

四川珙县石碑恐龙化石埋藏地红层分子化石特征 及其古环境意义

梁 斌^{1,2} 王全伟² 阚泽忠² 朱 兵²

(1. 西南科技大学环境与资源学院, 四川 绵阳 621000; 2. 四川省地质调查院, 四川 成都 610081)

摘要:利用气相色谱-质谱仪(GC/MS)从四川珙县石碑恐龙化石埋藏地早侏罗世红层中检出了包括正构烷烃、类异戊二烯烃、长链三环萜、藿烷和甾烷等系列分子化石,这些分子化石来源于低等菌藻类生物和水生、陆生高等植物。利用这些分子化石的特征讨论了恐龙生活时代的古环境特征。姥鲛烷与植烷的比值(Pr/Ph)表明该恐龙化石埋藏地的沉积环境应为淡水、弱氧化的湖泊环境。所研究样品高碳数的正构烷烃均以与水生大型植物有关的 C_{25} 为主峰,并具有来自陆生高等植物的 $C_{27}\sim C_{31}$ 正构烷烃,反映出研究区湖盆水体中发育水生高等植物,周围陆地上发育木本和草本植物的古植物特征,体现了分子化石在恢复古环境研究方面的潜力。

关 键 词:分子化石;红层;恐龙;古环境

中图分类号:Q91 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3657(2006)01-0187-06

从分子水平上研究古代生物及其在地层学上应用的学科分支——分子古生物学和分子地层学已经成为当前古生物学与地层学的一个迅速发展的重要方向。分子化石是指地质体中那些来自生物有机体的分子,它们在有机质演化过程中具有一定的稳定性,虽受成岩等地质作用的影响,但基本保存了原始生物生化组分的碳骨架,记载了原始生物母质的相关信息,可以提供古生物学及与之相关的古环境信息^[1]。

四川盆地中生代陆相红层中蕴含着丰富的恐龙化石,对已发现的恐龙化石所进行过的研究,主要集中在恐龙的分类描述上^[2],虽对恐龙生活时代的古环境等问题已有涉及,但多是地层的岩相、沉积构造以及岩石地球化学特征等方面^[3-4]。由于红层中植物化石和孢粉比较稀少,难以进行比较系统的古植被恢复。因此,有关恐龙生活时代的古环境(包括水体、植物特征)等方面的研究较为薄弱,而这些问题对于深入探讨四川盆地恐龙生活时代的古环境乃至其埋藏学特征都是十分重要的。有机化合物种类繁多,分子结构精细,其中包含着丰富的与古环境有关的信息^[5-6],因此可以应用湖泊沉积物中所保存的有机分子进行古湖泊环境的重建^[7,8]。笔者对四川珙县石碑这一早侏罗世重要的恐龙化石埋藏地地层中的分子化石进行了研究,探讨其包含的沉积环境和古植物信息,以期加深对恐龙生活时代的古环境等问题的认识。

1 样品采集和实验方法

恐龙化石埋藏地位于四川省南部的珙县石碑乡(图1),恐龙化石产于下侏罗统自流井组中,岩性以暗紫色泥岩、粉

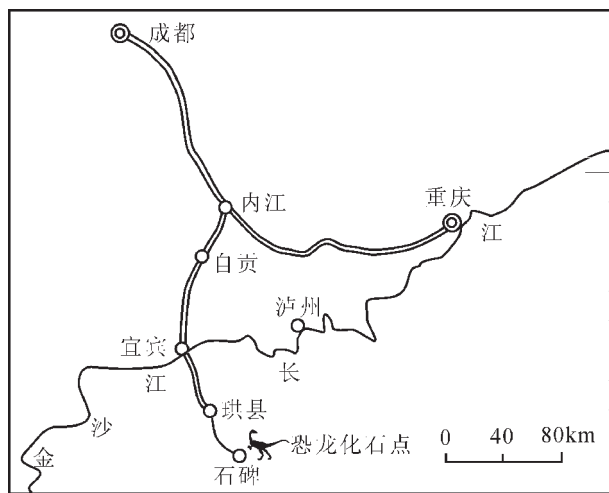


图 1 恐龙化石点位置图

Fig.1 Location map of dinosaur fossils

收稿日期:2004-12-09;改回日期:2005-09-20

基金项目:中国地质调查局地质大调查项目(200313000051)资助。

作者简介:梁斌,男,1967年生,博士,副教授,主要从事地球表层与环境研究;E-mail:earliuh@163.com。

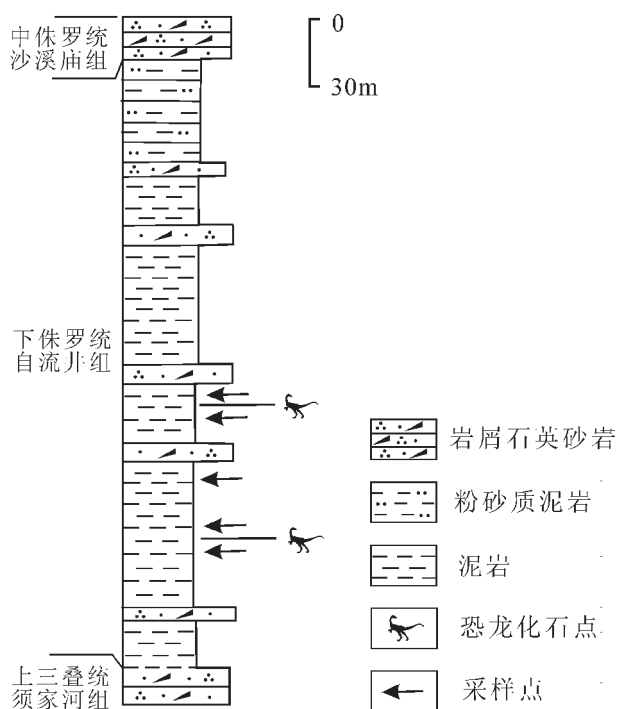


图2 下侏罗统自流井组岩性柱状图及采样位置

Fig.2 Lithologic column of the Early Jurassic Ziliujing Formation and sampling location

砂质泥岩为主,夹黄灰色细粒-中粒岩屑石英砂岩,泥岩中含少量的姜状钙质结核,其沉积环境为浅湖-极浅湖。该处共发现了5条以上的完整或较完整的恐龙个体,属原始的蜥脚类和兽脚类,并建立了一个恐龙新种——石碑琪县龙 *Gongxiansaurus shibeiensis*,还发掘出很多属于琪县龙属的肩胛骨、背椎、肠骨以及完整的尾椎系列。其时代稍晚于云南早侏罗世禄丰恐龙动物群,但早于中侏罗世四川自贡大山铺峨眉龙-蜀龙动物群^[9,10]。

在石碑乡恐龙化石埋藏地有上、下两个化石点,上部的化石点发掘出了保存完整、数量较多的恐龙化石;下部的化石点仅发现了少量的恐龙化石,未进行发掘。笔者在两个恐龙化石点上,分别采集了2件靠近恐龙骨骼化石的紫红色泥岩,在两个恐龙化石点之间的紫红色泥岩中采集了1件样品(图2)。

由于四川盆地侏罗纪陆相红层的有机质含量极少,防止分析过程中人为污染至关重要。首先将新鲜的样品粉碎至100目以下,用进口农残级三氯甲烷在索氏抽提器中抽提72h,称重后用BSTFA硅烷化后再进行GC/MS分析。分析过程中所用的一切器皿均需用洗液浸泡、洗涤,事先将棉花、滤纸用三氯甲烷抽提备用。

实验地点在中国地质大学(武汉)地球表层系统开放实验室气相色谱-质谱(GC/MS)实验室。分析采用HP6890型气

相色谱与HP5973型质谱联用仪。色谱条件:HP-5MS石英毛细管柱(30m×0.25mm×0.25μm);升温程序:以3℃/min的速率从70℃升至280℃,终温恒温20min;进样口温度300℃;进样量1~2μl;氦气为载气。质谱条件:电子轰击源,电离能量70eV,电流为200μA,GC与MS接口温度280℃。

2 分子化石特征

5件样品中氯仿沥青“A”的含量为12.0~19.3μg/g,平均含量为16.1μg/g。在样品中检测出了种类丰富的分子化石,包括正构烷烃、类异戊二烯烃、萜烷和甾烷等(图3)。

2.1 正构烷烃

正构烷烃的碳数分布范围为C₁₅~C₃₁,分别以C₁₇和C₂₅为主峰的双峰型分布,样品均以前峰为主峰,后峰为较弱的次主峰(图3-a)。

正构烷烃广泛分布于生物体中,不同生物源的正构烷烃具有不同的分布类型、碳数范围及主峰碳数。来源于进行光合作用的微生物、海相或湖相的藻类、菌类等低等生物的正构烷烃碳链较短(C₁₃~C₂₁),通常以C₁₇、C₁₈或C₁₉为主峰的单峰型分布,缺少高碳数(>C₂₅)的正构烷烃,无明显的奇偶优势^[11];陆生高等植物来源的正构烷烃碳链较长(C₂₃~C₃₅),通常以C₂₇、C₂₉或C₃₁为主峰的单峰型分布,具有显著的奇偶优势^[12];而双峰型分布则被认为是混合来源。水生大型植物(aquatic macrophytes)的正构烷烃中等链长(C₂₃~C₂₅)族组占优势^[12,13]。从样品的正构烷烃分布特征来看为混合来源,以C₁₇为主峰的低碳数正构烷烃来源于水生低等藻菌类,以C₂₅为主峰的高碳数正构烷烃(>C₂₂)来源于水生和陆生高等植物。

样品的碳优势指数CPI值为1.1~1.2,反映了检测出的分子化石经历了一定的成岩作用改造。L/H(ΣC₂₁/ΣC₂₂)通常用来指示低等水生生物与高等植物的相对比例。所分析的样品中,除了一件样品L/H值为1.85外,其余样品的L/H值为10.20~12.27,这反映有机质主要来源于低等水生生物。但是,由于样品的有机质成熟度较高,高碳数的正构烷烃会裂解成低碳数的正构烷烃,使得这一比值升高^[14],实测的L/H值可能掩盖了高等植物对有机质的贡献。

2.2 萜烷

从样品中检出了较为丰富的长链三环萜和少量的五环三萜化合物。长链三环萜碳数分布范围为C₂₀~C₂₉(图3-b),以C₂₁或C₂₃为主峰,C₂₇的相对含量很低,C₂₆、C₂₈、C₂₉各带有两个光学异构体,同时还检测出了C₂₄的四环萜。Aquino Neto et al^[15]在对近40个原油样品的分析后提出长链三环萜是藻类和菌类成因。C₂₄四环萜则是指示陆源高等植物来源的分子化石^[16]。因此,从样品中长链三环萜分布特点来看,有机质应主要来源于藻类、古细菌和部分高等植物。

五环三萜化合物主要是αβ型藿烷系列(图3-c),碳数分布范围为C₂₇~C₃₀(仅一件样品中检测出了C₃₁的升藿烷),主峰碳为C₃₀。五环三萜普遍存在于生油岩和原油中,过去认为它们主要来自植物的类异戊二烯环状物,以后发现细菌、

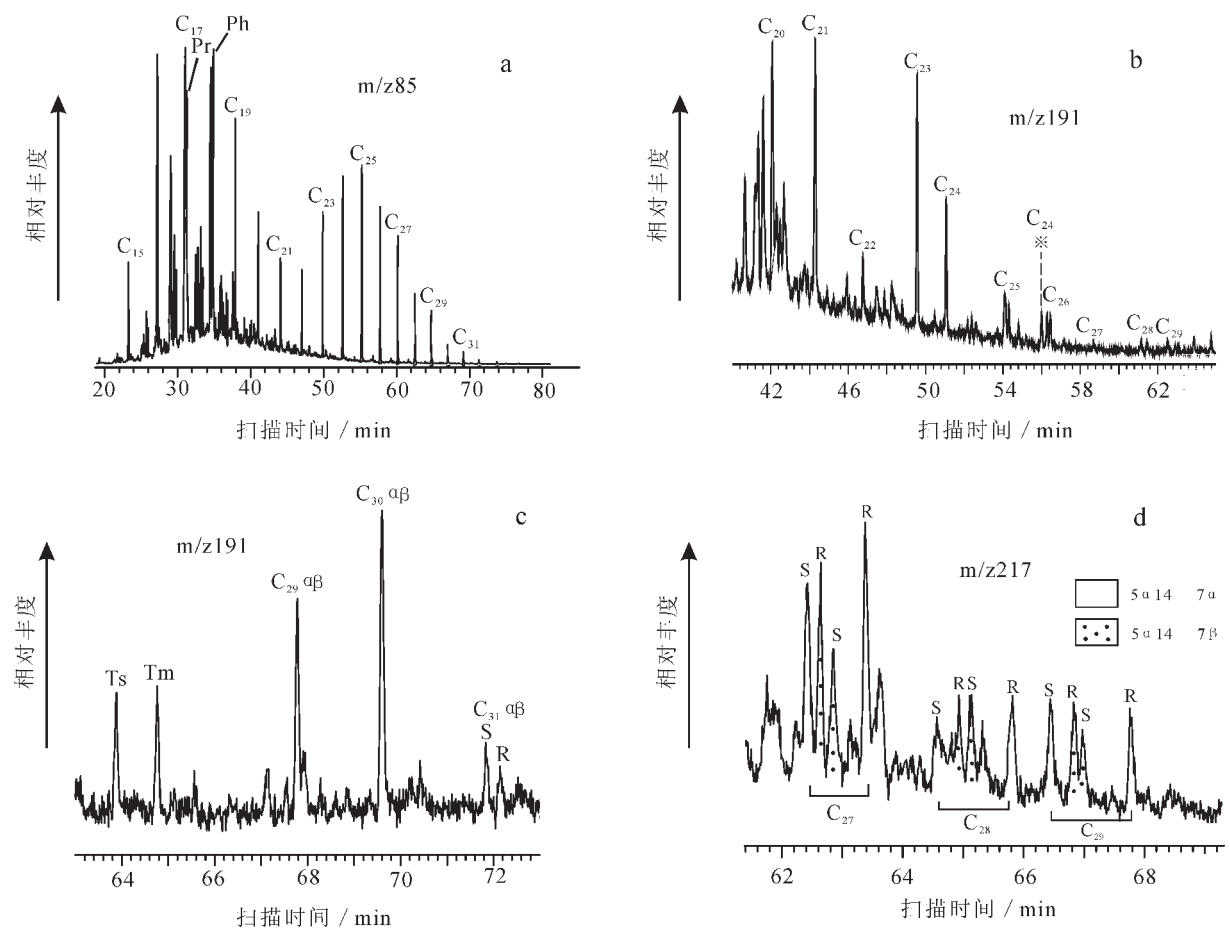


图 3 红层中烃类分子化石的质量色谱图
a—正构烷烃;b—长链三环萜(※为四环萜);c—藿烷系列;d—甾烷
Fig.3 GC/MS mass chromatograms of hydrocarbon molecular fossils in red beds
a—n-alkanes;b—Tricyclic terpanes (※for tetracyclic trepane);c—Triterpanes;d—Steranes

蓝藻中有带 4 个羟基官能团的藿烷结构化合物,从而提出藿烷类可以来自原核生物^[17]。史继扬等^[18]对贵州草海盆地更新世泥炭、粘土和云南水井湾褐煤中的生物标志化合物进行了研究,认为五环三萜化合物既可以来自高等植物,也可以来自细菌和低等原核生物,碳数 $\leq C_{31}$ 的藿烷主要来源于高等植物,而碳数 $\geq C_{32}$ 的藿烷主要来源于细菌和藻类等原核生物;同时指出,中国江汉盆地、泌阳盆地和东濮盆地部分生油母质具有较多的细菌和低等生物输入,其藿烷有 $C_{35}>C_{34}>C_{33}>C_{32}>C_{31}$ 的现象;成煤物质,尤其是高等植物产生的藿烷具有 $C_{31}>C_{32}$ 、 C_{33} 、 C_{34} 、 C_{35} 的特征。因此,样品中的藿烷主要来自于高等植物。

2.3 甾烷

样品中的甾烷化合物含量很少。规则胆甾烷有 C_{27} 、 C_{28} 和 C_{29} ,以 C_{29} 为主(图 3-d)。甾族化合物是由生物体中的甾醇经过成岩改造转化而成的,主要来源于真核生物,包括藻类、浮游动物和高等植物。一般认为,陆生植物主要含 C_{29} 甾

醇、其次是 C_{28} 甾醇,而 C_{27} 甾醇主要来源于水生生物(藻类和浮游动物)^[19]。甾族化合物的大量出现,一般认为与海相沉积有关,而甾族化合物稀少,是陆源物质大量输入的标志。因此本区甾烷为高等植物和藻类的混合来源。

3 分子化石的古环境意义

分子化石的组成均与原始生物的种属和地区气候变化密切相关。生物体死亡埋藏后有机质的演化又受控于沉积成岩环境,如盐度、氧化还原条件、pH 值、粘土矿物的催化作用等。因此,可以应用分子化石的分布特征、结构演化模式及其参数的变化来判识地质体中有机质的成熟度、生物输入源、沉积古环境^[6]。湖泊沉积物中的有机质主要来源于湖泊水体及其周围环境中的生物群,在沉积物中的分子化石虽然经历了一些成岩作用的改造,但仍然可以保存其生物来源的信息^[7,8]。

3.1 氧化-还原条件和盐度

姥姢烷(Pr)和植烷(Ph)广泛地分布于各种近代、古代沉

肌物和化石燃料中。姥姣烷和植烷都是植醇的降解产物,Pr/Ph比值已被作为反映古沉积环境氧化还原条件的指标^[20]。Peter et al^[21]认为高的 Pr/Ph 值(>3.0)指示陆源有机质在氧化条件下输入,低值(<0.6)代表缺氧环境,接近于 1 表示弱氧化和弱还原环境。所研究样品的 Pr/Ph 值在 0.71~1.15,且样品为紫红色,反映当时的环境应为弱氧化环境。Pr/Ph 值不仅被用作指示环境的氧化还原条件,同时也可以指示水体的盐度特征。傅家谟等^[6]对中国陆相沉积盆地代表性样品的研究表明,淡水环境中姥姣烷/植烷值在 1 左右,个别较低,而淡水—半咸水环境中则往往大于 1,膏盐环境沉积物的姥姣烷/植烷值异常低。因此,样品的 Pr/Ph 值表明当时湖泊的水体为淡水环境。

Pr/Ph 值所反映的沉积环境与四川盆地岩相古地理研究结果是一致的。对四川盆地早侏罗世的沉积环境研究^[9]表明,盆地典型的大型湖泊环境。恐龙生活的东岳庙期为浅湖、极浅湖环境,沉积物以泥质岩为主,夹介壳灰岩和微晶灰岩等,在盆地南部的珙县等地,由于靠近湖岸,陆源物质供给较丰富,碳酸盐岩沉积不发育。生物化石主要为淡水双壳类、其次为淡水介形类、叶肢介和轮藻等,丰富的淡水生物化石和缺乏膏岩矿物表明湖水为淡水。

3.2 古植物特征

湖相沉积物中的有机质来源于湖泊中的藻类、水生大型植物(沉水植物、漂浮植物、挺水植物)、湖泊周围的陆生植物以及土壤中的微生物。沉积物中的分子化石能够保存其生物来源的信息。其中的正构烷烃广泛分布于生物体中,是生物标志化合物中研究得最为广泛的一类。不同生物源的正构烷烃具有不同的分布类型、碳数范围及主峰碳数,可以提供物质来源的信息,可以为恢复湖泊及其周围的植物情况提供信息^[7, 8]。

长链(>C₂₅)的正构烷烃主要来源于陆生高等植物^[12],其中的 C₂₇、C₂₉ 主要来源于木本植物,C₃₁、C₃₃ 则主要来源于草本植物^[11]。在以木本植物为主的流域内,高碳数的正构烷烃以 C₂₇ 或 C₂₉ 占优势^[11]。而水生大型植物(aquatic macrophytes)的正构烷烃以中等链长(C₂₃~C₂₅)族组占优势^[12, 13]。Huang et al^[12]对 Sacred 湖中现代水生大型植物正构烷烃分布特征的研究表明,中等链长的正构烷烃(C₂₃~C₂₅)在 6 种沉水和飘浮水生大型植物中占优势,但在 9 种挺水植物中没有出现这样的分布特征,因此认为 Sacred 湖中的中等链长的正构烷烃可能主要反映来自沉水和飘浮水生大植物的输入。所有样品中的高碳数(>C₂₂)正构烷烃均以中等链长的 C₂₅ 占优势,这一特征表明研究区内早侏罗世的湖泊中发育有茂盛的沉水和飘浮的水生大型植物,而来自陆生高等植物的长链(>C₂₅)正构烷烃相对含量较低,这反映了湖泊周围也有木本植物和草本植物分布,但没有水生大型植物发育。

王红梅等^[22]对四川盆地西北部边缘剑门关地区的中侏罗统沙溪庙组—下白垩统剑门关组红层中分子化石的古植被意义进行了研究,所分析的样品高碳数正构烷烃均以 C₂₇、C₂₉

为主峰,反映了该区从中侏罗世—早白垩世总体上以木本植物占绝对优势。与笔者对早侏罗世分子化石所反映的植物类型有所不同,这说明了四川盆地从早侏罗世到早白垩世植物类型发生了变化,这种变化应该是四川盆地古地理环境变化的结果之一。研究表明^[9],早侏罗世盆地为典型的大型湖泊环境,可划分为深湖相、浅湖相和滨湖相,总的说来为温暖潮湿气候。中侏罗世中、晚期沉积环境发生明显的变化,盆地由早侏罗世—中侏罗世初期以湖泊环境为主,转变为以河流环境为主,气候由温暖潮湿转变为炎热湿润,该期沉积环境为河流相与湖泊相交替。河湖之间为广阔陆地和湖滨地区,其上植物茂盛,这为恐龙提供了广阔的活动场所和丰盛的食物来源,有利于恐龙的生活和繁殖,因此,此时期就成了四川侏罗纪恐龙的繁盛期。晚侏罗世,盆地内沉积环境有明显的分异,盆地北部及东部为典型的单一河流相沉积,为一套砂、泥岩组成的韵律层,盆地西南部及中部以河流与间歇湖泊相交替沉积为特征。为干旱、半干旱气候,植被不发育,表现为恐龙种类、数量明显减少。研究区正构烷烃分子化石所反映出的湖盆水体中发育水生高等植物,周围陆地上发育木本和草本植物的古植被特征,正是对四川盆地早侏罗世古地理特点的响应。

4 结 论

在四川珙县石碑恐龙化石埋藏地早侏罗世红层中,检出了正构烷烃、类异戊二烯烃、长链三环萜、藿烷和甾烷等系列分子化石,它们主要来源于低等菌藻类生物和水生、陆生高等植物。这些分子化石不仅反映地层中有机分子的来源,而且对恐龙生活时代的古生态环境也有一定的指示意义。Pr/Ph 值在 0.71~1.15,反映了研究区早侏罗世是弱氧化的淡水湖泊环境。高碳数的正构烷烃以来自于水生高等植物的 C₂₅ 占优势,表明研究区湖泊中生长有茂盛的沉水和飘浮水生大型植物,陆生高等植物(木本、草本植物)相对不发育,这样的古植物特征与当时四川盆地为一广阔湖盆的古地理环境是相符合的。研究区正构烷烃分子化石对湖泊中水生高等植物的记录,弥补了孢粉化石仅反映陆生高等植物的不足之处,有利于较完整地恢复恐龙生活时代的古生态环境,这也显示出红层中分子化石在研究古环境方面的意义。

致谢:感谢中国地质大学(武汉)谢树成教授以及中国地质大学(武汉)湖北省地球表层系统开放实验室气相色谱—质谱(GC/MS)实验室对研究工作的支持和帮助。

参考文献(References):

[1] Brassell S C, Eglinton G, Marlowe I T, et al. Molecular stratigraphy: a new tool for climatic assessment[J]. Nature, 1986, 320:129~133.
[2] 董枝明, 周世武, 张奕宏. 四川盆地侏罗纪恐龙化石[M]. 北京: 科学出版社, 1983.1~89.
Dong Zhiming, Zhou Shiwu, Zhang Yihong. Dinosaur Fossils from

- Early Jurassic in Sichuan Basin[M]. Beijing:Science Press, 1983.1~89 (in Chinese with English abstract).
- [3] 夏文杰, 李秀华. 恐龙埋藏环境及岩相古地理特征[M]. 成都:四川科学技术出版社, 1988. 29~63.
- Xia Wenjie, Li Xiuhua. Burial Environment and Characteristics of Lithofacies and Paleogeography[M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 1988. 29~63 (in Chinese with English abstract).
- [4] 李奎, 张玉光, 蔡开基, 等. 四川盆地侏罗纪恐龙骨骼及红层的微量元素组合特征[M]. 北京:地质出版社, 1999. 1~120.
- Li Kui, Zhang Yuguang, Cai Kaiji, et al. The Characteristic of Rare Elements of Dinosaur Skeleton and Red Clastic Rock in Sichuan Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999. 1~120 (in Chinese with English abstract).
- [5] 傅家谟, 盛国英. 分子有机地球化学与古气候、古环境研究[J]. 第四纪研究, 1992, 4: 306~320.
- Fu Jiamo, Sheng Guoying. Molecular organic geochemistry and its application to study paleoclimate and paleoenvironments[J]. Quaternary Science, 1992, 4: 306~320 (in Chinese with English abstract).
- [6] 傅家谟, 盛国英, 许家友, 等. 应用生物标志化合物参数判识古沉积环境[J]. 地球化学, 1991, (1): 1~12
- Fu Jiamo, Sheng Guoying, Xu Jiayou, et al. Application of biomarker compounds in assessment of paleoenvironment of Chinese terrestrial sediment[J]. *Geochimica*, 1991, (1): 1~12 (in Chinese with English abstract).
- [7] Meyers P A, Ryoshi Ishiwatari. Lacustrine organic geochemistry—an overview of indicators of organic matter sources and diagenesis in lake sediments[J]. *Organic Geochemistry*, 1993, 20(7): 867~900.
- [8] Meyers P A. Application of organic geochemistry to paleolimnological reconstructions: a summary of examples from the Laurentian Great Lakes[J]. *Organic Geochemistry*, 2003, 34: 261~289.
- [9] 骆耀南, 王长生. 四川早侏罗世恐龙化石的新发现[J]. 科学通报, 1999, 44(10): 1078~1084.
- Luo Yaonan, Wang Changsheng. A new discovery of dinosaur fossils from the early Jurassic in south Sichuan [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1999, 44(10): 1078~1084 (in Chinese).
- [10] 何信禄, 王长生, 刘尚忠, 等. 四川南部珙县早侏罗世一新蜥脚类恐龙[J]. 四川地质学报, 1998, 18(1): 1~6.
- He Xinlu, Wang Changsheng, Liu Shangzhong, et al. A new sauropod dinosaur from the early Jurassic in Gongxian county, south Sichuan[J]. *Acta Geologica Sichuan*, 1998, 18(1): 1~6 (in Chinese with English abstract).
- [11] Cranwell P A, Eglinton G, Robinson N. Lipids of aquatic organisms as potential contributors to lacustrine sediments [J]. *Organic Geochemistry*, 1987, 11: 513~527.
- [12] Huang Y, Street-Perrott F A, Perrott F A, et al. Glacial-interglacial environmental changes inferred from the molecular and compound-specific $\delta^{13}\text{C}$ analyses of sediments from Sacred Lake, Mt Kenya[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1999, 63: 1383~1404.
- [13] Ficken K J, Li B, Swain D L, et al. An n-alkane proxy for the sedimentary input of submerged/floating freshwater aquatic macrophytes[J]. *Organic Geochemistry*, 2000, 31: 745~749.
- [14] 包建平, 王铁冠, 王金渝, 等. 下扬子地区海相中、古生界有机地球化学[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1996. 85~99.
- Bao Jianping, Wang Tieguan, Wang Jinyu, et al. Organic Geochemistry of Marine Sedimentary of Mesozoic and Paleozoic in Upper Yangtze Area[M]. Chongqing: Chongqing University Press, 1996. 85~99 (in Chinese).
- [15] Aquino Neto F R, Restle A, Connan J, et al. Novel tricyclic terpanes (C_{19} , C_{20}) in sediments and petroleum [J]. *Terrestrial Letters*, 1982, 23: 2027~2030.
- [16] 顾永达, 林明辉, 盛国英, 等. 浑源煤和乐平煤抽出物的化学组成及其地球化学特征[J]. 沉积学报, 1991, 9(增刊): 34~42.
- Gu Yongda, Lin Minghui, Sheng Guoying, et al. The compound and characteristic of geochemistry of extraction from Hunyuan coal and Leping coal [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1991, 9(Supp.): 34~42 (in Chinese with English abstract).
- [17] Dorselaer Van A, Ersminger A, Spyckerelle C, et al. Degraded and extended hopane derivation ($\text{C}_{27}\sim\text{C}_{35}$) as ubiquitous geochemical markers[J]. *Terrestrial Letters*, 1974, 1349~1352.
- [18] 史继扬, 向明菊, 洪紫青, 等. 五环三萜烷的物源和演化[J]. 沉积学报, 1991, 9(增刊): 26~33.
- Shi Jiyang, Xiang Mingju, Hong Ziqing, et al. Source and evolution of De-A-Lupenes and some pentacyclic triterpanoids[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1991, 9 (Supp.): 26~3 (in Chinese with English abstract).
- [19] Tissot B P, Welte D H. 石油的形成与分布[M]. 北京: 石油工业出版社, 1989. 78~298.
- Tissot B P, Welte D H. Formation and Distribution of Oil [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1989. 78~298.
- [20] Didyk B M, Simoneit B R T, Brassell S C, et al. Organic geochemical indicators of palaeoenvironmental conditions of sedimentation[J]. *Nature*, 1978, 272: 216~222.
- [21] Peters K E, Moldowan J M, et al. The Biomarker Guide [M]. Prentice Hall, 1993.
- [22] 王红梅, 刘育燕, 王志远. 四川剑门关侏罗—白垩系红层分子化石的古环境和古气候意义[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2001, 26(3): 229~234.
- Wang Hongmei, Liu Yuyan, Wang Zhiyuan. Molecular fossils as indicators for paleoenvironment and paleoclimate from red clastic rocks of middle Jurassic-early Cretaceous in Jianmenguan, Sichuan basin of China[J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2001, 26(3): 229~234 (in Chinese with English abstract).

Features of molecular fossils at the Shibeï dinosaur fossil site—Early Jurassic red beds—in Gongxian, Sichuan, and their paleoenvironmental significance

LIANG Bin^{1,2}, WANG Quan-wei², KAN Ze-zhong², ZHU Bing²

(1. School of Environment and Resource, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621000, Sichuan, China;

2. Sichuan Institute of Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China)

Abstract: A series of molecular fossils, including n-alkanes, pristane, phytane, extended tricyclic terpanes, hopanes and regular steranes, have been identified from the Shibeï dinosaur fossil site—Early Jurassic red beds—in Gongxian, Sichuan, through GC/MS analysis. These fossils are supposed to be derived from lower thallophytes and aquatic and terrestrial higher plants. The features of these molecular fossils are used to study the paleoenvironment during the dinosaur age. The Pr/Ph suggests that the sedimentary environment at the burial site of the dinofossils should be a limnetic, non-reductive lake. High-molecular-weight ($>C_{21}$) n-alkanes in the studied samples are dominated by C_{25} n-alkanes related to aquatic macrophytes, and in addition, C_{27} – C_{31} n-alkanes derived from terrestrial higher plants are also present. This suggests that aquatic higher macrophytes flourished in the lake of the study area in the Early Jurassic, while woody plants and herbaceous plants grew in the watershed around the water body. This study shows that molecular fossils have a potential in reconstructing the paleoenvironment.

Key words: molecular fossil; red bed; dinosaur; paleoenvironment

About the first author: LIANG Bin, male, born in 1967, Ph.D and associate professor, specializes in Earth's surface and environment; E-mail: earlluh@163.com.