

内蒙古鄂托克旗查布地区恐爪龙类足迹的发现及其意义

王宝鹏^{1,2} 李建军^{1,†} 白志强² 常洁琼² 张永强³

1. 北京自然博物馆, 北京 100050; 2. 北京大学地球与空间科学学院, 北京 100871; 3. 鄂托克旗综合地质博物馆, 鄂尔多斯 016100; † 通信作者, E-mail: ljj5681@126.com

摘要 内蒙古查布地区下白垩统中保存大量的兽脚类和蜥脚类恐龙足迹以及鸟类足迹化石, 2014 年再次对内蒙古鄂托克旗野外地质遗迹博物馆(8A 和 8B 化石点)周边的地层进行系统考察, 发现两个恐爪龙类恐龙(Deinonychosauria)的二趾型兽脚类足迹, 这在鄂托克地区是首次发现。经对比研究, 将其归入奔驰龙足迹属(*Dromaeosauripus*)。与奔驰龙足迹一起发现的还有其他两种兽脚类足迹(*Asianopodus robustus* 和 *Grallator*), 反映了恐爪龙类恐龙的生活习性。此类足迹的发现不仅填补了内蒙古龙足迹(*Dromaeopodidae*)的空白, 增加了世界二趾型足迹的记录, 也为鄂托克地区古生态与地层对比提供了素材。

关键词 恐龙足迹; 二趾型足迹; 恐爪龙; 查布; 早白垩世

中图分类号 P52

The First Discovery of Deinonychosaurian Tracks from Lower Cretaceous of Chabu, Otag Qi, Inner Mongolia and Its Significance

WANG Baopeng^{1,2}, LI Jianjun^{1,†}, BAI Zhiqiang², CHANG Jieqiong², ZHANG Yongqiang³

1. Beijing Museum of Natural History, Beijing 100050; 2. School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871; 3. Otag Comprehensive Geological Museum, Ordos 016100; † Corresponding author, E-mail: ljj5681@126.com

Abstract Thousands of footprint fossils have been discovered in the Lower Cretaceous of Chabu area in Otag Qi, Ordos city, Inner Mongolia, including theropod, sauropod and bird footprints as well. In 2014, a detailed survey was carried out around the Otag Field Museum of Geological Vestige (Tracksite: 8A and 8B) in Chabu area. Two functionally didactyl tracks attributed to deinonychosaurian theropods were firstly found. These two-toed tracks are assigned to *Dromaeosauripus* according a number of features. Two other theropod fossil footprints (*Asianopodus robustus* and *Grallator*) were found together with the two-toed tracks, which reflected the living habits of deinonychosaurs. The global record of didactyl theropod tracks (*Dromaeopodidae*) was enlarged by this discovery. It also helps to reveal the paleoecology of Chabu area and compare strata with other area.

Key words dinosaur tracks; theropod; deinonychosauria; Chabu area; Early Cretaceous

内蒙古鄂托克旗境内查布地区的恐龙足迹化石最早发现于 1979 年, 并在 1981 年报道^[1]。这里的恐龙足迹化石种类丰富, 数量大, 含化石层位多, 分布范围广, 已经成为世界知名的足迹化石产地, 国内外同行在查布地区进行了大量的足迹研究工作^[2-7]。

目前, 鄂托克查布地区下白垩统中已查明 1500 多个恐龙足迹和 100 多个鸟类的足迹化石, 这些足迹化石分布在 16 个足迹化石点。所有的足迹化石点都有兽脚类恐龙足迹, 蜥脚类恐龙足迹出现在 5 号、6 号和 8 号化石点, 鸟类足迹化石出现在 1 号、4 号、5 号和 15 号化石点。通过系统的研究,



图2 查布地区恐龙足迹的两种保存类型

Fig. 2 Two types of preservation of dinosaur tracks in Chabu area

岩先遭到风化,从而使上覆砂岩层底面凸出的足迹保存下来(图2)。

15号化石点位于8号化石点西南方向500 m处,层位在8号点之上,两层位之间相差6 m。本文描述的足迹化石层位在15号化石点层位之上,我们将其定为查布15B足迹化石点(38°55′19.3″N, 107°15′19.4″E)。15B的层位和15号化石点的层位相差1.9 m。我们考察了该地区包括内蒙古鄂托克旗野外地质遗迹博物馆(8号化石点)和15号化石点附近的地层,并得到地层综合柱状图(图3)。

该地区可见泾川组地层层序如下。

顶部覆盖第四纪沉积物

- 22 砂岩夹粉砂质泥岩,厚0.3 m
- 21 砂岩夹粉砂质泥岩,厚2 m
- 20 砂岩夹粉砂质泥岩,顶部灰绿色粉砂岩夹紫红色泥岩,厚3.8 m
- 19 砂岩夹粉砂质泥岩,厚4 m
- 18 砂岩夹粉砂质泥岩,厚1.4 m
- 17 砂岩夹粉砂质泥岩,有兽脚类恐龙足迹,厚2 m
- 16 薄层砂岩,有波痕,厚2.1 m
- 15 灰黄色粉砂岩夹暗红色粉砂岩,含兽脚类恐龙足迹,厚3 m
- 14 粉砂质泥岩与泥质砂岩互层,顶部有一层灰绿色粉砂

岩夹紫红色粉砂岩,含斜纹层理和兽脚类恐龙足迹,厚2.7 m

- 13 中粗粒砂岩,有兽脚类恐龙足迹,厚1.4 m
 - 12 砂质泥岩,具有二趾型兽脚类足迹(*Dromaeosauripus* isp.)、蹠脚龙足迹(*Gralltor*)及粗壮亚洲足迹(*Asianopodus robustus*),即15B号化石点层位,厚1.1 m
 - 11 灰色砂岩,含蹠脚龙足迹(*Gralltor*)及查布鞑靼鸟足迹(*Tataromipes chabuensis*),本层为15号化石点层位,厚0.8 m
 - 10 下部为灰绿色粉砂岩,上部为紫红色粉砂岩,厚1.5 m
 - 9 黄绿色砂岩,有兽脚类恐龙足迹,含斜纹层理和恐龙足迹,厚1.2 m
 - 8 砖红色泥质砂岩,厚2 m
 - 7 黄绿色砂岩、粒度较大,含斜纹层理和恐龙足迹,本层为8号化石点层位,厚1.4 m
 - 6 砖红色粉砂岩,含恐龙足迹,厚1.1 m
 - 5 砂岩夹泥岩,厚0.8 m
 - 4 厚层泥质粉砂岩含大量云母及植物碎屑,有交错层理,还有大型的砂岩透镜体(长0.9~1.2 m),厚2.8 m
 - 3 灰绿色页岩,含有甘肃狼鳍鱼(*Lycoptera kansuensis*)、查布华夏鸟(*Cathayornis chabuensis*)、摇蚊化石、植物碎屑,厚0.2~0.5 m
 - 2 黄绿色粉砂岩、含云母,有砂岩结核,厚3 m
 - 1 砂岩,未见底
- 下伏仍为泾川组地层

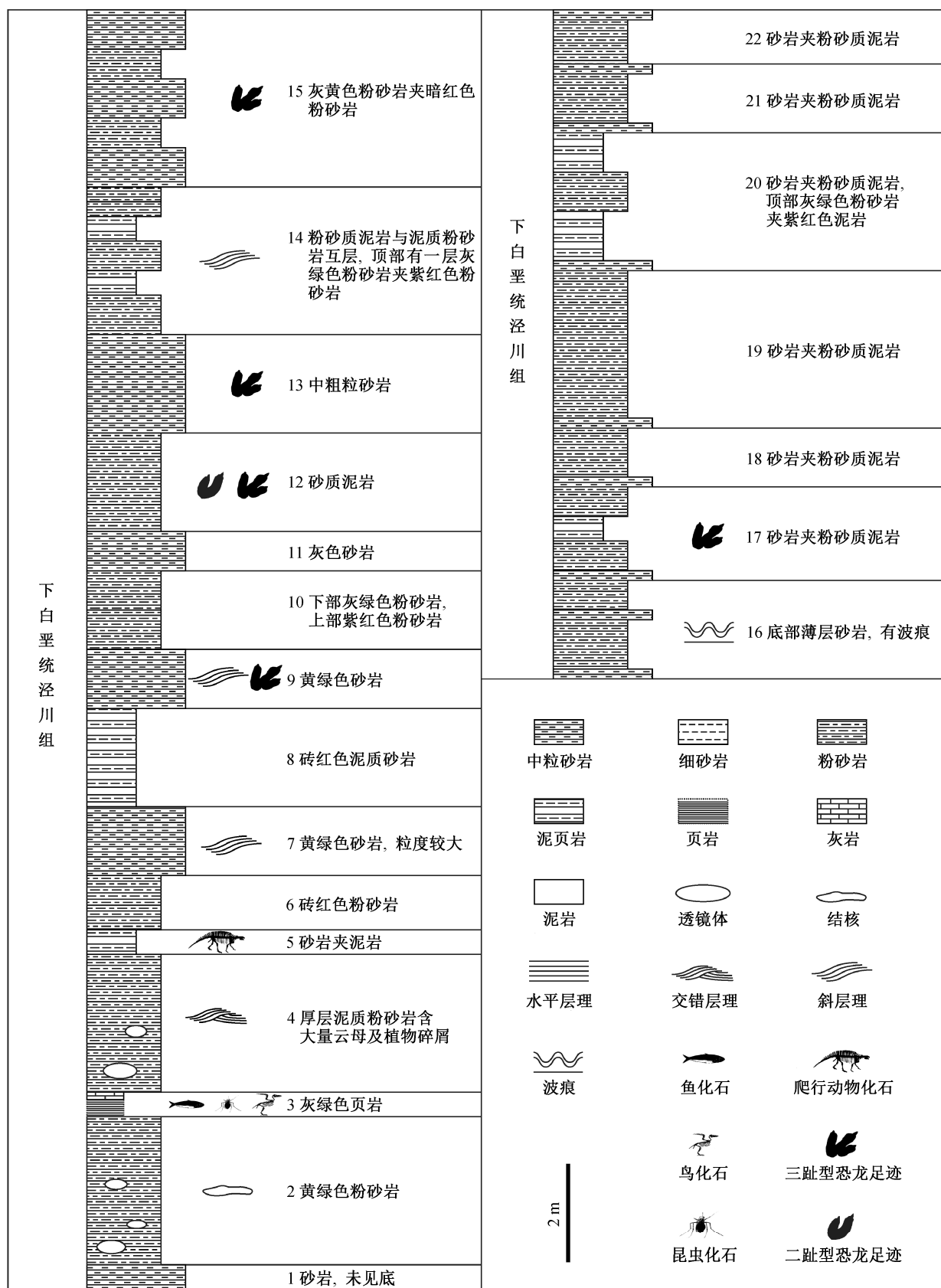


图 3 足迹化石产地综合柱状图
Fig. 3 Comprehensive column of the footprints site

本文讨论的二趾型驰龙类足迹发现于第 12 层 (15B 化石点层位)。15 号化石点的层位为第 11 层, 8 号化石点的层位为第 7 层。

2 系统描述

兽脚亚目 Suborder Theropoda

驰龙足迹科 Ichnofamily Dromaeopodidae Li et al., 2008

奔驰龙足迹属 Ichnogenus *Dromaeosauripus* Kim et al., 2008

奔驰龙足迹属未定种 *Dromaeosauripus* isp.

材料 标本 Chabu15B-1 和 Chabu15B-2 仍保存在野外。北京自然博物馆保存足迹石膏模型, 编号为 BMNHC-PH1626 和 BMNHC-PH1627。

描述 此次在查布 15B 足迹化石点共发现 5 个足迹化石(表 1, 图 4), 编号分别为 Chabu15B-1, Chabu15B-2, Chabu15B-3, Chabu15B-4 和 Chabu15B-5。其中 Chabu15B-1 和 Chabu15B-2 为二趾型足迹, 但由于风化的原因, 没有找到连续的行迹。

Chabu15B-1 与 Chabu15B-2 相距约 20 m, 不能确定是不是同一只恐龙的足迹。从尺寸及保存特征看, 二者应为同一类恐龙的足迹。

Chabu15B-1 为二趾型兽脚类足迹(图 5), 长 15 cm, 宽 10 cm, 足迹印迹较深, 达到 4.5 cm。足迹的两个趾应为 III 趾和 IV 趾, 可见趾尖, 趾尖锐, 印迹由根部向趾尖逐渐变浅。两趾趾尖相距 5.5

cm, III 趾与 IV 趾基本上平行。趾叉(hypex)位于足迹中部, 距后边缘 11 cm, 到两个趾尖的距离分别为 4 和 4.5 cm。根据 Thurbon^[19]测量趾长的方法, 测得趾长分别为 3.8 和 4 cm。足迹的跖趾垫较大, 是足迹主要组成部分。由于此足迹是单个足迹, 没有形成行迹, 并且基本上左右对称, 所以不能确定是恐龙的左足或右足所留。

Chabu15B-2 保存状态与 Chabu15B-1 相似(图 6), 长 14 cm, 宽 11 cm, 在右侧脚趾印记的最深处, 有一个明显的小坑, 深 3.5 cm, 估计是后期风化的结果。足迹中可以明显地看到两个趾的外部轮廓和趾尖, 两趾印迹连在一起。两趾趾尖相距 6.5 cm。趾叉(hypex)位于中部, 距后边缘 8.5 cm, 到两个趾尖的距离分别为 5.3 和 4.6 cm。右侧趾的右侧边缘向外凸出。由于恐爪龙类的后足 II 趾各有一个硕大的爪子, 行走时不着地, 据此判断这个外凸的边缘是 II 趾的近端留下的印迹。因此, 足迹 Chabu15B-2 应为左足的印迹。

与查布二趾型足迹一起保存的还有 3 个三趾型的兽脚类足迹, 编号为 Chabu15B-3, Chabu15B-4 和 Chabu15B-5。其中, Chabu15B-3 与 Chabu15B-4 的形态、大小及行走方向一致, 判断二者为同一只大型兽脚类恐龙足迹的足印, 形成一个单步(pace)。Chabu15B-3 只保留前半部分的 3 个趾, Chabu15B-4 保存较完整, 长 41.5 cm, 宽 31 cm, 长宽比为 1.34,

表 1 查布 15B 号化石点足迹的测量数据
Table 1 Measurements of the tracks from Chabu tracksite 15B

编号	长/cm	宽/cm	II 趾		III 趾		IV 趾	
			长/cm	宽/cm	长/cm	宽/cm	长/cm	宽/cm
Chabu15B-1	15.0	10	—	—	3.8	3.5	4.0	3.2
Chabu15B-2	14.0	11	—	—	4.0	3.0	4.5	3.5
Chabu15B-3	?	?	?	4.5	?	6.5	?	?
Chabu15B-4	41.5	31	22	6.0	28	6.0	26	5.2
Chabu15B-5	14.5	7.2	?	?	?	?	?	?

编号	趾间角/(°)			复步长/cm	单步长/cm	步幅角/(°)	长宽比
	II - III	III - IV	II - IV				
Chabu15B-1	—	?	—	?	?	?	1.5
Chabu15B-2	—	?	—	?	?	?	1.3
Chabu15B-3	?	?	?	?	102	?	?
Chabu15B-4	17	31	48	?	102	?	1.3
Chabu15B-5	?	?	?	?	?	?	2.0

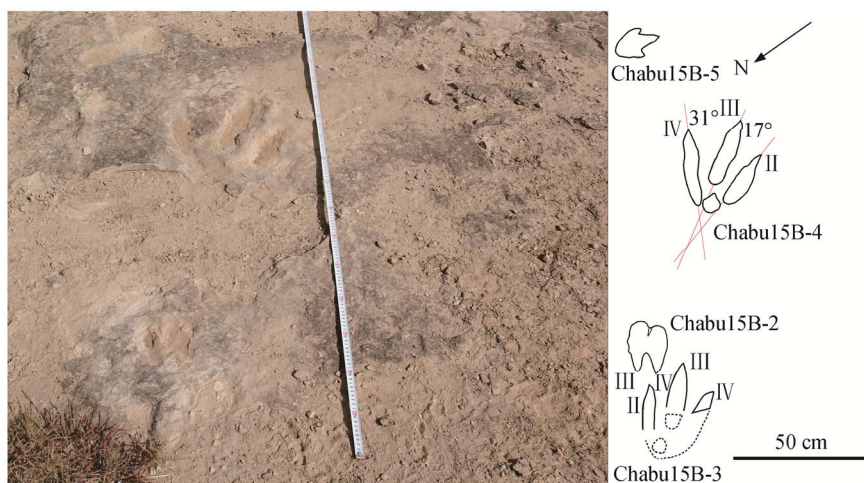


图 4 足迹化石分布

Fig. 4 Distribution of the footprints



图 5 Chabu15B-1 号足迹化石照片及轮廓

Fig. 5 Photograph and outline drawing of the Chabu15B-1 footprint

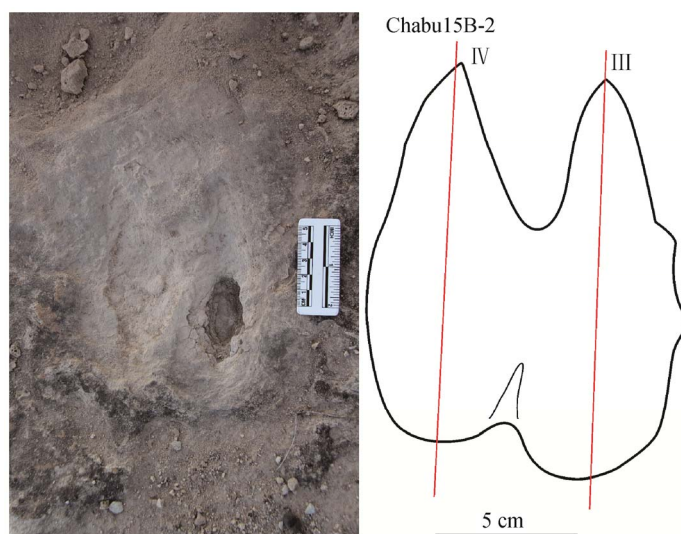


图 6 Chabu15B-2 号足迹化石照片及轮廓

Fig. 6 Photograph and outline drawing of the Chabu15B-2 footprint

属于典型的兽脚类足迹。Chabu15B-4 不对称, II 趾与 III 趾间夹角为 17° , III 趾与 IV 趾间夹角为 31° , 有明显的跖趾垫, 且中趾印记不与跖趾垫相连。

Chabu15B-5 为小型三趾型足迹, 长 14.3 cm, 宽 7 cm。两侧趾夹角较小, 没有清楚的趾垫印迹。整个足迹呈现较细长的菱形。同样, 由于仅有单个足迹, 且足迹细节保存不清楚, 不能判断其为造迹者的哪只脚留下的印迹。

3 讨论

一般认为, 保存两个趾的恐龙足迹是恐爪龙类恐龙留下的足迹^[15]①, 恐爪龙后足的 II 趾是个很大的爪子, 平时不着地, 仅留下 III 趾和 IV 趾的印迹。在足迹化石研究中, 恐爪龙的足迹定义为驰龙足迹科(Ichnofamily Dromaeopodidae)^[15]。目前, 中国发现 4 个属: 驰龙足迹属(*Dromaeopodus*)、快盗龙足迹属(*Velociraptorichnus*)、猛龙足迹属(*Menglongpus*)和奔驰龙足迹属(*Dromaeosauripus*)^[20]。

驰龙类足迹在世界上的发现相对较少, 已确定为驰龙足迹的有: 发现于四川峨眉下白垩统夹关组的四川快盗龙足迹(*Velociraptorichnus sichuanensis*)^①, 发现于山东莒南后左山恐龙公园下白垩统大盛群上段田家楼组的山东快盗龙足迹(*Velociraptorichnus*)和山东驰龙足迹(*Dromaeopodus shandongensis*)^[15], 发现于韩国 Namhae 地区下白垩统咸安组(Haman Formation)的咸安奔驰龙足迹(*Dromaeosauripus hamanensis*)^[21], 发现于河北赤城下白垩统土城子组的中国猛龙足迹(*Menglongpus sinensis*)^[16], 发现于韩国 Namhae 地区下白垩统晋州组(Jinju Formation)的晋州足迹(*Dromaeosauripus jinjuensis*)^[22], 发现于甘肃永靖下白垩统上河口组的永靖奔驰龙足迹(*Dromaeosauripus yong jingensis*)^[14], 发现于山东崮山下白垩统田家楼组的山东奔驰龙足迹未定种(*Dromaeosauripus* isp.)^[17], 以及发现于犹他州下白垩统的 Mill Canyon 足迹化石点(Mill Canyon Dinosaur Tracksite)雪松山组(Cedar Mountain Formation)中的奔驰龙足迹属(*Dromaeosauripus*)^[23-24]。

北美和非洲等地也有疑似二趾型兽脚类足迹的报道^[23-28]。美国 Colorado 州西部 Gateway 地区上三叠统钦利组(Chinle Group)发现 3 个疑似二趾型足迹, 这些足迹保存完好, 有清晰的趾垫, 印痕较

深, II 趾根部变大的趾垫印迹被保存, Gaston 等^[25]认为其为 *Pseudotetrasauropus* 足迹的变异体。至于这 3 个足迹是否为驰龙足迹(Dromaeopodidae), 在时代和形态结构上仍有较大争议。

White 等^[26]和 Lockly 等^[27]报道美国 Utah 州 Arches 国家公园内雪松山组(Cedar Mountain Formation)两个明显的两趾型兽脚类足迹, 地质年代相当于白垩纪早期的巴列姆阶。White 等^[26]未对其进行详细描述和分类。这两个足迹分别长 28 和 38 cm, 尺寸比查布的二趾型足迹大, 因此认为它们应该属于不同种类。

Cowan 等^[23]报道美国 Utah 州东部 Mill Canyon 足迹化石点(Mill Canyon Dinosaur Tracksite)雪松山组中 5 个二趾型兽脚类足迹, 认为它们属于驰龙足迹属(Ichnogenus *Dromaeopodus*)。Lockly 等^[24]在该地区新发现 3 个二趾型兽脚类足迹, 并将这 3 个足迹和 Cowan 等^[23]发现的 5 个二趾型足迹都归入奔驰龙足迹属(*Dromaeosauripus*)。这些足迹长 21~22 cm, 有清楚的趾垫和爪迹, III 趾和 IV 趾细长, II 趾的根部印迹模糊。根据以上特征, 我们认为将其归入奔驰龙足迹属较为合理。

Ishigaki 等^[28]报道非洲摩洛哥 High Atlas 山的下侏罗统发现 6 个疑似二趾型兽脚类足迹, 这 6 个足迹形成两条行迹, 但从其保存状况看, 这些足迹都不是很完整。Xing 等^[17]认为这些足迹是三趾型足迹的变形体, 其 III 趾和 IV 趾的趾长可以达到 27 和 25 cm, 趾迹也较为纤细^[28]。这些足迹如果确实为驰龙足迹(Dromaeopodidae)的话, 在时代和形态方面与查布的二趾型足迹也有很大区别。

在非洲尼泊尔 Agadez 平原中侏罗统地层中也曾发现疑似二趾型兽脚类足迹 *Paravipus didactylodes*。这些足迹共 120 个, 形成 5 条行迹。足迹平均长 27.5 cm, 宽 23.1 cm^[29]。但是, Xing 等^[17]认为这些足迹并非恐爪龙类恐龙的足迹, 而是三趾型兽脚类恐龙游泳时的足迹。这些足迹个体比查布二趾型足迹大, 时代也较早。

本文研究的两个二趾型足迹平均长 14.5 cm, 印迹较深, 平均达到 4 cm。从其形态来看, 查布足迹比快盗龙足迹和猛龙足迹等小型足迹(平均长约 10 cm)长度大, 但比驰龙足迹(平均长约 30 cm)长度小, 其大小与奔驰龙足迹属(*Dromaeosauripus*)的咸

① 同 82 页脚注①。

安奔驰龙足迹、永靖奔驰龙足迹以及山东奔驰龙足迹未定种(平均长 19.5 cm)大体上相当。尤其是形态及保存状态,与山东岌山的奔驰龙足迹(*Dromaeosauripus isp.*)^[17]很相似,印迹同样都较深,跖趾垫较大,均有爪迹。咸安奔驰龙足迹是奔驰龙足迹属的模式种,其趾迹纤细,爪迹清晰,Ⅲ趾略长于Ⅳ趾,趾垫发育^[21]。永靖奔驰龙的趾垫发育,其中Ⅲ趾有 3 个垫,Ⅳ趾有 4 个垫,无爪迹,蹠趾垫较大,圆形,Ⅱ趾近端与蹠趾垫前边缘接触^[17]。与咸安足迹及永靖足迹相比,查布的二趾型足迹可能由于当时的基底比较泥泞,因而保存的印迹较深,趾的细节特征不清楚,并且没有保留下行迹。因此,从足迹大小和形态上看,查布的二趾型足迹与山东临沭岌山的二趾型足迹相似(图 7),也归入奔驰龙足迹属^[21]。Xing 等^[17]在描述岌山奔驰龙足迹时,给出Ⅲ趾与Ⅳ趾的平均趾间角为 25°,但未给出测量方法。据我们野外实地考察,发现岌山奔驰龙足迹Ⅲ趾与Ⅳ趾间的夹角很小,两趾均近平行,只是左足两个趾的趾尖在远端向一侧弯曲(见文献[17]中图 2)。查布的二趾足迹的Ⅲ趾与Ⅳ趾也近平行,趾尖部分没有发生弯曲现象。

目前世界上其他地区确定的驰龙类足迹均发现于早白垩世地层中,查布的驰龙足迹也发现于早白垩世地层中。这在一定程度上说明,驰龙类足迹的造迹者广泛活跃于早白垩世的各大陆。山东岌山的奔驰龙足迹(*Dromaeosauripus isp.*)在形态和保存状态上都与查布的驰龙足迹最接近,埋藏状态显示当时两地的地面都较为泥泞,这有助于两地进行地层对比(尤其在恐龙骨骼化石相对较少的情况下)。

Chabu15B-4 有明显的蹠趾垫印迹,脚趾印迹粗壮,足迹不对称,足迹的长宽比为 1.3。以上特征

接近粗壮亚洲足迹(*Asianopodus robustus*)^[6],因此将 Chabu15B-3 和 Chabu15B-4 归入粗壮亚洲足迹。

与 Chabu15B-5 相似的足迹在查布 15 号足迹化石点大量发现^[5],其特征符合蹠脚龙足迹(*Grallator*)^[30-31],因此将其归入蹠脚龙类足迹。

驰龙类足迹的发现往往伴随兽脚类足迹。与四川快盗龙足迹(*Velociraptorichnus sichuanensis*)一同发现的有 *Grallator emeiensis* 和 *Minisauripus chuanzhuensis*,而 *G. emeiensis* 和 *M. chuanzhuensis* 都是较小的足迹(长度分别为 2.7 和 3 cm)^[32]。在山东省莒南发现的 *Velociraptorichnus* 和 *Dromaeopodus shandongensis* 也伴随兽脚类足迹^[15,33],Lockley 等^[32]在同一化石点发现 *Minisauripus zhenshuonani* (长 3~6 cm)。与甘肃永靖恐爪龙类足迹一同发现的也有 3 种兽脚类足迹,其中一些兽脚类足迹归入蹠脚龙足迹(*Grallator*)^[13,33]。韩国发现的咸安奔驰龙足迹(*Dromaeosauripus hamanensis*)和美国 Utah 州发现的 *Dromaeosauripus* 足迹都伴随三趾型兽脚类足迹^[25-26]。

查布发现的二趾型足迹与四川峨眉及甘肃永靖的恐爪龙类足迹都伴随蹠脚龙足迹(*Grallator*)。这种足迹组合不一定意味着它们的造迹者可以共同分享生态系统,但至少可以说明恐爪龙类恐龙与其他兽脚类恐龙的活动区域有所交叉。这或许表明恐爪龙类恐龙与蹠脚龙足迹的造迹恐龙有着某种关联。山东省莒南后左山发现的驰龙科足迹化石形成 6 条行迹,彼此相距约 1 m^[34]。这些足迹可能是同种恐爪龙类恐龙留下,并且是 6 个大小相近的个体沿海岸共同缓慢前进。虽然这些足迹化石不能明确指示恐爪龙的猎食行为,但不能排除它们以群体猎食的可能性。同样,查布地区的二趾型足迹化石虽能指示恐爪龙和其他兽脚类恐龙早白垩世在此地区生活过,但不能明确指示它们是集体猎食还是单独行动,需要更多的证据来揭示它们的生活习性。

4 意义

查布地区恐爪龙足迹的发现使驰龙类足迹的范围扩散至鄂尔多斯盆地,既填补了内蒙古地区两趾型兽脚类足迹的空白,也增加了世界两趾型兽脚类足迹的记录,有助于研究恐爪龙类的地理分布和地层对比。与世界上其他驰龙类足迹一样,查布的驰

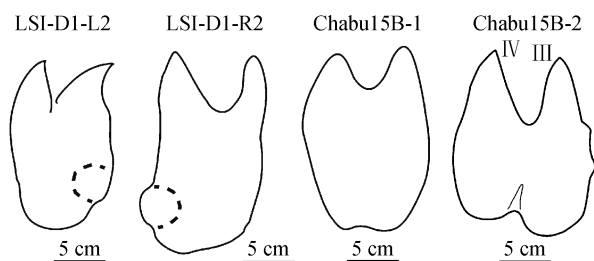


图 7 查布二趾足迹与山东临沭岌山二趾足迹对比
Fig. 7 Comparison of Chabu didactyl tracks and Jishan didactyl tracks

① 同 82 页脚注①。

龙类足迹也发现于下白垩统,说明早白垩世恐爪龙在世界上广泛分布。在同一层位发现粗壮亚洲足迹(*Asianopodus robustus*)和蹠脚龙足迹(*Grallator*),也说明恐爪龙类恐龙的活动区域可以与其他兽脚类恐龙有所交叉。世界上多地驰龙类足迹和蹠脚龙足迹的同时出现,或许表明这两种足迹的造迹者之间有一定的关联。然而,仅凭少量的恐龙足迹,很难揭示造迹者确切的生活习性,需要发掘更多的化石材料和证据。

致谢 研究工作得到鄂尔多斯市国土资源局的大力支持,在此表示衷心感谢。

参考文献

- [1] 高尚玉,李保生,董光荣. 内蒙古查布地区足迹化石. 古脊椎动物学报, 1981, 19(2): 193
- [2] Lockley M G, Wright J, White D, et al. The first sauropod trackways from China. *Cretaceous Research*, 2002, 23(3): 363–381
- [3] 李建军,巴特尔,张维虹,等. 内蒙古查布地区下白垩统的巨齿龙足印化石. 古生物学报, 2006, 45(2): 221–234
- [4] Azuma Y, Li Rong, Currie P J, et al. Dinosaur footprints from the Lower Cretaceous of Inner Mongolia, China. *Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum*, 2006, 5: 1–14
- [5] Li Jianjun, Lockley M G, Bai Zhiqiang, et al. New bird and small theropod tracks from the Lower Cretaceous of Otog Qi, Inner Mongolia, P. R. China. *Memoirs of Beijing Museum of Natural History*, 2009, 61: 51–79
- [6] 李建军,白志强,魏青云. 内蒙古鄂托克旗下白垩统恐龙足迹. 北京:地质出版社, 2011
- [7] Lockley M G, Li Jianjun, Matsukawa M, et al. A new avian ichnotaxon from the Cretaceous of Nei Mongol, China. *Cretaceous Research*, 2012, 34: 84–93
- [8] Tong Haiyan, Brinkman D. A new species of *Sinemys* (Testudines: Cryptodira: Sinemydidae) from the early Cretaceous of Inner Mongolia, China. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, 2013, 93(3): 355–366
- [9] 侯连海. 内蒙古晚中生代鸟类及鸟类飞行进化. 古脊椎动物学报, 1994, 32(4): 258–266
- [10] Li Jianjun, Li Zhiheng, Zhang Yuguang, et al. A new species of *Cathayornis* from the Lower Cretaceous of Inner Mongolia, China and its stratigraphic significance. *Acta Geologica Sinica*, 2008, 82(6): 1115–1123
- [11] 张玉光,张笠夫,李建军,等. 内蒙古鄂托克旗早白垩世华夏鸟的又一发现及其飞行能力分析. 地质通报, 2010, 29(7): 988–992
- [12] 郝诒纯,苏德英,余静贤,等. 中国地层典白垩系. 北京:地质出版社, 1986: 168–172
- [13] Li Daqing, Azuma Y, Fujita M, et al. A preliminary report on two new vertebrate track sites including dinosaurs from the Early Cretaceous Hekou Group, Gansu Province, China. *J Paleontol Soc Korea*, 2006, 22: 29–49
- [14] Xing Lida, Li Daqing, Harris J D, et al. A new *Dromaeosauripus* (Dinosauria: Theropoda) ichnospecies from the Lower Cretaceous Hekou Group, Gansu Province, China. *Acta Palaeontologica Polonica*, 2012, 58(4): 723–730
- [15] Li Rihui, Lockley M G, Makovicky P, et al. Behavioral and faunal implications of deinonychosaurian trackways from the Lower Cretaceous of China. *Naturwissenschaft*, 2008, 95: 185–191
- [16] Xing Lida, Harris J D, Sun Denghai, et al. The earliest known deinonychosaur tracks from the Jurassic Cretaceous boundary in Hebei Province, China. *Acta Palaeontologica Sinica*, 2009, 48(4): 662–671
- [17] Xing Lida, Lockley M G, Marty D, et al. Diverse dinosaur ichnoassemblages from the Lower Cretaceous Dasheng Group in the Yishu fault zone, Shandong Province, China. *Cretaceous Research*, 2013, 45: 114–134
- [18] 刘池洋,赵红格,桂小军,等. 鄂尔多斯盆地演化—改造的时空坐标及其成藏(矿)响应. 地质学报, 2006, 80(5): 617–638
- [19] Thulborn T. *Dinosaur tracks*. London: Chapman and Hall, 1990
- [20] 李建军. 中生代爬行类和鸟类足迹. 中国古脊椎动物志, 第二卷, 第八册(总第十二册). 北京:科学出版社, 2015
- [21] Kim J Y, Kim K S, Lockley M G. New didactyl dinosaur footprints (*Dromaeosauripus hamanensis* ichnogen. et ichnosp. nov.) from the Early Cretaceous Haman Formation, south coast of Korea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2008, 262: 72–78
- [22] Kim S Y, Lockley M G, Woo J O, et al. Unusual didactyl traces from the Jinju Formation (Early Cretaceous, South Korea) indicate a new ichnospecies of *Dromaeosauripus*. *Ichnos*, 2012, 19: 75–83

- [23] Cowan J, Lockley M G, Gierlinski G. First dromaeosaur trackways from North America: new evidence from a large site in the Cedar Mountain Formation (Early Cretaceous), eastern Utah. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 2010, 30(suppl 3): 201075A
- [24] Lockley M G, Gierlinski G, Dubicka Z, et al. A new dinosaur tracksite in the Cedar Mountain Formation (Cretaceous) of eastern Utah. *New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin*, 2014, 62: 287–300
- [25] Gaston R, Lockley M G, Lucas S G, et al. Grallator-dominated fossil footprint assemblages and associated enigmatic footprints from the Chinle Group (Upper Triassic), Gateway area, Colorado. *Ichnos*, 2003, 10: 153–163
- [26] White D, Lockley M G. Probable dromaeosaur tracks and other dinosaur footprints from the Cedar Mountain Formation (Lower Cretaceous), Utah. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 2002, 22: 119A
- [27] Lockley M G, White D, Kirkland J, et al. Dinosaur Tracks from the Cedar Mountain Formation (Lower Cretaceous), Arches National Park, Utah. *Ichnos. An International Journal for Plant and Animal Traces*, 2004, 11(3/4): 285–293
- [28] Ishigaki S, Lockley M G. Didactyl, tridactyl and tetradactyltheropod trackways from the Lower Jurassic of Morocco: evidence of limping, labouring and other irregular gaits. *Historical Biology*, 2010, 22: 100–108
- [29] Mudroch A, Richter U, Joger U, et al. Didactyl tracks of paraviantheropods (Maniraptora) from the Middle Jurassic of Africa. *PLoS One*, 2011, 6(2): e14642
- [30] Lull R S. Fossil footprints of the Jura-Trias of North America. *Boston Society of Natural History Memoirs*, 1904, 5: 461–557
- [31] Olsen P E, Smith J B, McDonald N G. Type material of the type species of the classic theropod footprint genera *Eubrontes*, *Anchisauripus* and *Grallator* (Early Jurassic, Hartford and Deerfield basins, Connecticut and Massachusetts, USA). *Journal of Vertebrate Paleontology*, 1998, 18: 586–601
- [32] Lockley M G, Kim J Y, Kim K S, et al. *Minisauripus* — the track of a diminutive dinosaur from the Cretaceous of China and South Korea: implications for stratigraphic correlation and the theropod foot morphodynamics. *Cretaceous Research*, 2008, 29(1): 115–130
- [33] Zhang Jianping, Li Daqing, Li Minglu, et al. Diverse dinosaur, pterosaur and bird track assemblages from the Hakou Formation, Lower Cretaceous of Gansu Province, northwest China. *Cretaceous Research*, 2006, 27: 44–55
- [34] 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. *地质通报*, 2005, 24(3): 277–280