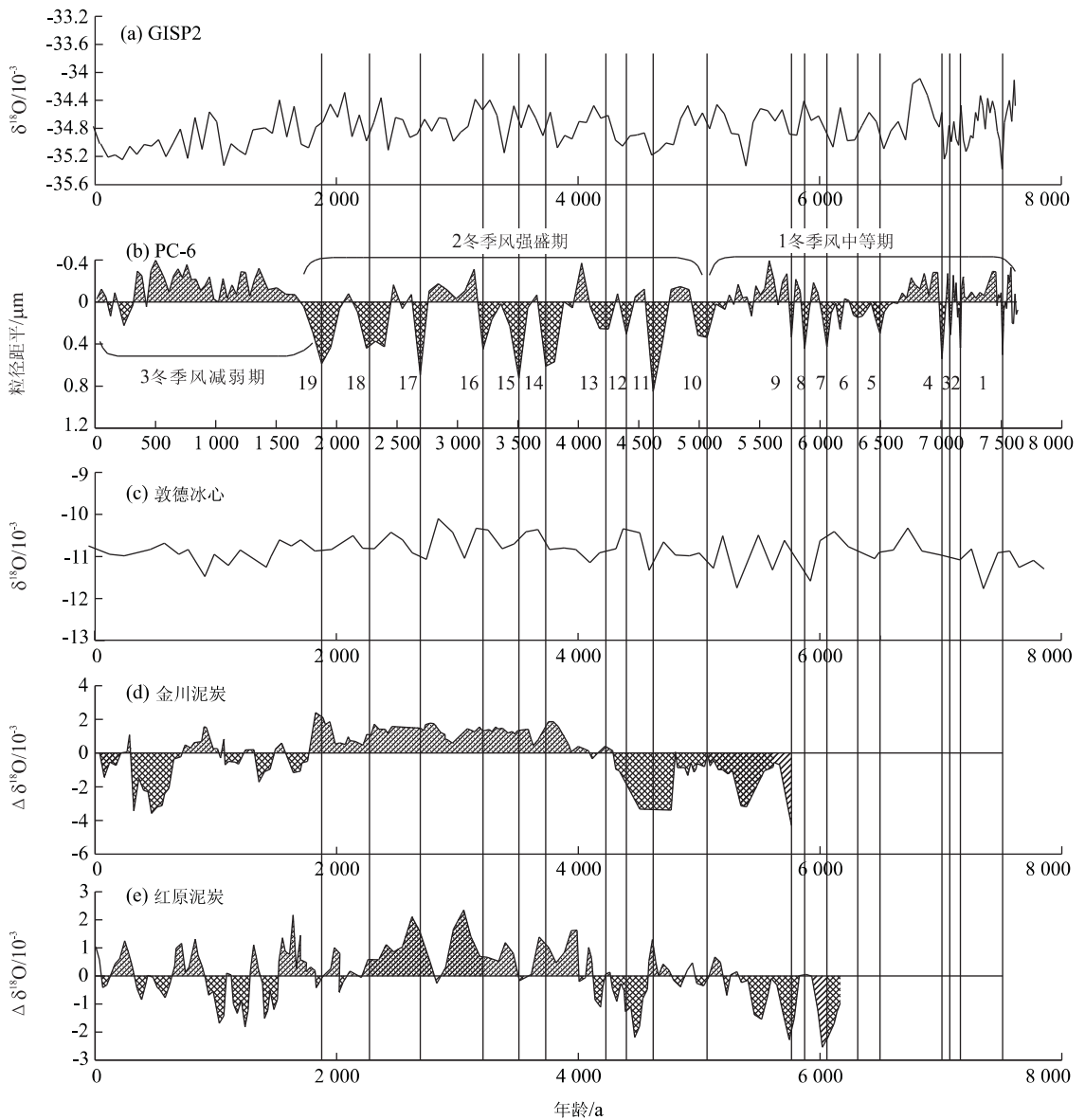


图 3 PC-6 孔粒度序列与其他地区氧同位素序列对比

Fig. 3 Comparison between grain-size time series of PC-6 and various  $\delta^{18}O$  records

陵兰冰心氧同位素数据中 7 ka 之后的部分进行了 3 点平均。

从图 3 可知,1.9~7.6 kaB. P. 以来该孔平均粒径变化所指示的冬季风强盛时期至少有 19 个,分别约为 7 500 (1)、7 170 (2)、7 085 (3)、7 000 (4)、6 500 (5)、6 310 (6)、6 050 (7)、5 880 (8)、5 770 (9)、5 080 (10)、4 610 (11)、4 400 (12)、4 220 (13)、3 720 (14)、3 500 (15)、3 200 (16)、2 700 (17)、2 280 (18)、1 880 (19)a, 尤其以 4 610 aB. P. 处最为强烈。其他代用指标与这些冬季风活动强盛时期的对比见表 2。整体上,该孔所反映的东亚冬季风变化可划分为三大阶段:7.6~5.1 kaB. P. 呈现出中等强

度的高频率波动;5.1~1.7 kaB. P. 以长期持续的强盛为特点;1.7~0 kaB. P. 为稳定而最弱的时期。

### 3.1 7.6~5.1 kaB. P.

冬季风的波动程度中等,无论是从时间还是强度上都与 GISP2 呈现出整体一致变化的特点,而与敦德冰心所指示的气候变化吻合度则较差(图 3)。

在本阶段记录到 6 ka 前后 3 次较强盛的冬季风活动时期,即约 6 050、5 880 和 5 770 a,格陵兰冰心、敦德冰心、金川和红原泥炭  $\delta^{18}O$  均有相对应的降温指示。敦德冰心在 5.9 kaB. P. 为一个显著降温;格陵兰冰心  $\delta^{18}O$  指示 6.03 ka 为与之对应的低温期(Stuiver *et al.*, 1995)。西藏松西湖(Gasse *et al.*,

表 2 PC-6 孔 2~7.6 kaB. P. 的冬季风强盛期与其他代用指标的对比

Table 2 Comparison between periods of the strengthened winter monsoon indicated by PC-6 and other proxies

时间/aB. P.	GISP2	敦德冰心	金川泥炭	红原泥炭
7 500	C			
7 170	C	C		
7 085	C	C		
7 000		C		
6 500	—	—		
6 310	—			
6 050	—			C
5 880	—	C		
5 770	C			C
5 080	—	C	C	C
4 615	C	C	C	
4 400	C		C	C
4 220	—	—		C
3 720	—			
3 500				—
3 200	—			—
2 700	—	C		
2 280	C	—		—
1 880		—		—

C: 相对的冷期; —: 从暖期向冷期过渡时的降温或暖期阶段内的降温。

1991) 沉积物有机质  $\delta^{18}\text{O}$  在距今 6 ka 左右有一次显著下降; 贵州七星洞石笋(蔡演军等, 2001)  $\delta^{18}\text{O}$  在距今 6 ka 也记录一次显著的下降。另外, 在北大西洋浮冰碎屑记录(Bond *et al.*, 1997) 以及阿拉伯海沉积物  $\delta^{18}\text{O}$ (Sirocko *et al.*, 1993) 在 6 ka 前后均记录有相应的降温事件。红原泥炭则是记录了首尾 2 次的低温, 而中间的在这一期却并无明显的响应(徐海等, 2002); 限于取样深度的原因, 金川泥炭仅记录了最近的 1 期(洪业汤等, 1997)。来自东海冲绳海槽的有孔虫分析表明, 同时期冬季海水表层温度明显降低, 尤其北部降温显著(Jian *et al.*, 2000), 很可能就是加强的冬季风造成的。

需要进一步研究的是, 对于全球第 2 新冰期(约 5.6~5.3 ka), PC-6 孔呈现出相反的状况, 冬季风强度几乎减至最弱。与其类似, 该时期冲绳海槽北部不但没有降温, 反而为一段温暖期(Jian *et al.*, 2000)。

### 3.2 5.1~1.7 kaB. P.

以冬季风强盛为显著优势特点, 且持续时间长而稳定; 其中冬季风最强盛的 4 610 a 在格陵兰冰心和金川泥炭  $\delta^{18}\text{O}$  曲线上, 均呈现出近 7.6 ka 以来的

气候最寒冷期。

红原泥炭  $\delta^{18}\text{O}$  记录 4.6~4.2 ka 为一次非常显著的寒冷事件, 该次降温幅度大而且历时较长(徐海等, 2002)。金川泥炭  $\delta^{18}\text{O}$  在 4.6 ka 记录到一次类似事件(洪业汤等, 1997; Hong *et al.*, 2000); 河北太师庄泥炭  $\delta^{18}\text{O}$  记录及孢粉记录表明 4.8~4.2 ka 气候干冷(靳桂云和刘东生, 2001); 松西湖沉积物  $\delta^{18}\text{O}$  在距今 4.3 ka 左右记录了一次较大的下降(Gasse *et al.*, 1991); 格陵兰冰心  $\delta^{18}\text{O}$  记录表明 4.7~4.3 ka 间存在一次幅度大而且历时长的降温事件(Stuiver *et al.*, 1995)。欧洲阿尔卑斯地区(Baroni and Orom, 1996) 在 4.8~4.5 ka 期间存在一次很明显的降温, 期间撒哈拉淡水湖全部干涸, 撒哈拉文明结束。PC-6 孔清晰地显示, 本次降温过程由冬季风最强盛约 4 610 a 和稍弱的约 4 400、4 220 a 三期构成。最新的石笋研究表明, 4.75 ka 存在气候变冷事件, 夏季风减弱(覃嘉铭等, 2004); 青海湖沉积物多指标的高分辨率古气候记录也揭示, 4.5 ka 左右气候总体向冷干方向发展(沈吉等, 2004)。寒冷的气候导致美索布达米亚北部定居点被遗弃, 南部 Akkadian 帝国崩溃; 印度河流域及埃及古文明也几乎在同一时期发生崩溃(Weiss *et al.*, 1993; 许靖华, 1998)。

PC-6 孔记录的约 3.5 ka 的强盛东亚冬季风也存在全球性的降温记录与之对应。红原泥炭在  $\delta^{18}\text{O}$  在 3.6~3.5 ka 间记录到一次降温(徐海等, 2002), 该事件在金川泥炭  $\delta^{18}\text{O}$  记录中也有较大表现(洪业汤等, 1997; Hong *et al.*, 2000)。敦德冰心(施雅风等, 1992) 和格陵兰冰心(Stuiver *et al.*, 1995)  $\delta^{18}\text{O}$  均在 3.4 ka 左右记录到该次降温。北美洞穴方解石碳氧同位素记录表明在距今 3.6 ka 气温下降了大约 4 °C(Dorale *et al.*, 1992)。

红原泥炭在约 2.9~2.7 ka 之间存在一次大幅度的降温(徐海等, 2002)。该次降温在金川泥炭  $\delta^{18}\text{O}$  (洪业汤等, 1997; Hong *et al.*, 2000) 记录中也有表现, 但是其降温强度要小于红原泥炭的记录。敦德冰心(施雅风等, 1992)  $\delta^{18}\text{O}$  记录在 2.8~2.7 ka 期间也有很大的下降幅度。从中国历史文献总结出来的气候变化情况也表明 850~800 a(2.8~2.75 ka) 气候异常干冷(侯甬坚和祝一志, 2000)。这起降温事件不仅在中国有较充分的表现, 在世界许多地方诸如欧洲、北美、南美、新西兰、日本、加勒比海以及热带非洲等都有该降温事件的证据(Van *et al.*, 1996)。这起降温

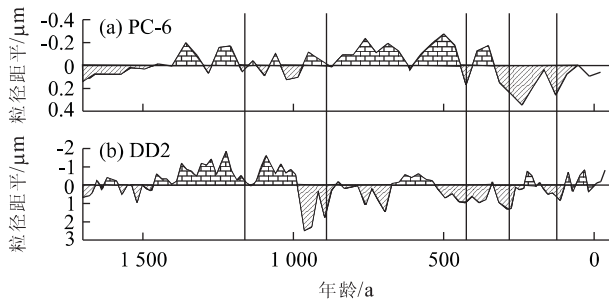


图 4 PC-6 孔(a)和 DD2 孔(b)粒度序列的对比

Fig. 4 Comparison between grain-size time series of PC-6 (a) and DD2 (b)

事件对应于 PC-6 孔中的约 2.7 ka 的沉积物粒度变粗。

在西太平洋海区,冲绳海槽在 4.6~2.7 ka 之间出现 *Pulleniatina obliquiloculata* 低值事件,亦被认为是冬季风加强的响应(Jian *et al.*, 2000)。

对于 2 ka 前后东亚冬季风的 2 次强盛爆发,即约 2 280 和 1 880 a,格陵兰冰心和敦德冰心以及红原泥炭  $\delta^{18}\text{O}$  在同时期均表现为大幅度的降低。金川泥炭  $\delta^{18}\text{O}$  的降低变化与前一期在时间上几乎一致,而后一期在时间上滞后约 50 a。

### 3.3 1.7~0 kaB. P.

早先 DD2 孔分析结果所揭示此阶段的冬季风演化要比 PC-6 孔的分辨率高,图 4 为 2 孔近 1.7 ka 平均粒径的距平对比。可以看出,对应于隋唐温暖期中的冷期、约 1 060 AD 的降温以及小冰期,PC-6 孔同样有明显的反映。

## 4 结论

(1)东海内陆架泥质沉积物粒度较完整地记录了近 8 ka 来东亚古季风的演化。在 7.6~1.7 kaB. P. 期间记录到 19 次冬季风增强事件,它们与高分辨率的格陵兰冰心氧同位素曲线指示的降温事件具有极好的对应关系,且大多在不同地区有程度不同的响应,说明了气候变化的全球性。(2)根据 PC-6 孔的粒度记录,东亚冬季风在近 8 ka 以来的变化可划分为三大阶段,7.6~5.1 ka 为中等强度的高频率波动,5.1~1.7 ka 呈现强盛的多期活动,1.7 kaB. P. 以来稳定而弱。(3)4 610 a 期间为距今 8 ka 以来冬季风活动最强烈时期,它对中国古文明的演化产生过重大的影响。

致谢:中国科学院海洋研究所胡敦欣院士给予

物理海洋学相关背景知识的指导,特此致谢!

## References

An, Z. S., Liu, T. S., Lu, Y., et al., 1990. The long-term paleomonsoon variation recorded by the loess aleosol sequence in central China. *Quaternary International*, 7-8: 91-95.

An, Z. S., Kukla, G., 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. *Quaternary Research*, 36: 29-36.

An, Z. S., Porter, S. C., Wu, X. H., et al., 1993. The Holocene optimum in the middle and east China and the variation of East Asian summer monsoon. *Chinese Science Bulletin*, 38(14): 1302-1305 (in Chinese).

Baroni, C., Orom, B. G., 1996. The Alpine "Ice man" and Holocene climate change. *Quaternary Research*, 46(1): 78-83.

Bond, G., Showers, W., Cheseby, M., et al., 1997. A pervasive millennial-scale cycle in north Atlantic Holocene and glacial climates. *Science*, 278: 1257-1266.

Cai, Y. J., Peng, Z. C., An, Z. S., et al., 2001. The oxygen isotope record of the Holocene talagmite in the Qixing cave of Guizhou Province and its significance of monsoon climatic variation. *Chinese Science Bulletin*, 46(16): 1398-1401 (in Chinese).

Ding, Y. H., 1996. Study on the test of the South China Sea monsoon and the East China monsoon. The leading edge and prospect of modern atmospheric science, China Meteorological Press, Beijing, 43-46.

Ding, Z. L., Liu, T. S., Rutter, N. W., et al., 1995. Ice-volume forcing of East Asian winter monsoon variation in the past 800 000 years. *Quaternary Research*, 44: 149-158.

Dorale, J. A., Gonzalez, L. A., Reagan, M. K., et al., 1992. A high-resolution record of Holocene climate change in speleothem calcite from Cold Water Cave, Northeast Iowa. *Science*, 258: 1626-1630.

Gasse, F., Arnold, M., Fontes, J. C., et al., 1991. A 13 000-year climate record from western Tibet. *Nature*, 353: 742-745.

Guo, Z. G., Yang, Z. S., Lei, K., et al., 1999. Seasonal variation of the sedimentary dynamic processes for the mud area in the northern East China Sea. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 29(3): 507-513 (in Chinese with English abstract).

Hong, Y. T., Jiang, H. B., Liu, T. S., et al., 2000. Response of climate to solar forcing recorded in a 6 000-year  $\delta^{18}\text{O}$

- time series of Chinese peat cellulose. *The Holocene*, 10 (1): 1–7.
- Hong, Y. T., Jiang, H. B., Tao, F. X., et al., 1997. The oxygen isotope record of turf in Jinchuan during the last 5 ka. *Science in China (Series D)*, 27(6): 525–530 (in Chinese with English abstract).
- Hori, K., Saito, Y., Zhao, Q., et al., 2002. Evolution of the coastal depositional systems of the Changjiang (Yangtze) River in response to late Pleistocene-Holocene sea-level changes. *Journal of Sedimentary Research*, 72 (6): 884–897.
- Hou, Y. J., Zhu, Y. Z., 2000. Important climatic events showed by history records from middle and lower reach plain of the Yellow River during 5–2.7 ka and their environmental significance. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 20(4): 23–29 (in Chinese with English abstract).
- Hu, D. X., Yang, Z. S., 2001. The key process of ocean flux in the East China Sea. Ocean Press, Beijing, 3–13 (in Chinese).
- Jian, Z., Wang, P., Saito, Y., et al., 2000. Holocene variability of the Kuroshio current trough, northwestern Pacific ocean. *Earth and Planetary Science Letters*, 184(1): 305–319.
- Jin, G. Y., Liu, D. S., 2001. Mid-Holocene cooling climatic events and the variation of ancient civilization in the north of North China. *Chinese Science Bulletin*, 46 (20): 1725–1730 (in Chinese).
- Li, C., Chen, Q., Zhang, J., et al., 2000. Stratigraphy and paleoenvironmental changes in the Yangtze Delta during the Late Quaternary. *Journal of Asian Earth Sciences*, 18(4): 453–469.
- Liu, J. P., Milliman, J. D., Gao, S., et al., 2004. Holocene development of the Yellow River's subaqueous delta, North Yellow Sea. *Marine Geology*, 209: 45–67.
- Liu, J. P., Xu, K. H., Li, A. C., et al., 2005. Flux and fate of Yangtze River sediment delivered to the East China Sea. *Geomorphology* (in press).
- Qin, Y. S., Zhao, Y. Y., Chen, L. R., et al., 1987. Geology in the East China Sea. Science Press, Beijing, 7 (in Chinese).
- Shen, J., Liu, X. Q., Matsumoto, R., et al., 2004. High-resolution climate change indicated by multi-proxies in sediment of Qinghai Lake since the late glaciation. *Science in China (Series D)*, 34(6): 582–589 (in Chinese with English abstract).
- Shi, Y. F., Kong, Z. C., Wang, S. M., et al., 1992. The climate pulse and significant events during the Holocene optimum. *Science in China (Series B)*, 22(12): 1300–1308 (in Chinese).
- Sirocko, F., Sarnthein, P., Erlenkeuser, H., 1993. Century-scale events in monsoonal climate over the past 24 000 years. *Nature*, 364: 322–324.
- Stuiver, M., Burr, G. S., Hughen, K. A., et al., 1998. INTCAL98 radiocarbon age calibration, 24 000–0 cal aB. P. *Radiocarbon*, 40(3): 1041–1083.
- Stuiver, M., Grootes, P. M., Braziunas, T. F., 1995. The GISP2  $\delta^{18}\text{O}$  climate record of the past 16 500 years and the role of the sun, ocean and volcanoes. *Quaternary Research*, 44: 341–354.
- Su, J. L., 2001. A review of circulation dynamics of the coastal oceans near China. *Acta Oceanologica Sinica*, 23(4): 1–16.
- Sun, B. M., Li, C. Y., 1997. The harass of the East Asian air groove and its relation to the tropic convection activity. *Chinese Science Bulletin*, 42(5): 500–504 (in Chinese).
- Sun, X. G., Fang, M., Huang, W., 2000. Spatial and temporal variations in suspended particulate matter transport on the Yellow and East China Sea shelf. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 31(6): 581–587 (in Chinese with English abstract).
- Tan, J. M., Yuan, D. X., Cheng, H., et al., 2004. The rapid change climatic events during the Younger Dryas and the early and middle Holocene: Oxygen isotope record of talagmite in Maolan of Guizhou Province. *Science in China (Series D)*, 34(1): 39–74 (in Chinese with English abstract).
- Van, G. B., Buurman, J., Waterbolk, H. T., 1996. Archaeological and palaeoecological indications of an abrupt climate change in the Netherlands, and evidence for climatological teleconnections around 2 650 aB. P. *Journal of Quaternary Science*, 11(6): 451–460.
- Wang, L., Sarnthein, M., 1999. Holocene variations in Asian monsoon moisture: A bidecadal sediment record from the South China Sea. *Geophysical Research Letters*, 26 (18): 2889–2892.
- Weiss, H., Courty, M. A., Wetterstrom, W., et al., 1993. The genesis and collapse of third-millennium north Mesopotamian civilization. *Science*, 261: 955.
- Winkler, M. G., Wang, P. K., 1993. The Late Quaternary vegetation and climate of China. In: Wright, H. E., Jr. et al., eds., *Global climates since the last glacial maximum*. University of Minnesota Press, Minnesota, 221–



264.

- Wu, X. H., An, Z. S., Wang, S. M., et al., 1994. The temporal and spatial variation of East Asian summer monsoon in Holocene optimum in China. *Quaternary Sciences*, (1): 24–37 (in Chinese with English abstract).
- Xiao, S. B., Li, A. C., Jiang, F. Q., et al., 2005. Recent 2 000-year geological records of mud in the inner shelf of the East China Sea and their climatic implications. *Chinese Science Bulletin*, 50(1): 1–6.
- Xiao, S. B., Li, A. C., 2005. Grain-size populations with environmentally sensitive sediment component in the inter shelf of the East China Sea. *Acta Sedimentologica Sinica*, 23(1): 122–129 (in Chinese with English abstract).
- Xu, H., Hong, Y. T., Lin, Q. H., et al., 2002. The temperature change during the last 6 ka indicated by oxygen isotope record in turf fibrin of Hongyuan. *Chinese Science Bulletin*, 47(15): 1181–1186 (in Chinese).
- Xu, J. H., 1998. Sun, climate, famine and the large-scale national migration. *Science in China (Series D)*, 28(4): 367–384 (in Chinese with English abstract).
- 附中文参考文献**
- 安芷生, Porter, S. C., 吴锡浩, 等, 1993. 中国中、东部全新世气候适宜期与东亚夏季风变迁. *科学通报*, 38(14): 1302–1305.
- 蔡演军, 彭子成, 安芷生, 等, 2001. 贵州七星洞全新世石笋的氧同位素记录及其指示的季风气候变化. *科学通报*, 46(16): 1398–1401.
- 郭志刚, 杨作升, 雷坤, 等, 1999. 东海陆架北部泥质区沉积动力过程的季节性变化. *青岛海洋大学学报*, 29(3): 507–513.
- 洪业汤, 姜洪波, 陶发祥, 等, 1997. 近5 ka 温度的金川泥炭  $\delta^{18}\text{O}$  记录. *中国科学(D辑)*, 27(6): 525–530.
- 侯甬坚, 祝一志, 2000. 历史记录提取的近5~2.7 ka 黄河中下游平原重要气候事件及其环境意义. *海洋地质与第四纪地质*, 20(4): 23–29.
- 胡敦欣, 杨作升, 2001. 东海海洋通量关键过程. 北京: 海洋出版社, 3–13.
- 靳桂云, 刘东生, 2001. 华北北部中全新世降温气候事件与古文化变迁. *科学通报*, 46(20): 1725–1730.
- 秦蕴珊, 赵一阳, 陈丽蓉, 等, 1987. 东海地质. 北京: 科学出版社, 7.
- 沈吉, 刘兴起, Matsumoto, R., 等, 2004. 晚冰期以来青海湖沉积物多指标高分辨率的古气候演化. *中国科学(D辑)*, 34(6): 582–589.
- 施雅风, 孔昭宸, 王苏民, 等, 1992. 中国全新世大暖期的气候波动与重要事件. *中国科学(B辑)*, 22(12): 1300–1308.
- 孙柏民, 李崇银, 1997. 冬季东亚大槽的扰动与热带对流活动的关系. *科学通报*, 42(5): 500–504.
- 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. *海洋与湖沼*, 31(6): 581–587.
- 覃嘉铭, 袁道先, 程海, 等, 2004. 新仙女木及全新世早中期气候突变事件: 贵州茂兰石笋氧同位素记录. *中国科学(D辑)*, 34(1): 39–74.
- 吴锡浩, 安芷生, 王苏民, 等, 1994. 中国全新世气候适宜期东亚夏季风时空变迁. *第四纪研究*, (1): 24–37.
- 肖尚斌, 李安春, 2005. 东海内陆架泥区沉积物的环境敏感粒度组分. *沉积学报*, 23(1): 122–129.
- 徐海, 洪业汤, 林庆华, 等, 2002. 红原泥炭纤维素氧同位素指示的距今6 ka 温度变化. *科学通报*, 47(15): 1181–1186.
- 许靖华, 1998. 太阳、气候、饥荒与民族大迁移. *中国科学(D辑)*, 28(4): 367–384.