

白垩纪缺氧事件期间分子有机碳同位素偏移的二种不同机制

邹艳荣¹⁾, 彭平安¹⁾, 宋之光¹⁾, 王成善²⁾

1) 中国科学院广州地球化学研究所, 有机地球化学国家重点实验室, 广州, 510640;

2) 中国地质大学, 北京, 100083

内容提要:对我国已发现的白垩纪大洋缺氧事件进行了对比研究。结果显示, 我国河北滦平盆地高等植物叶腊碳同位素正偏, 是 weissert 缺氧事件的陆地响应, weissert 缺氧事件可能是全球性缺氧事件, 而不是区域性的缺氧事件。叶腊烷烃单分子碳同位素正偏有 2 种不同的机制: 早白垩世分子碳同位素正偏主要反映的是大气 CO₂ 水平增加; 晚白垩世分子碳同位素正偏主要反映的是陆地植物类型的变化。

关键词: 白垩纪; 稳定碳同位素; 大洋缺氧事件; 陆地生态系统; 有机地球化学

全球气候变化的研究是当前地学界研究的热点。白垩纪是地质历史时期“温室气候”的典型代表, 已经成为地学界研究温室气候和地球系统研究的范例(王成善, 胡修棉, 2005)。随着稳定同位素地球化学理论的日益成熟和完善, 稳定碳同位素地球化学方法广泛地被应用于古海洋和古气候研究, 并取得令人瞩目的成果。其中, 白垩纪大洋缺氧事件(OAEs)碳同位素偏移是重要特征之一(李祥辉等, 2005; 胡修棉, 2005)。本文结合我国白垩纪 OAEs 研究, 探讨了白垩纪分子有机碳同位素正偏的不同机制。

1 白垩纪碳同位素变化的地质背景

白垩纪是地质历史中十分特殊的时期。这一时期, 发生一些明显的、突发性地质事件: 洋壳的超巨量形成、大洋缺氧事件、大洋红层、生物的更替与灭绝、海平面快速上升、大气 CO₂ 急剧上升、大火山岩省等等(邓晋福等, 2005; 胡修棉, 2005; Zhao, 2005)。地球是个系统, 地壳深部过程、大气圈、水圈、生物圈相互作用。上述地质事件并非孤立的事件, 是地球系统各圈层相互耦合的产物, 在时间和空间上具有非常紧密的联系, 相互联系、相互制约的, 形成关联与反馈。在各圈层相互作用中, 碳循环扮演了重要角色, 起到桥梁和纽带作用, 将不同圈层联系起来, 并保存了地质历史时期不同圈层的信息, 成

为认识地质历史时期重大地质事件, 特别是全球气候变化及其发生、发展过程的重要研究对象, 是理解白垩纪同位素变化的关键。图 1 显示了白垩纪碳循环相关的地质事件。其中, 大火成岩省(LIPs)数据综合了邓晋福等(2005)、Zhao 等(2005)和 Weissert 等(2004)的资料; 洋壳生长、古气温和海平面变化根据 Zhao 等(2005)资料; 大气 CO₂ 变化来源于 Robinson 等(2002)综合不同方法预测的结果; 黑色页岩和大洋红层主要根据胡修棉(2005)并补充了 Weissert 等(2004)的数据而成。

由图 1 可见, 早白垩世(145~99Ma), 特别是早白垩世早期, 大气 CO₂ 浓度、洋壳生长速率以及海平面与古气温均较低; 早白垩世晚期, 上述各项指标逐渐增大。与早白垩世不同, 晚白垩世(99~65Ma)是前述各项指标达到最大之后逐渐降低的过程。因而, 引发碳同位素变化, 特别是有机碳同位素偏移的机制, 可能发生重大改变。

2 我国早白垩世的大洋缺氧事件的碳同位素响应

白垩纪地层划分具有不同的划分方案, 不同学者可能采用不同划分方案。这给不同地区、不同学者研究成果的对比工作带来一定困难。本文采用绝对年龄为标尺对不同地区、不同地层、不同学者的研究结果进行对比。

注: 本文为国家 973 项目(编号 2006CB701404)资助的部分成果。

收稿日期: 2007-08-28; 改回日期: 2007-11-02; 责任编辑: 郝梓国。

作者简介: 邹艳荣, 男, 1959 年生。主要从事有机地球化学研究。Email: zouyr@gig.ac.cn。

图 1

业已发现,白垩纪海相地层中发育多层黑色页岩,被认为是大洋缺氧事件成因的(图 1)。早白垩世(145~99Ma)发生数次缺氧事件,其中 OAE1a,即 Selli 事件(120Ma),被认为是全球性大洋缺氧事件,其他缺氧事件被认为是局部缺氧事件。早白垩世的缺氧事件发育在特提斯域和太平洋域。特提斯域-太平洋域缺氧事件 OAE1a 的碳酸盐岩碳同位素(Follmi 等,2006)和有机碳同位素特征(Dumitrescu & Brassell, 2006)均显示明显正偏,具有良好的一致性和可对比性。然而,在我国乃至东特提斯域尚未发现同一层位缺氧事件层,是值得今后关注的。

早白垩世另一次缺氧事件发生在晚凡兰吟-早戈特里夫期(late Valanginian-early Hauterivian),绝对年龄在 130~136Ma 之间(图 1),即 Weissert 缺氧事件(Erba et al., 2004)。Weissert 缺氧事件在特提斯域-太平洋域亦有较广泛的分布。最近,在我国河北滦平盆地发现 weissert 缺氧事件的陆地响应(Zou et al., 2006)。来自高等植物叶蜡(n-C27、n-C29、n-C31 烷烃)碳同位素最大正偏达 7‰,可与特提斯域-太平洋域 Weissert 缺氧事件碳酸盐岩碳同位素对比(图 2)。

我国早白垩世缺氧事件的最大特点是:发育在特提斯域-太平洋域以外的内陆湖相地层中,并可与同期海相地层 Weissert 缺氧事件碳同位素偏移对比。这意味着 Weissert 缺氧事件很可能是全球性缺氧事件,而不是局部缺氧事件。换言之,白垩纪很可能有 3 次全球性缺氧事件,而不是普遍认为的 2 次全球性缺氧事件。

3 晚白垩世的大洋缺氧事件与碳同位素变化

晚白垩世最著名的全球性缺氧事件是 OAE2,即 Bonarelli 事件层。全球范围内广泛发育浅海相黑色页岩。我国藏南地区发育有同期的缺氧事件层(万晓樵,1992;Wang et al., 2001)。不同的是藏南地区的 OAE2 以深海相碳酸盐岩为主,有机碳含量较低(Wang et al., 2001;Zou et al., 2005)。李祥辉等(2005)对藏南地区晚白垩世 Cenomanian—Turonian 期海相碳酸盐岩碳同位素进行了研究,结果显示:西藏南部岗巴地区的高分辨率偏移曲线显示,碳同位素 Cenomanian-Turonian 界线时期的正偏幅度达 2.90‰,Turonian 期长期持续负偏。藏南地区碳同位素变化不仅可以与欧洲同时代地层对比,而且与大西洋 DSDP 367 孔以及日本相同层位

有机碳同位素有很好的对应关系(图 3)。图 3 综合了李祥辉等(2005)、Follmi 等(2006)、Hasegawa, (1997)和 Kuypers 等(1999)的资料。值得注意的是,深海钻探计划 DSDP 367 孔叶蜡稳定碳同位素比总有机碳同位素更精细地刻划了缺氧事件过程中同位素的变化。OAE2 中,总有机碳同位素正偏 5‰,而叶蜡烃稳定碳同位素正偏达 10‰~16‰。Kuypers 等(1999)认为,大西洋陆生植物叶蜡碳同位素的正偏,是大量有机质埋藏使得大气 CO₂降低至 500ppm 以下、植物类型从 C3 植物过渡为以 C4 植物为主或出现 C3 和 C4 混合植物。

4 分子有机碳同位素正偏的二种不同机制

在碳循环相关的研究中,稳定碳同位素发挥着不可替代的作用。如图 2、图 3 所示,有 3 种稳定碳同位素指标:(1)大洋缺氧事件的研究发源于海洋,对海相生物钙质壳体和碳酸盐岩的碳同位素开展了大量分析和研究工作,在大洋缺氧事件研究中一直发挥着重要作用;(2)另一个常见的碳同位素指标是总有机碳同位素;(3)分子有机碳同位素,最常用的是来源于高等植物叶蜡烷烃(n-C27、n-C29、n-C31)的单分子碳同位素。对于有机碳同位素而言,反映水/陆生植物对 CO₂ 的利用,不同来源有机碳具有不同的碳同位素范围,因而要求有机质为单一来源。叶蜡烷烃单分子有机碳同位素是陆地植物类型和大气 CO₂ 水平的最佳指标之一。

目前,业已在我国白垩纪地层中发现 2 次缺氧事件响应,即早白垩世 Weissert 缺氧事件和晚白垩世 Bonarelli 事件层(OAE2)。早白垩世 Weissert 缺氧事件期间,叶蜡烷烃(n-C27、n-C29、n-C31)的单分子碳同位素结果显示,同位素最大正偏达 7‰,一般在 5‰左右。晚白垩世 OAE2 期间,叶蜡烷烃的单分子碳同位素却展示出 10‰~16‰的正偏(Kuypers et al., 1999)。为什么 2 次缺氧事件中叶蜡烷烃的分子碳同位素表现出如此大的差异?

叶蜡烷烃来源于陆地高等植物,其来源单一、明确,不存在不同来源有机质混合的问题。其稳定碳同位素组成只与植物类型和大气 CO₂ 水平有关。因而,比总有机碳同位素更为灵敏。

早白垩世洋壳生长速率较大、LIPs 反映出火山活动较频繁,是大气 CO₂ 浓度、古气温、海平面逐渐增大的过程(图 1)。Weissert 缺氧事件发生在早白垩世早期,叶蜡烷烃稳定碳同位素的变化反映了火

图 2

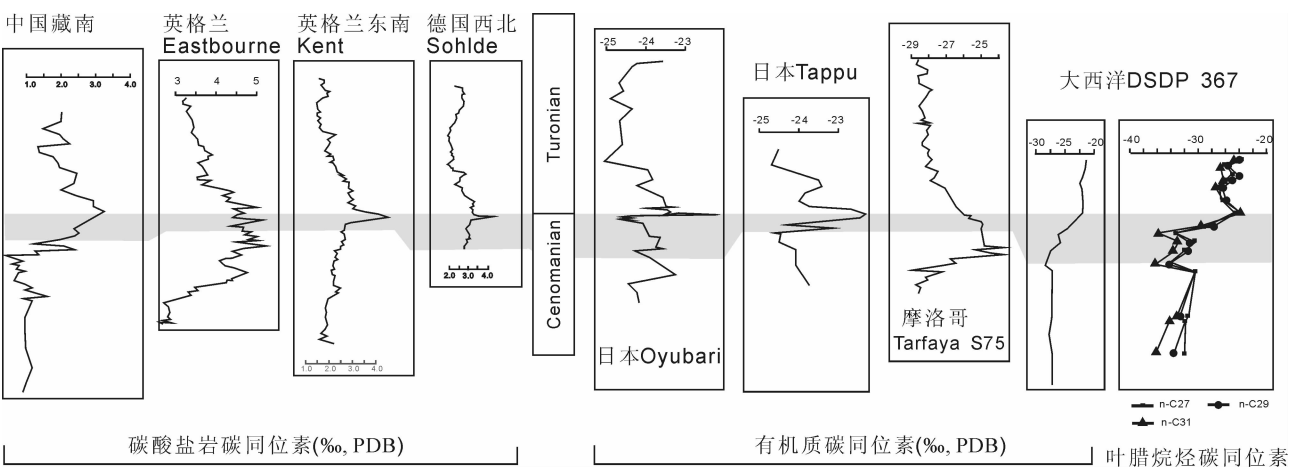


图 3 藏南地区 OAE2 期间碳同位素变化及其对比(纵向未按比例)

Fig. 3 Variation in stable carbon isotope composition in southern Tibet during OAE2 and their correlation with others

山活动使得大气 CO₂ 水平及大气 CO₂ 中¹³C 增加的过程。Weissert 缺氧事件中,叶腊烷烃单分子稳定碳同位素主要反映的是大气 CO₂ 水平。与早白垩世不同,晚白垩世(99~65Ma) 洋壳生长速率逐渐减慢、LIPs 反映出的火山活动较少,是大气 CO₂ 浓度、古气温、海平面等达到最大之后逐渐降低的过程(图 1)。OAE2 期间,叶腊烷烃的单分子稳定碳同位素出现 10‰~16‰ 的正偏,仅用大气 CO₂ 水平变化是无法解释的。被认为是大量有机质埋藏使得大气 CO₂ 降低至 500ppm 以下、植物类型从 C3 植物过渡为以 C4 植物为主或出现 C3 和 C4 混合植物(Kuypers et al.,1999)。叶腊烷烃的单分子稳定碳同位素正偏机制与早白垩世明显不同。

5 结论

通过对我国业已发现的白垩纪大洋缺氧事件的对比、研究,讨论了我国白垩纪缺氧事件的特征与分子有机碳同位素正偏的机制。初步得出以下结论:

(1)我国河北滦平盆地高等植物叶腊碳同位素正偏,是 weissert 缺氧事件的陆地响应,可与特提斯域-太平洋域 Weissert 缺氧事件碳酸盐岩碳同位素对比。意味着 weissert 缺氧事件很可能是全球性缺氧事件。因而,白垩纪很可能有 3 次全球性缺氧事件,而不是普遍认为的 2 次全球性缺氧事件。

(2)叶腊烷烃单分子碳同位素正偏有 2 种不同的机制。早白垩世大气 CO₂ 浓度上升背景下,分子碳同位素正偏主要反映的是大气 CO₂ 水平;晚白垩世大气 CO₂ 浓度逐渐降低的背景下,分子碳同位素正偏主要反映的是陆地植物类型的变化。

参 考 文 献

邓晋福,莫宣学, FLOWER M F J, 苏尚国, 罗照华, 赵海玲, 赵志丹, 喻学惠, 刘翠. 2005. 白垩纪大火成岩省与地幔对流. 地学前缘, 12(2): 217~221.

李祥辉, 王成善, 崔杰. 2005. 高分辨率碳氧同位素应用及西藏岗巴地区白垩纪中期 Cenomanian—Turonian 期碳同位素偏移. 地学前缘, 12(2): 171~177.

胡修棉. 2005. 白垩纪中期异常地质事件与全球变化. 地学前缘, 12(2): 222~230.

胡修棉. 2004. 白垩纪“温室”气候与海洋. 中国地质, 31(4): 442~448.

万晓樵. 1992. 从有孔虫分析西藏南部白垩纪还平面升降. 现代地质, 6(4), 392~398.

王成善, 胡修棉. 2005. 白垩纪世界与大洋红层. 地学前缘, 12(2): 11~21.

Erba E, Bartolini A, Larson R L. 2004. Valanginian Weissert oceanic anoxic event. geology, 32:149~152.

Follmi K B, Godet A, Bodin S, Linder P. 2006. Interactions between environmental change and shallow water carbonate buildup along the northern Tethyan margin and their impact on the Early Cretaceous carbon isotope record. Paleogeography 21, 1~16.

Hasegawa T. 1997. Cenomanian-Turonian carbon isotope events recorded in terrestrial organic matter from northern Japan. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 130: 251~273.

Kuypers M M, Pancost R D, Sinninghe Damst J S. 1999. A large and abrupt fall in atmospheric CO₂ concentration during Cretaceous times. Nature, 399: 342~345.

Mirela Dumitrescu, Simon C. Brassell, 2006. Compositional and isotopic characteristics of organic matter for the early Aptian Oceanic Anoxic Event at Shatsky Rise, ODP Leg 198. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 235: 168~191.

Robinson S A, Aandrews J E, Hesselbo S P, Radley J D, Dennis P F, Harding I C, Allen P. 2002. Atmospheric pCO₂ and depositional environment from stable-isotope geochemistry of calcrete nodules (Barremian, Lower Cretaceous, Wealden Beds, England). *Journal of the Geological Society, London*, 159:215~224.

Wang Chengshan, Hu Xiumian, Jansa L, Wan Xiaoqiao, Tao Ran. 2001. The Cenomanian Turonian anoxic event in southern Tibet. *Cretaceous Research* 22, 481~490.

Weissert H, Erba E. 2004. Volcanism, CO₂ and palaeoclimate: a Late Jurassic Early Cretaceous carbon and oxygen isotope record. *Journal of the Geological Society, London*, 161:695~702.

Zhao Xixi. 2005. 白垩纪中期地球磁场与全球地质现象. *地学前缘*, 12(2):199~216.

Zou Y R, Cai Y, Tao W, Jia G, Lu H, Song Z, Zhang X, Zheng S, Peng P, Wang C., 2006. Response of terrestrial paleoenvironments to the early Cretaceous oceanic anoxic event: Insights from organic geochemistry. *International Symposium on Cretaceous Major Geological Events and Earth System*, Sept. 3-5, Beijing, 110~111.

Zou Y R, Kong F, Peng P A, Hu X M, Wang C S. 2005. Organic Geochemical Characterization of Upper Cretaceous Oxidic Oceanic Sediments in Tibet, China: A Preliminary Study. *Cretaceous Research*, 26(1):65~71.

The Mechanism of the Stable Carbon Isotope Excursion of Individual Normal-alkane During the Cretaceous Oceanic Anoxic Event

ZOU YanRong¹⁾, PENG Ping'an¹⁾, SONG Zhiguang¹⁾, WANG Chengshan²⁾

1) *The State Key Laboratory of Organic Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, CAS, Guangzhou, 510640;*
2) *China University of Geosciences, Beijing, 100083*

Abstract

The Cretaceous OAEs discovered in China were correlated. The results show that the carbon isotope positive excursion of leaf wax originated from high plant is observed in Luanping Basin, which is the response in terrestrial basin to the weissert OAE. It suggests that the weissert OAE is global, not local. There are two mechanisms on the carbon isotope positive excursion of leaf wax. The positive excursion of leaf wax carbon isotope during the early Cretaceous is owing to atmosphere CO₂ increase; The positive excursion of leaf wax carbon isotope during the late Cretaceous is caused by terrestrial ecosystem change.

Key words: Cretaceous; Stable Carbon Isotope; Oceanic Anoxic Events (OAEs); Terrestrial Ecosystem; Organic Geochemistry