

山东莱阳恐龙蛋化石的氧、碳稳定同位素组成及其与古环境的关系

赵 资 奎

(中国科学院古脊椎动物与古人类研究所)

严 正 叶 莲 芳

(国家地震局地质研究所)

关键词 恐龙蛋壳 同位素 古环境

内 容 提 要

本文研究了山东莱阳王氏群恐龙蛋化石的氧和碳稳定同位素组成。由王氏群中部到上部,恐龙蛋壳的 δO^{18} 平均值为 -7.83% 和 -4.91% ; δC^{13} 平均值为 -6.60% 和 -8.54% 。这些结果表明在王氏群形成时期,总的说来是温热的气候,但仍可能出现一些微小的变化,即由潮湿的环境逐渐变为相对较干燥的环境。

由 δC^{13} 值的变异范围来看,有理由可以推测,由这些蛋化石所代表的恐龙可能以 C_3 植物作为主要的食物来源。

一、前 言

近 20 多年来,在研究古环境方面,国际上公认比较可靠的方法是测定碳酸盐化石的氧和碳稳定同位素组成,例如根据某些海生碳酸盐介壳中所含的氧同位素 (O^{18}/O^{16}) 的比例,探讨中生代以来全世界海水温度的变化已经获得了相当重要的成果。但是利用这种方法探讨陆相的古环境问题,目前还刚开始。1970 年, Folinsbee 等人首先研究了一些鸟类, 鳄类和恐龙的蛋壳中氧和碳稳定同位素组成,认为这些同位素是和这些动物的生活环境例如食物,饮用的水等有密切关系的。因此研究它们的稳定同位素,对于查明这些动物生活的周围环境条件具有一定的意义。1979 年, Erben, Hoefs 和 Wedepohl 根据欧洲地中海地区恐龙蛋壳的氧和碳稳定同位素组成,探讨了 Maastrichtian 时期该地区陆相气候的变化。

我国是世界上恐龙蛋化石埋藏异常丰富的国家之一,根据已发现的材料来看,我国的恐龙蛋化石在数量上,类型上,分布上以及保存的完整程度上,都是世界任何其它国家所无法比拟的。因此利用这些化石系统地进行氧和碳同位素的测定,探讨我国陆相白垩纪的古气候变化是具有十分重要意义的。但是,正如上面所提到的,根据陆相碳酸盐化石的氧和碳同位素组成探讨古气候变化的研究还处于开始阶段,有关的研究资料相当缺乏,要

进行这样的系统研究,还存在着很多困难。因此本文仅是研究山东莱阳恐龙蛋化石的氧和碳稳定同位素组成,从而说明这个地点的古气候特征。

二、材料和方法

本文所用的研究材料,选自中国科学院古脊椎动物与古人类研究所收藏的山东莱阳王氏群的恐龙蛋化石。王氏群主要为一套砖红色粗砂岩,粉砂质泥岩堆积,厚度大约 2000 多米,不整合于早白垩世青山群之上。恐龙蛋化石主要产于王氏群的中部和上部,时代为晚白垩世中期到晚期。

这些恐龙蛋化石已由周明镇(1951, 1954),杨钟健(1954, 1965),赵资奎和蒋元凯(1974),赵资奎(1979)作了形态学和显微结构的研究。组成这些化石的晶粒形态是典型的原生方解石生长结构,几乎没有重结晶的现象。

本文研究的方法是先将恐龙蛋化石样品处理干净,在真空中用磷酸和样品反应制备成 CO_2 , 然后进行氧、碳稳定同位素比值的质谱测定,经计算后取得的分析结果用 δO^{18} 和 δC^{13} 表示,其定义是:

$$\delta\text{O}^{18} = \left[\frac{(\text{O}^{18}/\text{O}^{16})_{\text{样品}}}{(\text{O}^{18}/\text{O}^{16})_{\text{标准}}} - 1 \right] \times 1000$$

$$\delta\text{C}^{13} = \left[\frac{(\text{C}^{13}/\text{C}^{12})_{\text{样品}}}{(\text{C}^{13}/\text{C}^{12})_{\text{标准}}} - 1 \right] \times 1000$$

δ 值用千分率(‰)表示,如果 δ 值为正值,这表明样品比标准更富集重同位素(如 O^{18} 或 C^{13}),反之, δ 值为负值,则表明样品比标准亏损重同位素,而轻同位素(如 O^{16} , C^{12})相对地较为富集。在进行碳酸盐的氧、碳稳定同位素组分分析时, δ 值统一采用 PDB¹⁾ 标度来表示。本实验分析精度优于 $\pm 0.1\text{‰}$ 。

三、结果与讨论

山东莱阳王氏群恐龙蛋化石的氧和碳稳定同位素分析结果列于表 1。同时将此结果和 Folinsbee 等人(1970)以及 Erben, Hoefs 和 Wedepohl (1979)关于恐龙蛋化石的氧、碳稳定同位素研究结果进行了比较,见图 1。

在讨论本文研究的恐龙蛋化石同位素的分析结果之前,必须说明,蛋壳中氧和碳同位素的组成和环境之间具有一定的关系。一般地说,当动物喂养或自然地饮用富含轻氧(O^{16})的水时,例如高纬度的融雪水,则它们产生的蛋壳,其碳酸盐中的 O^{18} 就相对地亏损;反之,如果饮用富含重氧(O^{18})的水,则蛋壳中的 O^{18} 将相对地更富集。在气温较高且又干燥的地区,水受温暖和干燥气候的影响而蒸发,由于蒸发过程中的同位素动力分馏作用,在水蒸气中将富集 O^{16} ,而在水源中剩下的母液将富集 O^{18} 。生活在该地区的动物饮用这些水源的水后,所产生的蛋壳就将富集更多的 O^{18} 。经研究表明, δO^{18} 比值和

1) PDB 是美国南卡罗莱纳州 Pee Dee 地层中的一种白垩纪箭石,是碳酸盐氧、碳稳定同位素分析中规定的国际标准。

表 1 山东莱阳恐龙蛋化石同位素组成(标准: PDB)

Isotopic composition of the dinosaur eggshell samples from Laiyang, Shandong Province (all calcite). Standard: PDB.

编号	蛋化石名称	层位	$\delta C^{13}(\text{‰})$	$\delta O^{18}(\text{‰})$
V786	长形蛋 (<i>Elongatoolithus</i>)	王氏群上部	-7.45	-5.25
V734	长形蛋 (<i>Elongatoolithus</i>)		-7.46	-5.16
V735	椭圆形蛋 (<i>Ovaloolithus</i>)		-8.92	-4.78
V735	副圆形蛋 (<i>Paraspheroolithus</i>)		-10.33	-4.47
No. 728	圆形蛋 (<i>Spheroolithus</i>)	王氏群中部	-6.81	-7.94
G5547	圆形蛋 (<i>Spheroolithus</i>)		-6.85	-8.42
V730	圆形蛋 (<i>Spheroolithus</i>)		-7.94	-7.59
V731	圆形蛋 (<i>Spheroolithus</i>)		-4.81	-7.37

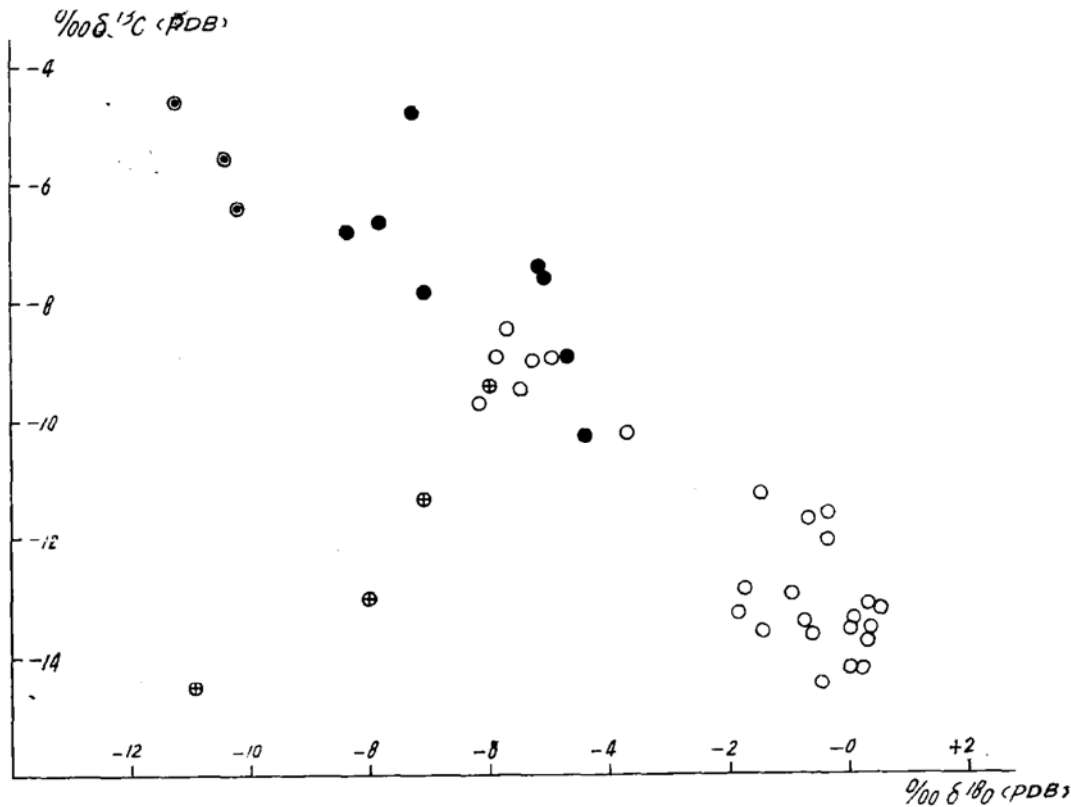


图1 不同地区恐龙蛋壳的氧、碳同位素组成比较图,地(中海地区和北美犹他州恐龙蛋资料来自 Erben 等 (1979), 蒙古和法国南部的一些数据系 Folinsbee 等 (1970) 的资料)。

Fig. 1 Plot of $\delta^{18}O$ and $\delta^{13}C$ values of the dinosaur eggshells from different regions. Data on dinosaur eggshells from Mediterranean and Utah(USA) are from Erben et al. (1979), and those from Mongolia and South France are from Folinsbee et al. (1970).

图例: ● 山东莱阳恐龙蛋 Samples from Laiyang; ⊙ 蒙古恐龙蛋 Samples from Mongolia; ⊕ 美国犹他州恐龙蛋 Samples from Utah (USA); ○ 地中海地区恐龙蛋 Samples from Mediterranean.

当时环境的相对湿度成反比。

但是由于陆地上水源多变,湖、河及水池等的大小也受到一定的限制,同时,雨水中的氧同位素组成不仅受气温的控制,而且也受当地水分蒸发过程,海拔高度(同位素高度效应)的控制。因此这些因素对于陆地上淡水环境的影响,要作出具体的估计目前还存在着一定的困难。

Erben, Hoefs 和 Wedepohl (1979) 在研究欧洲地中海地区恐龙蛋化石氧同位素组成和古气候的关系问题时,主要是根据一些现生鸟类蛋壳和这些样品所在地区的水的氧同位素组成与当地平均年气温的关系,同时利用 Dansgaard (1964) 研究的雨水中 δO^{18} 和平均年气温之间的关系进行校正,并作为标准。因此本文也将在这个基础上来讨论我们的实验结果。

由表 1 所列的数据可以看出,王氏群中部恐龙蛋壳的 δO^{18} 值在 -7.37 至 -8.42% 之间,平均为 -7.83% ; δC^{13} 在 -4.81 至 -7.94% 之间,平均为 -6.60% 。王氏群上部恐龙蛋壳的 δO^{18} 值在 -4.47 至 -5.25% 之间,平均为 -4.91% ; 而 δC^{13} 在 -7.45 至 -10.33% 之间,平均为 -8.54% 。这些结果表明,在王氏群发现的恐龙蛋壳中,氧和碳同位素组成由中部到上部有一些差别,但和欧洲地中海地区恐龙蛋化石的相比,这种差别并不很大。根据 Erben, Hoefs 和 Wedepohl (1979) 的报告,地中海地区晚白垩世恐龙蛋化石的同位素组成可分为两个明显的类群,这就是在西班牙 Maastrichtian 早期和中期,恐龙蛋壳的 δO^{18} 值平均为 -0.6% , δC^{13} 值平均为 -13.1% ; 而在法国南部 (Rousset 和 Albas) 的 Maastrichtian 晚期的恐龙蛋壳,其 δO^{18} 值平均为 -5.3% , δC^{13} 值平均为 -9.2% 。由此他们认为从 Maastrichtian 早期到晚期,欧洲地中海地区的水温和气温可能由相对较高的温度逐渐转变为较低的温度。

由此看来,在山东莱阳王氏群形成时期,气候的变化并不特别明显,总的说来可能是一种温热的气候环境。但是从王氏群中部到上部,恐龙蛋壳的 δO^{18} 平均值变化由 -7.83% (相对较轻) 增加到 -4.91% (相对较重),那末在该时期总的温热气候格局上仍有可能出现一些微小的变化,即由潮湿的环境逐渐变为相对较干燥的环境。这一推论是和这些恐龙蛋壳显微结构变化的研究结果(赵资奎, 1979) 相吻合的。

就全球性的气候变化而论,欧洲地中海地区晚白垩世晚期气候变化的总趋势是由干燥环境过渡到潮湿的环境 (Erben 等, 1979), 然而在亚洲地区,情况似乎正好相反,根据本文研究的结果以及由 Folinsbee 等 (1970) 分析的蒙古牙道黑达恐龙蛋壳氧和碳稳定同位素组成的结果来看(图 1), 亚洲晚白垩世的气候变化似乎由潮湿的环境变为相对较干燥的气候环境。但是有意义的是王氏群上部恐龙蛋壳的氧同位素组成和欧洲地中海地区 Maastrichtian 晚期恐龙蛋化石的比较相近(图 1 中央黑圆点和圆圈点密集相挨的部分), 因此似乎可以认为,到了晚白垩世的最晚期,亚洲和欧洲陆相的古气候可能趋于相似的状况。

关于碳同位素比值 δC^{13} 的变化问题,根据 Erben 等 (1979) 的资料,蛋壳中碳同位素可能主要来源于下蛋动物所吸收的食物。因此这就涉及到这些动物的食料来源问题。众所周知,植物进行光合作用形成有机化合物养料主要存在着两个不同的途径: C_3 途径和 C_4 途径。从这个意义来说,地球上的植物基本上可分为 C_3 植物和 C_4 植物。由于

C₃ 植物和 C₄ 植物在利用 CO₂ 的能力上强弱不同, 因而它们所含的碳同位素组成也具有不同的范围。因此以 C₃ 植物进食的动物和以 C₄ 植物进食的动物, 其骨骼或蛋壳中的 C¹³/C¹² 丰度比值也将产生一定的差别, 从而 δC¹³ 值也会有所不同。这已经由 Haines (1976), Vogel 和 Seely (1977) 以及 Erben 等 (1979) 的实验研究得到证明。

从上述情况来看, 本文研究的莱阳恐龙蛋化石 δC¹³ 较轻, 因此可以认为, 由这些蛋化石所代表的恐龙很可能是以 C₃ 植物作为主要的食料。

这项研究工作, 得到李平, 乔广生二位工程师的大力协助, 沈文龙同志精绘插图, 作者向他们表示感谢。

(1982年9月15日收稿)

参 考 文 献

- 严正, 1982: 碳酸盐氧、碳稳定同位素工作标准的一些计算问题。海洋实践, 2, 19。
- 周明镇 (Chow, M. C.), 1951: Notes on the Late Cretaceous dinosaurian remains and the fossil eggs from Laiyang, Shantung. *Bull. Geol. Soc. China*, 31(4), 89。
- , 1954: 山东莱阳化石蛋壳的细微构造。古生物学报, 2(4), 389。
- 杨钟健, 1954: 山东莱阳蛋化石。古生物学报, 2(4), 371。
- , (Young, C. C.) 1959: New fossil egg from Laiyang, Shantung *Vert. Pala.*, 3, 34。
- , 1965: 广东南雄, 始兴, 江西赣州的蛋化石。古脊椎动物与古人类, 9(2), 141。
- 赵资奎, 蒋元凯 (Chao, T. K. and Chiang, Y. K.), 1974: Microscopic studies on the dinosaurian eggshells from Laiyang, Shantung Province. *Scientia Sincia*, 17(1), 73。
- 赵资奎, 1979: 我国恐龙蛋化石研究的进展。华南红层现场会议论文集, 330。
- Dansgaard, W., 1964: Stable isotopes in precipitation. *Tellus*, 16, 436。
- DeNiro, M. J. and Epstein, S., 1978: Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochim. Cosochim. Acta*, 42, 495。
- Erben, H. K., Hoefs, J. and Wedepohl, K. H., 1979: Paleobiological and isotopic studies of eggshells from a declining dinosaur species. *Paleobiol.* 5(4), 380。
- Folinsbee, R. E., Fritz, P., Krouse, H. R. and Robblee, A. R., 1970: Carbon-13 and Oxygen-18 in dinosaur, crocodile and bird eggshells indicate environmental conditions. *Science*, 168(3937), 1553。
- Haines, E. B., 1976: Relation between the stable carbon isotope composition of fiddler crabs, plants and soils in a salt marsh. *Limnol. Oceanogr.*, 21, 880。
- Roads, J. O., 1978: Numerical experiment on the climatic sensitivity of an atmospheric hydrologic cycle. *J. Atmos. Sci.*, 35, 753。
- Vogel, J. C. and Seely, M. K., 1977: Occurrence of C-4 plants in the Central Namib Desert. *Madoqua*, 10, 75。

STABLE ISOTOPIC COMPOSITION OF OXYGEN AND CARBON IN THE DINOSAUR EGGSHELLS FROM LAIYANG, SHANDONG PROVINCE

Zhao Zikui (Chao, T. K.)

(Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, Academia Sinica)

Yan Zheng Ye Lianfang

(Institute of Geology, National Bureau of Seismology)

Key words Dinosaur eggshell Isotope Paleoenvironment

Abstract

The stable oxygen and carbon isotopes of the dinosaur eggshells from the Late Cretaceous Wangshih Series of Laiyang, Shandong Province, were measured on a mass spectrometer. The samples from Middle Wangshih Series have the mean oxygen and carbon isotopic compositions of -7.83‰ and -6.60‰ , respectively, and those from Upper Wangshih Series, -4.91‰ and -8.54‰ . This result can be inferred about paleoenvironment.

The oxygen isotopic composition of the dinosaur eggshells indicates that relatively warm climates could be assumed during the Late Cretaceous Wangshih Series.

If the carbon isotopic composition depends on that of diet, the dinosaur populations represented by these eggshells from Wangshih Series probably have consumed C-3 plants.