

# 山东莒南早白垩世新类型鸟类足迹化石

李日辉<sup>①</sup> Martin G. Lockley<sup>②</sup> 刘明渭<sup>③</sup>

(<sup>①</sup> 青岛海洋地质研究所, 中国地质调查局, 青岛 266071; <sup>②</sup> University of Colorado at Denver, P. O. Box 173364, Denver, Colorado, USA; <sup>③</sup> 山东第四地质矿产勘查院, 潍坊 261021. E-mail: [qdlruihui@cgs.gov.cn](mailto:qdlruihui@cgs.gov.cn))

**摘要** 在山东省莒南县后左山早白垩世大盛群田家楼组(巴列姆-阿普特期)发现保存在泥质粉砂岩层面上的 5 个连续的足迹. 经研究, 认为是一新类型鸟类足迹化石, 命名为 *Shandongornipes*(山东鸟足迹). 足迹中大型、四趾, 宽约 5.8 cm, 全长(含拇指)8.7 cm. 趾迹纤细, 末端均有细长的爪迹. 拇指(I 趾)向后, 趾印清晰, 各趾趾垫通常为 3 个. II~IV 趾间角变化范围 128°~142°. 趾间无蹼状构造. 足迹最显著的特征是: II, III, IV 三趾中轴不对称, II-III 趾间角较大(范围 91°~118°), 以及足迹长(不含拇指)与宽近等. 该足迹是中国最早的鸟类足迹之一, 也是迄今为止在中国境内发现的惟一的新遗迹属. 它形成于河漫滩环境, 与大量兽脚类、鸟脚类恐龙足迹共生.

**关键词** 早白垩世 田家楼组 鸟足迹化石 新遗迹属 *Shandongornipes* 山东莒南

众所周知, 鸟类足迹化石是鸟类在沉积物表面行走留下的化石记录. 20 世纪 80 年代以前, 由于野外识别困难等多种原因的限制, 其研究一直未能深入开展. 近十几年来, 随着鸟类起源、早期演化及其与恐龙关系研究的不断深入<sup>[1]</sup>, 鸟类足迹化石所赋存的古环境, 特别是鸟类古生态和早期演化方面的信息为科学家们所日益重视. 迄今为止, 尽管已在世界近 10 个国家约 70 个化石点发现了大量鸟类足迹化石<sup>[2]</sup>, 但正式描述并被普遍承认的中生代鸟类遗迹属只有 11 个. 2002 年, 我们对山东省部分地区的恐龙足迹化石野外调查时, 在莒南县岭泉镇后左山早白垩世大盛群田家楼组发现了一组鸟类行迹, 我们研究认为, 它是一新类型的鸟类足迹化石, 命名为一新遗迹属——山东鸟足迹 *Shandongornipes*. 需要指出的是, 这是鸟类足迹化石在山东省的首次发现, 也是迄今为止在中国境内发现的惟一的新遗迹属.

## 1 化石产出位置与层位

### 1.1 地质背景

鸟足迹化石产于后左山大盛群剖面田家楼组第 12 层. 大盛群创名于山东中部安丘市马站, 初指位于早白垩世青山群之上的一套河湖相沉积, 是沂沭断裂带沉降阶段的产物<sup>[3]</sup>. 现在认为, 大盛群除分布在沂沭断裂带内, 还发育在鲁东胶莱盆地青山群火山岩中, 许多青山群火山岩地层中呈夹层产出的正常沉积岩层, 都可与大盛群有关层位对比, 因此, 大盛群是与青山群同期异相的沉积, 而不是上下层序关系. 大盛群自下而上分为小店、大土岭、马朗沟、田

家楼、寺前村、孟疃 6 个组级单位. 其中田家楼组主要是一套细碎屑湖泊相沉积<sup>[4]</sup>.

关于田家楼组的时代, 目前认识不尽一致. 郝诒纯等人<sup>[3]</sup>把大盛群置于青山群之上, 认为其中的田家楼组时代相当于早白垩世巴列姆期. 司双印<sup>[5]</sup>对大盛群, 特别是田家楼组 and 该群顶部孟疃组孢粉组合的研究认为, 其时代为土伦—塞诺曼期. 刘明渭<sup>[4]</sup>根据该组产叶肢介 *Yanjiestheria sinensis*, *Y. anhwiensis*, *Y. qiancaoensis*, 以及偶产早白垩世晚期的中国鹦鹉嘴龙 *Psittacosaurus sinensis*, 杨氏鹦鹉嘴龙 *P. youngi* 等事实, 从古生物组合综合判断, 认为田家楼组的时代应为巴列姆-阿普特期, 属早白垩世. 我们在此采用刘明渭的上述观点.

### 1.2 剖面位置

剖面位于山东省莒南县岭泉镇后左山村村边西南(图 1), 地理坐标 118°43'12"E, 35°12'51"N. 2002 年

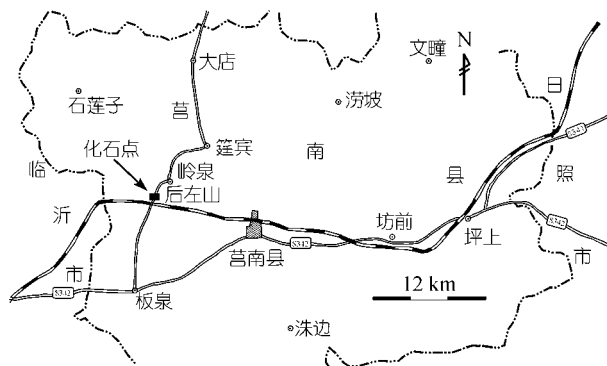


图 1 足迹化石产出位置

我们在此发现了大量恐龙足迹化石<sup>[6]</sup>, 随即将该发现报告给临沂市国土资源局, 当地政府极为重视, 目前已将其保护、开辟为恐龙足迹公园。

后左山大盛群剖面描述:

田家楼组(未见顶, 村庄覆盖)

13. 中厚层灰紫色中粒长石砂岩夹暗紫色粉砂岩、泥岩 >50 m
12. 浅灰紫色中粒长石砂岩与暗紫色泥质粉砂岩组成不等厚韵律, 中粒长石砂岩厚一般 0.5~2 m, 发育大型斜层理; 泥质粉砂岩厚一般 10~30 cm, 层面上发育泥裂、波痕及冰晶痕。该层中发现鸟类足迹化石, 共生有丰富的恐龙足迹化石 20 m
11. 中薄层暗紫色细砂岩、泥岩 10 m

10. 中厚层灰紫色中粒长石砂岩夹暗紫色粉砂岩、泥岩 35 m
9. 中厚层灰紫色中粒长石岩屑砂岩 45 m
8. 暗紫色块状砂质泥岩 70 m
7. 暗紫色中细粒砂质粉砂岩夹含砾中粒砂岩 50 m
6. 紫灰色砂质砾岩 1 m
5. 灰紫色含细砾泥质不等粒砂岩 5 m
4. 紫红色含砂粉砂质泥岩 5 m
3. 暗紫色含砾泥质不等粒砂岩 3 m

整合

马朗沟组

2. 中厚层紫灰色中粗砾岩, 砾石成分主要为安山质 >100 m

剖面地层柱状图及鸟行迹分别见图 2(a), (b)。

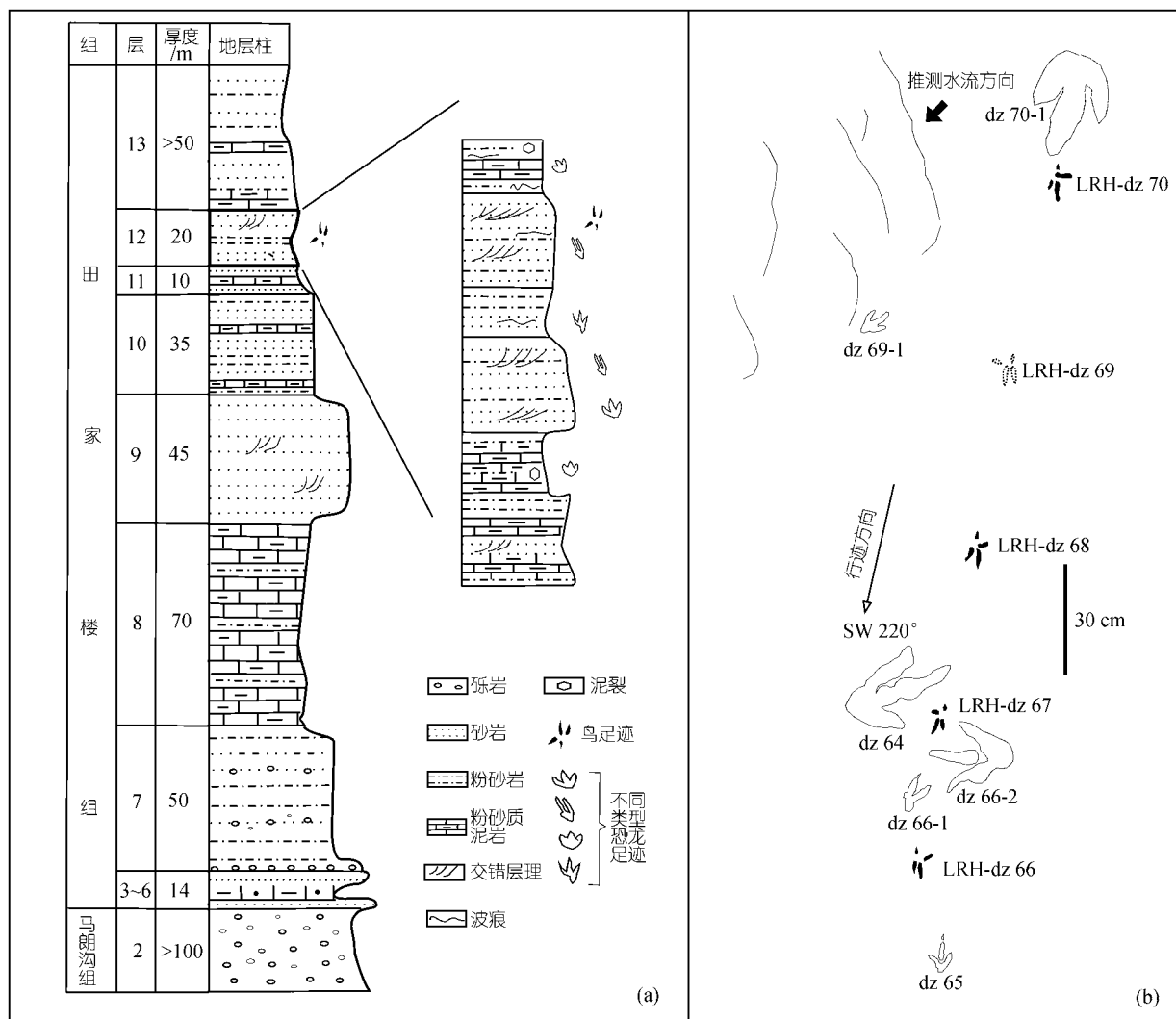


图2 地层柱状图(a)及鸟行迹图(b)

(b)中, 行迹方向 SW220°。鸟类足迹用黑色填充的图形表示(LRH-dz69 用虚线表示, 因其位置系部分推测而来), 自后而前分别编号为 LRH-dz70~66。其他以细线圈闭的、并带有编号的图形, 为同一层面上不同类型的恐龙足迹。左上角的曲线为波痕

## 2 足迹化石系统描述

鸟纲 Class Aves Linnaeus, 1758

遗迹科未定

山东鸟足迹(新遗迹属) *Shandongornipes* ichnogen. nov.

模式种 *Shandongornipes muxiai* (见后面的描述)

沐霞山东鸟足迹(新遗迹属新遗迹种) *Shandongornipes muxiai* ichnogen. et ichnosp. nov. (图 3)

词源 属名中的“*Shandong*”是“山东”的汉语拼音,“*orni*”和“*pes*”分别是拉丁文“鸟”和“脚”的意思。

属名意指产于山东省的鸟类足迹; 种名 *muxiai*, 赠予沐霞(Muxia), 她是本文第一作者的女儿, 对本遗迹属的发现起了重要作用。

材料 保存在层面上的由 5 个连续足迹组成的一条行迹(图 2(b)). 按行进方向自前而后, 野外照片分别编号为 LRH-dz66~70, 其中 LRH-dz67 和 LRH-68 被采集为层底凸起的石膏模型, 并被分别指定为正型(标本编号 LRH-DH 01, 图 3(a)~(c))和副型(标本编号 LRH-DP02, 图 3(d)~(f)). 正型和副型标本均保存在青岛海洋地质研究所。

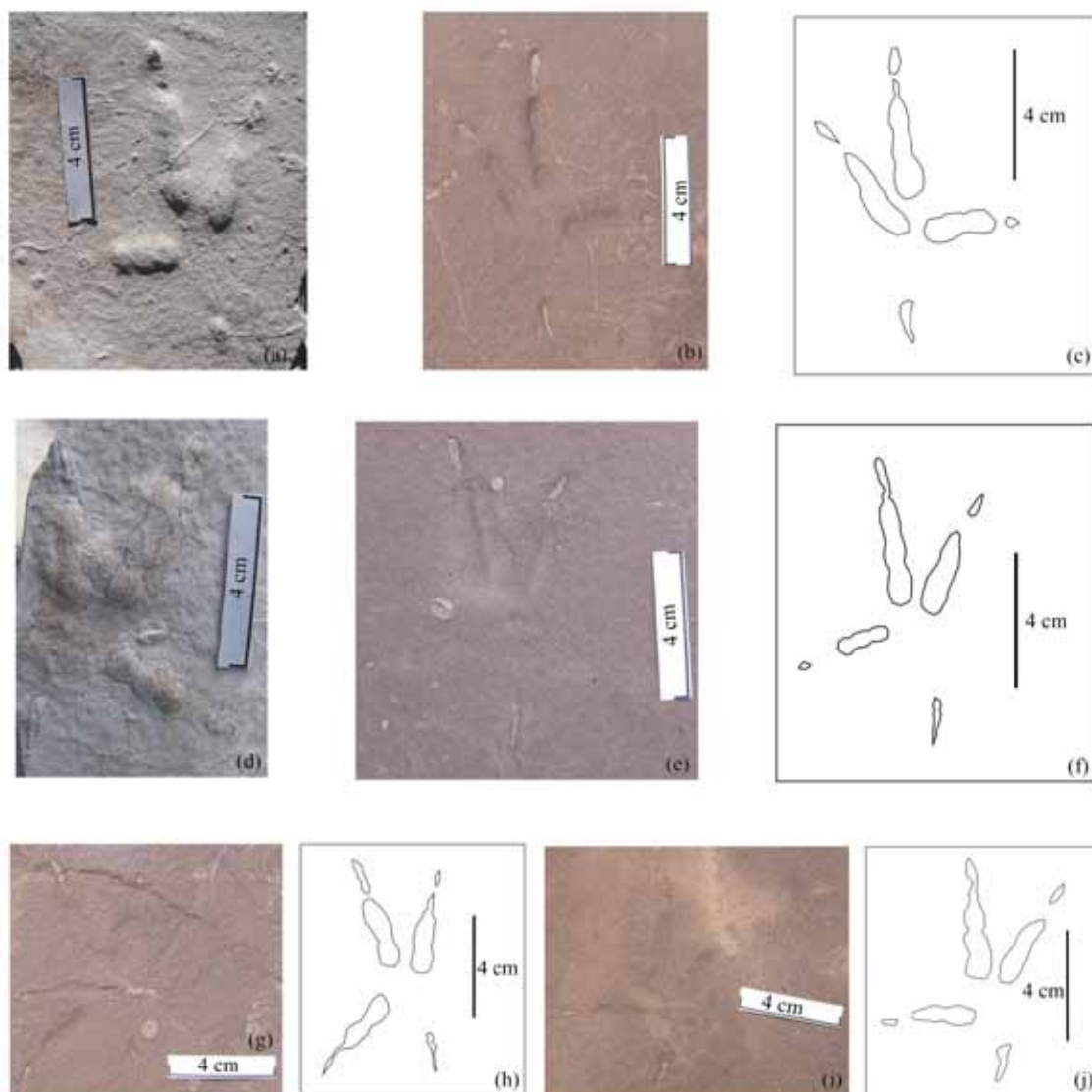


图 3 *Shandongornipes* 标本照片及线条图

(a) 正型标本照片; (b) 正型的野外照片, 编号 LRH-dz67; (c) 正型标本线条图; (d) 副型标本照片; (e) 副型的野外照片, 编号 LRH-dz68; (f) 副型标本线条图; (g) 足迹野外照片, 编号 LRH-dz66; (h) LRH-dz66 线条图; (i) 足迹野外照片, 编号 LRH-dz70; (j) LRH-dz70 线条图

**层位与产地** 早白垩世大盛群田家楼组. 产于山东省莒南县岭泉镇后左山村边西南.

**鉴定特征** 中大型四趾型古鸟类足迹. 足迹宽(Ⅱ趾和Ⅳ趾趾尖间的距离)约 5.8 cm, 全长约 8.7 cm. 足迹长(不含拇指)与宽近等. 趾纤细, 趾末端均有细长的爪迹. 拇指(Ⅰ趾)向后, 趾印清晰, 长 1.3~1.5 cm. Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ三趾向前, 但并非中轴对称, Ⅱ-Ⅲ趾间角较大, 变化范围 91°~118°, 而Ⅲ-Ⅳ趾间角较小, 一般约 30°, Ⅱ-Ⅳ趾间角变化范围 128°~142°. 趾间无蹼状构造. 各趾趾垫一般清晰, 通常为 3 个, 有时个别趾保存 2 个趾垫. 行迹显示脚轻微内转.

**描述** 正型标本(LRH-DH 01, 图 3(a)~(c))是一只脚的印迹, 足迹长 9 cm(不含拇指长 6.4 cm), 宽 6.4 cm. Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ趾分别长 3, 4.6, 4.4 cm, 最宽处分别为 0.8, 0.9, 0.8 cm. Ⅱ~Ⅳ趾间角 128°, Ⅱ-Ⅲ, Ⅲ-Ⅳ趾间角分别为 91°和 37°(表 1). Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ趾都有清晰的趾垫, 其中Ⅱ趾两个、Ⅲ趾三个、Ⅳ趾可见两个. 各趾末端都有细长的爪迹, 其中Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ趾爪迹长分别为 1.1, 1.3, 1.4 cm. Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ趾后端不相交.

副型标本(LRH-DP02)Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ三个趾均有 3 个较清晰的趾垫(图 3(d)~(f)).

行迹中 5 个足迹有 4 个保存较好, 但有 1 个(野外编号 LRH-dz 69) 被人为毁坏, 只保留了拇指印迹(图 5). 保存良好的 4 个足迹都具有显著的伸向后方的拇指印迹. 4 个足迹平均宽 5.8 cm (范围: 4.5~6.7 cm)、全长(含拇指)平均 8.7 cm (范围: 8.2~9 cm); 3 个足迹(LRH-dz67, 68, 70)平均长(不含拇指)5.8 cm (范围: 5.4~6.1 cm). 趾长(不含拇指)与趾宽比值约为 1.0. Ⅱ-Ⅳ趾间角变化范围 128°~142°, 4 个足迹的平均值 133.8°; Ⅱ-Ⅲ趾间角较大, 最大 118°(LRH-dz66), 平均值达 100.3°(范围: 91°~118°).

行迹行进方向 SW220°. 步幅角值很大, 近 180°,

暗示造迹鸟类行走时一只脚几乎直接放在另一只脚的前方. 4 个单步分别长 45, 44, 46 和 41 cm, 平均步长 44 cm, 3 个复步平均步长为 88 cm. 足迹化石的各种参数见表 1.

**讨论** Lockley 等人<sup>[7]</sup>提出了识别古鸟类足迹的 8 条标准, 其中最主要的有 5 条: (1) 足迹较小; (2) 趾纤细并有清晰的趾垫; (3) Ⅱ-Ⅳ趾间角较大(110°~120°); (4) 具有伸向后方的拇指(Ⅰ趾)印迹; (5) 具纤细的爪迹. 近来, McCrea 等人<sup>[8]</sup>还指出, 足迹的长/宽比值对于区分鸟类足迹和恐龙足迹非常有用. 认为鸟类足迹的比值一般比恐龙类的小, 约为 1.0 甚至更小.

新遗迹属与上述(1), (2), (4), (5)的标准完全符合, 但与(3)略有差异: Ⅱ-Ⅳ趾间角较大, 平均达 133.8°; 同时, 趾长(不含拇指)/趾宽比值约为 1.0, 接近文献<sup>[8]</sup>标准的上限, 但仍毫无疑义, 它们是古鸟类的足迹化石.

据不完全统计, 世界范围发现中生代鸟类足迹化石的化石点约 70 个. 迄今为止, 正式描述并被普遍认可的中生代鸟遗迹属有 11 个. 其中北半球有 8 个, 它们是: *Ignotornis* Mehl, 1931<sup>[9]</sup>, *Koreanaornis* Kim, 1969<sup>[7,10]</sup>; *Jindongornipes* Lockley et al, 1992<sup>[7]</sup>; *Aquatilavipes* Currie, 1981<sup>[11]</sup>, *Uhangrichnus* Yang et al, 1995 和 *Hwangsanipes* Yang et al, 1995<sup>[12]</sup>; *Archaeornithipus* Fuentes Midarte, 1996<sup>[13]</sup>, 和 *Sarjeantopodus* Lockley et al, 2004<sup>[14]</sup>. 此外, 南美地区有 3 个遗迹属, 它们是: *Yacoraitichnus* Leonardi, 1994 和 *Patagonichornis* Leonardi, 1994<sup>[15]</sup>; *Barrosopus* Coria et al., 2002<sup>[16]</sup>.

与上述遗迹属相比, *Shandongornipes* 似乎很独特. 尽管在韩国白垩系中发现了很多鸟类足迹化石<sup>[7,12,17,18]</sup>, 它们与 *Shandongornipes* 都不相同. 最近的一个遗迹属是 *Jindongornipes*<sup>[7]</sup>, 其最大长度约

表 1 *Shandongornipes* 测量参数

| 标本编号                 | LRH-dz66 (右脚) | 正型(LRH-dz67) (左脚) | LRH-dz68 (右脚) | LRH-dz69 (左脚) | LRH-dz70 (右脚) |
|----------------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|
| 足迹长/cm <sup>a)</sup> | 8.7 (8.7)     | 9.0 (6.1)         | 8.8 (5.4)     |               | 8.2 (6.0)     |
| 足迹宽/cm               | 4.5           | 6.4               | 5.7           |               | 6.7           |
| Ⅱ趾长/cm               | 4.0           | 3.0               | 3.0           |               | 4.0           |
| Ⅲ趾长/cm               | 4.6           | 4.6               | 4.5           |               | 4.5           |
| Ⅳ趾长/cm               | 4.0           | 4.4               | 4.0           |               | 4.1           |
| 拇指长/cm               | 1.5           | 1.4               | 1.3           | 1.5           | 1.4           |
| Ⅱ-Ⅳ趾间角               | 142°          | 128°              | 135°          |               | 130°          |
| Ⅱ-Ⅲ趾间角               | 118°          | 91°               | 100°          |               | 92°           |
| 单步长/cm               | 41            |                   | 46            | 44 (?)        | 45            |
| 复步长/cm               |               | 86                | 90            |               | 88            |

a) 括号外为含拇指长度, 括号内为不含拇指长度



8.0 cm (包括拇指), 而山东的标本比其大约 10%. *Shandongornipes* 的另一个显著特征是 II, III 两趾间的夹角较 III, IV 两趾大得多, 因此, 对称性较 *Jindongornipes* 也差得多. 另外一个特点是单步很长. 在未进行深入研究之前, 我们很难将其归于已知的遗迹科, 暂按未定科处理.

近几年来, 亚洲白垩系中发现了大量新的鸟类足迹化石点. 仅在韩国“中”白垩世(阿普特-赛诺曼期), 就发现了至少 5 个鸟类遗迹属. 包括 *Koreanaornis*, *Jindongornipes*, *Uhangrichnus*, *Hwangsanipes* 和 *Ignortornis*. 相反, 迄今为止, 在中国发现的鸟类足迹化石只有遗迹属 *Aquatilavipes*<sup>[19~21]</sup>. 因此, 白垩纪中国的鸟遗迹群落似乎与已知韩国的情形不同. *Shandongornipes* 的发现, 以及其他一些待描述的鸟类足迹表明, 中国的鸟类足迹群落的分异度, 较以前认为的高的多. 然而, 尽管中、韩两国古地理位置相近, 难于将两地的遗迹群落进行深入对比. 这些事实表明, 东亚地区是白垩纪鸟类演化的一个重要地区, 因为多种类型滨鸟类(shore-birds)的足迹开始出现. 近来的研究已发现, 东亚地区早白垩世鸟类足迹的分异度和丰度较其他地区要高<sup>[2]</sup>.

### 3 足迹化石古生态分析

从图 2(b)可以看出, 由 5 个连续的足迹构成的行进(行进方向由后向前分别编号为 LRH-dz70~66), 其行进的步幅有逐步减小的趋势, 单步长分别是 45, (?)44, 46 和 41 cm. 特别, 最后一个足迹(LRH-dz66)为右脚的足迹, 开始脱离行进的直线向左拐. 由于行迹方向与古水流方向有近 30° 夹角, 推测鸟沿河边向较深水处觅食, 最后又拐向较浅处. 此外, 从行迹最后一个足迹(LRH-dz66, 图 3(g), (h))可以看出, 与其他足迹不同, 其 II 趾强烈内弯, 以至于趾尖下伸到与拇指的最后端处在同一水平上. 这反映了造迹的鸟类趾节弯曲、转动自如(可比正常角度增大约 20°).

由于鸟足迹化石产出在具波浪泥质粉沙岩的层面上, 且其上下层位均为发育大型交错层理的长石砂岩层, 推测化石形成于水深几厘米的河漫滩环境.

致谢 合肥工业大学金福全教授、北京自然博物馆甄朔南教授、韩国地学与矿床资源研究所(KIGAM)Yuong-Nam Lee 博士、日本学芸大学松川正樹博士提供了有关资料. 两位匿名的审稿人对初稿提出了许多宝贵的修改意见. 本工作受国家自然科学基金(批准号: 40172008)、山东省自然科学基金(XM(2002)-23C)和中国地质调查局地质大调查项目(2002-11000001)资助.

### 参 考 文 献

- 1 Zhou Z, Zhang F. A precocial avian embryo from the Lower Cretaceous of China. *Science*, 2004, 306(5696): 653[DOI]
- 2 Lockley M G, Rainforth E C. The track record of Mesozoic birds and Pterosaurs—an Ichnological and Paleoeological Perspective. In: Chiappe L, Witmer L M, eds. *Mesozoic Birds above the Heads of Dinosaurs*. Berkeley: University of California Press, 2002. 405~418
- 3 郝治纯, 苏德英, 余静贤, 等. 中国地层典-白垩系. 北京: 地质出版社, 2000. 1~124
- 4 刘明渭. 侏罗纪-白垩纪地层. 见: 山东省第四地质矿产勘查院编. 山东省区域地质. 济南: 山东省地图出版社, 2003. 133~187
- 5 司双印. 山东省大盛群孢粉组合及其年代地层意义. *地层学杂志*, 2002, 26(4): 126~130
- 6 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
- 7 Lockley M G, Yang SY, Matsukawa M, et al. The track record of Mesozoic birds: Evidence and implications. *Phil Trans R Soc Lon B*, 1992, 336: 113~134
- 8 McCrea R T, Sarjeant W A S. New ichnotaxa of bird and mammal footprints from the lower Cretaceous (Albian) Gates Formation of Alberta. In: Tanke D H, Carpenter K, eds. *Mesozoic Vertebrate Life*. Bloomington and Indianapolis: Indiana University Press, 2001. 453~478
- 9 Mehl M G. Additions to the vertebrate record of the Dakota Sandstone. *Am J Sci*, 1931, 21: 441~452
- 10 Kim B K. A study of several sole marks in the Haman Formation. *Journal of the Geological Society of Korea*, 1969, 5: 243~258
- 11 Currie P J. Bird footprints from the Gething Formation (Aptian, Lower Cretaceous) of northeastern British Columbia, Canada. *J Vert Paleont*, 1981, 1: 257~264
- 12 Yang S Y, Lockley M G, Greben R, et al. Flamingo and duck-like bird tracks from the Late Cretaceous and Early Tertiary: Evidence and implications. *Ichnos*, 1995, 4: 21~34
- 13 Fuentes Bidarte C F. Primeras huellas de Aves en el Weald de Soria (España). Nuevo icnogeno, *Archaeornithipus* y nueva icnoespecie *A. meijidei*. *Estudios Geologicos*, 1996, 52: 63~75
- 14 Lockley M G, Nadon G, Currie P J. A diverse dinosaur-bird footprint assemblage from the Lance Formation, Upper Cretaceous, eastern Wyoming: Implications for ichnotaxonomy. *Ichnos*, 2004, 11: 229~249[DOI]
- 15 Leonardi G. Annotated Atlas of South America Tetrapod Footprints (Devonian to Holocene). Brasilia: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 1994
- 16 Coria R A, Currie P J, Eberth D, et al. Bird footprints from the Anacleto Formation (Late Cretaceous), Neuquen, Argentina. *Ameghiniana*, 2002, 39: 453~463.
- 17 Yang S Y, Lockley M G, Lim S K, et al. Cretaceous Bird tracks of Korea. *Paleont Soc Korea, Special Publication No 2*, 1997. 33~42
- 18 Lim J D, Zhou Z, Martin L D, et al. The oldest known tracks of web-footed birds from the Lower Cretaceous of South Korea. *Naturwissenschaften*, 2000, 87(6): 256~259[DOI]
- 19 金福全, 颜怀学. 安徽省古沛盆地白垩纪红层中发现的鸟类化石. *安徽地质*, 1994, 4(3): 57~61
- 20 甄朔南, 李建军, 张宝坤, 等. 四川峨嵋山下白垩统的恐龙及鸟类足迹研究. *北京自然博物馆研究报告*, 1995, 54: 108~120
- 21 Li D, Azuma Y, Arakawa Y. A new Mesozoic bird track site from Gansu Province, China. *Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum*, 2002, 1: 92~95

(2004-12-21 收稿, 2005-03-14 收修改稿)