

南海南部 120 ka 以来元素地球化学记录的东亚夏季风变迁

梅 西^{1,2,3}, 张训华², 郑洪波⁴, 刘 锐², 谢 昕⁵, 黄恩清⁵

1. 中国科学院 海洋研究所, 山东 青岛 266071; 2. 国土资源部 海洋油气资源与环境地质重点实验室, 山东 青岛 266071; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 4. 南京大学 地球科学系 表生地球化学研究所, 南京 210093; 5. 同济大学 海洋地质国家重点实验室, 上海 200092

摘 要: 利用 XRF 岩芯元素扫描仪对南海南部 MD05 2896 孔岩芯样品进行 1 cm 间隔的元素测试。该孔底部年龄约为 120 ka。研究表明, 南海南部间冰期夏季风活动增强, 上升流发育; 夏季风和降雨带来的陆源有机物输入增加, 提高了表层的生产力; 冰期夏季风减弱, 陆源有机物输入减少, 表层生产力降低。海洋表层生产力在 MIS3 早期(60~40 ka)较高, 指示该时有特强的夏季风, 上升流作用增强。Ba/Ti 值表明东亚夏季风的强弱变化, 并与北半球夏季日射量基本呈线性关系, 体现了东亚夏季风演化的天文驱动机制。

关 键 词: 南海南部; 晚第四纪; 元素地球化学; 东亚夏季风; 生产力

中图分类号: X142 文献标识码: A 文章编号: 1007-2802(2010)02-0134-08

Element Geochemistry Record in Southern South China Sea Sediments during the Past 120 ka and Its Implications for East Asian Summer Monsoon Variation

MEI Xi^{1,2,3}, ZHANG Xun-hua², ZHENG Hong-bo⁴, LIU Rui², XIE Xin⁵, HUANG En-qing⁵

1. *Institute of Oceanology, Chinese Academy Sciences, Qingdao 266071, China;* 2. *Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resources and Environmental Geology, Ministry of Land and Resources, Qingdao 266071, China;* 3. *Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;* 4. *Institute of Surficial Geochemistry, State Key Laboratory of Mineral Deposit Research, Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China;* 5. *State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092, China*

Abstract: Element contents in every 1cm interval of the sediment core MD05-2896, which was collected in the southern area of South China Sea, were analyzed by XRF Core Scanner. The results indicated that the age of the bottom sediment was 120 ka, and elementary ratios are of significant indications in this core. The content of Ti can be used as an indicator for the variation of terrigenous debris contents; the ratio of Ba/Ti indicates the paleoproductivity change in the surface layer of the sea. It is showed that, during the interglacial period, the summer monsoon was intensified and upstream was developed, meanwhile, the terrigenous organic matter input brought by summer monsoon and rainfall was increased accordingly, which caused the increasing of surface productivity; during the glacial period, summer monsoon was weakened, the terrigenous organic matter input was decreased, therefore, the productivity in the surface layer was correspondingly decreased. Productivity in the surface layer was relatively high during early MIS3 (60~40 ka) revealed extremely strong summer monsoon and enhancement of the upstream effect. The approximate linear correlation between the intensity variation of East Asia Summer Monsoon evolution, which could be indicated by the ratio of Ba/Ti, and summer insolation of the north hemisphere reveals the astronomical driving mechanism for the East Asia Summer Monsoon evolution.

Key words: southern South China Sea; Late Quaternary; element geochemistry; East Asia summer monsoon; productivity

收稿日期: 2009-11-23 收到, 2010-01-18 改回

基金项目: 国家自然科学基金(40676033); 国家重点基础研究计划(2007CB815906); 创新研究群体科学基金(40621063)

第一作者简介: 梅西(1981—), 男, 博士生, 专业方向: 海洋沉积与古海洋学, E-mail: meassy@gmail.com.

作为亚洲大陆和西太平洋之间的半封闭海盆,南海保存有连续的深海沉积物,其中以陆源碎屑物质最多^[1],主要是陆壳在冬、夏季风交替控制下风化作用的产物,由河流或风搬运至南海沉积^[2~5]而成。暖、湿的夏季风使陆壳化学风化增强,降雨量的增大提高了河流的搬运能力;干、冷的冬季风使陆壳物理风化增强,也增强了风的搬运能力^[6,7]。随着冰期/间冰期旋回的变化和纬度的改变,冬、夏季风的强弱和对陆地影响的变化,导致不同地区陆壳的母岩发生不同类型、不同程度的风化作用,并被搬运至边缘海沉积。这些过程都会在陆源沉积物的某些元素或同位素上有所反映^[2,8]。因此,用元素地球化学研究沉积物,有助于辨别陆源物质源区,探讨季风气候下的风化作用类型、强度,了解搬运介质及其搬运能力的变化,揭示冬、夏季风的变迁。冬、夏季风还会影响海洋上升流和陆源营养物质的输入,导致古海洋生产力的变化,并在海洋沉积物中记录了某些微营养元素(如 Ba、P、Cd 等)的成分变化^[9]。由此可获取大陆风化、河流或风力搬运变化,以及古海洋生产力变化等信息,揭示冬、夏季风的演化规律。

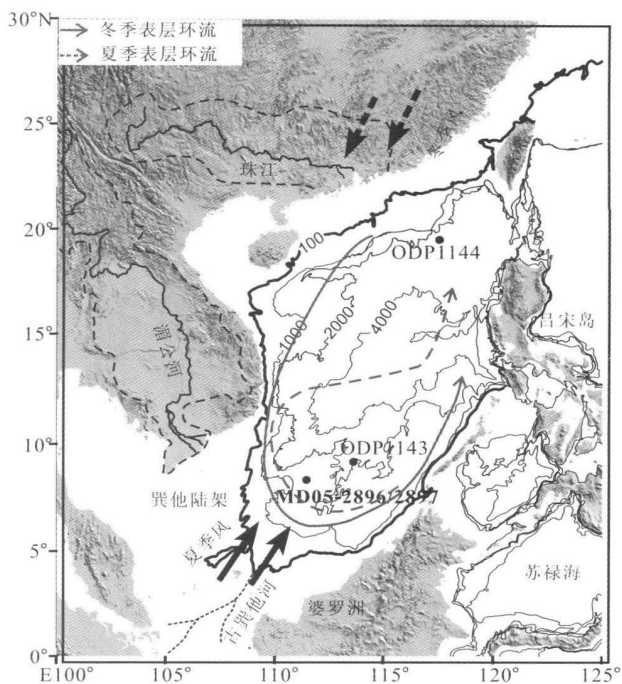
元素地球化学方法已成功地揭示了黄土中的东亚季风变迁^[10~13],以及印度洋、大西洋等海区深海沉积物的季风变迁^[14~17]。前人工作多集中于南海北部,并获取了气候替代性指标(如粘土矿物)的参考性、对比性数据^[2~5,18~20]。如南海北部 1144 站岩芯主量、微量元素研究^[2],反映了冰期/间冰期旋回,指示陆源区在冰期有较弱的化学风化和间冰期较强的化学风化。南海北部 1145 站岩芯的研究表明,K/Si 和 Ba/Al 分别可指示夏、冬季风的变迁^[4]。

但南海南部和西部更多地受到夏季风的影响^[5,20]。南海西部越南岸外有上升流,古生产力变化幅度大^[21]。因此须在南海南部建立可靠的地球化学指标,深入研究夏季风的变迁。

本研究用 XRF 岩芯元素扫描仪研究南海南部 MD05-2896 孔柱状沉积物的高分辨率元素地球化学,探讨了东亚夏季风的变迁和海洋古生产力的变化。

1 材料和方法

南海南部 MD05-2896 孔处于西太平洋暖池内,适合进行低纬热带地区气候变化的研究。地理坐标为 08°49.05'N, 111°26.47'E(图 1)。水深 1657 m,岩芯长 11.03 m。钻孔主要由均一的灰色—绿色粘土组成,无明显浊流沉积;沉积序列相对连续且未受扰动。样品采集和物理参数见文献[22]。



实线黑箭头示夏季风,虚线黑箭头示冬季风;灰色虚线箭头示夏季表层环流,灰色实线箭头示冬季表层环流。100 m 等深线为冰期时海岸线的大致位置;图中还标出了珠江、红河、湄公河流域和其他有关钻孔位置

Gray solid (dashed) arrows indicate the surface circulation currents in winter (summer). The drainage area of Pearl River, Red River and Mekong River, and locations of some other cores mentioned in the paper are also displayed

图 1 MD05-2897 孔的位置

Fig. 1 Location of Core MD05-2897. Black solid (dashed) arrows indicate summer (winter) monsoon

测量仪器为 AVAATECH 公司的 XRF 岩芯元素扫描仪(XRF Core Scanner)。有效分辨率为 0.5 cm,以 counts(计数器的记数)为含量单位(cps)。该仪器测试质量高^[23~28],能获取热带海区沉积物中快速气候变化信息^[23,26]。本研究采用合适的模型提取元素。采用的电压为 10、30 和 50 kV;分别用来测试三组元素:①Al、Si、P、S、Cl、K、Ca、Ti、Cr、Mn、Fe、Rh;②Cu、Zn、Br、Rb、Sr、Y、Zr、Nb、Mo、Pb 和 Bi;③Ag、Sn、Te 和 Ba。测量分辨率为 1 cm,有效数据点共 1082 个。由于各种因素的影响,部分元素的含量可能误差较大,不能用作古气候变迁指标。剔除平均含量小于 1000 cps 的元素(P、S、Cr、Co、Zn、Br、Rb、Y、Pb、Sn 和 Te)。另外,Cl 含量较高,可能是由贴近薄膜部位的表层样品含海水量较高所致,也予以剔除。

2 年代框架的建立

MD05-2896 孔与 MD05-2897 孔位于同一站

位, 分别为方柱状样和圆柱状样。前者柱长 11.03 m。MD05-2896 孔缺乏氧同位素数据, 但由 XRF 测定的 Ca 含量与 MD05-2897 实测 CaCO_3 的含量对比良好; MD05-2897 孔的年龄已通过氧同位素曲线与天文调谐的 SPECMAP^[29] 曲线进行形态对比, 选取了时间控制点^[30]。通过 MD05-2896 孔的 Ca 相对含量与 MD05-2897 的 CaCO_3 含量对比(图 2), 结合 MD05-2896 上部 6 个 AMS¹⁴C 测年(黄恩清未发表数据, 位置见图 2), 获得 MD05-2896 孔的年龄, 底部年龄选取控制点后根据沉积速率插值获得, 底部年龄约 120 ka。南海南部 1143 站 CaCO_3 含量和堆积速率领先于氧同位素变化^[31], MD05-2897 孔也与其一致, MIS5e 峰值对应为 125 ka; MD05-2896 Ca 曲线形态确定的底部年龄为 120 ka, 距离峰值年龄仅 5 ka, 应该是可信的。

3 结果与讨论

3.1 元素分析结果和东亚夏季风代用性指标

海洋沉积物的物质来源为陆源物质和生源物质。前者包括河流携带物质的沉积、海流对沉积物

的改造和风携尘埃的沉降等; 或者来自生物生长和死亡产物, 如生物死亡后壳体的沉积和生物产生的有机质的沉降。本次主要讨论沉积物中含量相对较高的 Ca、Ba、Ti 三种元素(图 3)。亚洲大陆及周边岛屿有十多条水系注入南海, 包括径流量较大的湄公河、珠江和红河等。它们的流域面积广, 处于季风区和构造上升区, 风化剥蚀作用强烈, 每年向南海输送大量的物质。成为南海沉积物的主要来源。深海钻孔调查表明, 全新世和末次冰期的沉积物中, 陆源物质分别占了 86% 和 93%^[32]。

此外, 冰期时南海的平均沉积速率为冰后期的两倍, 主要是因为陆源输入物增加了两倍, 而生源碳酸盐通量在冰期旋回中几乎没有什么改变。这种现象在南海南部尤为突出, 冰期时沉积速率可以达到全新世时的 3 倍^[33]。一种显而易见的解释是: 冰期时海平面下降, 大陆架遭受强烈风化剥蚀, 古河系可将大量陆源物质直接输入南海深水区^[34]。

图 3 显示 MD05-2896 孔 Ti 相对含量表现为冰期间冰期的旋回特征。在氧同位素 1、2 期呈现低值, 到 4 期时为相对高值, 氧同位素 3、5 期值介于前两者之间。Ti 含量的变化与陆源碎屑含量紧密相关, 可以大致代表陆源碎屑含量的变化。在以往的研究中也是用 Ti 含量来指示陆源碎屑物的含量的^[9]。为更好地与 Ti 相对含量对比, 本文用总含量去除碳酸钙和有机碳的百分含量的计算方法, 估算了同一站位 MD05-2897 孔陆源碎屑物质的百分含量, 碳酸钙和有机碳数据见文献[35]。

Ti 的相对含量与陆源碎屑物质的百分含量有较好的对应关系(图 3), 说明 Ti 含量与陆源碎屑物质含量高度相关。

Ca 的相对含量与氧同位素曲线对比良好, 呈现较明显的冰期间冰期旋回的周期性, 总体表现为冰期早期低、冰消期高和间冰期整体较高的特点。Ba 的变化在冰期间冰期旋回尺度上与 Ca 相似, 只是 Ca 的变化非常平滑, Ba 呈现高频的变化(图 3)。

MD05-2896 孔 Ca 含量曲线与 SPECMAP 及各大洋的对比良好; 形态上基本与底栖有孔虫氧同位素曲线平行(图 2), 即 Ca 高值对应氧同位素轻值, 呈典型的“大西洋型”分布模式。此结果与前人研究一致, 即在碳酸盐溶解面以上, 无论是南海南部还是北部, 均呈冰期时碳酸盐含量低、间冰期碳酸盐含量高的特点, 主要受陆源物质稀释作用控制^[33, 36, 37]。

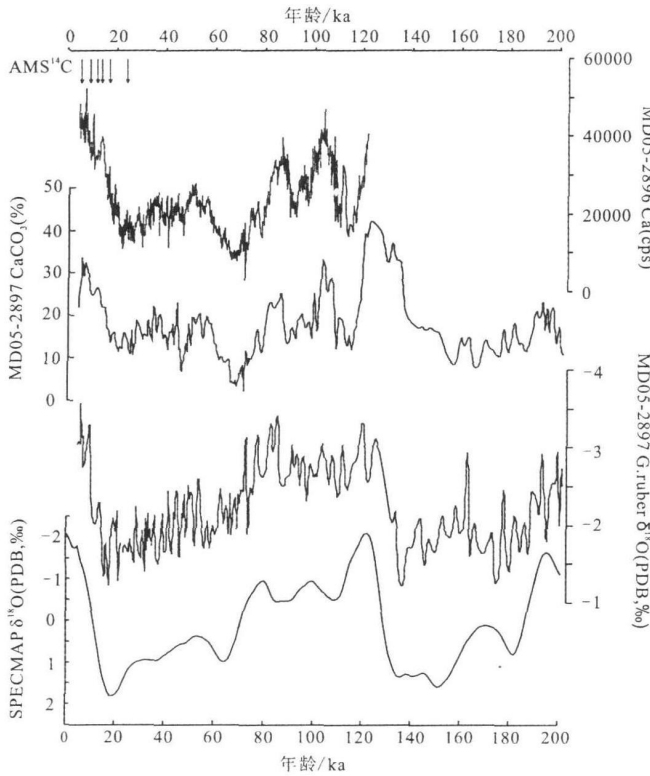


图 2 MD05-2896 孔 Ca 曲线与 MD05-2897 孔 CaCO_3 含量、氧同位素曲线^[30] 和 SPECMAP 曲线对比
Fig.2 Comparison figure of Ca contents at core MD05-2896, planktonic foraminifera $\delta^{18}\text{O}$, carbonate contents at core MD05-2897 and SPECMAP curve

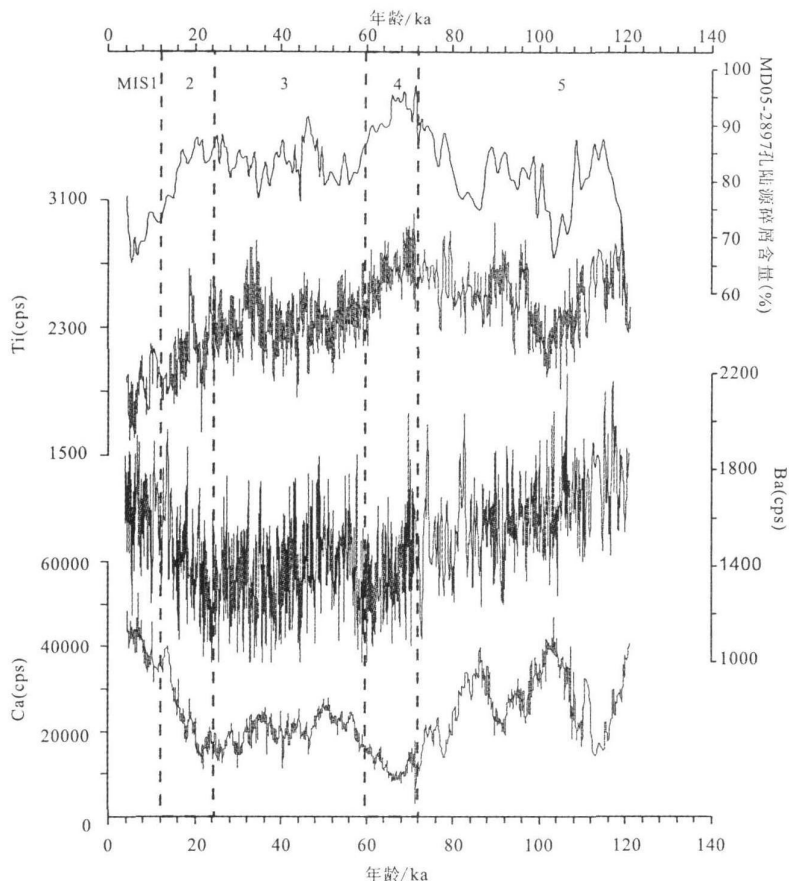


图3 MD05-2896孔120 ka以来Ti、Ba、Ca相对含量和MD05-2897孔陆源碎屑物含量变化^[35]

Fig. 3 Variations of Ti, Ba, Ca contents in core MD05-2896 over the past 120 ka and the content of terrigenous sediment in core MD05-2897^[35]

夏季风对南海南部海区的一个重要影响,是南海上升流系统变化,从而引起生产力的变化,并通过生物成因元素记录在沉积物中。现代南海1143站附近的越南东岸(N 12°14'),夏季出现冷涡,被认为是夏季风驱动引发的上升流^[38~40]。因此,海洋生产力的变化可用来推导上升流的强弱,并追踪季风的演化。1143站近1600 ka的钙质超微化石^[41]和蛋白石^[42,43]的丰度与堆积速率显示,间冰期生产力高,冰期时下降,表明夏季风引起的上升流在间冰期时强化,使生产力升高。

1143站附近NS93-5孔末次冰期间冰期旋回高分辨率元素分析显示^[9],Ca、Sr、Ba、P、和Cd在间冰期高,指示高的生产力。因此,通过分析沉积物中的Ba、P等可以探索海洋生产力的变化,进而获得东亚夏季风的演化信息。生物成因的有机物分解时,Ba常以BaSO₄微晶形式保存在海底沉积物中。因此,生物成因的Ba通量可以反映海洋表层的生产力变化:海洋生物繁盛时,生物成因的有机物分解产生的Ba增多高。大部分Ba可被生物重新利用,

如在赤道太平洋海区Ba循环利用率为70%,其余则转换成BaSO₄而保存到海底沉积物中^[44]。估计大西洋和太平洋的海底沉积物Ba的保存率约为30%^[45],相对而言,沉积物中有机碳的保存率不足0.1%^[46],生物硅大约5%^[44],碳酸盐为10%左右^[47]。利用Ba指示海洋的生产力,可能优于有机碳和碳酸钙等指标。海洋沉积物中的Ba分为陆源碎屑Ba和生物成因Ba,为了消除陆源碎屑中Ba含量对海洋生产力估算的影响,在诸多研究中往往使用Ba与陆源物质元素的相对含量来指示生产力的变化;少量Al可能来自自生富集,全部Ti来自陆源物质输入,用Ti校正后的元素比值变化可以消除生物和粒度变化的影响,更能真实地反映元素含量的变化^[9]。基于以上分析,在选取元素指标时,可以用Ba/Ti值来反映海洋表层生产力的变化,并推导东亚夏季风的演化。

3.2 元素地化揭示的东亚夏季风变迁

图4显示了120 ka以来MD05-2896孔Ba/Ti随年代的变化。可以看出,Ba/Ti值在间冰期(MIS1、MIS3和MIS5)较高,而在冰期时(MIS2和MIS4)相对较低,显示出海洋表层生产力在间冰期高、冰期低的特点;这个结果与前人在南海南部NS93-5孔的研究结果^[2]一致。ODP1143站位的矿物学和地球化学、浮游有孔虫群和气候变化、蛋白石和钙质超微的含量,以及堆积速率的研究显示,南海南部间冰期夏季风活动的加强,上升流发育,夏季风和降雨带来的陆源有机物的输入增加,提高了表层生产力;冰期时夏季风减弱,陆源有机物输入减少,表层生产力就降低^[7,41~43]。

Ba/Ti值对海洋生产力的反馈,反映了上升流强度和东亚夏季风强度的变化,MD05-2896孔Ba/Ti值在MIS3时的高值基本与MIS5期相当,表明东亚夏季风较强盛。目前已有多个记录显示,MIS3期阶段是一个夏季风异常强盛的阶段,如青藏高原出现高湖面和异常强盛的夏季风^[48];阿拉伯海的记录也显示了当时南亚夏季风特别强盛^[49],季风气候在MIS3期的反常,表明气候系统的复杂性。

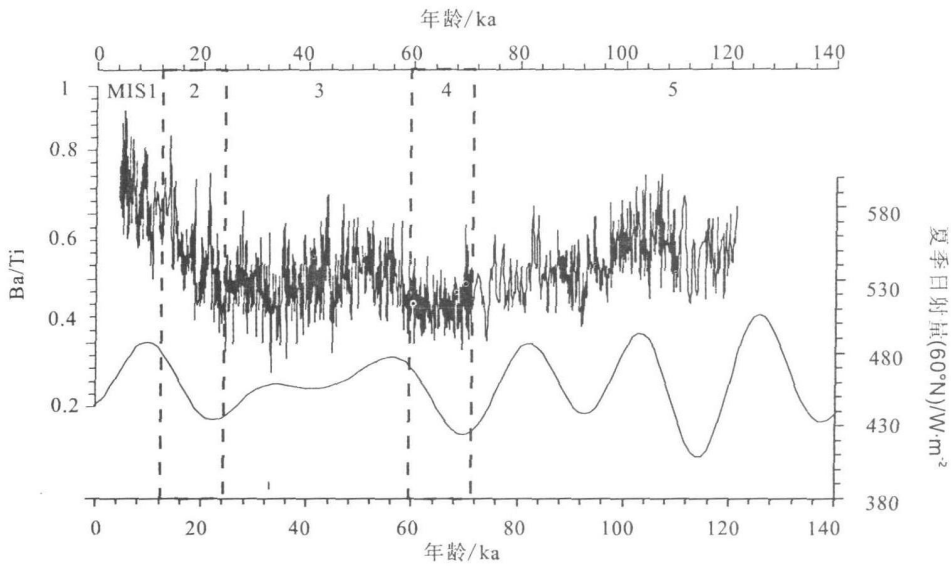


图 4 MD05-2896 Ba/Ti 值与北半球夏季日射量的对比

Fig. 4 Comparison between Ba/ Ti ratio and summer insolation of the north hemisphere at core MD05-2896

研究表明, MIS3 晚期(40~ 30 ka) 青藏高原处于特殊的暖湿气候阶段: 年均温度高出现在 2~ 4℃, 降雨量增加 40%~ 100%, 大量湖泊扩张, 湖平面比现在高出 30~ 200 m。种种迹象表明, 这个时期青藏高原的夏季风极为强盛^[50, 51]。更广泛的调查表明, MIS3 晚期时中国大部分地区都比现在更加温暖和湿润, 特别是西北地区, 现代沙漠地区发育有古湖泊^[48, 52]。然而, 并不是所有地质记录都有这次“高温大降水”的记载。中国内陆地区大部分的黄土-古土壤序列中没有出现这样的“暖湿期”^[53, 54]。此外, 印度洋夏季风的海洋记录中, 也没有任何证据表明南亚季风在 MIS3 晚期时增强^[55]。中国亚热带地区的石笋记录显示, 夏季降雨在整个 MIS3 期都很强盛, 虽然被许多千年尺度的事件所打断, 但 MIS3 早期的季风降雨强度超过 MIS3 晚期^[56]。南海西南部 17954 孔海洋生产力的元素记录 Ba/(Zr+ Rb) 的峰值也出现在 MIS3 早期^[57], 说明在 MIS3 时的表层生产力确实较高。南海南部生源蛋白石的百分含量在这一时期显著增加, 指示东亚夏季风的增强^[44]。MD05-2896 Ba/Ti 值反映的生产力在 MIS3 早期达到高值, 表明此时夏季风强盛。同一钻孔的其他替代性指标也确认了强季风降雨: 沉积物中陆源物质的 1.5~ 2.5 μm 组分显著增加^[30], 说明降雨造成河流搬运量的加大, MD05-2896/97 和 ODP1143 站位的 $\Delta\delta^{18}\text{O}$ (*P. obliquiloculata* & *G. ruber*) 记录没有显示 40~ 30 ka 时出现所谓的“高温大降水”事件; 相反, 显示季风降雨在 MIS3 早期显著增强, 且降雨强度可与末次间冰期和早全

新世相比拟^[58]。夏季日照量加大时会增强海陆受热对比, 提高了陆地的降雨量、径流量和海陆间的风力。我们用 65°N 夏季平均日照量^[59] 对比 MD05-2896 孔 Ba/Ti 指示的晚第四纪东亚夏季风的演化过程, 发现它们基本呈线性关系(图 4), 日照量的最大值对应于东亚夏季风的指数 Ba/Ti 值的最大值, 表明东亚夏季风演化的天文驱动机制。

4 结 论

- (1) Ti 含量可以作为陆源碎屑物质输入的替代性指标。
- (2) MD05-2896 孔 Ca 含量曲线基本与底栖有孔虫氧同位素曲线平行, 呈现典型的“大西洋型”分布模式, 表明在碳酸盐溶解面以上, 无论在南海南部还是北部均有冰期时碳酸盐含量低、间冰期碳酸盐含量高的特点, 主要受陆源物质稀释作用控制。
- (3) Ba/Ti 值指示的海洋表层古生产力在冰期时降低, 间冰期时增加, 表明间冰期时夏季风增强, 导致上升流的加强和营养物质的增加, 进而促使表层生产力提高。海洋表层生产力在 MIS3 早期(60~ 40 ka) 较高, 指示该时期特强的夏季风和上升流作用的增强。Ba/Ti 值与北半球夏季日照量基本呈线性关系, 表明东亚夏季风演化的天文驱动机制。

致 谢: 本文研究的样品由“国际海洋全球变化研究”(IMAGES) 计划 2005 年 MARCO 航次提供, 在此表示感谢。

参考文献 (References):

- [1] 黄维. 渐新世以来南海沉积物分布格局及其演变[D]. 上海: 同济大学, 2005.
Huang Wei. Sediment distributional patterns and evolution in the South China Sea since the Oligocene[D]. Shanghai: Tongji University, 2005. (in Chinese with English abstract)
- [2] Wei G, Liu Y, Li X, Shao L, Fang D. Major and trace element variations of the sediments at ODP Site 1144, South China Sea, during the last 230 ka and their paleoclimate implications[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2004, 212: 331—342.
- [3] Clift P, Lee J I, Clark M K, Blusztajn J. Erosional response of South China to arc rifting and monsoonal strengthening: A record from the South China Sea[J]. *Marine Geology*, 2002, 184: 207—226.
- [4] Wehausen R, Brumsack H J. Astronomical forcing of the East Asian monsoon mirrored by the composition of Pliocene South China Sea sediments[J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 2002, 201: 621—636.
- [5] Liu Z, Trentesaux A, Clemens S, Colin C, Wang P, Huang B, Boulay S. Clay mineral assemblages in the northern South China Sea: Implications for East Asian monsoon evolution over the past 2 million years[J]. *Marine Geology*, 2003, 201: 133—146.
- [6] Wang L, Sarnthein M, Erlenkeuser H, Grimalt J, Grootes P, Heilig S, Ivanova E, Kienast M, Pelejero C, Pflaumann U. East Asian monsoon climate during the Late Pleistocene: high resolution sediment records from the South China Sea[J]. *Marine Geology*, 1999, 156: 245—284.
- [7] Tamburini F, Adate T, Föllmi K, Bernasconi S M, Steirermann P. Investigating the history of East Asian monsoon and climate during the last glacial interglacial period (0–140, 000 years): Mineralogy and geochemistry of ODP Site 1143 and 1144, South China Sea[J]. *Marine Geology*, 2003, 201: 147—168.
- [8] Boulay S, Colin C, Trentesaux A, Frank N, Liu Z. Sediment sources and East Asian monsoon intensity over the last 450 ky. Mineralogical and geochemical investigations on South China Sea sediments[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2005, 228: 260—277.
- [9] Wei G, Liu Y, Li X, Chen M, Wei W. High resolution elemental records from the South China Sea and their paleoproductivity implications[J]. *Paleoceanography*, 2003, 18: 1054—1065.
- [10] Chen J, An Z, Head J. Variation of Rb/Sr ratios in the Loess-Paleosol sequences of central China during the last 130, 000 years and their implications for monsoon paleoclimatology[J]. *Quaternary Research*, 1999, 51(3): 215—219.
- [11] Chen J, An Z, Liu L, Ji J, Yang J, Chen Y. Variations in chemical compositions of the eolian dust in Chinese Loess Plateau over the past 2.5 Ma and chemical weathering in the Asian inland[J]. *Science in China (series D)*, 2001, 44(5): 403—413.
- [12] 刘连文, 陈骏, 王洪涛, 陈旻. 一个不受风力分选作用影响的化学风化指标: 黄土酸不溶物中 Fe/Mg 值[J]. *科学通报*, 2001, 46(7): 578—582.
Liu Lianwen, Chen Jun, Wang Hongtao, Chen Yang. A proxy of chemical weathering free from the influence of sorting: Fe/Mg value in acid insoluble substances of loess[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2001, 46(7): 578—582. (in Chinese)
- [13] 刘连文, 陈骏, 陈旻, 季俊峰, 鹿化煜. 最近 130 ka 以来黄土中 Zr/Rb 值变化及其对冬季风的指示意义[J]. *科学通报*, 2002, 47(9): 702—706.
Liu Lianwei, Chen Jun, Chen Yang, Ji Junfeng, Lu Huayu. Zr/Rb Ratio in the Chinese loess sequences and its implication for changes in the East Asian winter monsoon in recent 130ka[J]. *Chinese Sci. Bull.*, 2002, 47(9): 702—706. (in Chinese)
- [14] Schneider R R, Price B, Müller P J, Kroon D, Alexander L. Monsoon related variation in Zaire (Congo) sediment load and influence of fluvial silicate supply on marine productivity in the east equatorial Atlantic during the last 200, 000 years[J]. *Paleoceanography*, 1997, 12(3): 463—481.
- [15] Wehausen R, Brumsack H J. Cyclic variations in the chemical composition of Eastern Mediterranean sediments: A key for understanding sapropel formation[J]. *Marine Geology*, 1999, 153: 161—176.
- [16] Zabel M, Bickert T, Dittler L. Significance of the sedimentary Al/Si ratio as an indicator for variation of circulation patterns of the equatorial North Atlantic[J]. *Paleoceanography*, 1999, 14(6): 789—799.
- [17] Yarinick K M, Murray E W. Climatically sensitive eolian and hemipelagic deposition in the Cariaco Basin, Venezuela, over the past 578, 000 years: Results from Al/Ti and K/Al[J]. *Paleoceanography*, 2000, 15: 210—228.
- [18] Shao L, Li X, Wei G, Liu Y, Fang D. Provenance of a prominent sediment drift on the northern slope of the South China Sea[J]. *Science in China (series D)*, 2001, 44: 919—925.
- [19] Li X, Wei G, Shao L, Liu Y, Liang X, Jian Z, Sun M, Wang P. Geochemical and Nd isotopic variations in sediments of the South China Sea: A response to Cenozoic tectonism in SE Asia[J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 2003, 211: 207—220.
- [20] Liu Z, Colin C, Trentesaux A, Siani G, Frank N, Blamart D, Farid S. Late Quaternary climatic control on erosion and weathering in the eastern Tibetan Plateau and the Mekong Basin[J]. *Quaternary Research*, 2005, 63(3): 316—328.
- [21] Jian Z, Huang B, Kuhnt W, Lin H. Late Quaternary upwelling intensity and East Asian monsoon forcing in the South China Sea[J]. *Quaternary Res.*, 2005, 55: 363—370.
- [22] Laj C, Wang P, Balut Y. MD147 Marco Polo IMAGES XII Cruise Report [R]. France: Institut Paul-Emile Victor (IPEV), 2005.
- [23] Peterson L C, Haug G H, Hughen K A, Röhl U. Rapid changes in the hydrologic cycle of the tropical Atlantic during

- the last glacial[J]. *Science*, 2000, 290: 1947—1951.
- [24] Jaccard S L, Haug G H, Sigman D M, Pedersen T F, Thierstein H R, Röhl U. Glacial/ interglacial changes in Subarctic North Pacific stratification[J]. *Science*, 2005, 308: 1003—1006.
- [25] Lamy F, Kaiser J, Ninnemann U, Hebbeln D, Arz H W, Stoner J. Antarctic timing of surface water changes off Chile and Patagonian ice sheet response[J]. *Science*, 2004, 304: 1959—1962.
- [26] Haug G H, Hughen K A, Sigman D M, Peterson L C, Röhl U. Southward migration of the Intertropical Convergence Zone through the Holocene[J]. *Science*, 2001, 293: 1304—1308.
- [27] Labeyrie L. Glacial climate instability[J]. *Science*, 2000, 290: 1905—1907.
- [28] Norris R D, Röhl U. Carbon cycling and chronology of climate warming during the Palaeocene/Eocene transition[J]. *Nature*, 1999, 401: 775—778.
- [29] Imbrie J, Hays J D, Martinson D G, McIntyre A, Mix A C, Morley J J, Pisias N G, Prell W L, Shackleton N J. The orbital theory of Pleistocene climate: Support from a revised chronology of the marine ^{18}O record[A]. Berger A, Imbrie J, Hays J, Kukla, G, Saltzman B. *Milankovitch and Climate* [M]. Reidel Publishing Company, Dordrecht, 1984. 269—305.
- [30] 梅西, 郑洪波, 黄恩清, 谢昕, 陈国成. 南海南部五十万年来的沉积物特点及古环境意义[J]. *海洋地质与第四纪*, 2007, 27(4): 77—84.
- Mei Xi, Zheng Hongbo, Huang Enqing, Xie Xin, Chen Guocheng. Characteristics of sediments in the southern South China Sea during last 500 ka and their paleoenvironmental Significances[J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 2007, 27(4): 77—84. (in Chinese with English abstract)
- [31] Liu Z, Xu J, Tian J, Wang P. Calcium carbonate pump during Quaternary glacial cycles in the South China Sea[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(17): 1862—1869.
- [32] 汪品先. 十五万年来的南海[M]. 上海: 同济大学出版社, 1995.
- Wang Pinxian. *South China Sea since 150 000 Years* [M]. Shanghai: Publish House of Tongji University, 1995. (in Chinese)
- [33] Wang P, Wang L, Bian Y, Jian Z. Late Quaternary paleoceanography of the South China Sea: surface circulation and carbonate cycles[J]. *Marine Geology*, 1995, 127: 145—165.
- [34] Wang P. Response of western Pacific marginal seas to glacial cycles: Paleoceanographic and sedimentological features[J]. *Marine Geology*, 1999, 156: 5—39.
- [35] 梅西. 南海南部晚第四纪以来沉积与地球化学记录及古环境意义[D]. 上海: 同济大学, 2008.
- Mei Xi. *Sedimentological-Geochemical Records and their Paleoenvironment Significance in the Southern South China Sea since the Late Quaternary* [D]. Shanghai: Tongji University, 2008. (in Chinese)
- [36] Thunell R C, Miao Q, Calvert S E, Pedersen T F. Glacial-Holocene biogenic sedimentation patterns in the South China Sea: productivity variations and surface water $p\text{CO}_2$ [J]. *Paleoceanography*, 1992, 7: 143—162.
- [37] Chen M T, Huang C Y, Wei K Y. 25 000-year late Quaternary records of carbonate preservation in the South China Sea [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1997, 129: 155—169.
- [38] Shaw P T. Winter upwelling off Luzon in the Northeastern South China Sea [J]. *J. Geophys. Res.*, 1996, 101: 16435—16448.
- [39] Wiesner M G, Zheng L, Wong H K. Fluxes of particular matter in the South China Sea [A]. Ittekkot V, Schofer P, Honjo S, Depetrits P J. *Particle Flux in the ocean* [C]. London: Wiley, 1996: 293—312.
- [40] 黄宝琦, 翦知湔. 越南岸外晚第四纪上升流与东亚夏季风变迁[J]. *第四纪研究*, 1999, 6: 518—525.
- Huang Baoqi, Jian Zhimin. Late Quaternary coastal upwelling and variations of the East Asian Summer monsoon off the eastern Vietnam coast[J]. *Quaternary Sciences*, 1999, 6: 518—525. (in Chinese with English abstract)
- [41] Liu C, Cheng X, Zhu Y, Tian J, Xia P. Oxygen and carbon isotope records of calcareous nannofossils for the past 1Ma in the southern South China Sea[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2002, 47(10): 798—803.
- [42] Wang R, Li J. Quaternary high resolution opal record and its paleoproductivity implication at ODP Site 1143, southern South China Sea[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(4): 363—367.
- [43] Wang R, Jian Z, Xiao W, Tian J, Li J, Chen R, Zheng Y, Chen J. Quaternary biogenic opal records in the South China Sea: Linkages to East Asian monsoon, global ice volume and orbital forcing[J]. *Science in China (series D)*, 2007, 50(5): 710—724.
- [44] Paytan A, Kastner M. Benthic Ba fluxes in the central Equatorial Pacific, implications for the oceanic Ba cycle[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1996, 142: 439—450.
- [45] Dymond J, Suess E, Lyle M. Barium in deep sea sediment: A geochemical proxy for paleoproductivity [J]. *Paleoceanography*, 1992, 7: 163—181.
- [46] Martin W T, Bender M, Leinen M, Orchardo J. Benthic organic carbon degradation and biogenic silica dissolution in the central equatorial Pacific[J]. *Deep Sea Research*, 1991, 38: 1481—1516.
- [47] Milliman J D, Troy P J, Balch W M, Adams A K, Li Y H, Mackenzie F T. Biologically mediated dissolution of calcium carbonate above the chemical lysocline? [J]. *Deep Sea Research*, 1999, 46: 1653—1669.
- [48] 施雅风, 于革. 40~30 ka B. P. 中国暖湿气候和海侵的特征与成因探讨[J]. *第四纪研究*, 2003, 23(1): 1—11.
- Shi Yafeng, Yu Ge. Warm humid climate and transgressions during 40—30ka BP. and their potential mechanisms[J]. *Quaternary Sciences*, 2003, 23(1): 1—11. (in Chinese with

English abstract)

- [49] Schulz H, Rad U, Erlenkeuser H. Correlation between Arabian Sea and Greenland climate oscillations of the past 110,000 years[J]. *Nature*, 1998, 393: 54—57.
- [50] 施雅风, 刘晓东, 李炳元, 姚檀栋. 距今40~30 ka 青藏高原特强夏季风事件及其与岁差周期关系[J]. *科学通报*, 1999, 44(14): 1475—1480.
- Shi Yafeng, Liu Xiaodong, Li Bingyuan, Yao Tandong. The relationship between the strongest Tibetan Plateau summer monsoon affair and the precession of the equinoxes since 40—30 ka[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1999, 44(14): 1475—1480. (in Chinese)
- [51] 施雅风, 贾玉连, 于革, 杨达源, 范云崎, 李世杰, 王云飞. 40~30 ka BP 青藏高原及邻区高温大降水事件的特征、影响及原因探讨[J]. *湖泊科学*, 2002, 14(1): 1—11.
- Shi Yafeng, Jia Yulian, Yu Ge, Yang Dayuan, Fan Yunqi, Li Shijie, Wang Yunfei. Features, impacts and causes of the high temperature and large precipitation event in the Tibetan Plateau and its adjacent area during 40—30 ka BP[J]. *J. Lake Science*, 2002, 14(1): 1—11. (in Chinese with English abstract)
- [52] 杨保, 施雅风. 40~30ka B. P. 中国西北地区暖湿气候的地质记录及成因探讨[J]. *第四纪研究*, 2003, 23(1): 60—68.
- Yang Bao, Shi Yafeng. Warm humid climate in Northwest China during the period of 40~30ka B. P.: Geological records and origin[J]. *Quaternary Sciences*, 2003, 23(1): 60—68. (in Chinese with English abstract)
- [53] Porter S C, An Z. Correlation between climate events in the north Atlantic and China during the last glaciation[J]. *Nature*, 1995, 378: 305—308.
- [54] Fang X, Lü L, Mason J A, Yang S, An Z, Li J, Guo Z. Pedogenic response to millennial summer monsoon enhancements on the Tibetan Plateau[J]. *Quaternary International*, 2003, 106—107: 79—88.
- [55] Clemens S, Prell W, Murray D, Shimmield G, Weedon G. Forcing mechanisms of the Indian Ocean monsoon[J]. *Nature*, 1991, 353: 720—725.
- [56] Wang Y, Cheng H, Edwards R L, Kong X, Shao X, Chen S, Wu J, Jiang X, Wang X, An Z. Millennial and orbital scale changes in the East Asian monsoon over the past 224,000 years[J]. *Nature*, 2008, 451: 1090—1093.
- [57] 青子琪, 刘连文, 郑洪波. 越南岸外夏季上升流区22万年来东亚季风的沉积与地球化学记录[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2005, 25(2): 67—72.
- Qing Ziqi, Liu Lianwen, Zheng Hongbo. Sedimentological and geochemical records of east Asian monsoon in summer upwelling region off the coast of Vietnam for the past 220000 years[J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 2005, 25(2): 67—72. (in Chinese with English abstract)
- [58] 黄恩清. 晚第四纪南沙热带海区千年尺度的气候波动[D]. 上海: 同济大学, 2009.
- Huang Enqing. Late Quaternary millennial scale climatic oscillations in the tropical South China Sea [D]. Shanghai: Tongji University, 2009.
- [59] Laskar J. The chaotic notion of the solar system: A numerical estimate of the size of the chaotic zones[J]. *Icarus*, 1990, 88: 266—291.

• 学会之声 •

2010 年全国矿物科学与工程学术会议 (第一号通知)

由中国矿物岩石地球化学学会工艺矿物学专业委员会、矿物岩石材料专业委员会、环境矿物学专业委员会、成因矿物学专业委员会、矿物物理矿物结构专业委员会、中国硅酸盐学会工艺岩石学分会联合主办, 福州大学紫金矿业学院承办、的“2010 年全国矿物科学与工程学术会议”将于2010年10月下旬在福州大学举行。

会议将展现和交流近年来我国矿物科学与工程领域, 包括工艺矿物、工艺岩石、矿物材料、环境矿物、矿物成因、矿床矿物学、矿物物理与化学、宝玉石矿物等领域的最新研究成果, 探讨我国矿物科学与工程研究存在的问题和发展趋势。

详细内容及回执可从中国矿物岩石地球化学学会网站(www.csmpeg.org.cn)或福州大学紫金矿业学院主页(<http://zjxy.fzu.edu.cn/>)下载。

会议秘书处联系方式:

刘 羽: 电话: 0591-22865216(O); 13706942809(M); E-mail: liuyu@fzu.edu.cn;

传真: 0591-22865213

李晓敏: 电话: 028 22865211(O); 13515001590(M); E-mail: lixm601@163.com

2010 年全国矿物科学与工程学术会议筹备组

2010 年 1 月 10 日