

The reconstruction of the Cretaceous dinosaur fauna in Panxi region based on dinosaur tracks

基于恐龙足迹重建攀西地区白垩纪恐龙动物群

曹俊¹, 邢立达^{2,3}, 杨更¹, 沈洪江¹, 郑小敏¹, 杨林¹, 刘明¹,
秦永超¹, 张焕新¹, 冉浩⁴, 茅磊³

CAO Jun¹, XING Lida^{2,3}, YANG Geng¹, SHEN Hongjiang¹, ZHENG Xiaomin¹, YANG Lin¹,
LIU Ming¹, QIN Yongchao¹, ZHANG Huanxin¹, RAN Hao⁴, MAO Lei³

1. 四川省地质矿产勘查开发局区域地质调查队, 四川成都 610213;
2. 中国地质大学(北京)生物地质与环境地质国家重点实验室, 北京 100083;
3. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083;
4. 珍稀濒危动植物生态与环境保护省部共建教育部重点实验室, 广西桂林 541004

1. Regional Geological Survey Party, Sichuan Bureau of Geological Exploration and Development of Mineral Resources, Chengdu 610213, Sichuan, China;
2. State Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;
3. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;
4. Key Laboratory of Ecology of Rare and Endangered Species and Environmental Protection, Ministry of Education, Guilin 541004, Guangxi, China

摘要:攀西地区没有白垩纪恐龙骨骼化石记录,对该区白垩纪恐龙动物群组合的认识尚属空白。1991年,攀西地区首次发现了恐龙足迹,此后陆续发现了8个足迹点。这些足迹点共发现9种不同的非鸟恐龙足迹(6种非鸟兽脚类、1种蜥脚类和2种鸟脚类足迹),以及翼龙和龟类足迹。共11种足迹形态类型由185道行迹(与孤立足迹)组成,可能代表着同等数量的造迹者。其中飞天山组的组合多样性最强,小坝组和雷打树组较弱。这个相对全面的足迹数据库,为该地区白垩纪四足类的古生态学普查提供了动物群的组成信息,在该缺乏骨骼化石的地区显得尤为重要。

关键词:恐龙足迹;恐龙动物群;攀西地区;白垩纪

中图分类号:P534.53;Q915 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2016)12-1961-06

Cao J, Xing L D, Yang G, Shen H J, Zheng X M, Yang L, Liu M, Qin Y C, Zhang H X, Ran H, Mao L. The reconstruction of the Cretaceous dinosaur fauna in Panxi region based on dinosaur tracks. *Geological Bulletin of China*, 2016, 35(12):1961-1966

Abstract: The Panxi region has rich Cretaceous dinosaur ichnofaunal assemblages. Since the discovery of fossil tracks in 1991, no fewer than 11 track morphotypes have been recognized from at least 8 tracksites. They include 9 different dinosaur track types (attributable to 6 non-avian theropod, 2 avian theropod, and 1 sauropod trackmakers) and tracks of pterosaurs and turtles, which occur within 185 trackways (and isolated footprints) and may reflect trackmakers of the same number. This high ichnofaunal diversity within the Feitianshan Formation exceeds that of the Xiaoba Formation and Leidashu Formation, and provides a comprehensive track database that permits (but is not limited to) a greater understanding of the paleoecology of an area where body fossils are currently unknown.

Key words: dinosaur tracks; dinosaur fauna; Panxi region; Cretaceous

收稿日期:2016-06-23;修订日期:2016-11-08

资助项目:中国地质调查局项目(编号:12120113052100)

作者简介:曹俊(1969-),男,高级工程师,从事区域地质调查、地质环境调查工作。E-mail: 316977193@qq.com

通讯作者:邢立达(1982-),男,博士,讲师,从事中生代脊椎动物化石及其遗迹化石研究。E-mail: xinglida@cugb.edu.cn

四川省的西南部地区由凉山彝族自治州和攀枝花市组成,通常把这一地区称为攀西(攀枝花—西昌)地区。白垩系在攀西地区广泛分布,该地区最大的盆地是米市—江舟盆地^[1]。该区在20世纪90年代之前没有脊椎动物化石的记录。

1991年9月,四川省昭觉县三岔河乡三比罗嘎铜矿在采矿过程中,暴露出了约1500m²的含恐龙足迹层面,揭开了该区恐龙足迹发现的序幕。2006年2月,成都理工大学博物馆的李奎等^[2]和刘建等^[3]初步考察了这个足迹点。遗憾的是,2006—2009年间,由于持续的采矿活动导致的山体滑坡,使足迹岩面发生了严重坍塌。超过95%的足迹被毁坏,这几乎可以算是中国恐龙足迹研究史上最惨重的损失之一。

2012年6月开始,笔者对三比罗嘎铜矿区域的恐龙足迹展开了系统的考察,发现了多个新暴露出的足迹面。2013年6月—2015年6月,笔者在四川乌蒙山地区开展1:5万两河口、比尔、米市、昭觉县4幅区域地质调查过程中,发现了多处足迹点,逐一描述并取得诸多成果。本文系统整理这批成果,并基于恐龙足迹记录,重建攀西地区白垩纪恐龙动物群。

1 地质背景

根据生物地层学证据(介形类和植物/轮藻),米市—江舟盆地的白垩系被划分为下白垩统飞天山组和小坝组,以及上白垩统一古近系雷打树组^[4]。在昭觉—喜德地区,小坝组与其下的飞天山组、其上的雷打树组整合接触。

飞天山组厚216.6~617.4m,底部为灰紫色复成分砾岩,中下部以紫红色厚层—块状中细粒长石英细砂岩、岩屑石英杂砂岩为主;上部以紫红色钙质石英细砂粉砂岩、粉砂质泥岩、泥岩为主。砂岩发育大型斜层理、平行层理、交错层理及波痕构造,为河流相沉积。Tamai等^[5]对扬子板块的川(四川)滇(云南)断层的古磁场进行讨论时,认为飞天山组地质年龄应介于Berriasian与Barremian之间。

小坝组分为3段。小坝组一段,厚752.4~1121.9m,下部以紫红色中层—块状细—中砂岩为主,发育平行层理、波痕及槽状交错层理;上部以紫红色薄—中层状粉砂岩、粉砂质泥岩为主,发育水平层理、泥裂、雨痕、波痕等构造。小坝组二段厚799.6~835.5m,与下伏地层小坝组一段呈整合接触,与上

覆小坝组三段呈整合接触。岩性以紫红色泥岩、中厚层状泥质粉砂岩、中厚层状粉砂质泥岩、中厚层状粉砂岩、中厚层状钙泥质粉砂岩为主。小坝组三段厚637~703.6m,与上覆雷打树组一段呈整合接触。岩性以紫红色中厚层状含泥钙质石英粉砂岩,紫红色泥岩为主,发育波痕、小型交错层理、包卷层理等沉积构造。小坝组的沉积环境为冲积扇、河流相和湖相系统^[6]。基于岩性对比,小坝组一段与四川盆地夹关组可对比,为下白垩统^[7]。

雷打树组分为上、下2段,一段厚439.1~562.4m,底部主要为紫红色薄—中层状含泥钙质石英粉砂岩;中上部主要为紫红色泥岩与粉砂质泥岩互层;顶部主要为紫红色泥岩。雷打树组二段厚度大于202.8m,岩性为紫红色薄—中层粉砂岩与紫红色泥岩,底部为紫红色中厚层状粉砂岩。雷打树组为湖相沉积^[8]。此前有一些学者根据其岩石地层学将雷打树组时代划为古新世—始新世^[9]。不过,笔者在该层位发现了恐龙足迹^[10],这个结论显然是错误的。

2 攀西地区恐龙足迹点

2.1 三比罗嘎足迹点

三比罗嘎足迹点是飞天山组最重要的足迹点,位于昭觉县三岔河乡,分为一号足迹点、二号足迹点及与其相邻的北二号足迹点。

一号足迹点是已经崩塌的足迹点,现场残留的5%原始层面仍然具有重要信息。基于这些仅存的少量残留足迹化石材料、一号足迹点坍塌之前的旧照片及2006年拍摄的录像材料,笔者进行了详细分析,以便对昔日壮观的一号足迹点的足迹动物群进行重新评价^[10]。

一号足迹点的恐龙足迹展示了较强的多样性,足迹类型包括蜥脚类、小型和中型兽脚类、翼龙类及可能的大型鸟脚类^[10]。其中,蜥脚类属于*Brontopodus*类型,很可能由中等体型的巨龙型类所留^[11]。兽脚类行迹由小型和中等体型的造迹者留下,足迹形态与*Grallator*和*Eubrontes*相似。带有钝趾的大型三趾型足迹暂时归入鸟脚类足迹中的*Caririchnium*类。翼龙类足迹归入*Pteraichnus*。翼龙类足迹和小型兽脚类足迹同时出现相当罕见。该足迹点进一步证实了大型鸟脚类在内陆环境频繁出现,而且大型鸟脚类还与蜥脚类在内陆环境中共存,进一步证明了两类较高的生态学适应性。

三比罗嘎二号和北二号足迹点的面积近 1000m²,大量的恐龙足迹展示了良好的多样性^[10,12-13]。造迹者至少包括兽脚类、蜥脚类和鸟脚类,其中鸟脚类留下的足迹数量最多,蜥脚类也相当丰富,而在这 2 个足迹点都没有发现翼龙类足迹。蜥脚类足迹被归入常见的 *Brontopodus*,造迹者属于巨龙型类,其中一道行迹的潜在造迹者体现了与 *brachiosaur* 高度亲和性。中型鸟脚类足迹则归属于 *Caririchnium*,造迹者为四足或兼两足动物,小型鸟脚类足迹 *Ornithopodichnus* 则对应于小型两足动物^[13]。兽脚类足迹 *Grallator*, *Eubrontes/Irenesauripus* 形态类型和 *Siamopodus xui* 同时出现,表明了当地兽脚类较高的多样性。

值得一提的是,二号足迹点发现了中国第一例确凿的兽脚类游泳迹 *Characichnos*^[14]。这些游泳迹有助于证明,非鸟兽脚类可以进入一定深度的水里活动或觅食。同一层面还保存有典型的蜥脚类行迹 *Brontopodus*,该行迹与兽脚类游泳迹相当接近,可能暗示着某种关联性。此外,利用兽脚类游泳迹推断出造迹区的水深,而同层保存的“正常”兽脚类行迹与游泳迹表明,该地区的水深在不同时间范围内有波动。

2.2 解放沟足迹点

解放沟足迹点邻近昭觉县解放乡乐结村以西阿鲁牧场的解放沟。根据西昌幅地质测量报告^②(1:200000),解放沟足迹点属于飞天山组露头的一部分。该足迹点发现了一道蜥脚类行迹,展示了一个罕有的形态组合^[15]。这是一道窄间距行迹,但又带有宽间距行迹的典型特征,如相当低的足迹异度。显然,这个发现扩大了 *Brontopodus* 类行迹及其造迹者在四川盆地白垩系的分布范围和形态学的多样性。

2.3 央摩祖足迹点

央摩祖足迹点邻近四川省昭觉县央摩祖乡,处于飞天山组的最下部,与上侏罗统官沟组的顶部为平行不整合接触。飞天山组下部可归为河湖三角洲相,恐龙足迹保存在紫红色中粒石英砂岩层面上。

小型兽脚类的骨骼化石非常稀有,是小/微小型的足迹化石具备论证造迹者体型的重要价值。发现于亚洲的 *Minisauripus* 是目前最典型的小型足迹,对论证上述问题有重要的帮助。研究这种足迹

最大的挑战来自于它们是由成年还是幼年造迹者留下的。

央摩祖足迹点发现了约 65 个兽脚类足迹,构成约 20 道行迹,分别属于不同体型大小的造迹者。其中 3 道行迹由 10 个足迹(足迹长 2.5~2.6cm)组成,归入 *Minisauripus*。其余的 17 道行迹代表中型兽脚类(足迹长 9.9~19.6cm),包括其中一道行迹暂时归入 *cf. Jialingpus*^[16]。

迄今为止,已确认的 *Minisauripus* 足迹都来自韩国^[17-18]和中国^[17,19],范围在 1.0~6.0cm 之间。假设其为小型成年造迹者,*Minisauripus* 造迹者的臀高介于 5~28.0cm 之间,体长 12~72.0cm。经过详细的讨论,Xing 等^[16]认为,*Minisauripus* 造迹者很可能是一种小型的成年兽脚类,但大型兽脚类的幼年个体依然无法完全排除。

2.4 巴久足迹点

巴久足迹点邻近四川省喜德县巴久乡,处于飞天山组顶部,靠近飞天山组和小坝组界线,足迹面的坡度约 15°,露头区约 80m²。巴久足迹点记录了以蜥脚类为主的足迹动物群,包括 4 道蜥脚类和至少 8 道兽脚类行迹^[20]。其中,蜥脚类行迹为巨龙型类所留,行迹有中等宽度间距等特征。兽脚类行迹可分为 2 种不同的形态类型,一种与 *Eubrontes* 相似,另一种归入 *cf. Dromaeopodus*,代表了功能性两趾型的恐爪龙类。一个游泳迹很可能属于龟类或鳄类造迹者。这些恐爪龙类、龟类/鳄类足迹的发现大大增强了飞天山组的足迹多样性。

2.5 母脚吾足迹点

母脚吾足迹点邻近凉山州喜德县乐武乡的母脚吾村,位于下白垩统小坝组下部浅紫红色长石英砂岩露头层。母脚吾足迹点是下白垩统小坝组首次记录恐龙足迹,其中包括 *Velociraptorichnus*, *Eubrontes* 类, *Brontopodus* 类和 *cf. Anomoepus*^[21]。该足迹点首次记录了世界首例三趾型的恐爪龙类足迹(*Velociraptorichnus zhangii*),这种特殊的形态不同于世界上十余个同类足迹点的足迹。同样,在母脚吾足迹点也发现了两趾型恐爪龙类足迹,把这 2 种足迹解释为同一足迹属的不同表现形式,是由于造迹者足部的第 II 趾在留下趾印时,特殊的沉积物条件或爪子回缩较少造成的。虽说这样的三趾型恐爪龙类足迹形态在预料之内,但从目前的足迹化石证据看,这仅仅是一个特例,而非常态。

2.6 吉尔博石足迹点

吉尔博石一号、二号足迹点邻近昭觉县博洛乡吉尔博石村,位于小坝组一段的钙质粉砂岩露头。一号足迹点层面可观察到大量高度发育的波痕。足迹化石包括兽脚类和可能的蜥脚类足迹,前者多为杂乱的足迹,仅有一道清晰的行迹,所有足迹被归入 *Eubrontes* 类^[22]。二号足迹点位于小坝组一段的浅紫红色砂岩露头。这个足迹点发现了兽脚类足迹,其中的大部分都保存了延长的跖趾垫^[22]。尽管仍不清楚这些保存完好的跖骨印是如何形成的,但至少可以肯定,它们与造迹时湿软的沉积物有关^[23-24]。此外,夹关组的汉溪足迹点^[25]、宝源足迹点^[12]等地也发现了大量带有跖骨印的兽脚类足迹,这表明,造迹者在极度湿软的沉积物上行走时,表现出与平时不同的步态,但这种步态并没有让动物明显减速。从某个角度讲,这类足迹或许反映出兽脚类造迹者独特的多样性。

2.7 足谷足迹点

足谷足迹点邻近凉山州喜德县洛哈镇足谷村,位于小坝组二段的紫红色粉砂岩露头,这里发现了4个蜥脚类足迹^[22]。足谷足迹点的大部分足迹都保存较差,足迹的长宽比与典型蜥脚类足迹相近,例如 *Brontopodus*^[26]。

2.8 依子足迹点

依子足迹点邻近喜德县洛哈镇依子村,位于小坝组二段的暗紫红色粉砂质泥岩露头。这个足迹点泥裂发育,并发现了12个蜥脚类足迹^[22]。依子足迹点高度发育的泥裂破坏了足迹的形态,从前足迹与后足迹的足迹异度值看,依子足迹与中国早白垩世的一些 *Brontopodus* 足迹相似,如山东崮山足迹点的标本^[27]。

2.9 瓦地足迹点

无论是骨骼化石或足迹化石,四川盆地的晚白垩世记录都非常稀少,仅在东部边缘地区的黔江正阳有发现。上白垩统正阳组记录过兽脚类、巨龙类和鸭嘴龙类的零散化石^[28],但都没有经过正式描述。

瓦地足迹点邻近喜德县洛哈镇瓦地村,位于雷打树组一段的浅灰紫色粉砂质泥岩露头层。这个足迹点暴露了大量的蜥脚类足迹^[22]。然而,这些足迹风化较为严重,有3道保存完好的行迹。从形态学看,瓦地蜥脚类行迹模式与美国早白垩世 *Brontopodus* 类足迹的特征一致^[26,29]。瓦地蜥脚类行迹化石

证实了中国典型的白垩纪蜥脚类动物群一直存活到了中生代末期^[22]。

3 攀西地区白垩纪恐龙动物群

在1991年昭觉县三比罗嘎足迹群的发现之前,攀西地区并无中生代脊椎动物记录。目前,攀西地区仍然没有发现中生代脊椎动物的骨骼化石,其古动物群的记录全赖于足迹记录,这彰显了足迹学记录在缺乏骨骼记录的地区,对复原古动物群组成有非常重要的作用。若将一道行迹或孤立足迹视为一个造迹者,那么迄今为止,攀西地区的米市-江舟盆地的白垩系已发现了数量可观的造迹者——185个,其中123个来自飞天山组,55个来自小坝组,7个来自雷打树组(图1)。

从足迹记录看,攀西地区白垩纪恐龙动物群以蜥臀类为主导。该地区保存了高度多样化的兽脚类足迹,包括大型、中型、小型的三趾型足迹^[30]。这些兽脚类足迹中的三趾型足迹大多都归入 *Grallator* 和 *Eubrontes* 形态类型,两趾型足迹为恐爪龙类足迹 *Dromaeopodus*; 小坝组发现了两趾型兼三趾型的 *Velociraptorichnus*。恐爪龙类足迹的频繁出现表明,在早白垩世,恐爪龙类在沉积物所代表古环境中取得了成功。此外,飞天山组发现了独特的 *Simopodus*, 该属也见于泰国同时代足迹点,具有重要的区域对比意义。飞天山组还拥有重要的、具东亚土著特色的兽脚类足迹组合: *Dromaeopodus-Velociraptorichnus-Minisauripus*, 该组合也见于四川盆地夹关组、山东的田家楼组^[31], 以及韩国的 *Haman* 组^[32]。Xing 等^[30]认为,在早白垩世中晚期四川盆地、山东沂沭断裂区及韩国南部,可能都存在着可追溯至 *Barremian-Albian* 的 *Dromaeopodus-Velociraptorichnus-Minisauripus* 组合,使得该组合具有重要的地层学意义。

飞天山组的 *Brontopodus* 是四川白垩系中首批得到详细描述的蜥脚类足迹记录。*Brontopodus* 类足迹在小坝组、雷打树组也有发现。鸟臀类方面,米市-江舟盆地发现了大中型鸟脚类足迹 *Caririchnium* 和小型鸟脚类足迹 *Ornithopodichnus*。鸟脚类足迹在很多情况下都形成了平行的行迹,表明其造迹者群居的特点。盆地的翼龙足迹为经典的 *Pterichnus*。飞天山组还发现了一个可能属于龟类的孤立足迹。

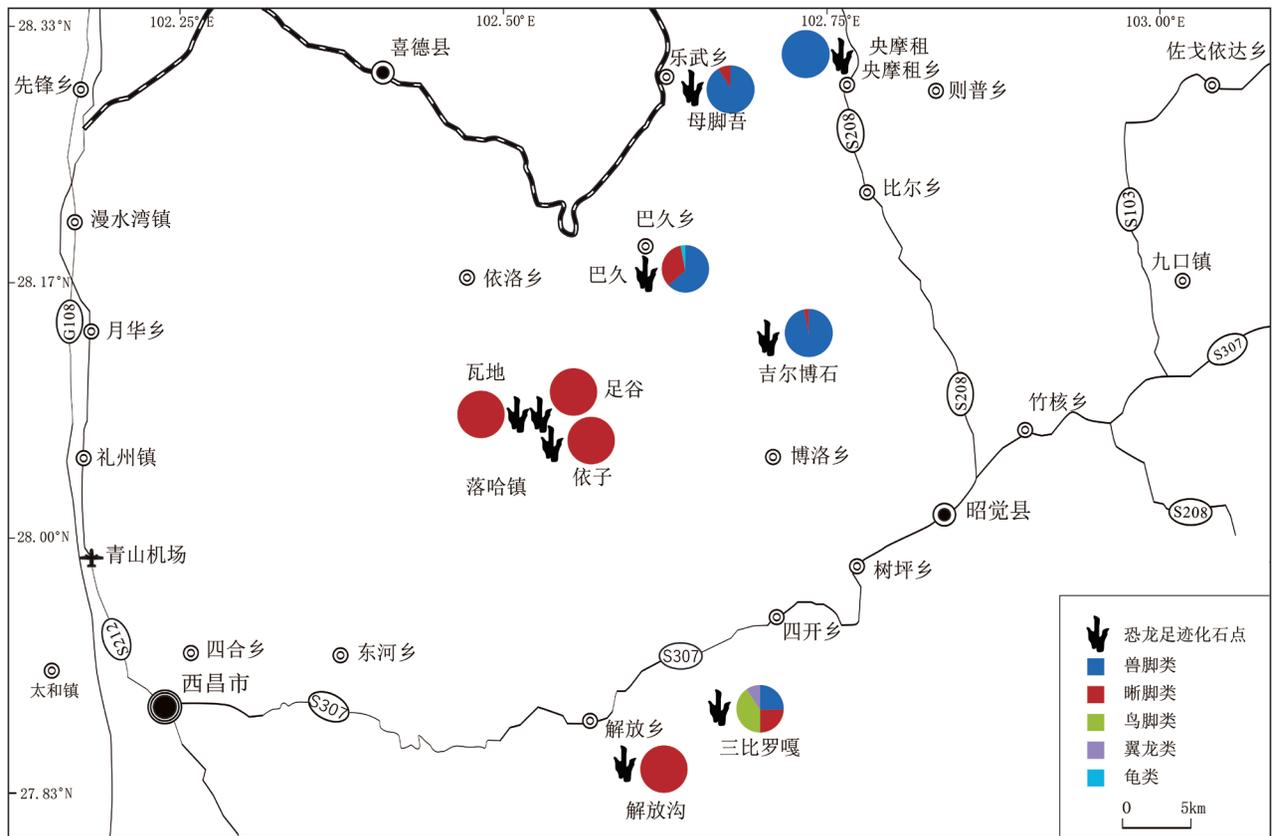


图 1 攀西地区白垩纪恐龙动物群的分布与组成

Fig. 1 Distribution and composition of Cretaceous dinosaur fauna from Panxi region

在区域对比上,足迹记录显示,四川盆地和米市-江舟盆地的足迹群组合非常相似,都包括恐龙类(非鸟兽脚类、蜥脚类和鸟脚类)及翼龙类^[30]。其中夹关组还有覆盾甲龙类与鸟类足迹,飞天山组则可能存在龟类足迹,小坝组四足类足迹记录的多样性大为逊色,只有兽脚类和蜥脚类足迹。所有盆地与层位都没有发现北美同期常见的鳄类足迹。

4 结 论

(1)攀西地区米市-江舟盆地白垩纪足迹群以蜥脚类-兽脚类为主导。

(2)攀西地区米市-江舟盆地的恐龙动物群组合包括多样性的兽脚类,以及大中型与小型鸟脚类、蜥脚类、翼龙类和可能的龟类。

(3)攀西地区的兽脚类足迹至少可分为 6 种不同形态,其中 *Dromaeopodus*-*Velociraptorichnus*-*Minisauripus* 组合显示出强烈的东亚土著特色,具有地层学意义。

(4)足迹记录显示,米市-江舟盆地和四川盆地的足迹群组合非常相似。

(5)该研究再次表明,在中国西南地区,在四足类丰度、多样性、分布等古生态信息上,足迹的实用性远超骨骼记录。

致谢:中国地质大学(北京)王成善院士对成文思路提出了宝贵的意见;四川自贡恐龙博物馆叶勇研究员、澳大利亚昆士兰大学的 Anthony Romilio 博士对文章提出修改意见;中国国家登山队、泸州市山地救援队的刘建、蒋峻、肖兵等在野外考察期间协助逐降采集数据;四川昭觉县文管所所长俄比解放提供了大量恐龙足迹的线索和资料,在此一并表示衷心的感谢。

参考文献

[1]罗成德. 川西南地区的丹霞地貌[J]. 经济地理, 1999, 19: 65-70.
 [2]刘建, 李奎, 杨春燕, 等. 四川昭觉恐龙足迹化石的研究及其意义[C]//中国古生物学会第十次全国会员代表大会暨第 25 届学术年会论文摘要集. 2009, 10: 195-196.
 [3]Liu J, Li K, Yang C Y, et al. Preliminary study on fossils of dinosaur

- footprints and its significance from Zhaojue area of Xichang County in Sichuan Province[C]//Marine and non-marine Jurassic-short papers for the 8th International Congress on the Jurassic System, 2010: 230-231.
- [4]辜学达, 刘啸虎. 四川省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997: 1-417.
- [5]Tamai M, Liu Y, Lu L Z, et al. Palaeomagnetic evidence for southward displacement of the Chuan Dian fragment of the Yangtze Block[J]. *Geophysical Journal International*, 2004, 158(1): 297-309.
- [6]Chang Y H, Luo Y N, Yang C X. Panxi Rift and its Geodynamics[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990: 1-421.
- [7]四川盆地陆相中生代地层古生物编写组. 四川盆地陆相中生代地层古生物[M]. 成都: 四川人民出版社, 1982: 1-405.
- [8]马丽芳, 乔秀夫, 闵隆瑞. 中国地质图集[M]. 北京: 地质出版社, 2002: 1-348.
- [9]张守信. 中国地层名称(1866—2000)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2009: 1-1537.
- [10]Xing L D, Lockley M G, Marty D, et al. Re-description of the partially collapsed Early Cretaceous Zhaojue dinosaur tracksite (Sichuan Province, China) by using previously registered video coverage[J]. *Cretaceous Research*, 2015, 52: 138-152.
- [11]Lockley M G, Wright J, White D, et al. The first sauropod trackways from China[J]. *Cretaceous Research*, 2002, 23: 363-381.
- [12]Xing L D, Harris J D, Gierliński G D, et al. Middle Cretaceous Non-avian Theropod trackways from the Southern Margin of the Sichuan Basin, China[J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 2011, 50(4): 470-480.
- [13]Xing L D, Lockley M G. First Report of Small Ornithomimid Trackways from the Lower Cretaceous of Sichuan, China[J]. *Ichnos*, 2014, 21(4): 213-222.
- [14]Xing L D, Lockley M G, Zhang J P, et al. A new Early Cretaceous dinosaur track assemblage and the first definite non-avian theropod swim trackway from China[J]. *Chinese Science Bulletin (English version)*, 2013, 58: 2370-2378.
- [15]Xing L D, Lockley M G, Yang G, et al. Tracking a legend: An Early Cretaceous sauropod trackway from Zhaojue County, Sichuan Province, southwestern China[J]. *Ichnos*, 2015, 22(1): 22-28.
- [16]Xing L D, Lockley M G, Yang G, et al. A new Minisauripus site from the Lower Cretaceous of China: Tracks of small adults or juveniles?[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2016, 452: 28-39.
- [17]Lockley M G, Kim S H, Kim J Y, et al. Minisauripus—the track of a diminutive dinosaur from the Cretaceous of China and Korea: Implications for stratigraphic correlation and theropod foot morphology[J]. *Cretaceous Research*, 2008, 29: 115-130.
- [18]Kim K S, Lockley M G, Kim J Y, et al. The smallest dinosaur tracks in the world: occurrences and significance of Minisauripus[J]. *Ichnos*, 2012, 19: 66-74.
- [19]Zhen S N, Li J J, Chen W, et al. Dinosaur and bird footprints from the Lower Cretaceous of Emei County, Sichuan[J]. *Memoirs of the Beijing Natural History*, 1994, 54:105-120.
- [20]Xing L D, Lockley M G, Yang G, et al. A diversified vertebrate ichnite fauna from the Feitianshan Formation (Lower Cretaceous) of southwestern Sichuan, China[J]. *Cretaceous Research*, 2016, 57: 79-89.
- [21]Xing L D, Lockley M G, Yang G, et al. Unusual deinonychosaurian track morphology (*Velociraptorichnus zhangi* n. ichnosp.) from the Lower Cretaceous Xiaoba Formation, Sichuan Province, China[J]. *Palaeoworld*, 2015, 24(3): 283-292.
- [22]Xing L D, Yang G, Cao J, et al. Cretaceous saurischian tracksites from southwest Sichuan Province and overview of Late Cretaceous dinosaur track assemblages of China[J]. *Cretaceous Research*, 2015, 56: 458-469.
- [23]Kuban G J. A summary of the Taylor Site evidence[J]. *Creation/Evolution*, 1986, 6 (1): 10-18.
- [24]Kuban G J. Elongate dinosaur tracks[C]//Gillette D D, Lockley M G. *Dinosaur Tracks and Traces*, Cambridge, U.K: Cambridge University Press, 1989: 57-72.
- [25]Xing L D, Lockley M G, Zhang J P, et al. The longest theropod trackway from East Asia, and a diverse sauropod-, theropod-, and ornithomimid-track assemblage from the Lower Cretaceous Jiaguan Formation, southwest China[J]. *Cretaceous Research*, 2015, 56: 345-362.
- [26]Farlow J O, Pittman J G, Hawthorne J M. *Brontopodus birdi*, Lower Cretaceous sauropod footprints from the U.S. Gulf Coastal Plain[C]//Gillette D D, Lockley M G. *Dinosaur Tracks and Traces*. Cambridge, U.K: Cambridge University Press, 1989: 371-394.
- [27]Xing L D, Lockley M G, Marty D, et al. Diverse dinosaur ichnoassemblages from the Lower Cretaceous Dasheng Group in the Yishu fault zone, Shandong Province, China[J]. *Cretaceous Research*, 2013, 45: 114-134.
- [28]王全伟, 梁斌, 阚泽忠, 等. 四川盆地中生代恐龙动物群古环境重建[M]. 北京: 地质出版社, 2008: 1-197.
- [29]Lockley M G, Farlow J O, Meyer C A. *Brontopodus* and *Parabrontopodus* ichnogen nov. and the significance of wide- and narrow-gauge sauropod trackways[J]. *Gaia*, 1994, 10: 135-145.
- [30]Xing L D, Lockley M G. Early Cretaceous dinosaur and other tetrapod tracks of southwestern China[J]. *Science Bulletin*, 2016, doi: 10.1007/s11434-016-1093-z.
- [31]李日辉, 刘明渭, Lockley M G. 山东莒南后左山恐龙公园早白垩世恐龙足迹化石初步研究[J]. *地质通报*, 2005, 24(3): 277-280.
- [32]Houck K, Lockley M G. Life in an active volcanic arc: petrology and sedimentology of the dinosaur track beds of the Jindong Formation (Cretaceous), Gyeongsang basin, South Korea[J]. *Cretaceous Research*, 2006, 27: 102-122.
- ①四川省地质矿产勘查开发局区域地质调查队. 四川乌蒙山地区两河口、比尔、米市、昭觉县等4幅岩溶石山1:50000区域地质调查报告. 2016.
- ②四川省地质局第一区调队. 西昌幅区域地质测量报告(1:200000). 1965.