

宁夏同心中中新世三种植食性哺乳动物 牙齿碳同位素分析¹⁾

魏明瑞¹ 郭建崑²

(1 北京自然博物馆 北京 100050)

(2 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所 北京 100044)

摘要 宁夏同心中中新世 *Platybelodon danovi cheni*, *Amebelodon tobieni* 和 *Stephanocemas thomsoni* 化石牙齿的 ^{13}C 值为 -8.7‰ ~ -10.3‰ , 说明这些动物可能以 ^{13}C 值为 -20.7‰ ~ -25.3‰ 的 C_3 植物作为主要食物来源。根据齿冠高低与取食嫩叶或硬草的关系, 这三种动物的低冠齿所指示的食性支持了牙齿釉质的碳稳定同位素所指示的食性。

关键词 宁夏同心, 中中新世, 哺乳动物, ^{13}C 值, C_3 植物

中图法分类号 Q915.873, O615.2

1 引言

利用哺乳动物牙齿的碳稳定同位素研究古生态在国际上已经取得很多成果, 在国内还开展得很少, 邓涛等 (1998) 研究了甘肃庆阳的巴家嘴动物群, 董军社等 (1999) 研究了泥河湾动物群。本次研究的对象选择了宁夏同心动物群, 该动物群自 1979 年发现以来, 已经取得了许多科研成果, 本次提供的碳稳定同位素作为新的证据, 希望能够对该动物群及其生态环境有更深入的认识。

2 利用牙齿碳稳定同位素重建陆地古生态系统的基本原理

植物通过三种光合作用途径来固定碳。一种途径是 Calvin-Benson 循环, 在这种循环过程中, 碳结合生成 3 个碳原子的链式化合物, 即所谓的 C_3 , 所以采用这种光合作用途径的植物被称为 C_3 植物。在陆地生态系统中, Calvin-Benson 循环是占统治地位的光合作用途径。85% 的陆生植物都属于 C_3 植物, 它们包括乔木、大多数灌木、高纬度或高海拔或温凉季节生长的草本植物。大约有 10% 的陆生植物在光合作用过程种采用 Hatch-Slack 循环, 在这种循环中, 生成 4 个碳原子的链式化合物, 即所谓的 C_4 , 这些植物被称为 C_4 植物, 现代热带和亚热带的草本植物以 C_4 植物占优势。与 C_3 植物相比, C_4 植物更适应相对干旱的强烈季节性气候; 而 C_3 植物生长在相对冷湿的环境中, 不仅包括寒带, 也包括温带和热带地区寒冷小生境中的植物 (Ehleringer et al., 1991)。第三种光合作用途径是 CAM

1) 北京市自然科学基金项目 (编号: 5992009) 和国家自然科学基金项目 (编号: 49972012) 资助。

收稿日期: 2001 - 10 - 18

(Crassulacean Acid Metabolism) 循环,大多数肉质植物如仙人掌采用这种循环,它们在自然界所占比例很小,在大多数生态系统中,这种循环途径都是不重要的,与本项研究关系不大。

在陆地生态系统中, C₃ 和 C₄ 植物以不同的比例分馏碳的稳定同位素 ¹³C 和 ¹²C, ¹³C/ ¹²C 比率表述为:

$$^{13}\text{C}(\text{‰}) = [(\text{R}_{\text{样品}}/\text{R}_{\text{标样}} - 1) \times 1000]$$

R = ¹³C/ ¹²C, 标样采自白垩系海相化石箭石 (PDB), C₃ 植物的 ¹³C 值为 - 20 ‰~ - 35 ‰, 平均为 - 26 ‰; C₄ 植物的 ¹³C 值为 - 7 ‰~ - 15 ‰, 平均为 - 12 ‰(Peisker and Henderson, 1992)。

研究表明,哺乳动物的骨骼或牙齿碳稳定同位素组成反映取食植物的碳稳定同位素组成(Thackeray et al., 1990; Cerling, 1992; Cerling et al., 1993)。但是骨骼的高孔隙度使化石受到成岩作用的严重影响,而牙齿釉质的致密性使其原始碳同位素组成受成岩作用的影响很小,在哺乳动物化石碳稳定同位素研究上显示其重要性(Quade et al., 1992; Lee-Thorp and Van der Merwe, 1987; Wang et al., 1994)。哺乳动物的牙齿 95% 由羟基磷灰石(主要是磷酸钙,即 CaPO₄) 构成。在牙齿形成过程中,碳酸根离子(CO₃²⁻) 置换氢氧根离子(OH⁻) 或磷酸根离子(PO₄³⁻) ,形成 Ca₁₀(PO₄, CO₃)₆(OH, CO₃)₂, 被称为结构碳酸盐(LeGeros, 1981; Hillson, 1986; Newsely, 1989)。大量研究表明,这种结构碳酸盐稳定同位素组成可以通过合理的实验室处理而分离出来(Lee-Thorp and Van der Merwe, 1987; Quade et al., 1992)。而且,这种结构碳酸盐约占牙齿釉质的 1~2%, 这个数量足以在质谱仪上测定 ¹³C 值。

于是食草动物牙齿釉质羟基磷灰石中的结构碳酸盐能够反映取食植物的碳稳定同位素组成,这样,牙齿成为一种“记录器”,用来解释地方植物群落的光合作用途径。当动物取食 C₃ 或 C₄ 植物时, ¹³C 在动物的体内富集,幅度约为 12 ‰~ 15 ‰(Lee-Thorp and Van der Merwe, 1987)。

3 材料

本次研究的化石来自宁夏同心丁家二沟,属于著名的同心动物群。时代为中中新世,相当于欧洲的 MN6。同心动物群迄今已发现哺乳动物化石 26 属 27 种(关键,1988),包括 *Alloptox* sp.、*Monosaulax* sp.、*Pliopithecus zhanxiangi*、*Amebelodon tobieni*、*Serbelodon zhongnin-*

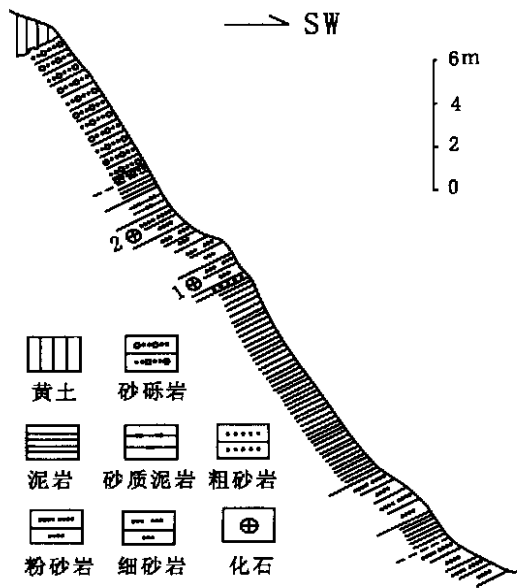


图 1 宁夏同心丁家二沟村印子岭沟东侧实测剖面
Fig. 1 Section at Dingjiaergou Village, Tongxin, Ningxia
(据胡书生, 1996)

gensis、*Platybelodon danovi cheni*、*Platybelodon grangeri*、*Gomphotherium yinanensis*、*Hemicyon* sp.、*Gobicyon* sp.、*Percrocuta primordiali*、*Pseudaelurus guangheensis*、*Miohyaena* sp.、*Protictitherium* sp.、*Caementodon tongxinensis*、*Huaqingtherium qiui*、*Aceratherium* sp.、*Brachypotherium brachypus*、*Chalicotherium* sp.、*Kubanochoerus* sp.、*Kubanochoerus lantianensis*、*Listriodon* sp.、*Moschus* sp.、*Cervidae* indet.、*Stephanocemas thomsoni*、*Eotragus halamagaiensis*、*Palaeomeryx* sp.、*Sinomioceras noverca*。本次研究对动物群中有代表意义的植食性动物 *Platybelodon danovi cheni*、*Amebelodon tobieni* 和 *Stephanocemas thomsoni* 进行了同位素测定,样品全部取自牙齿的釉质层。宁夏同心丁家二沟剖面有两个化石层,*Amebelodon tobieni* 来自第 1 化石层,*Platybelodon danovi cheni* 和 *Stephanocemas thomsoni* 来自第 2 化石层(图 1)。

4 方法

首先从牙齿化石上取下一小块釉质(大约 0.5g),用高速牙钻将釉质表面附着的沙土和白垩质全部清除掉,然后用蒸馏水将釉质彻底清洗干净,放入丙酮中浸泡,再用蒸馏水清洗干净,最后用玛瑙研钵将釉质样品充分研磨,使得粉末通过 200 目网筛。

将已制成的牙齿釉质粉末样品放入 5% 的次氯酸钠溶液中反应 12 小时,以去除样品中可能粘附的细菌蛋白和腐殖酸盐。然后用滤纸过滤,同时用蒸馏水反复冲洗。将完全冲洗干净的样品放入 6% 浓度的醋酸中反应 12 小时,反应在真空下进行,即将盛有醋酸溶液和样品的烧杯放入真空皿中,将其抽成真空,这一步骤的目的是去除掉成岩过程中产生的碳酸盐。然后,用滤纸过滤,蒸馏水冲洗,最后放入烘箱中完全干燥成粉末状。

经以上步骤处理过的样品,主要成分为含结构碳酸盐的羟基磷灰石。对样品中的结构碳酸盐进行碳、氧稳定同位素测试,测试工作由中国地质科学院矿产资源研究所的稳定同位素实验室完成。该测试中,采用磷酸法制备 CO_2 气体,以 PDB 为标准,在 Finigan MAT - 251 型质谱仪上测定碳稳定同位素比值,分析误差为 $\pm 0.1\text{‰}$ 。

5 结果与讨论

宁夏同心三种植食性哺乳动物牙齿釉质化石样品 ^{13}C 值为 $-8.7\text{‰} \sim -10.3\text{‰}$ (表 1)。考虑到因新陈代谢作用富集 $12\text{‰} \sim 15\text{‰}$,说明被测试的动物可能以 ^{13}C 值为 $-20.7\text{‰} \sim -25.3\text{‰}$ 的 C_3 植物作为主要食物来源。

表 1 宁夏同心三种植食性哺乳动物牙齿釉质化石碳同位素组成

Table 1 The stable carbon isotopes in the tooth enamel of three species of fossil herbivorous mammals from Tongxin, Ningxia

用于取样的植食性哺乳动物 herbivorous mammals sampled	^{13}C (‰)	用于取样的植食性哺乳动物 herbivorous mammals sampled	^{13}C (‰)
<i>Platybelodon danovi cheni</i>	- 9.3	<i>Platybelodon danovi cheni</i>	- 9.7
<i>Platybelodon danovi cheni</i>	- 9.5	<i>Amebelodon tobieni</i>	- 9.7
<i>Platybelodon danovi cheni</i>	- 9.3	<i>Amebelodon tobieni</i>	- 9.6
<i>Platybelodon danovi cheni</i>	- 9.1	<i>Stephanocemas thomsoni</i>	- 10.1
<i>Platybelodon danovi cheni</i>	- 8.7	<i>Stephanocemas thomsoni</i>	- 10.3

动物取食嫩叶或硬草与齿冠高低有联系。一般地,低冠齿与取食嫩叶相关,高冠齿与取食硬草相关。这是由于硬草中含有粗糙的植硅石(silica phytoliths),这种物质对牙齿有很强的磨损性,吃硬草的动物便以增加齿冠高度的进化策略来抵抗这种磨损(MacFadden and Cerling, 1994; Wang et al., 1994)。

低冠齿有很长的齿根,齿冠高度小于齿根长度和齿冠宽度(周明镇等, 1974)。铲齿象 *Platybelodon danovi cheni* 和 *Amebelodon tobieni* 的臼齿都是典型长颌乳齿象型——低冠丘脊型齿。*Stephanocemas thomsoni* 的臼齿也是低冠齿(李景芬等, 1998)。所以可以推断这三种动物都是以嫩叶作为主要食物来源。嫩叶来自乔木或灌木,而所有的乔木和大多数灌木都属于 C_3 植物。因此,这三种动物的低冠齿所指示的食性支持了牙齿釉质的碳稳定同位素所指示的食性。

致谢 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所邓涛博士在样品制作方法上给予指导,北京自然博物馆王宇同志在牙齿釉质取样和制备过程中做了许多工作,在此一并表示感谢。

THE STABLE CARBON ISOTOPES IN THE TOOTH ENAMEL OF THREE SPECIES OF THE MIDDLE MIOCENE FOSSIL HERBIVOROUS MAMMALS FROM TONGXIN, NINGXIA, CHINA

WEI Ming-Rui¹ GUO Jian-Wei²

(1 Beijing Natural History Museum Beijing 100050)

(2 Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, Chinese Academy of Sciences Beijing 100044)

Key words Tongxin, Ningxia, Middle Miocene, mammals, ^{13}C values, C_3 plants

Abstract

The ^{13}C values of fossil tooth enamel of middle Miocene *Platybelodon danovi cheni*, *Amebelodon tobieni* and *Stephanocemas thomsoni* from Tongxin, Ningxia ranged from -8.7‰ to -10.3‰ , suggesting that these herbivorous mammals were feeding predominantly on C_3 plants. The low-crowned dentitions of these animals indicated that they were browsers. And this supported the diets suggested by stable carbon isotopic compositions of tooth enamel.

References

- Cerling T E, 1992. Development of grasslands and savannas in East Africa during the Neogene. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol* (Global and Planetary Change Section), **97**:241 ~ 247
- Cerling T E, Wang Y, Quade J, 1993. Global ecological change in the late Miocene: expansion of photosynthesis. *Nature*, **361**:344 ~ 345
- Deng T(邓涛), Xue X X(薛祥煦), Dong J S(董军社), 1998. Stable carbon isotopic record of fossil for the cooling effect in northern China during the Quaternary. *Chin Sci Bull* (科学通报), **43**(17):1897 ~ 1990(in Chinese)
- Dong J S(董军社), Wang Y(王杨), Amundson R et al., 1999. Habitat signals in the carbon isotopic composition of tooth enamel phosphate from Pleistocene herbivores. In: Wang Y Q(王元青), Deng T(邓涛) eds. *Proceedings of the Seventh Annual Meeting of the Chinese Society of Vertebrate Paleontology* (第七届中国脊椎动物学学术年会论文集). Beijing: China Ocean Press. 211 ~ 218
- Ehleringer J R, Sage, R F, Flanagan L B et al., 1991. Climate change and the evolution of C_4 photosynthesis. *Trends in Ecology & Evolution*, **6**:95 ~ 99
- Guan J(关键), 1988. The Miocene strata and mammals from Tongxin, Ningxia and Guanghe, Gansu. *Mem Beijing Nat Hist Mus* (北

- 京自然博物馆研究报告), **42**:1 ~ 21 (in Chinese with English summary)
- Hillson S, 1986. Teeth. Cambridge: Cambridge University Press. 1 ~ 376
- Hu S S (胡书生), 1996. A preliminary study on the ecological environment of *Platybelodon* Fauna of the Middle Miocene in Tongxin, Ningxia Hui Autonomous Region. Mem Beijing Nat Hist Mus (北京自然博物馆研究报告), **55**:99 ~ 107 (in Chinese with English abstract)
- Lee-Thorp J A, Van der Merwe N J, 1987. Carbon isotope analysis of fossil bone apatite. S Afr J Sci, **83**:712 ~ 715
- LeGeros R Z, 1981. Apatites in biological systems. Progr Cryst Growth Charact, **4**:1 ~ 45
- Li J F (李景芬), Liu H S (刘焕顺), Guan J (关键), 1998. Some Artiodactyls from the Middle Miocene of Tongxin, Ningxia. Mem Beijing Nat Hist Mus (北京自然博物馆研究报告), **56**:217 ~ 225 (in Chinese with English abstract)
- MacFadden B J, Cerling T E, 1994. Fossil horses, carbon isotopes and global change. Trends in Ecology & Evolution. **9**:481 ~ 485
- Newesely H, 1989. Fossil bone apatite. Application Geochemistry. **4**:233 ~ 245
- Peisker M, Henderson S A, 1992. Carbon-terrestrial C₄ plants. Plant, Cell & Environment. **15**:987 ~ 1004
- Quade J, Cerling T E, Barry J et al., 1992. A16 million years of paleodietary change using carbon isotopes in fossil teeth from Pakistan. Chemical Geology (Isotope Geoscience Section), **94**:183 ~ 192
- Thackeray J F, Van der Merwe N J, Lee-Thorp J A et al., 1990. Changes in carbon isotope ratios in the late Permian recorded in therapid tooth apatite. Nature, **347**:751 ~ 753
- Wang Y, Cerling T E, MacFadden B J, 1994. Fossil horses and carbon isotopes: new evidence for Cenozoic dietary, habitat, and ecosystem changes in North America. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol, **107**:269 ~ 279
- Zhou M Z (周明镇), Zhang Y P (张玉萍), 1974. Fossil elephants from China (中国的象化石). Beijing: Science Press. 1 ~ 74 (in Chinese)