热烈庆祝中国地质学会
成立100周年
1922～2022
Pre-pub. on line: www.geojournals.cn/georev

山东诸城地区早白垩世一新龟类足迹

张艳霞[1)],孙业君[1)],陈军[2)],崔卫生[1)],陈树清[1)]
1)诸城市恐龙文化研究中心,山东诸城,262200;
2)山东省地质科学研究院,济南,250013

内容提要:1923年Nopcsa命名的*Emydichnium*是龟类足迹最早的报道,后来其他一些中生代的足迹也被陆续报道描述。但是大多数化石只显示出或多或少的明显爪印或者划痕,无法反映造迹者足部较为全面的生物学特征。山东诸城皇龙沟足迹点保存了早白垩世大量形态多样的龟类足迹,本文对其中一保存较好,能够反映足部生物学特征的龟类足迹进行了详细描述,并依据数据统计与莱阳足迹*Liayangpus*进行对比,显示两者存在明显不同。诸城的龟类足迹区别于以往发现的龟类足迹,因此根据其形态建立新种:完整诸城足迹*Zhuchengichnites perfectus*。本文亦对中国发现的龟类足迹化石点的层位、保存类型等进行了总结。

关键词:龟类足迹;诸城;早白垩世

龟类足迹是中生代水生遗迹组合中较为罕见但分布广泛的组成部分(Karl et al., 2012)。龟类足迹的化石记录从早三叠世一直延伸到始新世(Lichtig et al., 2018)。最早被科学界描述的龟类足迹是Nopcsa(1923年)命名的、来自德国索伦霍芬上侏罗统的*Emydhipus*。Rühle von Lilienstern(1939)又命名了*Chelonipus*。后来,Fuentes(2003)命名了*Emydhipus*,其他一些来自北美、欧洲(Moratalla et al., 2009;Pascual et al., 2015)和北非(Klein et al., 2018)的大量龟类足迹也被陆续报道、描述。在2010年之前,亚洲还没有关于龟类足迹的报道。此后,韩国(Kim et al., 2016)和中国(Lockley et al., 2012, 2015a, b, 2018; Xing Lida et al., 2014, 2016, 2019)都有龟类足迹的报道。然而,前人报道的这些龟类足迹化石,大多数只显示出或多或少的爪印,有的爪印由一个弧形结构连接,有的则呈现为划痕。上述这些保存状况可以确定趾(指)的数量和爪的存在,但很少能进行生物学特征的重建(Karl et al., 2012)。龟类足迹之所以形态多样,是因为足迹的形态受到造迹者的步态、环境和基质的强烈控制(Avanzini et al., 2005)。

目前,龟类足迹已有很多种类,例如*Agostropus*(Haubold, 1971a, b),*Anyropus*(Hitchcock, 1858),*Saltosauropus*(Bernier et al., 1984; Gaillard et al., 2003),*Chelonichnium*(Bernier et al., 1982),*Hatcherichus*(Foster et al., 1997)等。Avanzini等(2005)根据爪迹特征以及行迹中前后足的相对位置认为,在已命名的龟类足迹属中只有两个有效属:*Chelonipus*和*Emydhipus*。Lockley等(2015a)指出,尽管龟类的游泳迹已有很多命名,但都不适用于有步行特征的足迹。由于足迹属的定义完全是以形态为依据的,因此能够较为全面反映足部生物学特征的足迹尤为重要。

Lockley等(2015a)提到山东诸城皇龙沟足迹化石点保存的大量小型四足动物的足迹,一般都较小(2~5 cm)。很多足迹都至少有四个平行的趾迹,部分较短,但部分为拉长的划痕,研究人员推测造迹者是龟类。其中一龟类足迹保存了较完整的足部生物学特征,Lockley等(2015a)绘制了这个足迹简单的线条图,但没有进行详细的描述与讨论。笔者等详细描述了这一龟类足迹并建立一新属新种。

从地质背景看,诸城地区位于胶莱盆地南部的诸城凹陷,白垩系发育齐全,其中的莱阳群沉积厚度较大,最大厚度可超过2500m,为莱阳期胶莱盆地的沉降中心(陆克政等,1994;张岳桥等,2008),是盆地形成初期的产物,分布广泛,向东延入黄海,目前在黄海近岸的灵山岛上就有良好出露(吕洪波等,2011;钟建华,2012;李守军等,2017)(图1a)。皇龙

收稿日期:2022-07-07;改回日期:2022-09-10;网络首发:2022-10-20;责任编辑:刘志强。Doi: 10.16509/j.georeview.2022.10.011
作者简介:张艳霞,女,1982年生,硕士,副研究馆员,主要从事恐龙化石及中生代其他古生物化石的研究;Email:yanxiazhangzxw@126.com。通讯者简介:陈军,男,1987年生,硕士,工程师,主要从事沉积地质学、古生物学等研究;Email:chenjun1987111@163.com。

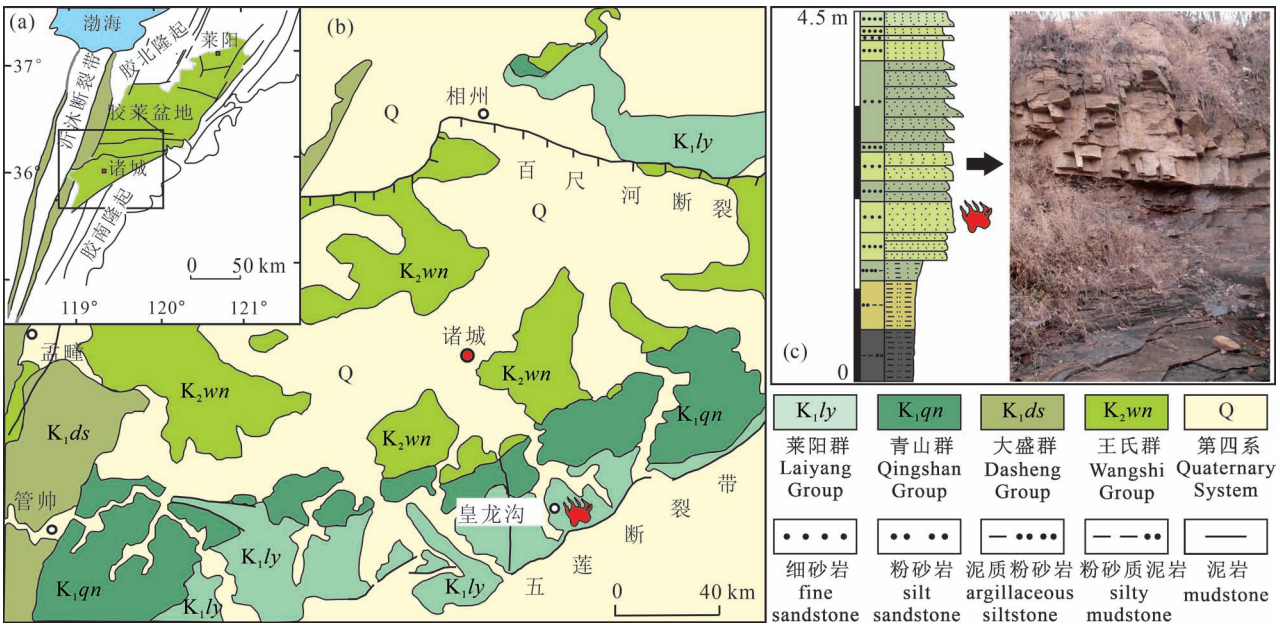

图 1 化石产地区域地质概况及其产出层位:(a) 大地构造位置;(b) 区域地质情况;(c) 化石产出层位

Fig. 1 Regional geology and horizon of the fossil site:(a) geotectonic location;(b) regional geology;(c) horizon

沟足迹点周边地区莱阳群整体为一套灰绿色砂岩、粉砂岩夹泥岩,顶部为灰紫色砂砾岩,与下伏太古界胶东群片麻岩和上覆下白垩统青山群安山岩皆呈角度不整合接触(图 1b)。足迹点化石产出于莱阳群杨家庄组上部,足迹层整体厚 4.5 m,下部为灰褐色、灰绿色粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩,水平层理、波状交错层理发育,为浅湖亚相沉积,上部为浅灰绿色细砂岩、中砂岩及少量粗砂岩韵律层,其底部发育楔状交错层理,波痕和泥裂构造极为发育,砂体厚度横向上较为稳定,为滨湖亚相沉积(图 1c)。

1 系统古生物学

爬行纲 Class Reptilia

龟鳖目 Order Testudines Linnaeus, 1758

海龟足迹科 Ichnofamily Chelonipedidae Sarjeant & Lockley, 1994

完整诸城足迹(新属新种) *Zhuchengichnites perfectus* gen. et sp. nov.

词源:"Zhucheng"为"诸城"的汉语拼音,地名,指化石标本产地所在城市。

正型标本:编号 HLG-1,一保存较为完整的龟类足迹,原地保存。perfectus 表示这个足迹相对于其他龟类足迹来说保存的更加完整,细节更为完美。

层位与产地:化石保存于山东省诸城市南部皇华镇皇龙沟(N35°51′49.27″,E119°27′32.87″)下白垩统莱阳群杨家庄组上部(部分等同于龙旺庄组)黄绿色细砂岩层面上(许欢等,2013)(图 1)。此化石点除了保存有大量龟类足迹外,还保存了数以千计的兽脚类足迹与几十个蜥脚类足迹。其中包括 3 种兽脚类的足迹:东方百合强壮足迹(*Corpulentapus lilasia*)、杨氏跷脚龙足迹(*Grallator yangi*)和一种大型的兽脚类足迹(Lockley et al., 2015a),以及两种蜥脚类足迹(张艳霞等,2017)。

鉴别特征:后足中等大小,蹠行式足迹,整个脚掌面及其跗—蹠关节落地,长度略大于宽度。足迹具有五趾,趾Ⅲ与趾Ⅳ长度相近,相对较长,趾Ⅰ最短。趾Ⅱ~Ⅴ几乎平行且向外偏转,趾Ⅰ指向内侧。爪尖锋利,趾Ⅱ~Ⅳ爪尖强烈向外偏转。附—蹠关节印痕均为近椭圆形,且内侧关节痕迹略大于外侧关节痕迹。

2 标本描述

正型标本 HLG-1 为一左后足足迹,中等大小,长度略大于宽度(长 11.4 cm,宽 10.1 cm),蹠行式足迹,整个脚掌面及跗—蹠关节落地,为凹型足迹。

HLG-1 具有 5 趾,趾Ⅳ最长,趾Ⅲ与趾Ⅳ长度接近,趾Ⅰ最短,趾Ⅱ略长于趾Ⅴ。趾Ⅱ~Ⅳ几乎平行且向外偏转,趾Ⅱ~Ⅳ爪迹强烈向外偏转,趾Ⅴ爪迹偏转程度相对较小。趾Ⅰ指向内侧。5 趾均保存有明显的爪迹,爪尖尖锐,趾Ⅱ显示出强壮的

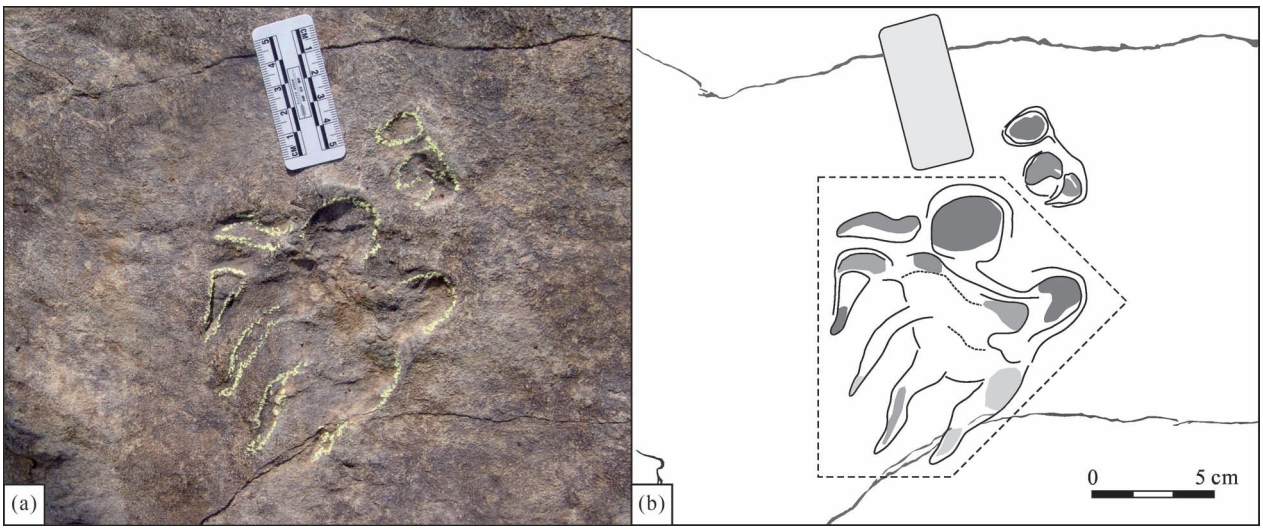

图 2 完整诸城足迹正模标本(HLG-1)照片和素描图(a: HLG-1 照片; b: HLG-1 素描图)

Fig. 2 Photograph and sketches of *Zhuchengichnites perfectus* gen. et sp. nov.:
(a) photograph of HLG-1; (b) sketches of HLG-1

表 1 标本 HLG-1 参数(单位:cm)

Table 1 Elements of HLG-1 (Unit:cm)

趾	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
趾长	3.2	4.8	5.6	6.1	4.5
足迹总长	11.4				
足迹总宽	10.1				

三角形爪迹(图 2)。

五个爪迹由一近弧形的凹陷连接,弧形凹陷为蹼足脚掌印痕,由远端向近端逐渐变深。趾迹不明显,并融合入一近弧形凹陷中。爪迹及跗—蹠关节深度明显大于脚掌印痕深度,反映出五趾都包裹在足部的皮肤中,只有爪子露在皮肤外。趾Ⅲ沿着趾延伸的方向形成两侧隆起、中间凹陷的沟槽。在趾Ⅲ、Ⅳ上可辨认出趾关节。在Ⅱ趾与Ⅲ趾以及Ⅲ趾与Ⅳ趾近端之间,保存了部分足部皮肤表面纹理,为纵向的平行褶皱。脚掌近端与附—蹠关节印痕之间表现为不规则的隆起。附—蹠关节印痕为两个近椭圆形的凹坑,是整个足迹中最深的部位。内侧附—蹠关节印痕略大于外侧关节印痕。内侧关节印痕长轴长为 3.1 cm,短轴长为 2.7 cm;外侧关节印痕长轴长为 3.2 cm,短轴长为 2.0 cm。两个关节印痕之间最近的距离为 1.4 cm,最远端处相距 4.3 cm。在附—蹠关节印痕后面有一隆起,可能由于造迹者用力向后蹬地对沉积物的挤压而形成的(表 1)。

3　对比与讨论

在诸城足迹附近保存了大量形态多样的龟类足迹,且均保存在同一层面上。大部分足迹只保存了爪迹或是爪的划痕,部分足迹为平行的三个或者四个爪迹,可能代表在游泳或者底部行走状态;有的显示拉长的划痕,可能代表游泳的状态;还有的爪迹保存为较深的凹坑或杂乱地叠加在一起(图 3)。

Lockley 等(2015a)指出,诸城皇龙沟的龟类足迹与莱阳足迹化石点的莱阳足迹(*Liayangpus*)高度相似,足迹的形态除了受到造迹者足部生物学特征的控制之外,还受到基质性质及行走姿势的影响(Avanzini et al., 2005)。莱阳足迹点及皇龙沟足迹点都具有龟类游泳状态的足迹,反映出足迹均形成于水底,且两处足迹化石都赋存于细砂岩上(许欢等,2013;Lockley et al., 2015a, 2019)。在相似的基质上,相同形态的龟类足迹可能显示了造迹者同样的运动姿态,因此不同地区相似形态的足迹可以进行数据对比。笔者等选取了莱阳足迹点(Lockley et al., 2019)与诸城皇龙沟足迹点中具有几乎平行爪迹,爪迹没有拉长趋势且几乎未发生偏转的龟类足迹进行了数据统计、对比。

笔者等选取了 10 个具有上述特征的诸城足迹(图 4)进行数据分析,结果显示诸城足迹长度范围为 2.5~5.0 cm,主要集中在 3.7~4.7 cm,平均长度为 3.7 cm。相邻两个爪迹之间距离集中在 1.1~

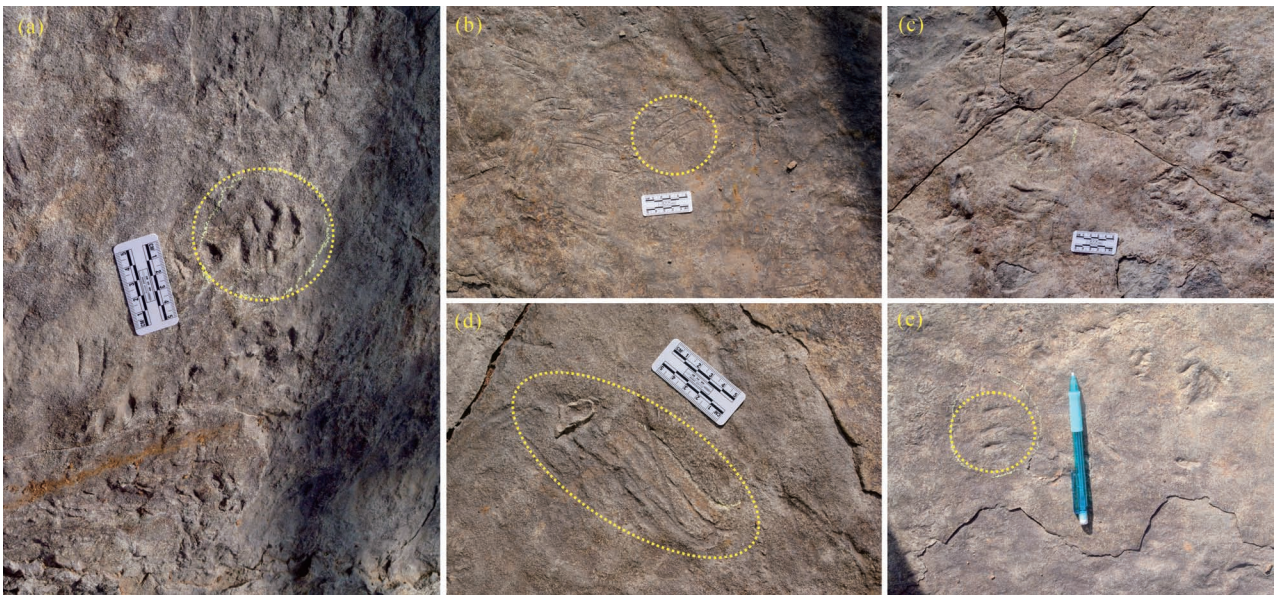

图 3 山东诸城皇龙沟足迹点龟类足迹的形态类型

Fig. 3 Morphological types of turtle footprints at Huanglonggou site in Zhucheng

2.0 cm,平均距离为 1.5 cm;爪迹长度与相邻两个爪迹之间的距离比值为 2.5(表 2)。

笔者等选取的 21 个具有上述特征的莱阳足迹(图 5)数据分析显示,其长度范围为 0.9~ 2.7 cm,

表 2 山东诸城皇龙沟足迹点龟类足迹要素

Table 2 Elements of turtle tracks in track site of Huanglonggou, Zhucheng

编号	足迹长(cm)	保存趾数(个)	相邻爪尖之间的距离(cm)	编号	足迹长(cm)	保存趾数(个)	相邻爪尖之间的距离(cm)
1	3.7	3	1.4	6	2.7	2	2.0
			1.2	7	3.8	3	1.1
2	2.6	2	1.1				1.6
3	4.5	2	1.4	8	3.7	3	1.9
			1.4				2.0
4	2.6	3	1.5	9	4.6	3	2.0
			1.4				2.0
5	4.7	4	1.4	10	4.2	3	1.7
			1.3				1.6
			1.1				

主要集中在 0.9~ 2.0 cm,平均长度为 1.5 cm。相邻两个爪迹之间的距离集中在 0.5~ 0.9 cm,平均距离为 0.7 cm。爪迹长度与相邻两个爪迹之间距离的比值为 2.1(表 3)。

数据统计显示,诸城足迹明显比莱阳足迹大,趾之间的间距也更大,爪迹长度与相邻两个爪迹之间距离的比值也明显更大(图 6),因此诸城足迹是区别于莱阳足迹的一个新种。诸城足迹代表的造迹者可能体型更大一些。

Lockley 等(2019)指出,没有必要将莱阳足迹归为单独的一个新的足迹单元,因为之前的龟类足迹分类单元都是根据行迹命名,而莱阳足迹没有一个

表 3 山东莱阳足迹点龟类足迹要素

Table 3 Elements of turtle tracks in track site of Laiyang

编号	保存趾数(个)	足迹长(cm)	相邻爪尖之间的距离(cm)	编号	保存趾数(个)	足迹长(cm)	相邻爪尖之间的距离(cm)
1	3	1.4	0.9	12	3	1.1	0.9
			0.9				0.7
2	2	0.9	0.8	13	3	1.6	0.8
3	3	1.9	0.8				0.9
			0.9	14	3	1.2	0.5
4	4	0.9	0.5				0.6
			0.7	15	3	2.7	0.6
			0.8				0.6
5	3	1.7	0.9	16	2	1.5	0.5
			1.2	17	3	1.5	0.6
6	3	2.6	0.8				0.6
			0.9	18	3	1.3	0.5
7	3	2.6	0.7				0.5
			0.9	19	3	1.5	0.7
8	2	1.1	0.8				0.7
9	2	0.9	0.8	20	3	1.1	0.6
10	4	1.4	0.7				0.5
			0.6	21	3	1.7	0.6
			0.6				0.6
11	2	1.3	0.7				

可以辨别的行迹,因此从形态学的角度来看,无法将

表 4 中国 8 处龟类足迹化石点

Table 4 8 sites of turtle footprints in China

化石点	赋存层位	足迹类型	参考文献
山东莱阳	下白垩统莱阳群水南组	凸型足迹	Lockley et al. , 2019
新疆乌尔禾黄羊泉	下白垩统吐谷鲁群	凸型足迹	Xing Lida et al. , 2014
山东诸城皇龙沟	下白垩统莱阳群龙王庄组	凹型足迹	Lockley et al. , 2015a
内蒙古查布	下白垩统泾川组	凹型足迹	Lockley et al. , 2018a
四川巴久	下白垩统飞天山组	凹型足迹	Xing Lida et al. , 2016
甘肃刘家峡恐龙国家地质公园	下白垩统河口群	凸型足迹	Xing Lida et al. , 2019
甘肃方台	下白垩统河口群	凸型足迹	Xing Lida et al. , 2019
陕西柳沟崄	中侏罗统直罗组	凸型足迹	Xing Lida et al. , 2022

单个足迹与 *Chelonipus*(或者 *Emidhypus*)区分开来,并将刘氏莱阳足迹 *Laiyangpus liui* 归为 *Chelonipus*,形成一新的足迹组合 *Chelonipus liui*。虽然诸城足迹也不存在一个可辨别的行迹,但笔者等认为有必要建立一个新的龟类足迹属,原因有两点:一是足迹属的定义完全是以形态为依据的(李建军,2015);二是虽然足迹看似形态相似,但更有必要通过数据统计对比进行分析鉴别,例如上文中讨论的莱阳足迹与诸城足迹形态相似,但是通过数据的对比发现莱阳足迹与诸城足迹存在明显的不同。那么 *Laiyangpus* 是否与 *Chelonipus* 为同一足迹,值得进一步细致的研究对比。

图 4 山东诸城皇龙沟足迹点选取的 10 个龟类足迹

Fig. 4 Ten turtle footprints selected from Huanglonggou track site

图 5 山东莱阳足迹点选取的 21 个龟类足迹(据 Lockley et al., 2019)

Fig. 5 21 turtle footprints selected from Laiyang site, Shandong(from Lockley et al., 2019)

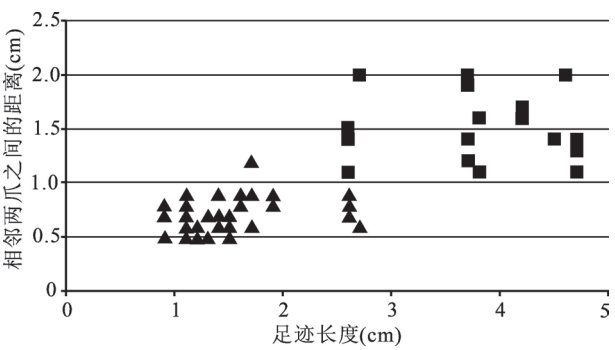

图 6 诸城皇龙沟化石点(■)与莱阳足迹化石点(▲)足迹(Lockley et al., 2019)数据对比

Fig. 6 Comparison of footprint data between Huanglonggou site(■) and Laiyang site(▲) (from Lockley et al., 2019)

近年来,龟类足迹在北美、亚洲和其他地方发现的越来越多(Lockley et al., 2014,2015b,2018c),截止目前,中国也已报道了 8 处龟类足迹化石点,分别是(表 4):山东莱阳(Young, 1960;Lockley et al., 2019);新疆乌尔禾黄羊泉(Xing Lida et al., 2014);山东诸城(Lockley et al., 2015a);内蒙古查布(Lockley et al., 2018a);四川巴久(Xing Lida et al., 2016);甘肃刘家峡恐龙国家地质公园(Xing Lida et al., 2019);甘肃永靖县方台村(Xing Lida et al., 2019);陕西柳沟峁(Xing Lida et al., 2022)。根据前人研究资料显示,除陕西柳沟峁足迹化石点的时代为中侏罗世外,其余时代均为早白垩世。

诸城足迹是目前唯一已知带有附—蹠关节的蹠行式龟类足迹,较为全面的反映了造迹者的足部生物学特征。之前发现的龟类足迹化石大部分显示出或多或少的明显爪迹或者划痕,这些爪迹有的由一个弧形结构连接,仅可以确定趾的数量和爪的存在,但无法进行完整生物学特征的重建。因此,诸城足迹的保存状况是一种较为理想的保存模式,这种良好的保存模式可能是造迹者在水底用力蹬地形成的。

4 结论

(1)依据数据统计与对比,显示完整诸城足迹 *Zhuchengichnites perfectus* gen. et sp. nov. 是区别于以往发现的一新的龟类足迹。

(2)诸城足迹是目前发现的保存最完整的龟类足迹,能全面反映造迹者足部的生物学特征,是一种理想的保存模式,为进行生物学特征重建以及足迹形成机制提供了新的材料。

致谢:感谢中国地质大学(北京)邢立达副教授提供的相关帮助;感谢审稿专家宝贵的评审意见和有益建议,感谢编辑们负责、细致的工作。

参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a "&" is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a "#" is in Chinese without English abstract)

李建军. 2015. 中国古脊椎动物志: 中生代爬行类和鸟类足迹. 北京: 科学出版社: 1~3.

李守军, 张祥玉, 赵秀丽, 孙智新, 张道元, 章磊, 徐磊, 魏宁, 刘宝梅. 2017. 山东省青岛市灵山岛下白垩统中发现鱼类和叶肢介化石. 地质论评, 63(1): 1~6.

吕洪波, 王俊, 张海春. 2011. 山东灵山岛中生代滑塌沉积层的发现及区域构造意义初探. 地质学报, 85(6): 938~946.

陆克政, 戴俊生. 1994. 胶莱盆地的形成和演化. 东营: 石油大学出版社: 36~40.

许欢, 柳永清, 旷红伟, 王克柏, 陈树清, 张艳霞, 彭楠, 陈军, 汪明伟, 王宝红. 2013. 山东诸城早白垩世中期超大规模恐龙足迹群及其古地理与古生态. 古地理学报, 5(4): 467~488.

张艳霞, 陈军, 江小均. 2017. 山东诸城地区蜥脚类恐龙足迹研究. 地质论评, 63(2): 458~470.

张岳桥, 李金良, 张田, 董树文, 袁嘉音. 2008. 胶莱盆地及其邻区白垩纪—古新世沉积构造演化历史及其区域动力学意义. 地质学报, 82(9): 1229~1257.

钟建华. 2012. 灵山岛中生代沉积岩是深水远源浊积岩, 还是陆内三角洲沉积? ——与吕洪波教授商榷. 地质论评, 58(6): 1180~1182.

Avanzini M, Garcia-Ramos J C, Lires J, Menegon M, Pinuela L, Fernandez L A. 2005. Turtle tracks from the late Jurassic of Asturias, Spain. Acta Palaeontologica Polonica, 50(4): 743~755.

Bernier P, Barale G, Bourseau J P, Buffetaut E, Demathieu G, Gaillard C, Gall J C. 1982. Trace nouvelle de locomotion de Chélonienet figures d´émersion associées dans les calcaires lithographiques de Cerin (Kimméridgien supérieur, Ain, France). Geobios, 15(4): 447~467.

Bernier P, Barale G, Bourseau J P, Buffetayt E, Demathieu G, Gaillard C, Gall J C, Wenz S. 1984. Decouverte de pistes de dinosaures sauteurs dans les calcaires lithographiques de cerin (Kimmeridgien superieur, ain, France) implications paleoecologiques. Geobios, 17(1): 177~187.

Foster J R, Lockley M G. 1997. Probable crocodilian tracks and traces from the Morrison Formation (Upper Jurassic) of eastern Utah. Ichnos: An International Journal of Plant & Animal, 5(2): 121~129.

Fuentes V C. 2003. Rastro de un tetrápodo de pequeño tamaño en el weald de Cameros (Sierra de Oncala, Soria, España): nov. icnogen. nov. icnosp. : emydhipus cameroi//Dinosaurios y otros reptiles mesozoicos en España. Instituto de Estudios Riojanos, 119~128.

Gaillard C, Bernier P, Barale G, Bourseau J P, Delapparent B, Fbuffetaut E, Ezquerra R, Gall J C, Renous S, Wenz S. 2003. An Upp Jurassic giant turtle revealed by its trackways. Lethaia, 36: 315~322.

Haubold H. 1971a. Die Tetrapodenfährten des Buntsandsteins: Paläontologische Abhandlungen A, 4: 395~548.

Haubold H. 1971b. Ichnia Amphiborum et Reptiliorum fossilium. Encyclopedia of Palaeoherpetology, 18: 1~124.

Hitchcock E. 1858. Ichnology of New England. A report on the sandstone of the Connecticut Valley especially its fossil footmarks: Boston, W. White, 199.

Karl H V, Valdiserri D, Tichy G. 2012. New material of the chelonian ichnotaxon Emydhipus cameroi Fuentes Vidarte et al. , 2003 from the Berriasian (Lowermost cretaceous) of Northern Germany. Studia Geologica Salmanticensia, 9: 61.

Kim J Y, Lockley M G. 2016. First report of turtle tracks from the Lower Cretaceous of Korea. Cretaceous Research, 64: 1~6.

Klein H, Lagnaoui A, Gierlinski G D, Saber H, Lallensack J N, Oukassou M, Charriere C. 2018. Crocodylomorph, turtle and mammal tracks in dinosaur-dominated Middle—? Upper Jurassic and mid-Cretaceous ichnoassemblages of Morocco. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 498: 39~52.

Li Jianjun. 2015 #. Palaeovertebrata Sinica: Footprint of Mesozoic Reptilians and Avians. Beijing: Science Press: 1~3.

Li Shoujun, Zhang Xiangyu, Zhao Xiuli, Sun Zhixin, Zhang Daoyuan, Zhang Lei, Xu Lei, Wei Ning, Liu Baomei. 2017&. Discovery of fish and conchostracan fossils in Lower Cretaceous in Lingshan Island, Qingdao, Shandong. Geological Review, 63(1): 1~6.

Lichtig A J, Lucas S G, Klein H, Lovelace D M. 2018. Triassic turtle tracks and the origin of turtles. Historical Biology, 30(8): 1112~1122.

Lu Kezheng, Dai Junsheng. 1994#. Formation and Evolution of Jiao—Lai Basin. Dongying: Oil University Press: 36~40.

Lü Hongbo, Wangjun, Zhang Haichun. 2011&. Late Mesozoic slump beds found in Lingshan Island and a pilot research on the regional tectonics. Acta Geologica Sinica, 85(6): 938~946.

Lockley M G, Xing Lida, Li Jianjun, Li Rihui, Matsukawa M. 2012. First records of turtle tracks in the Cretaceous of China. The 11th Mesozoic Terrestrial Ecosystems Abstracts Volume (August 15~18). Korea Dinosaur Research Center, Chonnam National University, 311~313.

Lockley M G, Li Rihui, Matsukawa M, Xing Lida, Li Jianjun, Liu Mingwei, Xu Xing. 2015a. Tracking the yellow dragons: implications of China´s largest dinosaur tracksite (Cretaceous of the Zhucheng area, Shandong Province, China). Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 423: 62~79.

Lockley M G, McCrea R, Buckley L, Li Jianjun, Xing Lida. 2015b. Tracking crocodiles and turtles in the cretaceous: comparisons between North America and east Asia//The 12th Symposium on Mesozoic Terrestrial, Ecosystems, Abstracts vol. , Shenyang China, Aug, 16~20th 2015. 193~195.

Lockley M G, Li Jianjun, Xing Lida, Bin Guo, Matsukawa M. 2018a. Large theropod and small sauropod trackmakers from the lower cretaceous jingchuan formation, Inner Mongolia, China. Cretaceous Research, 92: 150~167.

Lockley M G, Smith J A, King M R. 2018b. First reports of turtle tracks from the Williams Fork Formation ('Mesaverde' Group), Upper Cretaceous (Campanian) of western Colorado. Cretaceous Research, 84: 474~482.

Lockley M G, McCrea R T, Buckley L, King M R. 2018c. Some observations on the variation and spatio—temporal distribution of turtle tracks in the Cretaceous of North America. New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin, 79: 451~461.

Lockley M G, Xing Lida, Xu Xing. 2019. The "lost" holotype of *Laiyangpus liui* (Lower Cretaceous, Shandong Province, China) is found: Implications for trackmaker identification, ichnotaxonomy and interpretation of turtle tracks. Cretaceous Research, 95: 260~267.

Moratalla J J, Hernún J. 2009. Turtle and pterosaur tracks from the Los Cayos dinosaur tracksite, Cameros Basin (Cornago, La Rioja, Spain): tracking the Lower Cretaceous bio-diversity. Revista Española de Paleontología, 24(1): 59~77.

Nopcsa F. 1923. Die familien der reptilien. Gebrüder Borntraeger, 2: 1~210.

Pascual-Arribas C, Hernúndez-Medrano N. 2015. Las huellas de tortuga del Grupo Oncala (Berriasiense, Cuenca de Cameros, España).

Estudios Geológicos, 71(1): e030~e030.

Rühle von L H. 1939. Fährten und Spuren im Chirotherium—Sandstein von Südthüringen. Fortschritte der Geologie und Paläontologie, 12(40): 293~387.

Xing Lida, Avanzini M, Lockley M G, Miyashita T, Klein H, Zhang Jianping, He Qing, Qi Liqi, Divay J D, Jia Chengkai. 2014. Early Cretaceous turtle tracks and skeletons from the Junggar Basin, Xinjiang, China. Palaios, 29(4): 137~144.

Xing Lida, Lockley M G, Yang Geng, Cao Jun, McCrea R T, Klein H, Zhang Jianping, Persons Ⅳ W. S, Dai Hui. 2016. A diversified vertebrate ichnite fauna from the Feitianshan Formation (Lower Cretaceous) of southwestern Sichuan, China. Cretaceous Research, 57: 79~89.

Xing Lida, Li Daqing, Klein H, Lockley M G, Liang Qingqing, Yang Jingtao, Li Longfeng, You Wenze. 2019. Lower Cretaceous turtle tracks from Hekou Group of northwest China. Cretaceous Research, 99: 269~274.

Xing Lida, Lockley M G, Liu Xuefeng, Zhang Zhisheng, Zhang Lijun, Ma Lang, Hui Ruirui, Klein H, Persons Ⅳ W. S, Li Xinwei. 2022. Theropod and turtle tracks from the Middle Jurassic Zhiluo Formation in Shaanxi, China: implications for a newly defined Chelonipus ichnocoenosis. Historical Biology, 34(4): 596~603.

Xu Huan, Liu Yongqing, Kuang Hongwei, Wang Kebai, Chen Shuqing, Zhang Yanxia, Peng Nan, Chen Jun, Wang Mingwei, Wang Baohong. 2013&. Middle Early Cretaceous super-large scale dinosaur tracks in Zhucheng area, Shandong Province, and their palaeogeography and palaeoecology. Journal Of Palaeogeography, 15(4): 467~488.

Young C C. 1960. Fossil footprints in China. Vertebrata PalAsiatica 4: 53~66.

Zhang Yanxia, Chen Jun, Jiang Xiaojun. 2017&. The sauropod footprints research in Zhucheng, Shandong. Geological Review, 63(2): 458~470.

Zhang Yueqiao, Li Jinliang, Zhang Tian, Dong Shuwen, Yuan Jiayin. 2008&. Cretaceous to Paleocene tectono—sedimentary evolution of the Jiaolai basin and in the contiguous areas of Shandong peninsular (North China) and geodynamic implications. Acta Geologica Sinica, 82(9): 1229~1257.

Zhong Jianhua. 2012#. Are the Mesozoic sedimentary rocks in Lingshan Island belong to deepwater distal turbidites or developed in an intracontinental delta? Geological Review, 58(6): 1180~1182.

A new turtle footprint from the Early Cretaceous strata in Zhucheng, Shandong Province

ZHANG Yanxia[1)], SUN Yejun[1)], CHEN Jun[2)], CUI Weisheng[1)], CHEN Shuqing[1)]

1) *Dinosaur Research Center of Zhucheng, Zhucheng, Shandong*, 262200;

2) *Shandong Geological Sciences Institute, Jinan, Shandong*, 250013

Abstract: *Emydichnium* named by Nopcsa in 1923 was the earliest scientific report of turtle footprints. Later, some Mesozoic turtle footprints were also reported and described one after another. However, many fossils only show more or less obvious claw prints or scratches, and some claw prints are connected by an arched structure. These preservation conditions can not reflect the more comprehensive biological characteristics of the maker´s feet. Huanglonggou footprint site in Zhucheng, Shandong Province has preserved a large number of turtle footprints with various forms in the Early Cretaceous. This paper describes in detail one of the well preserved turtle footprints that can reflect the biological characteristics of the feet, and compares it with the Laiyang footprints, *Liayangpus*, according to data statistics. It shows that there are obvious differences between the two. The turtle footprints in Zhucheng are different from those found in other places in the past, Therefore, according to its morphology, a new turtle track taxon, *Zhuchengichnites perfectus* is established. This paper also summarizes the horizons and preservation types of turtle footprint fossil sites found in China.

Keywords: Turtle footprints; Early Cretaceous; Zhucheng

Acknowledgements: Thanks to Associate Professor XING Lida of China University of Geosciences (Beijing) for his help; thanks to the reviewers for their valuable comments and useful suggestions, and to the editors for their responsible and meticulous work

First author: ZHANG Yanxia, born in 1982, mainly engaged in dinosaur research; Email: yanxiazhangzxw@126.com

Corresponding author: CHEN Jun, born in 1987, mainly engaged in sedimentary geology, paleontology research; Email: chenjun1987111@163.com

Manuscript received on: 2022-07-07; Accepted on: 2022-09-10; Network published on: 2022-10-20

Doi: 10.16509/j.georeview.2022.10.011 **Edited by**: LIU Zhiqiang