物甲烷特征的最好说明. 此外艾参 1 井镜质体反射率测定资料, 二叠系 R_o= 0.7%~ 0.83%, 正处于液态窗阶段. 结合有机母质特征研究, 该区二叠系存在较好和好的生油岩, 足以形成规模性的油气藏. 因此, 总体而言, 艾参 1 井解析气碳同位素资料获得的认识与该区地质、地球化学、区域背景特征具有很好的相互印证.

3 结语

(1) GC_C_MS 仪器的优势和 10^{-2}~ 10^{-3} μL 级 C_1-C_7 检测技术的开发, 使微量解析气中痕量烃类气体碳同位素测量得以实现, 从而测定了艾参 1 井热真空脱气法获得的微量解析中的痕量 C_1~ C_3 组分的碳同位素组成. 不是源岩, 不是酸解气而是储层解析气中的痕量烃气, 这是借助于技术进步而进入的领域, 带来了新的重要的信息.

(2) 解析气的碳同位素特征说明这种气体不同于吐哈盆地目前开发的主要天然气资源煤型气, 而属于油型气, 其演化阶段与生物气相似, 考虑到该气体为油砂层解析气可认为它属于原油经生物降解形成的次生生物气.

(3) 这种认识与液态烃碳同位素特征、有机地球化学研究和区域地质背景吻合. 该油砂层油源可能为二叠系湖相烃源岩. 该区近年发现较大储量的重质油资源. 研究表明, 其油源可能为二叠系烃源岩, 这表明储层解析气的碳同位素研究可为勘探实践提供极有价值的信息.

致谢 本工作为国家自然科学基金(批准号: 49672129) 资助项目.

参 考 文 献

1 张晓宝, 徐永昌, 沈 平, 等. 我国不同赋存状态烃类气体的研究现状与愿望. 地球科学进展, 1997, 12(3): 230~ 235
2 邵 波, 文启彬, 张同伟. GC/C/M 碳同位素在线分析及济阳坳陷天然气中碳同位素研究. 科学通报, 1996, 41(17): 1 597~ 1 600

(1997-07-30 收稿, 1997-11-21 收修改稿)

第四纪初气候转寒事件的化石稳定碳同位素证据

邓 涛 薛祥煦④ 董军社
(中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 北京 100044; ④西北大学地质系, 西安 710069)

摘要 研究了甘肃庆阳巴家嘴动物群以马科为主的有蹄类化石, 根据牙齿釉质与动物取食草类之间的碳同位素富集关系, 恢复了当时该地区草本植物中 C_3 和 C_4 类型所占的比例, 表明以 C_3 植物为主. C_3 草本植物适应于冷湿的气候, 分析结果显示巴家嘴动物群生活的时期正处于冰期开始和夏季风退缩的临界状态, 是第四纪初全球气候转寒事件的反映.

关键词 **气候事件 第四纪 有蹄类 稳定碳同位素**

近年来, 利用稳定碳同位素恢复古气候的工作不断开展, 在中国, 对黄土和古土壤序列中碳酸盐和有机碳的 $\delta^{13}C$ 值分析取得了一些成果[1,2], 但是, 这些来源的碳同位素组成受成岩

作用的影响显著,因而对古气候的恢复存在较大误差. 哺乳类牙齿化石的釉质在成岩作用过程中能较好地保存动物生活时期的碳同位素组成[3],同时,食草的有蹄类在体内以固定的比例浓缩碳同位素组成[4],可以据此恢复地质时期草本植物的同位素组成及其光合作用途径,进而重建古气候.

1 样品与测试

本次研究的化石来自甘肃庆阳的巴家嘴动物群,时代为早更新世早期,与泥河湾动物群相当,产出地层为河流相砂层,上覆黄土相当于午城黄土[5],年龄约为2.5 MaBP. 对动物群中以马科为代表的有蹄类化石进行了同位素测定,包括真马(*Equus* sp.)、三趾马(*Hipparion* sp.)、鹿(*Cervus* sp.)、羚羊(*Gazella* sp.),样品主要取自牙齿的釉质层,作为对比,也测试了马属的全牙和骨质样,同时还测试了地层的背景值. 釉质组分的95%由羟基磷灰石组成,主要是$Ca_3(PO_4)_2$. 稳定碳同位素在牙齿形成过程中被置换进$Ca_{10}(PO_4, CO_3)_6(OH, CO_3)_2$内,置换部分约占釉质的1%,这部分碳酸盐称为结构碳酸盐.

釉质样品先在丙酮中浸泡,溶解有机质,用玛瑙研钵磨成粉末后,在5%的次氯酸钠中反应12 h,去除掉可能粘附的细菌蛋白和腐殖酸盐,再在真空下与6%的醋酸反应12 h,去除掉成岩作用过程中产生的碳酸盐[6]. 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、氧同位素比值,分析误差小于0.1‰(表1).

表1 巴家嘴样品的碳、氧同位素组成[a)]

样品号	种类	$\delta^{13}C$/‰	$\delta^{18}O$/‰	样品号	种类	$\delta^{13}C$/‰	$\delta^{18}O$/‰
E-1	*Equus* sp.	-10.2	-9.9	E_11[b)]	*Equus* sp.	-8.9	-5.9
E_2	*Equus* sp.	-11.9	-12.5	E_12[c)]	*Equus* sp.	-10.0	-6.7
E_3	*Equus* sp.	-10.8	-10.8	E_13[c)]	*Equus* sp.	-8.8	-9.0
E_4	*Equus* sp.	-8.7	-11.0	H_1	*Hipparion* sp.	-9.8	-7.5
E_5	*Equus* sp.	-8.0	-9.0	H_2	*Hipparion* sp.	-10.4	-6.8
E_6	*Equus* sp.	-9.8	-10.1	C_1	*Cervus* sp.	-9.8	-5.8
E_7	*Equus* sp.	-10.4	-10.4	C_2	*Cervus* sp.	-11.4	-8.9
E_8	*Equus* sp.	-11.1	-9.5	G_1	*Gazella* sp.	-10.5	-10.1
E_9	*Equus* sp.	-9.7	-9.1	S_1	土样	-6.3	-7.6
E_10[b)]	*Equus* sp.	-10.2	-7.4	S_2	土样	-6.2	-7.5

a) $\delta^{13}C$和$\delta^{18}O$都相对于PDB标准; b) 为全牙样或骨质样

2 测试结果与特征

所有化石样品的碳同位素组成都非常接近,变异系数(标准差与均值之比)< 0.1,反映测量值的偏离程度很小,而它们与地层的$\delta^{13}C$值有明显的区别,表明化石的碳同位素不受地层的浸染. 相反,化石的$\delta^{18}O$值相当分散,变异系数> 0.2,且有些样品与地层的$\delta^{18}O$相当接近,互有叠复,表明$\delta^{18}O$易受成岩作用影响,不能反映动物生存时的氧同位素组成,这也已经被实验结果所证实[3].

巴家嘴化石样品的$\delta^{13}C$值分布对同一时代同一地区的动物群来说是正常的,与北美现代的有蹄类($\delta^{13}C$值为-15.9‰~ -12.7‰)[6]、希腊7 MaBP的Samos动物群($\delta^{13}C$值为-13.0‰~ -9.6‰)[7]、南达科他32 MaBP的马科($\delta^{13}C$值为-14.1‰~ -10.0‰)[6]的碳同位素测定精度相当一致.

3 分析与讨论

在自然界, 植物的光合作用途径有 3 种形式, 其中的 CAM 循环存在比例很小, 在大多数生态系统中都是不重要的. 占主导地位的是 Calvin-Beson 循环和 Hatch-Slack 循环, 前者为 C_3 植物所具有, 其中包括高纬度和高海拔的草本植物, 生长在寒冷、温凉的湿润气候中; 后者为 C_4 植物所具有, 包括热带和亚热带的草本植物, 生长在干旱的强烈季节性气候中[6].

C_3 植物的 $\delta^{13}C$ 值分布范围为- 23‰~ - 34‰, 平均为- 27‰. C_4 植物的 $\delta^{13}C$ 值分布范围为- 9‰~ - 17‰, 平均为- 13‰. 当动物取食 C_3 或 C_4 植物时, $\delta^{13}C$ 将在动物的骨骼组织中以 12‰~ 15‰的比例浓缩, 这样, 纯粹取食 C_3 植物的动物组成骨骼和牙齿的羟基磷灰石所含 $\delta^{13}C$ 为- 15‰~ - 12‰, 平均为- 13‰, 而纯粹取食 C_4 植物的动物 $\delta^{13}C$ 为- 1‰~ + 2‰, 平均+ 1‰[4]. 根据这一原理可以计算巴家嘴动物群生活时期草本植物的 $\delta^{13}C$ 值, 结果表明, 庆阳地区这一时期的草本植物中, C_3 植物占统治地位, 约 4/ 5, C_4 植物仅占少数, 约 1/ 5(图 1) .

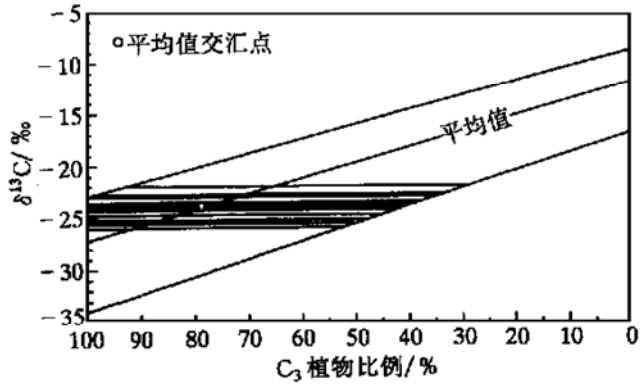


图 1　庆阳巴家嘴地区早更新世早期草本植物的碳同位素组成

现在的庆阳地区处于中国西北部的气候敏感带(北纬 36°) , 今天地球的这一纬度带从南北半球看都是以 C_4 植物占绝对优势, 如美国的大平原和阿根廷的潘帕斯草原, 而 C_3 植物在大于纬度 50°的地区才占优势, 如加拿大的草原地带[6]. 因此, 巴家嘴动物群生活的早更新世早期这一地区的环境显然与今天不同.

C_3 植物可以分布在高海拔地区, 如肯尼亚的山区, 3 000 m 以上全为 C_3 植物, 3 000~ 2 000 m 为 C_3 和 C_4 植物混合类型, 2000m 以下全为 C_4 植物. 如果是海拔高度造成的 C_3 植物分布, 那么庆阳地区当时的海拔高度应该在 2 500 m 以上, 但今天庆阳地区所在的陕北高原的最大高度仅 1 200 m, 早更新世早期的海拔更远远达不到 2 500 m.

C_3 植物可以分布在高纬度地区, 在北半球, 它的南界在庆阳以北的对应地区为俄罗斯贝加尔湖南部到蒙古色楞格河流域一带, 与庆阳地区的纬度约相差 15°, 但在早更新世早期, 庆阳地区的纬度与今天没有太大的差异, 因此, 巴家嘴动物群反映的 C_3 植物占优势的情况也不是由于纬度带造成的.

显然, 必定是早更新世早期的气侯与今天有很大的差异. C_3 植物适应于冷湿的气候, 今

天地球上与庆阳地区处于同一纬度而又以 C_3 植物占优势的仅有少数冬雨气候地区, 反映了温度低、湿度大的状况, 如希腊的爱琴海沿岸、美国的俄勒冈[4]、澳大利亚的维多利亚南部、南非的西海岸[9]等. 但是, 欧亚大陆东部不存在冬雨气候, 因此, 冷湿的状况必然由别的原因引起.

2.5 MaBP 的早更新世早期发生了全球冰量的首次重要聚集, 中国黄土开始堆积, 真马由白令陆桥自北美向欧亚扩散, 这正与巴家嘴动物群的情况吻合. 黄土-古土壤序列代表了东亚季风气候相对强弱的变化, 黄土层反映干冷的气候, 古土壤层反映暖湿的气候, 根据对东亚季风变迁的研究, 冰期与干冷的冬季风对应, 间冰期与暖湿的夏季风对应[10]. 但是, 巴家嘴动物群反映的气候既不同于黄土期和冰期的干冷, 也不同于古土壤期和间冰期的暖湿, 而是代表了一种冷湿的状况, 是暖湿和干冷气候中间的过渡类型, 是气候发生转变的产物.

从巴家嘴动物群的层位和年龄看, 它正处于约 2.5 MaBP 的第四纪初期, 而中国大陆 2.5 MaBP 前后的气候演变和全球冰期气候变化一致, 在此期间, 北半球高纬度大陆冰川开始扩张. 但巴家嘴动物群反映的气候特征表明它并非处于冰期的极盛期, 因为冰期与干冷的气候对应, 而巴家嘴 C_3 植物的繁盛表明温度虽然很低, 但湿度仍然较大, 因此, 它正处于冰期气候开始的初期, 此时, 东亚季风气候也处于由夏季风盛行期向冬季风盛行期的过渡阶段, 夏季风带来的水汽尚能影响这一地区. 以上事实表明, 高纬度大陆冰川的扩张和东亚季风气候的夏季风对庆阳地区所在的中国气候敏感带的共同作用正处在一个转折点, 即冰期开始和夏季风退缩的临界状态. 因此, 巴家嘴动物群的碳同位素组成反映的 C_3 植物占优势的冷湿状况代表了气候从上新世的暖湿向更新世的干冷的过渡, 是第四纪初期全球气候转寒事件的新证据.

参 考 文 献

1 顾兆炎. 黄土-古土壤序列碳酸盐同位素组成与古气候变化. 科学通报, 1991, 36(10): 767~770
2 林本海, 刘荣谟. 最近 800 ka 黄土高原夏季风变迁的稳定同位素证据. 科学通报, 1992, 36(18): 1 691~1 693
3 Wang Y, Cerling T E. A model of fossil tooth enamel and bone diagenesis: implications for paleodiet reconstruction from stable isotopes. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol. 1994. 107: 281~289
4 MacFadden B J, Cerling T E. Fossil horses, carbon isotopes and global change. Trends Ecol Evol, 1994, 9: 481~486
5 王永焱, 薛祥煦, 何汝昌, 等. 陕北陇东黄土区第四纪地层的划分. 地质学报, 1966, 46(1): 102~117
6 Wang Y, Cerling T E, MacFadden B J. Fossil horses and carbon isotopes: new evidence for Cenozoic dietary, habitat, and ecosystem changes in North America. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol, 1994, 107: 269~279
7 Quade J, Solounias N, Cerling T E. Stable isotopic evidence from paleosol carbonates and fossil teeth in Greece for forest or woodlands over the pass 11 Ma. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol, 1994, 108: 41~53
8 Heady H F. Valley grassland. In: Barbour M G, et al. eds. Terrestrial Vegetation of California. New York: Wiley, 1977. 491~514
9 Rutherford M C. Biomass structure and utilization of the natural vegetation in the winter rainfall region of South Africa. In: Margaris N S, et al. eds. Components of Productivity of Mediterranean-climate. Regions: Basic and Applied Aspects. The Hague: Junk, 1981. 135~147
10 安芷生, 吴锡浩, 汪品先, 等. 最近 130 ka 中国的古季风, ㊀ 古季风变迁. 中国科学, B 辑, 1991(11): 1 209~1 215

(1997-09-21 收稿, 1998-04-20 收修改稿)