

大洋钻探计划(ODP)与海洋有机地球化学研究

孟宪伟 韩贻兵 孟毅

(国家海洋局第一海洋研究所 青岛 266003)

提要 本文利用长链不饱和酮分子及分子同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 来恢复古气候、古溶解 CO_2 浓度和古盐度;说明有机地球化学在全球变化研究中的应用前景。

关键词 大洋钻探,全球变化,有机地球化学

全球变化研究是近代地球科学的主要发展趋势之一。“过去全球变化研究”(PAGES)原以冰盖和陆地为主要研究对象,对海洋方面的工作重视不足,但近几年来,从海洋角度研究全球变化受到普遍重视。国际海洋研究科学委员会(SCOR)与 PAGES 联合组织了国际海洋全球变化研究计划(IMAGES),以充实 PAGES 中的海洋成分,而这也正是大洋钻探计划(ODP)的学术目标之一。借助大洋钻探计划研究全球变化,主要包含两方面的内容^[1]:(1)古全球变化的海洋记录;(2)古全球变化的海洋因素。前者主要指不同周期尺度的气候变化记录;后者主要指以海洋为调节因素的全局碳循环和深层盐度流。

从沉积(无机)地球化学角度研究古气候、古环境的变迁已取得了丰硕成果,与之相比,从有机地球化学角度研究古气候、古环境的工作迄今仍比较薄弱。有机地球化学研究已经证实,地质体中有机质的丰度及代表有机质组成及其演化的分子标志物的变化与原始生物的种属类型、地区和气候密切相关,这既可以反映在其正烷烃、脂肪酸、酮、醇、萜等分子标志物的差异上,也可以表现在分子的精细结构变化和分子同位素组成的变化上^[2]。自从 Boon 等^[4]在海洋沉积物中发现长链($\text{C}_{37}\sim\text{C}_{39}$)不饱和酮系列化合物以来,海洋沉积物的有机地球化学研究取得了迅速发展。

1 长链不饱和酮分子与氧同位素 $\delta^{18}\text{O}$ 的比较

传统的海洋沉积物中古气候研究都是以沉积物中有孔虫的氧同位素组成 $\delta^{18}\text{O}$ 为主要研究手段。然而,现在看来, $\delta^{18}\text{O}$ 在研究古气候方面有以下几点不足^[6]:(1) $\delta^{18}\text{O}$ 值的变化是全球冰体积、海水表面温度和盐度变化的综合效应。因此,利用 $\delta^{18}\text{O}$ 值恢复古海水表面温度(SST)并不准确。(2)在碳酸盐补偿深度(CCD)之下或钙质沉积物发生溶解的情况下, $\delta^{18}\text{O}$ 参数失去作用。(3)用 $\delta^{18}\text{O}$ 值刻划的气候变化时间尺度最小为 1 000a,因此,难以反映短周期、超短周期气候变化事件,如 ENSO 事件等。

长链不饱和酮指的是 $\text{C}_{37}\sim\text{C}_{39}$ 的长链烯烃。目前用于沉积物古气候记录研究的分子主要为 C_{37} 的 3 种同分异构体: $\text{C}_{37}:2$ 、 $\text{C}_{37}:3$ 和 $\text{C}_{37}:4$,与氧同位素组成 $\delta^{18}\text{O}$ 相比,长链不饱和酮分子具有如下优点^[6]:(1)长链不饱和酮的不饱和度指数 $[U_{37}^k = (\text{C}_{37}:2\sim\text{C}_{37}:4)/(\text{C}_{37}:2 + (\text{C}_{37}:3 + \text{C}_{37}:4))]$ 与海水表面

收稿日期:1996年3月15日

1996年第3期

15

温度之间有唯一确定的关系,且不受成岩作用和溶解作用的影响。因而,利用沉积物中的 U_{37}^K 值恢复古海水表面温度更准确。(2)长链不饱和酮在海底沉积物、湖泊沉积物中普遍存在,不受碳酸盐补偿深度的限制,因而具有普适性。(3)利用长链不饱和酮的不饱和指数研究古气候的时间分辨率和温度分辨率都很高,前者为 1~1 000a,后者为 $\pm 0.5^\circ\text{C}$,因而可用来刻划短周期、超短周期气候变化事件,如 ENSO 事件等。

2 长链不饱和酮分子及分子同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 的应用

2.1 利用长链不饱和酮的不饱和指数恢复古海水表层温度(SST)

古海水表面温度(SST)是反映气候变化的重要参数而恢复古海水表面温度是重塑古气候变化模式的核心内容。自从 PrahI 等^[11]标定了 U_{37}^K 和 SST 之间线性关系以来, U_{37}^K 正在成为恢复古海水表面温度的主要工具;由于其具有高分辨率的特点,因此利用 U_{37}^K 研究短周期、超短周期气候变化方兴未艾。例如, G. Eglinton^[8]等利用 U_{37}^K 研究了 ODP658 孔沉积物中末次冰期/间冰期 100a 时间尺度的气候变化记录,结束了古气候变化时间尺度大于 1000a 的历史; D. J. Repetal 等^[5]首次利用 U_{37}^K 和 ^{210}Pb 测年技术研究了太平洋东南岸沉积物的海水表面温度的年、季变化记录,并探讨了 SST 异常与 ENSO 事件的关系,从此揭开了利用海底沉积物 U_{37}^K 记录研究 ENSO 事件的新纪元。例如, J. A. Kennedy 等^[9]利用 Santa Barbara 盆地沉积物中 U_{37}^K 记录,研究了 SST 异常与 100a 来 ENSO 事件的对应关系,进一步证实了用沉积物 U_{37}^K 记录研究 ENSO 事件的可行性。

2.2 联合使用 U_{37}^K 和 $\delta^{18}\text{O}$ 研究古海水表面盐度

海水表面盐度的变化与海水的蒸发和降雨之间的平衡(E-P)密切相关,因而它也是一种灵敏的气候标志^[7]。浮游有孔虫的变化受大陆冰盖消长所引起的全球海水变化($\delta^{18}\text{O}_{\text{wg}}$)以及区域 SST 和 E-P 变化所制约。海水表层盐度和区域海水 $\delta^{18}\text{O}_{\text{w}}$ 值与 E-P 平衡直接相关,而且对于全球大多数海洋来说,这些参数是线性相关的。对于有孔虫来说,冰期到间冰期氧同位素变化($\Delta\delta^{18}\text{O}_{\text{F}}$)可以表示如下:

$$\begin{aligned}\Delta\delta^{18}\text{O}_{\text{F}} &= a + b\Delta T + C(S - S^*) \\ S &= S^* + (\Delta\delta^{18}\text{O}_{\text{F}} - a - b\Delta T)/c\end{aligned}$$

式中, a 表示全球海水由于冰体积变化引起的 $\Delta\delta^{18}\text{O}_{\text{wg}}$ 变化, b 是 $\Delta\delta^{18}\text{O}_{\text{F}}$ 与温度的关系斜率, ΔT 是区域温度变化, C 是 $\delta^{18}\text{O}_{\text{w}}$ 与盐度的关系斜率, S 是过去区域性盐度, S^* 是由于冰体积变化引起的全球盐度变化所产生的现代区域性盐度值,因而它与海平面变化相对应: $S^* = S_0^* + (SL \cdot 35/3\ 800)$ 式中 S_0^* 是现代区域盐度, 35% 是现代海洋平均盐度值, SL 为海平面变化,用低于现代海平面以下几米表示。因此,过去海水表层区域盐度值可用下式估算:

$$S = S_0^* + (SL \cdot 35/3\ 800) + (\Delta\delta^{18}\text{O}_{\text{F}} - a - b\Delta T)C$$

F. Rostek 等^[7]对具体海区(阿拉伯海和孟加拉湾之间)讨论了式中各参数的求法。该方程表明,利用 $\delta^{18}\text{O}$ 和长链不饱和酮的不饱和指数恢复的古海水表层温度值进行古海水表层盐度恢复是可行的。

2.3 利用长链不饱和酮分子 C_{37:2}的分子同位素恢复古海水中溶解 CO₂ 浓度[CO_{2(aq)}]

全球碳循环是古全球变化的核心问题。CO₂ 是主要的温室气体。大气中 CO₂ 的多寡是调整气候变化的关键因素。海洋是大气中 CO₂ 的主要源和汇,海水中溶解 CO₂ 的浓度[CO_{2(aq)}]与大气中 CO₂ 的分压 P_{CO₂} 紧密相关,因此,认识溶解 CO₂ 浓度的变化历史有助于理解大气中 CO₂ 的自然过程。

海洋沉积物中的有机质,特别是长链不饱和酮分子的碳同位素组成 δ¹³C 与海水中溶解 CO₂ 浓度密切相关。Jasper J. P. 等^[10]利用沉积物中长链不饱和酮分子 C_{37:2}的分子碳同位素组成 δ¹³C 恢复了晚第四纪以来海水中溶解 CO₂ 浓度,并利用大气中 CO₂ 分压与溶解 CO₂ 浓度的平衡关系,讨论了晚第四纪以来大气中 CO₂ 浓度的变化。此外,由于长链不饱和酮分子的母体是海洋中的藻类生物,因此可以说有机分子是连接生物圈—水圈和大气圈的纽带。

3 长链不饱和酮分子在研究古季风中的应用

古季风研究是我国参与全球变化研究的主要领域之一。季风的形成和发展直接影响着降雨。而降雨量的多寡又直接影响着 E-P 平衡。前已述及,海水表层盐度的变化与海水的蒸发和降雨之间的平衡 E-P 密切相关。因而,利用长链不饱和酮分子和 δ¹⁸O 值研究古海水表层盐度的同时又可以推断古季风的变化。F. Rostek 等^[7]就是利用这两个参数来恢复阿拉伯海和孟加拉湾之间海域的古盐度,进而检验末次冰期期间古季风变化的。

ENSO 与季风的关系研究是当前我国地球科学研究的热点。降雨量与 ENSO 事件的历史记录对比是目前研究 ENSO 季风的关系的直接手段^[3]。如前所述,长链不饱和酮分子不仅是刻划 ENSO 事件沉积物记录的有效参数,而且又可以反映古季风的变化。这样,利用长链不饱和酮分子便可以建立起 ENSO 季风之间的内在联系。

大洋钻探计划(ODP)已经把大洋与气候变化的原因和效应——地球环境,即水圈、冰圈和生物圈的演化,纳入其长远的学术目标。水圈、大气圈和生物圈之间的反馈是制约全球气候变化的关键机制,生物地球化学循环是这一机制的主要过程,而有机地球化学是研究这一过程的主要手段。由此可见,有机地球化学在全球变化研究领域越来越占据重要的地位。

在我国的全局变化研究中,有机地球化学应发挥其得天独厚的作用。本文作者旨在抛砖引玉,以期在即将参与的大洋钻探计划中,对有机地球化学研究投以关注。

参考文献

- [1] 葛知泯,1995。地球科学进展 10(3):267。
- [2] 耿安松,1995。地球化学 24(3):308。
- [3] 江爱良,1995。第四纪研究 20(3):234。
- [4] Boon, J. J. *et al.*, 1978. Initial Report of the Deep Sea Drilling Project. Washington: U. S. Government Printing Office, Supp. 40: 627.
- [5] D. J. Repeta *et al.*, 1992. *Oceanus*, spring: 38.
- [6] E. L. Sikes *et al.*, 1991. *Earth and Planetary Science Letters*. 104: 36.
- [7] F. Rostek *et al.*, 1993. *Nature*, V. 364: 319.
- [8] G. Eglinton *et al.*, 1992. *Nature* 356: 423.
- [9] J. A. Kennedy *et al.*, 1992. *Organic Geochemistry* 19(1-3): 235.
- [10] J. P. Jasper *et al.*, 1990. *Nature* 347: 462.

[11] Prah1, *et al.*, 1987. *Nature* 330, 367.

STUDY ON THE ORGANIC GEOCHEMISTRY IN THE OCEAN DRILLING PROGRAM(ODP) OF CHINA

Meng Xianwei, Han Yibing and Meng Yi

(*First Institute of Oceanography, SOA Qingdao 266003*)

Received: Mar. 15, 1996

Key Words: ODP global change, Organic geochemistry

Abstract

Study on the global change, especially climate change is one of developing trend in the present earth science, which is also one of primary target of Ocean Drilling Program. Organic geochemistry is an useful tool for study of climate change. In the present paper, an organic molecular, long-chain unsaturated alkanes is proposed to extract high resolution information of paleo-climate change, recorded in the sediments. Some applications of alkanes, such as sea surface temperature (SSt), sea surface salinity and concentration of dissolved carbon dioxide ($\text{CO}_2(\text{aq})$), are introduced. The authors attempt to call the attention of colleagues to the organic geochemistry in the drilling program, which will be conducted in our China.