

四川盆地侏罗纪恐龙骨骼 及红层的微量元素组合特征

李 奎 张玉光 蔡开基 著



地质出版社

地质行业科技发展基金资助项目（项目编号：959614）

四川盆地侏罗纪恐龙骨骼 及红层的微量元素组合特征

李 奎 张玉光 蔡开基 著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书以四川盆地侏罗纪恐龙为主要研究对象,采用中子活化、扫描电镜等现代测试手段对恐龙骨骼化石的矿物成分和化学成分、组构进行分析、鉴定,并参考大量侏罗纪、第四纪及现代脊椎动物样品,提供了盆地内侏罗纪恐龙骨骼化石的元素含量组成。此外,选择盆地内有代表性的侏罗系剖面,通过取样、测试,首次系统地提供了盆地侏罗系的元素组合。从生物地球化学角度分析研究了恐龙骨骼化石、围岩及红层在微量元素组合上存在的内在联系及规律。结合恐龙骨骼化石和红层的微量元素组合特征,对四川盆地侏罗纪恐龙动物群集群死亡的原因进行了探讨。

本书资料丰富,内容翔实,可使读者对四川盆地侏罗纪恐龙动物群以及侏罗纪红层的微量元素组合特征有所了解,并可从中了解进一步工作的方向。本书可供地质、地层古生物研究人员以及有关大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

四川盆地侏罗纪恐龙骨骼及红层的微量元素组合特征/李奎等著.-北京:地质出版社,1999.10
ISBN 7-116-02875-7

I. 四… I. 李… Ⅰ. ①恐龙-骨化石-微量元素-研究-四川盆地-侏罗纪②恐龙-红层-微量元素-研究-四川盆地-侏罗纪 N. Q915.86

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 60738 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑:祁向雷 王 璞 张卫东

责任校对:田建茹

*

北京印刷学院实习工厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本:787×1092 1/16 印张:10.25 图版:2 页 字数:234000

1999 年 10 月北京第一版·1999 年 10 月北京第一次印刷

印数:1—1000 册 定价:30.00 元

ISBN 7-116-02875-7

Q·13

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

序

各学科的相互交叉渗透、优势互补与寻求突破,是科学技术研究与发展特点之一,地球化学的研究也不例外。本书作者正是根据这一特点,将生物地球化学研究方法运用于古生物研究,即用于恢复恐龙生活的地球化学环境,探讨其对恐龙集群死亡的影响,取得了有价值的新进展,提出了机体中毒死亡的新观点。

恐龙的绝灭问题是20世纪尚未解决的一个自然科学之谜,作者以四川盆地丰富的恐龙化石为主要研究对象,辅之以和恐龙同时代、同产地的其他脊椎动物、植物化石,以及第四纪哺乳动物化石和现代动物骨骼,采用仪器中子活化分析(INAA)、扫描电镜等先进测试技术,对上述样品进行了矿物成分、化学成分(尤其是微量元素)和骨组织的分析测试和鉴定,首次系统地提供了四川盆地侏罗纪恐龙骨骼化石的微量元素组成及含量。要特别指出的是,作者对恐龙化石样品的矿物组分分离技术具有创新性和实用性。此外,作者还选择盆地内有代表性的侏罗纪红层剖面进行测量、取样和测试,首次系统地提供了四川盆地侏罗纪红层的微量元素组成及含量。在此基础上,分析了恐龙骨骼化石、围岩及侏罗纪红层在微量元素组成及含量上存在的内在联系及规律,对四川盆地内几个恐龙动物群的死亡原因进行了探讨,提出了与前人不同的新见解。

在研究思路,作者将恐龙的研究与环境的研究相结合,将古生物与现代生物的研究相结合,这是国内从生物地球化学角度探讨恐龙与环境之关系的一部资料最为翔实、论述最为充分的专著,它基本上代表了该研究领域国内的最新进展与领先水平。

该书的出版为研究恐龙的生存环境与微量元素之间的关系提供了新的科学资料,为研究恐龙集群死亡和绝灭提供了新的佐证,并将推动我国古生物与古环境地球化学相结合研究的发展。

中国科学院院士 欧阳自远

1998.9.1

目 录

1	前 言	(1)
2	四川盆地侏罗纪恐龙动物群.....	(4)
2.1	四川盆地侏罗纪恐龙化石研究简史	(4)
2.2	四川盆地侏罗纪恐龙化石的地理分布及地层层位	(6)
2.3	四川盆地侏罗纪恐龙动物群概述	(9)
3	四川盆地侏罗纪恐龙的埋藏环境及生态	(13)
3.1	四川盆地侏罗纪岩相古地理	(13)
3.2	四川盆地侏罗纪恐龙化石的埋藏特征	(14)
3.3	四川盆地侏罗纪恐龙的生态	(16)
4	恐龙骨骼化石的成分及组构.....	(18)
4.1	恐龙骨骼化石的矿物组分	(19)
4.2	恐龙骨骼化石矿物组分的成因初探	(21)
4.3	恐龙骨骼化石的化学组分	(22)
4.4	恐龙骨骼的显微组构	(23)
4.5	恐龙骨骼的超微组构	(27)
5	四川盆地侏罗纪恐龙骨骼化石的微量元素组合	(28)
5.1	测试方法及对象	(28)
5.2	测试样品的分离、处理	(33)
5.3	恐龙骨骼化石矿物组分分离前、后微量元素组合对比	(34)
5.4	四川盆地侏罗纪恐龙骨骼化石中微量元素组合	(37)
5.5	四川盆地恐龙骨骼化石与其他化石及现代脊椎动物的微量元素 组合对比研究	(46)
6	四川盆地侏罗纪红层的微量元素组合特征	(50)
6.1	四川盆地的形成与演化	(50)
6.2	四川盆地侏罗纪红层及剖面测制、取样	(50)
6.3	四川盆地侏罗纪红层剖面微量元素含量	(62)
6.4	四川盆地侏罗纪红层微量元素组合特征	(69)
7	四川盆地侏罗纪恐龙骨骼化石和红层的微量元素组合对比	(77)
7.1	四川盆地侏罗纪恐龙骨骼化石和红层中异常元素对比	(77)
7.2	红层中微量元素对恐龙生命的影响作用	(84)
8	四川盆地侏罗纪恐龙动物群死亡原因探讨	(88)
8.1	开江中侏罗世恐龙动物群死亡原因探讨	(88)
8.2	自贡中侏罗世恐龙动物群死亡原因探讨	(89)

8.3 广元晚侏罗世恐龙动物群死亡原因探讨	(91)
9 结 论	(94)
致谢	(97)
主要参考文献	(98)
英文摘要	(100)
图版说明及图版	(153)

1 前 言

四川盆地位于四川省阿坝、甘孜、凉山三个自治州以东,包括重庆市,是我国著名的外流盆地。因盆地中多紫红色砂页岩分布,又称“红色盆地”。盆地底部大致在雅安、叙永、云阳、广元之间,地势北高南低,海拔300~700m,其中以丘陵和低山地地形分布较多,平原较少。盆地外貌似菱形,东西稍宽,南北略窄,面积约20万km²。盆地四周为大凉山、邛崃山、大巴山、巫山及云贵高原上的大娄山等山脉,海拔多在1000~3000m之间。盆地中西部、岷江中下游有冲积平原——成都平原。东部为川东褶皱山地,构造上称川东弧群;盆地低缓的平顶丘陵。盆地内的河流主要有嘉陵江、岷江、沱江和乌江,为长江在四川盆地中的四大支流,分别自南北两侧注入长江,形成盆地中不对称的向心状水系。在大地构造位置上,四川盆地位于湘黔地台北部,西部边缘涉及康滇古陆、龙门山准地槽和江南古陆范围,所以大部分显示准地台特征。从古生代以来,盆地沉积稳定,其中典型的厚达3000m以上的红层,为中生代陆相沉积,是地质上最具特色的构造单元。

四川盆地的恐龙化石最早发现的科学记录,要算1915年美国劳德巴克(Louderback, G. D.)在荣县、威远一带采到的一枚恐龙牙齿和一段残破的股骨。20年后,美国著名古脊椎动物学家坎普(Camp, C. L.)对上述股骨作形态鉴定,认为属巨齿龙科(Megalosauridae),并指明产出地层时代为侏罗纪。这一发现昭示人们在中国西南腹地——四川盆地广布的红色堆积物为中生代产物。之后,我国著名古脊椎动物学家杨钟健等人曾对四川盆地的恐龙化石及产出地层作过系统的调查、研究,特别是对川北和川南地区地层作详细的对比分析。1943年,杨钟健等发表了《秦岭地区的一些地质问题》,指出四川盆地红层主要为侏罗纪沉积且恐龙化石均来自于红层之中。50年代以来,四川盆地的恐龙化石不断有新的发现,除了单一的个体外,还有成群个体的出土(自贡大山铺恐龙动物群等),为研究恐龙的埋藏环境创造了得天独厚的条件。从恐龙产出的层位看,在侏罗纪的不同阶段都有化石分布,尤其是中侏罗世的恐龙,在四川盆地内不仅数量、种类丰富,而且材料保存完好,出土规模宏大。类似这种情形在世界恐龙发现史上也是罕见的。此外,新发现的恐龙化石点也在不断对盆地内化石的分布作着补充,盆地的任一部位,都或多或少有恐龙分布,亦或成群、亦或单体。国内外古生物专家无不惊叹地盛赞四川盆地,称之为“恐龙之乡”。更值得一提的是,盆地内不仅有大量恐龙化石问世,而且经发掘研究后一些属种在世界上具有举足轻重的影响,如合川马门溪龙(*Mamenchisaurus hochuanensis*)是世界上脖颈最长的恐龙,而太白华阳龙(*Huayangosaurus taibaii*)为探讨剑龙祖先在东亚的演化理论提供了实物佐证。所以,四川盆地侏罗纪恐龙为研究中国和全球恐龙的发展、演化,提供了翔实、丰富的资料。同时,为中国乃至世界恐龙学科的深入研究作出了积极、有益的贡献。

虽然如此,但在过去的几十年中,对四川盆地恐龙的研究多停留在对新化石材料的形态学和分类学的研究,而有关恐龙生命活动的更深层次的问题,譬如恐龙群体生命的进化

线索和四川盆地的古环境对恐龙生命的影响,以及四川盆地众多恐龙群体死亡的原因探讨却很少涉及。综观全球恐龙学的研究,在这些领域依然存在不足。1980年,美国物理学家,诺贝尔奖获得者 Alvarez, L. W. 首先应用中子活化分析方法测试白垩系与第三系界线粘土层的微量元素,发现铍含量超高异常,钴、镍、砷、锑等也比沉积岩平均含量高十多倍到数十倍。而宇宙间,高铍含量多出现在其他星球之上,不可能在地表由地球本身产生,据此而推断铍来源于小行星撞击地球事件,因此提出了恐龙绝灭新假说——小行星撞击说。这一假说曾轰动一时,令世人震惊。在此思路的提示和启发下,人们对恐龙死亡、绝灭的探索由早期在沉积学基础上探讨沉积古环境对恐龙生命的影响,拓展到从生物地球化学角度来进行尝试性探索。1983年,夏文杰、李秀华对四川盆地“恐龙群窟”——自贡大山铺中侏罗世恐龙动物群的恐龙骨骼化石进行了化学全分析和光谱半定量分析。通过对分析元素含量的对比研究,认为该地恐龙集群死亡可能与砷中毒有关。1993年,张景华等人应用中子活化分析法对自贡大山铺恐龙骨骼化石和化石顶、底板围岩样品的微量元素进行测试,发现了放射性元素铀的超高异常,并指出是因严重放射性污染的生态环境变异事件发生而造成了成批恐龙的死亡。1994年,王毅民等人用等离子体光谱(ICP-AES)和等离子体质谱(ICP-MS)分析南雄盆地晚白垩世恐龙蛋壳化石样品,获得了主、次、痕量共31个元素的整体分析结果,用扫描核探针观测了蛋壳化石切片两个微区的痕量元素的组成及分布。除明确了蛋壳内痕量元素的分布特征外,还发现内壁锶分布层其含量很高,锶异常导致恐龙蛋壳变薄,影响正常孵化;其次在蛋壳的微小区域发现高达 10^{-6} 级的铍含量,这些因素被认为是恐龙绝灭的可能原因。1997年,陈友红等人用扫描质子探针及微束PIXE定量分析技术对我国广东南雄盆地晚白垩世地层中的病态恐龙蛋壳化石样品的微米区域内元素成分进行了测定和研究,认为微量元素尤其是锰、锌、砷、锶、铅等在恐龙蛋壳内的局部富集和污染作用可导致恐龙蛋壳的结构出现异常和病变,并影响正常的孵化和胚胎发育,从而引起其后代绝灭;另一方面,有毒微量元素被恐龙摄入也会造成其本身的生理功能失调,甚至致病而死。上述几例都是从生物地球化学角度来进行分析研究的,较之用其他方法来探讨恐龙生命活动规律与环境的关系不失为一种更有效的方法。生物与环境息息相关,环境的变化,特别是反映在环境的元素组合特征上,在生物体中也必然有清晰反映;同时,这种变化对生物体的产生、成长、疾病、死亡均有极为重要的影响,因此其具体作用对于恐龙生命规律的影响也依然适用。但是,上述工作多是针对某一产地,某一层位的几个恐龙骨骼化石或蛋壳化石样品进行分析研究的,缺乏横向、纵向上的对比,在时空上具有明显的局限性。若要对恐龙生命活动规律等问题进行探讨,研究对象最基本应限定于一个群体(群落),既有恐龙个体(未成年、成年个体),也有与其共生的其他伴生动、植物。只有这样,研究结果才可能更接近史前的真实情况。

本研究在选题、立意上力图克服这几方面的不足,首先选择四川盆地侏罗纪沉积连续、层序清晰、稳定的地层和该地层中产出的恐龙化石作为研究对象(各层位均有恐龙化石的发现,其进化关系密切、无任何中断)。其次在选样上也应扩大空间范围,在盆地中部、南部、北部和东部分别大量选取化石及围岩样品,而且在样品时代上也分别选取早、中、晚侏罗世的化石及围岩样品。不仅如此,为了更好地诠释不同生物体的微量元素组合特征之间的规律,还设法增取了与恐龙同时代的其它爬行类、鱼类、植物及第四纪的脊椎动物化石,以及现代脊椎动物的骨骼作分析测试。另外,本研究在骨骼化石样品的矿物组分分

离方法上也作了大量尝试性工作，经反复观察分析，这种将原生生物成因磷灰石和次生交代方解石经化学分离后，再分别测试其化学成分的方法，对进一步科学确立恐龙骨骼中微量元素的组合特征是极为可取的，并且为脊椎动物矿物组分分离也提供了积极而有效的思路和方法。此种方法较传统均匀取样进行分析是一大创新，也弥补了分离方法的不足。样品的分析测试采用的手段是当前国内外较为先进的仪器中子活化分析 (INAA) 技术，力求分析结果具较高的准确性。

总之，本项研究为系统地提供四川盆地侏罗纪恐龙骨骼化石以及盆地内红层剖面的微量元素组合特征作了大量的工作：踏勘恐龙化石点近 100 个；测制侏罗系剖面 3 条；采取恐龙骨骼化石及其它动植物化石及现代动物骨骼样品 80 个，围岩及红层样品 80 个；对其中的 150 个样品进行了仪器中子活化分析 (INAA)；磨制光片及薄片 20 个，并对其进行了显微照相和扫描电镜的观察。在此基础上，进一步探讨了侏罗纪恐龙的演化及盆地内几大恐龙动物群与环境间的生物地球化学关系，试图为揭开恐龙动物群集群死亡乃至绝灭之谜提供新的资料和研究途径。

2 四川盆地侏罗纪恐龙动物群

2.1 四川盆地侏罗纪恐龙化石研究简史

四川盆地恐龙化石的最早科学记录为1915年8月30日美国地质学家劳德巴克在荣县城东南3km处采得的一枚牙齿和一段股骨。这些化石后经美国古脊椎动物学家坎普研究,1935年鉴定为肉食恐龙的巨齿龙科(Megalosauridae),其时代为侏罗纪。

1935年,我国著名的古脊椎动物学家杨钟健教授报道了采自重庆北碚附近自流井组的几枚恐龙牙齿和一块破碎的骨片。

1936年,杨钟健和坎普在荣县城东的西瓜山发掘出一具蜥脚类恐龙骨架,经杨钟健研究命名为荣县峨眉龙(*Omeisaurus junghsiensis* Young, 1939)。

1939~1940年,地质学家岳希新教授在威远县城东北约4km处的新店子自流井组马鞍山段采获一些恐龙化石,经杨钟健研究命名为岳氏三巴龙(*Sanpasaurus yaoi* Young, 1944)。

1942年,杨钟健报道了采自川北广元市郊侏罗纪红层中的脊椎动物化石,其中包括甘氏四川龙(*Szechuanosaurus campi*)等恐龙化石。

1953年,宜宾市文化馆在宜宾市金沙江畔的马门溪的沙溪庙组上段中采集到一具蜥脚类骨架化石,经杨钟健命名为建设马门溪龙(*Mamenchisaurus constructus* Young, 1954)。

1955~1956年,李宣民及苏有玲等先后在长寿县狮子滩水库工地收集到一些蜥脚类化石,杨钟健研究后,命名为长寿峨眉龙(*Omeisaurus changshouensis* Young, 1958)。

1957年,四川省石油勘探局关耀武在渠县平安乡沙溪庙组上段中采集到一些剑龙标本,经杨钟健鉴定为关氏嘉陵龙(*Chialingosaurus kuani* Young, 1959)。

1957年4月,四川省石油地质勘探队在合川县太和镇鼓楼山发现了一处恐龙化石点,经四川省博物馆为期三个多月的发掘,获得了一具较完整的大型蜥脚类恐龙骨架,这就是著名的合川马门溪龙(*Mamenchisaurus hochuanensis* Young et Chao, 1972),该标本现陈列于成都理工学院博物馆内。

1970~1971年,成都地质学院在开江县金鸡乡下沙溪庙组中采获大量的恐龙化石,其中的兽脚类标本经何信禄研究鉴定为原始川东虚骨龙(*Chuandongocoelurus primitivus* He, 1984)和林氏开江龙(*Kaijiangosaurus lini* He, 1984)。其它大量的标本属蜥脚类,目前正在研究之中。

1972年3月,地矿部第七普查大队的黄建国等人,在大山铺万年灯发现恐龙尾椎3个,随后又采集到股骨1根,从而确立了后来举世闻名的大山铺恐龙化石点的存在。

1973年,成都地质学院博物馆在资中县罗泉沙溪庙组下段中采集到一具不完整的蜥脚类骨架,经李奎研究命名为罗泉峨眉龙(*Omeisaurus luoquanensis* Li, 1988)。

1973年,在自贡市鸿鹤坝沙溪庙组上段中,发现了一具鸟脚类恐龙骨架,经何信禄研究后,定名为鸿鹤盐都龙(*Yandusaurus hongheensis* He, 1979)。

1974年,重庆自然博物馆在自贡盐业历史博物馆的协助下,对自贡市郊伍家坝沙溪庙组上段底部的恐龙化石点进行了发掘,采集到大量的蜥脚类恐龙化石(共有12个个体)以及少量的剑龙和兽脚类化石。经侯连海(1976)、董枝明等人(1983)的研究,分别鉴定为:釜溪自贡龙(*Zigongosaurus fuxiensis* Hou et al., 1976)、多棘沱江龙(*Tuojiangosaurus multispinus* Dong et al., 1977)和坎氏四川龙(*Szechuanosaurus campi* Young, 1942)。

1977年6月,张奕宏等在永川县上游水库工地发掘出一具肉食龙骨架,被命名为上游永川龙(*Yangchuanosaurus shangyouensis* Dong, Chang, Li et Zhou, 1978)。

1977年10月,四川省保护古脊椎动物化石干部培训班在大山铺万年灯恐龙化石点挖掘出一具不太完整的蜥脚类恐龙,经鉴定命名为李氏蜀龙(*Shunosaurus lii* Dong et al., 1983)。

1979年11~12月和1980年7~9月,成都地质学院张素平、李奎等对广元市郊河西沙溪庙组上段恐龙化石点进行了为期4个月的发掘,获得大量的蜥脚类恐龙化石(不少于9个个体)以及少量的肉食龙、剑龙化石。经研究后确认,蜥脚类为一新种,即广元马门溪龙(*Mamenchisaurus guangyuanensis*);肉食龙归属甘氏四川龙(*Szechuanosaurus campi*);剑龙因材料较少,仅能归入嘉陵龙属中。

1979年12月,四川省石油管理局川西南矿区综合队在大山铺万年灯化石点附近修建停车场时,发现大量恐龙化石。中国科学院古脊椎动物与古人类研究所、重庆自然博物馆和自贡市盐业历史博物馆等单位的专业人员赶赴现场,进行抢救性发掘。1980年,上述三个单位在该化石点继续进行了发掘,共采获化石200多箱,其中包含约20余具恐龙个体骨架化石。

1981年4月至6月,成都地质学院李奎在威远黄石板自流井组马鞍山段中发现一批原始蜥脚类化石,经研究后命名为黄石板资中龙(*Zizhongosaurus huangshibanensis*, 未刊资料)。

1981年6月至1982年10月,由成都地质学院、重庆自然博物馆及自贡盐业历史博物馆联合组成的发掘队对大山铺化石点进行了较系统的发掘,共发掘出恐龙化石约70多个个体。其中,蜥脚类个体约50个(完整和比较完整的骨架10余具,完整的头骨2个)、鸟脚类个体约7个、剑龙个体约8个,兽脚类个体约4个,另还有鱼类、龟鳖类、蛇颈龙类、翼龙、三列齿兽类等化石。这批化石全部移交自贡恐龙博物馆。

1983年11月至1984年6月,自贡恐龙博物馆筹建领导小组办公室,又组织人员对现场作进一步的清理和发掘,又获得一批恐龙化石。这些化石大部分被保留在自贡恐龙博物馆的中央大厅地下室和化石埋藏厅里。

上述化石经中科院古脊椎动物与古人类研究所、成都地质学院、重庆自然博物馆、自贡恐龙博物馆等单位专业人员的研究,共建立恐龙新属种10个,其它各类脊椎动物化石属种约15个。

1985年4月,自贡恐龙博物馆在自贡市沿滩区仲权乡银河村发掘出一具较完整的剑龙化石。经欧阳辉研究命名为四川巨棘龙(*Gigantospinosaurus sichuanensis*)。

1985年5月,自贡恐龙博物馆在自贡市大安区和平乡田湾村采到一具完整的肉食恐龙

标本,经高玉辉鉴定命名为和平永川龙(*Yangchuanosaurus hepingensis* Gao, 1992)。

1987年2月,成都地质学院李奎、刘宗文、蔡开基等人在安岳县龙桥乡水月村上侏罗统遂宁组顶部及蓬莱镇组底部发现了两个恐龙化石点,经系统采集,获得一批恐龙化石标本。在对化石进行研究后,将蜥脚类标本命名为一新种,即安岳马门溪龙(*Mamenchisaurus anyueensis* He et al., 1996),将肉食龙标本归入永川龙属,建立一新种,龙桥永川龙(*Yangchuanosaurus longqiaoensis*, 未刊资料)。

1989年1月,自贡恐龙博物馆在大安区新民乡井坎村沙溪庙组上段中发掘出一具带有头骨的蜥脚类骨架化石,经欧阳辉、皮孝忠等研究应属马门溪龙的一个新种,即杨氏马门溪龙(*Mamenchisaurus youngi* Pi et al., 1996)。

1993年,重庆自然博物馆在重庆江北机场附近花石沟的自流井组大安寨段中发现了较丰富的恐龙化石,但至今还尚未进行系统发掘和研究。

1995年8月,成都理工学院博物馆李奎、蔡开基和王正新等人在简阳县三星镇盘龙村蓬莱镇组顶部发现部分蜥脚类化石,初步鉴定应属马门溪龙属。

1996年至1997年,北京自然博物馆及井研县文管所在井研县三江镇发掘到大批恐龙化石标本,其中极大部分应归蜥脚类,经初步鉴定应归马门溪龙属。

1997年5月,四川地勘局202地质队周凤云等在四川南部珙县石碑乡红沙村进行1:5万区域地质调查时,在下侏罗统自流井组东岳庙段中上部的暗紫红色粉砂质泥岩中发现了一批原始蜥脚类化石,经何信禄等研究后,建立了一个新属种——石碑珙县龙(*Gongxianosaurus shibeiensis* He et al., 1998)。

1998年,张奕宏、李奎和曾清华等人发表了采自井研县和荣县的一批蜥脚类化石材料,建立了一新种——井研马门溪龙(*Mamenchisaurus jingyanensis* Zhang et al., 1998)。

综合上述,四川盆地侏罗纪恐龙化石的发掘与研究已达80年之久。迄今为止,已发现并经鉴定命名的恐龙化石属26个、化石种38个。其中原蜥脚类1属1种、蜥脚类9属17种、虚骨龙类2属2种、肉食龙类5属8种、剑龙类5属5种、鸟脚类4属5种。而且,新材料还在不断地发现,四川盆地已成为世界上研究侏罗纪恐龙最为理想的地区。

2.2 四川盆地侏罗纪恐龙化石的地理分布及地层层位

四川盆地侏罗纪恐龙的地理分布非常广泛,迄今为止,已先后在荣县、宜宾、合川、开江、威远、自贡、永川、广元、旺苍、安岳、珙县、重庆等50余个县、市发现了恐龙化石,化石点达数百个,含恐龙化石的侏罗纪红层出露面积达10多万km²,几乎遍及整个四川盆地(图1)。此外,盆地边缘的一些小的山间盆地、断陷盆地,如西昌、昭觉、会理等地区,也有少量恐龙化石的发现。

四川盆地是东亚著名的红色盆地,其中尤其以侏罗系十分发育,厚1500~3500m,以湖泊及河流相沉积为主,层序完全,三统均有,除产植物及无脊椎动物化石外,还蕴藏着丰富的恐龙化石。盆地内的侏罗系从老到新依次为珍珠冲组、自流井组、新田沟组、沙溪庙组、遂宁组和蓬莱镇组(表1)。各组均产恐龙化石,其中又以沙溪庙组中的恐龙化石最为丰富。

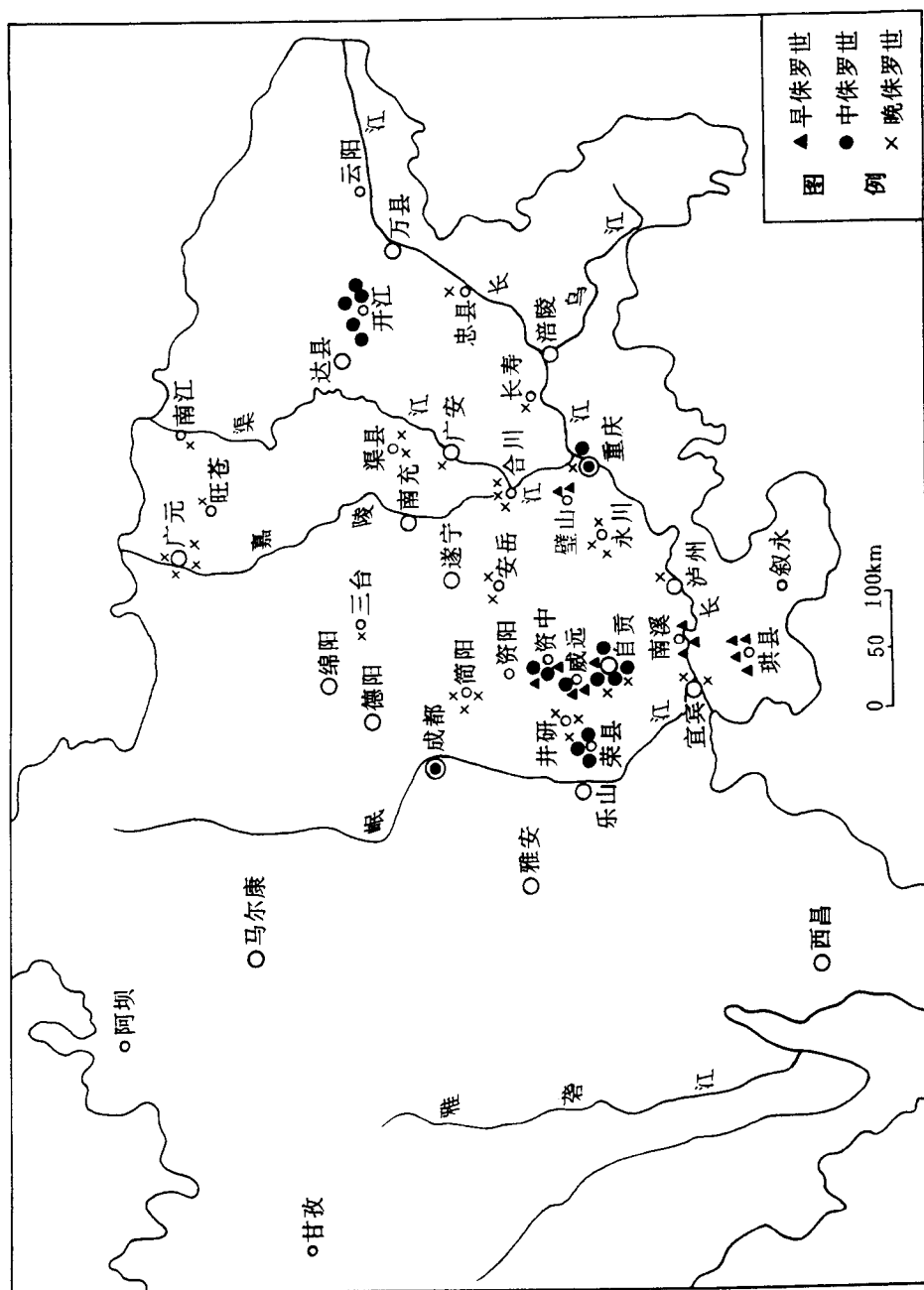


图 1 四川盆地侏罗纪恐龙化石地理分布图
Fig. 1 Map showing the geographical distribution of Jurassic dinosaur fossils in Sichuan Basin

表 1 四川盆地侏罗系划分沿革表

Table 1 Comparison of stratigraphic divisions of the Jurassic in Sichuan Basin

本 文		邓康龄 (1985)	夏宗实等 (1982)		四川省地层表 (1978)		四川石油普查队, (1966)		谭锡畴、李春昱 (1933)
时代	盆地北缘	盆地东、中、南部							
J ₃	蓬莱镇组 (莲花口组)	蓬莱镇组	J ₃	蓬莱镇组	J ₃	蓬莱镇组 (莲花口组)	蓬莱镇组	重庆系	
	遂宁组	遂宁组	J ₃	遂宁组	遂宁组	遂宁组	遂宁组		
	上段	上沙溪庙组	J ₂	上沙溪庙组	J ₂	上亚组	上沙溪庙组		
	下段	下沙溪庙组	J ₂	下沙溪庙组	J ₂	下亚组	下沙溪庙组		
J ₂	千佛崖组	新田沟组	J ₂	新田沟组	J ₂	凉高山段	凉高山段	自流井层	凉高山砂岩
		大安寨段	?	大安寨段	J ₁₋₂	大安寨段	大安寨段		大安寨灰岩
		自流井组	J ₁	自流井组	J ₁₋₂	马鞍山段	马鞍山段		马鞍山粘土
		东岳庙段	J ₁	东岳庙段	J ₁₋₂	东岳庙段	东岳庙段		郭家凹砂岩
J ₁	白田坝组	珍珠冲组	J ₁	珍珠冲组	J ₁	珍珠冲段	珍珠冲段	自流井层	大坟包粘土
		自流井组	J ₁	自流井组	J ₁	自流井组	自流井组		东岳庙灰岩
		自流井组	J ₁	自流井组	J ₁	自流井组	自流井组		珍珠冲粘土
		自流井组	J ₁	自流井组	J ₁	自流井组	自流井组		
T ₃	须家河组	须家河组	T ₃	须家河组	T ₃	须家河组	香溪群		

2.3 四川盆地侏罗纪恐龙动物群概述

四川侏罗纪恐龙极其丰富,门类非常齐全。尤其是蜥脚型亚目(Sauropodomorpha)最为丰富,分布点多、面广、保存好、属种多、个体数量大,其研究程度高,演化关系较为清楚。根据演化关系及与其共生的其它脊椎动物组合特征,四川侏罗纪可以划分出4个相关的恐龙动物群:

(1) 禄丰龙动物群 *Lufengosaurus* Fauna

禄丰龙(未定种) *Lufengosaurus* sp.

板龙科(未定属) *Plateosauridae* indet.

该动物群的特点是恐龙种类较单调,以原蜥脚类的属种为主,没有蜥脚类的属种。该动物群化石分布于珍珠冲组中,时代属早侏罗纪世。地理分布为川南及川中地区。

(2) 珙县龙-资中龙动物群 *Gongxianosaurus-Zizhongosaurus* Fauna

石碑珙县龙 *Gongxianosaurus shibeiensis* He et al., 1998

黄石板资中龙 *Zizhongosaurus huangshibanensis* (未刊资料)

船城资中龙 *Zizhongosaurus chuanchengensis* Dong et al., 1983

虚骨龙(未定属) *Coelurosauridae* indet.

肉食龙类(属种未定) *Carnosauria* gen. et sp. indet.

岳氏三巴龙 *Sapanosaurus yaoi* Young, 1944

威远中国上龙 *Sinopliosaurus weiyuanensis* Young, 1942

杨氏璧山上龙 *Bishanopliosaurus youngi* Dong, 1980

长鼻北碚鳄 *Peipehsuchus teleorhinus* Young, 1948

龟类(属种未定) *Chelonia* gen. et sp. indet.

重庆鳞齿鱼 *Lepidotes chungkingensis* Liu et Wang, 1961

泸州鳞齿鱼 *Lepidotes luchowensis* Wang, 1974

该动物群的显著特征就是出现了数量较多的具有原始性质的蜥脚类的属种,如石碑珙县龙(*Gongxianosaurus shibeiensis*)和黄石板资中龙(*Zizhongosaurus huangshibanensis*)等。该动物群缺少晚三叠世—早侏罗世的原蜥脚类(但不排除个别地区出现个别孑遗分子的可能性)。珙县龙-资中龙动物群中没出现较进步的长颈椎型的蜥脚类,如峨眉龙(*Omeisaurus*)等。长鼻北碚鳄(*Peipehsuchus teleorhinus*)在形态上与欧洲早侏罗世的真蜥鳄(*Teleosaurus*)相似,鳞齿鱼与欧洲早侏罗世的属种也较接近(Wang, 1974),另在印度早侏罗世的珂塔组(Kata Formation)中也产有*Lepidotes*化石(S. L. Jain, 1975)。故该动物群的时代以属早侏罗世为妥。该动物群化石分布于自流井组中,地理分布为川中及川南地区。

(3) 蜀龙-峨眉龙动物群 *Shunosaurus-Omeisaurus* Fauna

尖齿原颌龙 *Protognathus oxyodon* Zhang, 1988

李氏蜀龙 *Shunosaurus lii* Dong et al., 1983

巴山酋龙 *Datousaurus bashanensis* Dong et Tang, 1984

天府峨眉龙 *Omeisaurus tianfuensis* He et al., 1984

荣县峨眉龙 *O. junghsiensis* Young, 1939
 罗泉峨眉龙 *O. luoquanensis* Li, 1988
 原始川东虚骨龙 *Chuangongocoelurus primitivus* He, 1984
 七里峡宣汉龙 *Xuanhanosaurus qilixiaensis* Dong, 1984
 建设气龙 *Gasosaurus constructus* Dong et Tang, 1984
 林氏开江龙 *Kaijiangosaurus lini* He, 1984
 多齿盐都龙 *Yandusaurus multident* He et Cai, 1983
 大山铺晓龙 *Xiaosaurus dashanpuensis* Dong et Tang, 1983
 太白华阳龙 *Huayangosaurus taibaii* Dong et al., 1982
 长头窄鼻翼龙 *Angustinaripterus longicephalus* He et al., 1983
 似贝氏成渝龟 *Chengyuchelys baenoides* Young et Chow, 1953
 自贡成渝龟 *C. zigongensis* Fang, 1987
 大山铺成渝龟 *C. dashanpuensis* Yeh, 1982
 周氏四川龟 *Sichuanchelys chowi* Ye et Pi, 1997
 川南多齿兽 *Polistodon chuannanensis* He et Cai, 1984
 自贡似卞氏兽 *Bienotheroides zigongensis* Sun, 1986
 扁头中国短头鲩 *Sinobrachyopus plaecenticephalus* Dong, 1985
 角齿鱼 (未定种) *Ceratodus* sp.
 弓鲛 (未定种) *Hybodus* sp.
 鳞齿鱼 (未定种) *Lepidotes* sp.

这个动物群的特征是除了较原始的蜥脚类妖龙科的属种——李氏蜀龙 (*Shunosaurus* *lii*) 外, 还出现了较进步的蜥脚类马门溪龙科的属种, 如荣县峨眉龙、天府峨眉龙和罗泉峨眉龙等。此动物群的性质明显比珙县龙-资中龙动物群进步, 但却比马门溪龙动物群原始, 其时代应属中侏罗世。动物群化石分布于新田沟组和沙溪庙组下段中, 地理分布有所扩大, 除川中及川南地区外, 川东地区也有分布。

(4) 马门溪龙动物群 *Mamenchisaurus* Fauna

建设马门溪龙 *Mamenchisaurus constructus* Young, 1954
 合川马门溪龙 *M. hochuanensis* Young et Chao, 1972
 釜溪马门溪龙 *M. fuxiensis* (= *Zigongosaurus fuxiensis*) Hou et al., 1976
 广元马门溪龙 *M. guangyuanensis* (未刊资料)
 安岳马门溪龙 *M. anyueensis* He et al., 1996
 杨氏马门溪龙 *M. youngi* Pi et al., 1996
 井研马门溪龙 *M. jingyanensis* Zhang et al., 1998
 长寿峨眉龙 *Omeisaurus changshouensis*^① Young, 1958
 破碎中国虚骨龙 *Sinocoelurus fragilis* Young, 1942
 甘氏四川龙 *Szechuanosaurus campi* Young, 1942
 上游永川龙 *Yangchuanosaurus shangyouensis* Dong et al., 1978

① 长寿峨眉龙的层位及分类位置有待核实。

巨型永川龙 *Y. magnus* Dong et al., 1983
 和平永川龙 *Y. hepingensis* Gao, 1992
 鸿鹤盐都龙 *Yandusaurus hongheensis* He, 1979
 拾遗工部龙 *Gonbusaurus shiyii* Dong et al., 1983
 关氏嘉陵龙 *Chialingosaurus kuani* Young, 1959
 多棘沱江龙 *Tuojiangosaurus multispinus* Dong et al., 1977
 江北重庆龙 *Chungkingosaurus jiangbeiensis* Dong et al., 1983
 北碚鳄 (未定种) *Peipehsuchus* sp.
 重庆西蜀鳄 *Hsisosuchus chungkingensis* Young et Chow, 1953
 蛇颈龙 (属种未定) *Plesiosauria* gen. et sp. indet.
 放射纹蛇颈龟 *Plesiochelys radiplicatus* Young et Chow, 1953
 宽缘板蛇颈龟 *P. latimarginalis* Young et Chow, 1953
 重庆蛇颈龟 *P. chungkingensis* Young et Chow, 1953
 大足蛇颈龟 *P. tatsuenensis* Yeh, 1963
 广安蛇颈龟 *P. kwanganensis* Yeh, 1963
 井研蛇颈龟 *P. jingyanensis* Yeh et Fang, 1982
 资阳天府龟 *Tienfuchelys tzuyangensis* Young et Chow, 1953
 维氏中国鳖 *Sinospideretes wimani* Young et Chow, 1953
 万县似卞氏兽 *Bienotheroides wansienensis* Young, 1981
 大竹重庆鱼 *Chungkingichthys tachuenensis* Su, 1974
 四川角齿鱼 *Ceratodus szechuanensis* Young, 1942
 小型角齿鱼 *C. minor* Liu et Yeh, 1957
 董氏蜀兽 *Shunotherium dongi* Zhou et Rich, 1982

马门溪龙动物群主要特征是蜥脚类属种较单调, 无妖龙科的属种, 以大型的较进步的马门溪龙属为主要成员。该属是马门溪龙科中较进步的一类, 尽管有其自身的特点, 属东亚特有的类别, 但其进化水平与北美西部上侏罗统莫里逊组 (Morrison Formation) 中的圆顶龙 (*Camarasaurus*)、雷龙 (*Apatosaurus*)、梁龙 (*Diplodocus*) 以及东非坦桑尼亚上侏罗统坦德古拉组 (Tendaguru Formation) 中的腕龙 (*Brachiosaurus*)、叉龙 (*Dicraeosaurus*) 等相当 (表 2)。肉食类永川龙 (*Yangchuanosaurus*)、四川龙 (*Szechuanosaurus*) 与欧洲、北美和东非晚侏罗世的巨齿龙 (*Megalosaurus*)、跃龙 (*Allosaurus*) 相似。剑龙类多棘沱江龙 (*Tuojiangosaurus*) 和嘉陵龙 (*Chialingosaurus*) 在形态上与东非晚侏罗世的肯特龙 (*Kentrosaurus*) 相似。此外, 动物群中还包含有蛇颈龟 (*Plesiochelys*) 化石, 该属在欧洲主要产自晚侏罗世 (叶祥奎, 1993), 故马门溪龙动物群的时代应归于晚侏罗世。此动物群化石主要大量分布于沙溪庙组上段, 在遂宁组和蓬莱镇组中也有少量分布。地理分布范围比蜀龙-峨眉龙动物群更加广泛, 几乎遍及整个四川盆地。

上述 4 个恐龙动物群具有非常密切的亲缘关系, 具有连续性和继承性, 尤其以蜥脚类亚目最为明显。在地理分布范围上有从川南向川中、川东、川北扩散的趋势。此外, 根据现有资料, 笔者认为, 四川盆地是蜥脚类、剑龙类等恐龙的主要发源地之一, 因而在研究恐龙的起源和演化方面具有极其重要的地位。