

辽宁西部早白垩世九佛堂组热河鸟类一新属种

王军有¹, 王旭日^{2*}, 郭斌¹, 康艾¹, 马飞敏¹, 鞠书彬^{2,3}

WANG Junyou¹, WANG Xuri^{2*}, GUO Bin¹, KANG Ai¹, MA Feimin¹, JU Shubin^{2,3}

1. 内蒙古自然博物馆, 内蒙古 呼和浩特 010010;

2. 中国地质科学院地质研究所/自然资源部地层与古生物重点实验室, 北京 100037;

3. 中国地质大学(北京)研究生院, 北京 100083

1. Inner Mongolia Museum of Natural History, Huhhot 010010, Inner Mongolia, China;

2. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences/Key Laboratory of Stratigraphy and Paleontology of the Ministry of Natural Resources, Beijing 100037, China;

3. Graduate School, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

摘要:辽宁朝阳早白垩世九佛堂组发现了一种新型热河鸟类化石。该化石不仅具有热河鸟类的典型特征,如尾椎由约28枚未愈合的椎体组成,中后部尾椎前后方向明显拉长;前颌骨无牙齿;齿骨后缘较直,靠近吻端腹侧明显膨大等,同时具有不同于其他已知热河鸟类的独具特征组合,如肱骨三角肌脊相对不发育;第三掌骨较直,与第二掌骨间距较小;后肢第一趾爪最大;尾椎脉弧、关节突不发育等。根据该化石的独特性及其他热河鸟类特征对比研究,笔者建立了热河鸟类新属、新种:直掌内蒙鸟(*Neimengornis rectusmim* gen.et sp.nov.)。直掌内蒙鸟(新属、新种)的发现进一步丰富了热河鸟类的属种类群,为研究这一类群的形态特征和属种分异等提供了新的化石证据。

关键词:热河生物群;早白垩世;辽宁西部;热河鸟目

中图分类号:P534.53;Q915.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2021)09-1419-09

Wang J Y, Wang X R, Guo B, Kang A, Ma F M, Ju S B. A new jeholornithiform identified from the Early Cretaceous Jiufotang Formation in western Liaoning. *Geological Bulletin of China*, 2021, 40(9): 1419-1427

Abstract: A new specimen of jeholornithiform was identified from the Early Cretaceous Jiufotang Formation in Chaoyang of Liaoning Province. This specimen shows typical characters of Jeholornithiformes, such as the long bony tail composed of about 28 free caudal vertebrae, the middle and posterior caudal vertebrae elongated antero-posteriorly, the edentulous premaxilla, and the dentary with a straight ventral margin posteriorly and a robust anterior end expanded ventrally. It differs from all other jeholornithiforms in the following unique combination of features: the relatively undeveloped deltopectoral crest of the humerus, the straight third metacarpal, which forming a small gap with the second metacarpal, the largest hallux ungula, and the undeveloped chevrons and zygapophyses of the caudal vertebrae. On the basis of unique characteristics and comparisons with other jeholornithiforms, a new genus and species (*Neimengornis rectusmim* gen.et sp.nov.) were erected. The identification of *Neimengornis rectusmim* further enriches the diversity of jeholornithiforms and sheds new light on understanding the morphology and classification of this clade.

Key words: Jehol Biota; Early Cretaceous; western Liaoning; jeholornithiformes

收稿日期:2020-04-24;修订日期:2020-08-19

资助项目:国家自然科学基金项目《中国东北大兴安岭地区热河生物群鸟类化石新发现及其古地理意义》(批准号:41872018)、《江西赣州地区恐龙动物群研究》(批准号:41672019)和中国地质调查项目《全国重要古生物化石调查与保护监测示范》(编号:DD20190602)

作者简介:王军有(1975-),男,硕士,高级工程师,从事地层古生物学研究。E-mail: 531374326@qq.com

*通信作者:王旭日(1979-),男,博士,副研究员,从事地层古生物学研究。E-mail: 147966459@qq.com

中生代鸟类主要包括基干鸟类、反鸟类和今鸟型类^[1-10]。热河鸟目(Jeholornithiformes)是一类比较原始的基干鸟类,目前已正式命名发表6个属种:*Shenzhouraptor sinensis*、*Jeholornis prima*、*Jixiangornis orientalis*、*Dalianraptor cuhe*、*Jeholornis palmapenis*和*Jeholornis curvipes*^[11-20]。热河鸟目的化石材料较多,而且全部发现于中国辽西地区的早白垩世热河生物群,是中生代基干鸟类的重要组成部分。以往的支序分析结果表明,热河鸟目比始祖鸟进步,比尾综骨类原始,对研究鸟类起源及其早期演化具有重要意义^[17-20]。

热河鸟类因具有像始祖鸟一样原始的长尾,同时又具有像其他进步鸟类一样强壮的前肢,明显区别于其他中生代鸟类。以往研究表明,热河鸟类的主要特征包括:前颌骨无牙齿;齿骨后部平直,吻端变得粗壮且腹缘明显隆起;肱骨的三角肌脊十分发育,长度占肱骨的40%左右;第三掌骨呈弓形弯曲,与第二掌骨间存在较大的弧形缝隙;前肢明显长于后肢,前后肢长度比在1.2~1.35之间;叉骨强壮,呈U字型或回旋镖型;胸骨两侧具有2个外侧枝;尾椎由22~28枚自由椎体组成,通常中后部尾椎椎体前后方向拉长,使椎体长高比保持在3~4之间^[11-13, 17-18]。部分热河鸟类可见保存完好的飞羽印痕,个别类群尾椎末端可见棕榈状尾羽^[13, 15, 19]。已命名的热河鸟类不同属种间部分形态特征差别较大,如*J. prima*和*J. palmapenis*保存了牙齿^[12, 15, 19],而*S. sinensis*、*Ji. orientalis*、*J. curvipes*并未保存牙齿^[11, 13-14, 20]; *J. prima*的鸟喙骨内边缘呈一定弧度的凸起,近端有一明显的鸟喙骨孔^[12, 15],而*Ji. orientalis*和*J. curvipes*的鸟喙骨内边缘略凹陷,且无鸟喙骨孔^[13, 20]; *S. sinensis*和*J. curvipes*的尺骨长于肱骨^[11, 14, 20],而其他属种的尺骨短于肱骨或长度接近; *J. palmapenis*的肠骨背缘强烈弯曲,而其他热河鸟类肠骨背缘较平直^[12, 14, 19]。上述热河鸟类的共有特征及不同属种的自有特征仍有待系统深入的研究,因为化石保存过程中,部分骨骼或牙齿可能变形或丢失,部分特征(如骨骼长度、胸骨形态、骨骼愈合程度等)可能与个体发育的不同阶段有关,羽毛形态可能与性别差异(性双形)有关,尾椎数量及尾椎椎体长高比等可能存在种内差异。这一系列问题都需要对已有及新发现的化石材料进行综合研究。

由于早期发现的化石材料较少,且论文发表时

间接近,研究者未能进行全面的特征对比,导致个别属种的有效性存在一定的争议。如部分学者认为*J. prima*是*S. sinensis*的同物异名^[14],也有学者认为*S. sinensis*和*Ji. orientalis*是*J. prima*的同物异名^[17]。*D. cuhe*在很多学者反复研究之后被认定是1件前肢及其他重要部分存在人为改造的标本,其有效性也有待深入研究。理清热河鸟类的属种有效性及各属种鉴定特征,需要对已发表的所有标本及其他参考标本进行系统研究。上述热河鸟类存在的问题在本文不做深入分析。

内蒙古自然博物馆在建馆期间,征集了1件近完整的热河鸟类化石标本。根据该标本个体大小及其骨骼愈合情况,尤其是头骨和荐椎愈合较好,判断其已达到或接近成年期。本文对这一标本进行了详细的特征描述,并与其他已知热河鸟类进行形态特征对比研究,以期热河鸟类的综合研究提供新的参考信息。

1 系统描述

恐龙类 Dinosauria Owen, 1842

兽脚类 Theropoda *sensu* Gauthier, 1986

手盗龙类 Maniraptora Gauthier, 1986

初鸟类 Avialae Gauthier, 1986

热河鸟目 Jeholornithiformes Zhou and Zhang, 2007

内蒙鸟(新属) *Neimengornis* gen. nov.

模式种: 直掌内蒙鸟 *Neimengornis rectusmim* sp. nov.

词源: 属名由汉语拼音“*Neimeng*”(内蒙)和希腊语“*ornis*”(鸟)组成,指模式标本收藏于内蒙古自然博物馆。种名由拉丁语“*rectus*”(直的)和英语“*minor metacarpal*”缩写“*mim*”(小掌骨)组成。指模式标本具有直的小掌骨,明显不同于其他热河鸟类。

鉴定特征: 前后肢长度比为1.09(其他热河鸟类此比值在1.2~1.35之间); 肱骨三角肌脊延伸至肱骨骨干的27%(其他热河鸟类约达到40%); 第三掌骨较直,与第二掌骨间距较小(其他热河鸟类第三掌骨呈弓形弯曲,与第二掌骨间距较大); 中后部尾椎脉弧和关节突发育不明显(其他热河鸟类中后部尾椎脉弧和关节突均发育明显且前后拉长); 第一趾爪最大(其他热河鸟类第二趾爪最大,或第二、三趾爪近等大)。

正型标本: 1 件近完整并关联保存的独板鸟类化石标本, 保存于内蒙古自然博物馆。标本馆藏号 IMMNH-PV00122(图 1; 表 1)。

产地层位: 辽宁省朝阳市大平房化石点, 早白垩世九佛堂组。

2 特征描述

(1) 头骨

头骨呈右侧平压保存, 长 67 mm, 最高处高 31 mm(图 2)。前颌骨较短, 吻端钝圆, 后部背突向顶后方延伸, 并逐渐变细, 腹突较短, 与上颌骨之间的骨缝不明显。上颌骨较长, 吻端腹缘略微弯曲, 吻端较后部粗壮。齿骨粗壮, 后部较平直, 靠近吻端

腹缘隆起明显, 吻端逐渐变尖。上、下颌骨均未见牙齿。舌骨呈细棒状保存于右侧齿骨上方, 后端变粗延伸至齿骨末端并向下略微弯曲。方骨呈短棒状, 背缘内凹, 位于右侧齿骨末端。眶孔较大, 呈椭圆形。鼻骨仅保存后段, 末端背腹向延伸, 向吻端逐渐变细。顶骨和额骨区域因保存原因未能识别具体特征。

(2) 颈椎

颈椎整体保存较完好, 仅末端椎体被左侧肩胛骨和叉骨枝覆压。根据外露部分推测, 约由 9 枚椎体组成, 呈右侧平压保存。寰椎、枢椎体积较小, 其后每节颈椎长度增加, 高度大致相同。颈椎关节面前凹后凸, 未见颈肋。

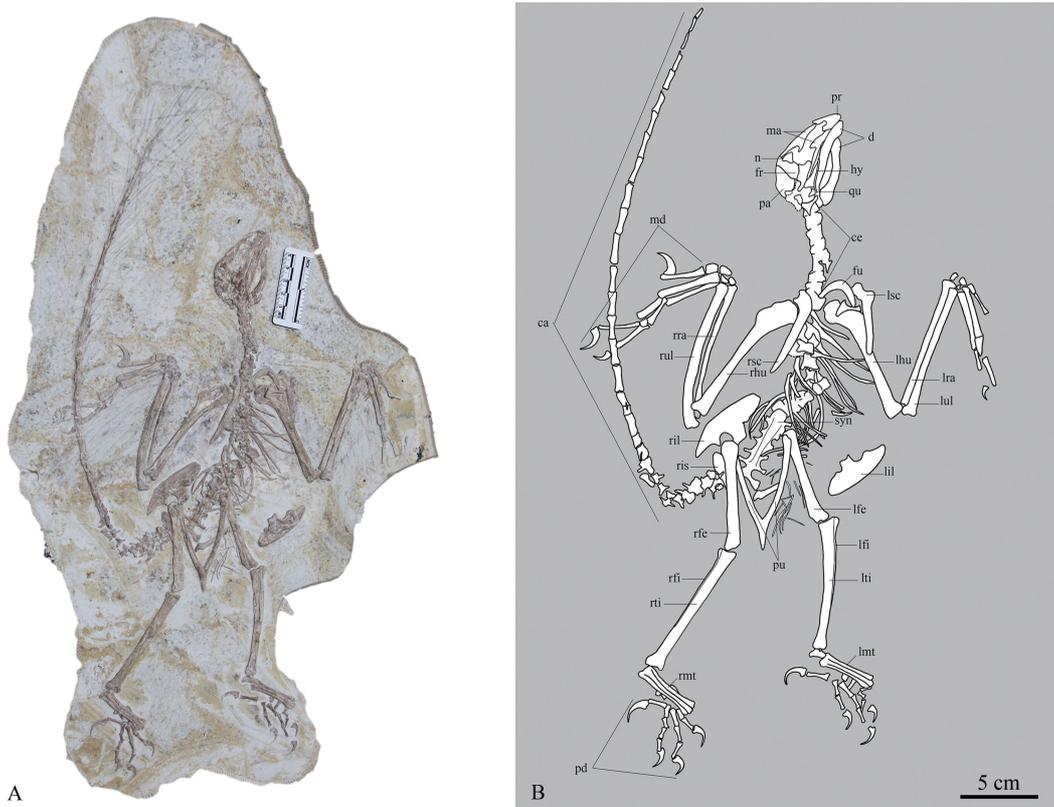


图 1 直掌内蒙鸟模式标本(A)及线条图(B)

Fig. 1 Photograph (A) and line drawing (B) of the holotype of *Neimengornis rectusmim* gen. et sp. nov.

ca (caudal vertebrae) — 尾椎; ce (cervical vertebrae) — 颈椎; d (dentary) — 齿骨; fr (frontal) — 额骨; fu (furcular) — 叉骨; hy (hyoid) — 舌骨; lfe (left femur) — 左侧股骨; lfi (left fibula) — 左侧腓骨; lhu (left humerus) — 左侧肱骨; lil (left ilium) — 左侧肠骨; lmt (left metatarsals) — 左侧跖骨; lra (left radius) — 左侧桡骨; lsc (left scapula) — 左侧肩胛骨; lti (left tibia) — 左侧胫骨; lul (left ulna) — 左侧尺骨; ma (maxilla) — 上颌骨; md (manual digits) — 手指; n (nasal) — 鼻骨; pa (parietal) — 顶骨; pd (pedal digits) — 脚趾; pr (premaxilla) — 前颌骨; pu (pubis) — 耻骨; qu (quadrate) — 方骨; rfe (right femur) — 右侧股骨; rfi (right fibula) — 右侧腓骨; rhu (right humerus) — 右侧肱骨; ril (right ilium) — 右侧肠骨; ris (right ischium) — 右侧坐骨; rmt (right metatarsals) — 右侧跖骨; rra (right radius) — 右侧桡骨; rsc (right scapula) — 右侧肩胛骨; rti (right tibia) — 右侧胫骨; rul (right ulna) — 右侧尺骨; syn (synsacrum) — 联合荐椎

表1 直掌内蒙鸟(*Neimengornis rectusmim* gen.et sp.nov.)模式标本
主要骨骼测量数值

Table 1 Measurements of main bones of the holotype of
Neimengornis rectusmim gen.et sp.nov.

骨骼名称	测量值/mm	骨骼名称	测量值/mm
头骨长	67	胫骨长(r)	90
头骨高	31	腓骨长(l)	77.4
肩胛骨长(r)	55.8	跗跖骨长(r)	43.6
叉骨支长	19.4	第一跖骨长(r)	5.6*
肱骨长(r)	89	第二跖骨长(r)	42.5
尺骨长(r)	88	第三跖骨长(r)	43.6
桡骨长(r)	85	第四跖骨长(r)	41.7
掌骨联合长(r)	38.6	第五跖骨长(r)	7*
第一掌骨长(r)	7.4	第一跖第一趾节长(r)	13.2
第二掌骨长(r)	38.6	第一趾爪长(r)	19.6
第三掌骨长(r)	34	第二跖第一趾节长(r)	10.5
第一指第一指节长(r)	27.7	第二跖第二趾节长(r)	12.1
第一指爪长(r)	17.9	第二趾爪长(r)	14.8
第二指第一指节长(r)	17.9	第三跖第一趾节长(r)	12.2
第二指第二指节长(r)	22.8	第三跖第二趾节长(r)	11.3
第二指爪长(r)	10.9	第三跖第三趾节长(r)	11.7
第三指第一指节长(r)	20	第三趾爪长(r)	13.2
第三指第二指节长(r)	4.5	第四跖第一趾节长(r)	9.4
第三指第三指节长(r)	25	第四跖第二趾节长(r)	7
第三指爪长(r)	15.8	第四跖第三趾节长(r)	8.2
肠骨长(r)	53.5	第四跖第四趾节长(r)	9
耻骨长(r)	77.3	第四趾爪长(r)	14.8
耻骨联合长	21.5	前后肢长度比(r)	1.09
股骨长(r)	74		

注: *表示该骨骼保存长度, r代表右侧骨骼, l代表左侧骨骼

(3) 背椎

背椎前端被左侧肩胛骨和肋骨覆盖,总节数难以确定。后部可见关联保存的7枚背椎,并与荐椎关联。前3枚背椎为右侧视平压保存,后4枚为腹面保存。每枚背椎的椎体长度在9~10 mm之间,前后关节面处的高与椎体长度接近。椎体呈马鞍形,中部显著收缩。椎体间关节面似乎为前后双凹形。背椎的神经弓可见于侧视的椎体上,发育于背缘偏后的位置,呈三角形隆起,隆起高度约为椎体高度的一半。

(4) 荐椎

荐椎保存完整,且完全愈合形成联合荐椎,由6节椎体组成。联合荐椎长度约为36.8 mm。后端两对椎体的横突较前端更长、更粗壮。

(5) 尾椎

由于尾椎起始处被右侧股骨、耻骨和坐骨覆盖,且近端的几节尾椎保存较差,尾椎具体数量难以确定。根据近端尾椎的神经脊及出露部分推测,约有27~28枚尾椎。椎体的变化节点(椎体前后方向显著拉长)应位于第7~8节尾椎。转折点后的尾椎椎体长高比为4~5。中后部分的尾椎关节突和脉弧不发育。尾羽从中间部分尾椎开始发育,向后逐渐拉长变密,尾羽结构简单,未见分支(图3)。

(6) 肩带

右侧肩胛骨保存完整,骨干长55.81 mm,与肱骨的长度比为0.63,骨干平直,近端稍微膨大,与肱骨接触关节面明显凹陷呈半圆形,可见明显的肩峰凸起。肩峰前端强壮,背缘平滑,稍微膨大延伸至骨干的前1/4处。左侧乌喙骨疑似覆压在左侧肩胛骨与几枚背椎下面,未能得到充分观察。叉骨保存完整,呈回旋镖形状,叉骨枝长约为19.4 mm,无叉骨突。叉骨枝夹角为95°的钝角。

(7) 胸骨和肋骨

未见胸骨保存。背肋保存较好,共有10~11对相对原位保存。背肋呈双头型,骨骼较长直。前两对较粗壮,在第3对达到最大长度,之后逐渐变得短细且弯曲。耻骨与左侧股骨之间保存6~7枚纤细的腹膜肋,散碎分布。未见钩状突。

(8) 前肢

肱骨长约89 mm,远长于股骨,与股骨的长度比为1.21。肱骨头呈半球形。肱骨近端腹缘稍微弯曲,三角肌脊相对其他热河鸟不发育,仅为肱骨总长的27%,三角肌脊宽度约为肱骨中部骨干的2倍。肱骨中部骨干变直,向远端逐渐变粗加宽。肱骨远端的尺侧关节髁比桡侧关节髁略发育。尺骨长88 mm,桡骨长85 mm,两骨骼近平行分布,前者比后者略弯曲。尺骨与肱骨的长度几乎相同,长度比为0.99。尺骨中部的宽度为桡骨的1.75倍。桡骨头不发育,仅略微膨胀,尺骨头内凹并发育鹰嘴突。两骨骼远端关节均膨大凸出,呈圆钝的关节面。

左右前肢各保存了3枚未愈合的腕骨。半月形

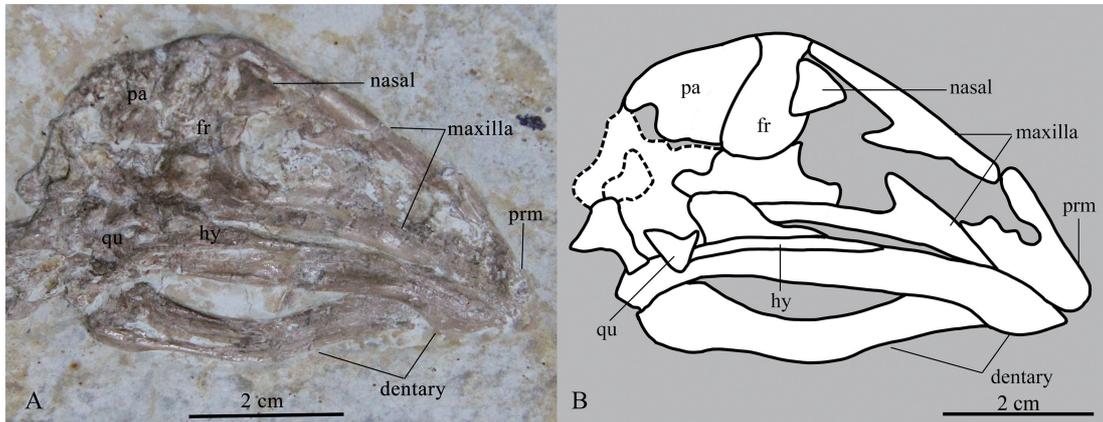


图 2 直掌内蒙鸟模式标本头骨(A)及线条图(B)

Fig. 2 Photograph (A) and line drawing (B) of the skull of the holotype of *Neimengomis rectusmim* gen. et sp. nov.

dentary—齿骨; fr (frontal)—额骨; hy (hyoid)—舌骨; maxilla 上颌骨; nasal—鼻骨; pa (parietal)—顶骨; prm (premaxilla)—前颌骨; qu (quadrate)—方骨



图 3 直掌内蒙鸟模式标本尾椎
(d1~28 为第 1~28 节尾椎椎体)

Fig. 3 Photograph of the tail of the holotype of *Neimengomis rectusmim* gen. et sp. nov.

腕骨是 3 枚中最大的, 尺腕骨、桡腕骨均为椭圆状, 体积近似, 约为半月形腕骨的一半。掌骨在左右前肢均保存完整, 两掌各保存 3 枚掌骨。其中, 第一掌骨极短, 长度仅为第二掌骨的 21%~23%。第二掌骨粗直, 骨骼两端膨胀宽于中部。第三掌骨略短于第二掌骨, 远端未达到第二掌骨末端。不同于其他热河鸟类的是, 第三掌骨未呈弓形强烈弯曲, 与第二掌骨之间缝隙较小。

右侧前肢指骨保存较完整。第一指的第一指节细长, 近端关节略膨胀, 长度与第一掌骨之比为 3.4, 较其他热河鸟类更长。第一指爪虽然近端覆压于第一指节下, 但根据露出的部分, 其长度和宽度明显大于第二指爪和第三指爪, 也不同于其他热河鸟类。第二指的第一指节是最粗壮的指节, 但略短

于第二指节。第二指爪小于第一指爪和第三指爪。第三指的指节明显比第一指和第二指的指节纤细, 第一指节比第二指第一指节略短, 第二指节最短, 约为第一指节长度的 22.5%, 第三指节较长, 略短于第一指第一指节(图 4)。

(9) 腰带

腰带未愈合。右侧肠骨保存较完整, 长 53.5 mm, 约为股骨长度的 72%。肠骨形状不同于其他热河鸟类, 其背缘前端平缓, 后端略微呈弧形凸起并向后腹侧倾斜。前后肠骨突的长度比为 1.5。前肠骨背腹向明显高于后肠骨突, 前肠骨突腹缘向后腹侧逐渐膨大, 并在靠近耻骨柄处形成显著隆起。后肠骨突背腹缘均向后端明显收缩, 腹缘靠近坐骨柄处略微内凹。髌臼窝呈半圆形, 从髌臼窝背缘到

肠骨背缘的垂直高度为 11.2 mm。耻骨柄发育较好,背腹向高度稍大于前后向宽度,近似矩形。坐骨柄不发育,远小于耻骨柄,并向腹侧收缩呈钝的三角形指向前腹侧。左右两侧坐骨保存均不完整,仅右侧坐骨近端可见。耻骨呈 V 字型腹侧视完整保存,耻骨骨干较直,与股骨的长度比为 1.10,而其他热河鸟类耻骨均短于股骨。两耻骨远端完全愈合形成耻骨联合。耻骨联合部较短,向末端变窄呈锥状。耻骨联合长度仅为 20 mm,是耻骨总长度的 28%,相对其他热河鸟类的耻骨联合较短(图 5)。

(10) 后肢

左侧股骨的股骨头处略有缺失,骨干长 68 mm。右侧股骨保存完整,骨骼粗壮,骨干较直,长 74 mm,是胫骨长度的 82%。右侧股骨近端发育股骨头,远端关节髁保存完整,外侧关节髁较内侧关节髁更发育。两胫骨保存完整,略弯曲,宽度与股骨接近。右侧胫骨长 90 mm,长于股骨。左后肢腓骨保存较完整,紧贴胫骨外侧,可见二者之间存在明显骨缝。腓骨细长,近端稍宽,远端逐渐变细,长度约为胫骨的 86%。

左后肢的跗骨未与胫骨、跖骨愈合,呈游离状态。右后肢的跗骨与跖骨似乎愈合,这一现象也可能与保存原因有关。跗骨宽度与胫骨远端接近,呈矩形,近缘较远端更圆滑。右后肢跖骨保存完好,近端似乎愈合,远端明显未愈合。第一跖骨较短,发育在第二跖骨的后侧中段,中间部分断裂并错位,近端显示其延伸方向与其他跖骨的延伸方向夹角较大。这也进一步证明第一趾完全反转并非保存原因。第二、三、四跖骨较直,骨干宽度相近。第二、四跖骨远端关节面几乎在同一水平面,略高于第三跖骨远端关节面。第五跖骨保存在第四跖骨中部,近端较宽,远端逐渐变细,约为第四跖骨长度的 1/6。第三跖骨最长,是胫骨长度的 48.4%。

右侧后肢的趾骨关联保存,趾式为 2-3-4-5。第一趾最短,第三趾最长,第四趾次之,第二趾再次之。第一趾已完全反转,第一趾节长 13.2 mm,是除趾爪外最长的指节,第二趾节为爪,长 18.9 mm,是最长的趾爪。第二趾骨趾节纤细,仅比第四趾骨趾节略粗。第三趾第一趾节长 11.9 mm,是最粗壮的趾节。第二、三、四趾骨的趾爪长度和弯曲程度大致相同,均明显小于第一趾爪(图 6)。

3 比较与讨论

直掌内蒙鸟个体大小与其他热河鸟类模式属种相近,尤其是头骨、椎体和四肢骨骼愈合较好,由此推测其已接近或达到成年期,可以与其他属种的热河鸟类骨骼形态进行对比。直掌内蒙鸟具有热河鸟类的鉴定特征,包括:前颌骨无牙齿;齿骨后部较直,靠近吻端腹缘膨大;前肢发达,并长于后肢;尾椎由 27~28 枚自由椎体组成,其中后 21~22 枚椎体前后方向明显拉长等^[17-20]。

直掌内蒙鸟同时具有许多不同于其他已知属种的独具特征,如前肢较其他热河鸟类纤弱,前后肢长度比仅为 1.09,而其他已知热河鸟类前后肢比在 1.2~1.35 之间^[11-14,19-20]。直掌内蒙鸟肱骨三角肌脊发育较弱,仅延伸至肱骨骨干的 27%,而 *S.sinensis*、*J.prima*、*Ji.orientalis* 和 *J.curvipes* 的三角肌脊非常发育,均达到肱骨骨干的 40% 左右^[11-13,20]。直掌内蒙鸟第三掌骨较直,与第二掌骨近平行分布,且第三掌骨远端未达到第二掌骨远端,第二、三掌骨间隙较小,明显区别于其他热河鸟类呈弓形弯曲的第三掌骨。

直掌内蒙鸟的肠骨背缘较平滑,明显不同于 *J.palmipennis* 强烈弯曲的肠骨背缘^[19]。前肠骨突腹缘从前端向腹侧逐渐扩展,并在接近耻骨柄处有显著隆起。后肠骨突背腹向明显低于前肠骨突,并向后腹侧逐渐倾斜收缩,后肠骨突腹缘靠近坐骨柄处略内凹。内蒙直掌鸟的肠骨形态与 *S.sinensis* 的较相似,但 *S.sinensis* 的前肠骨突腹缘靠近耻骨柄处明显内凹,后肠骨突腹缘较平直^[11]。*J.prima* 肠骨前肠骨突向背前方延伸,并且末端明显收缩,耻骨柄和坐骨柄均明显向后腹侧延伸^[12]。*J.curvipes* 的肠骨保存较差,3D 重建显示背缘末端凸起^[20]。直掌内蒙鸟的耻骨较长,为股骨长度的 1.1 倍。*S.sinensis* 的耻骨近端被其他骨骼覆盖,出露部分长约 56.4 mm,略长于股骨(55.4 mm)^[11]。而 *J.prima*、*Ji.orientalis* 和 *J.palmipennis* 的耻骨均短于股骨,两者长度比分别为 0.75、0.8、0.9^[12-13,19]。*J.curvipes* 的耻骨保存不全,无法确定其具体长度,但其耻骨联合并未愈合^[20],不同于直掌内蒙鸟具有完全愈合的耻骨联合。

直掌内蒙鸟的跖骨较短,第三跖骨与胫骨的长度比为 0.47,而 *S.sinensis* 和 *Ji.orientalis* 的相应比值为 0.5,*J.prima* 和 *J.palmipennis* 的为 0.52^[11-13,19-20]。直掌

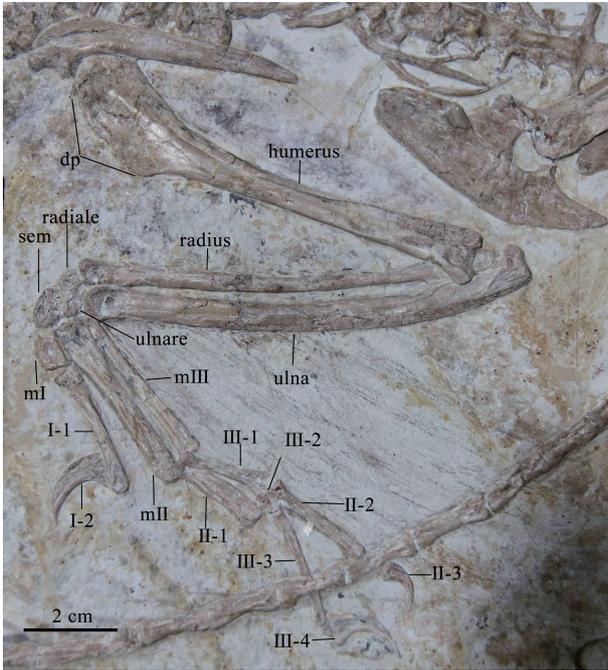


图 4 直掌内蒙鸟模式标本右前肢

Fig. 4 Photograph of the right forelimb of the holotype of *Neimengomis rectusmim* gen. et sp. nov.

dp (deltopectoral crest)—肱骨三角肌脊; humerus—肱骨; m I—III— I—III 掌骨; radiale—桡腕骨; radius—桡骨; sem (semilunate)—半月形腕骨; ulna—尺骨; ulnare—尺腕骨; I-1-2—第一指第 1~2 指节; II-1-3—第二指第 1~3 指节; III-1-4—第三指第 1~4 指节

内蒙鸟后肢第一趾的第一趾节较长,是除趾爪外最长的趾节,而 *S. sinensis* 和 *J. palmapenis* 均为第三脚趾第一趾节最长, *Ji. orientalis* 和 *J. curvipes* 则是第二脚趾的第二趾节最长。直掌内蒙鸟后肢第一趾爪最大,这也有别于其他热河鸟类, *S. sinensis*, *Ji. orientalis* 和 *J. curvipes* 都

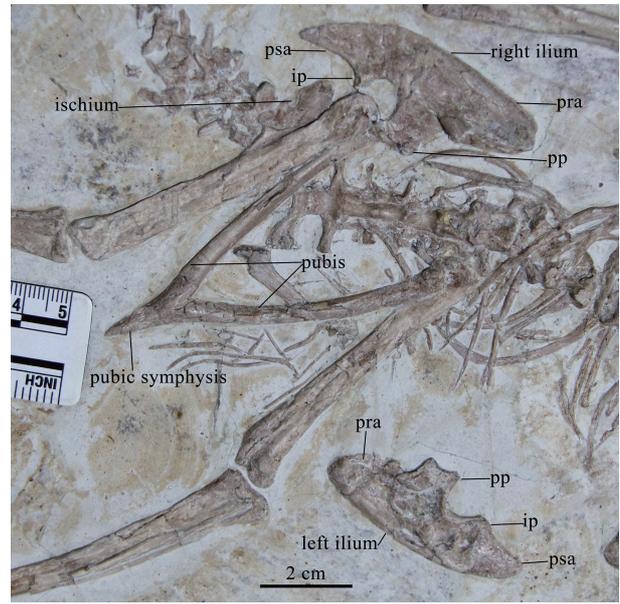


图 5 直掌内蒙鸟模式标本腰带

Fig. 5 Photograph of the pelvis of the holotype of *Neimengomis rectusmim* gen. et sp. nov.

ip (ischial pedicel)—坐骨柄; ischium—坐骨; left ilium—左侧肠骨; pp (pubic pedicel)—耻骨柄; pra (pre-acetabular)—前肠骨突; psa (post-acetabular)—后肠骨突; pubis—耻骨; pubic symphysis—耻骨联合; right ilium—右侧肠骨

是第二趾爪最大, *J. prima* 的第二趾爪和第三趾爪大小近似, *J. palmapenis* 则是第三趾爪最大^[11-13, 19-20]。

直掌内蒙鸟的尾椎在转换点之后椎体长高比在 4~5 之间,不同于其他热河鸟类的比值,为 3~4^[11-13, 19-20]。而且其中后段尾椎未见明显的脉弧和前后拉长的关节突,仅在 12~13 节尾椎之间有一类似脉弧中部的小骨片。其他热河鸟类尾椎的脉弧

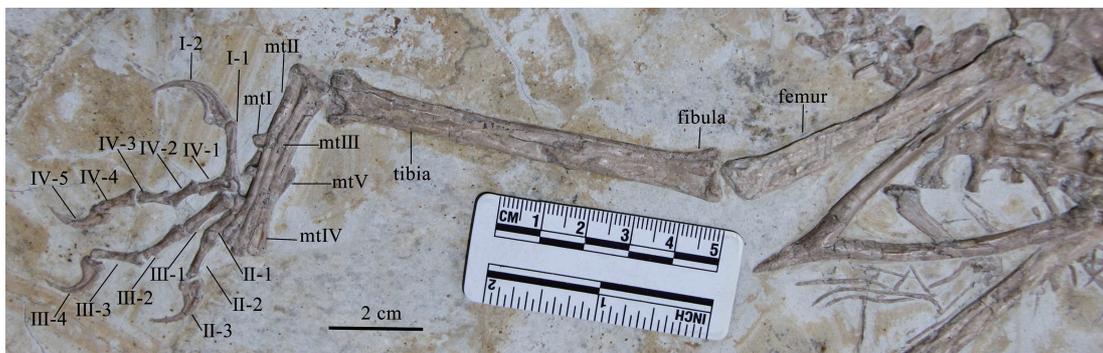


图 6 直掌内蒙鸟模式标本左后肢

Fig. 6 Photograph of the left hindlimb of the holotype of *Neimengomis rectusmim* gen. et sp. nov.
femur—股骨; fibular—腓骨; mt (metatarsal) I—V—第 1~5 跖骨; tibia—胫骨; I-1-2—第一趾骨 1~2 趾节; II-1-3—第二趾骨 1~3 趾节; III-1-4—第三趾骨 1~4 趾节; IV-1-5—第四趾骨 1~5 趾节

和拉长的关节突普遍存在^[11-13, 19-20]。根据直掌内蒙鸟从第10节尾椎开始保存明显的尾羽印痕,且尾羽印痕近端与尾椎骨连接紧密,推测其脉弧和关节突相对其他热河鸟类不甚发育,并非保存原因和个体发育差异。

在现生动物中,性双形现象普遍存在,如雄狮和雌狮、雄孔雀和雌孔雀、公鸡和母鸡等。性双形现象在古生物化石中也已得到确认^[21-25],然而由于性别特征在化石记录中保存的不完整性,尤其是直接化石证据的稀有性和不确定性^[26-29],目前在化石鉴定过程中很难确定哪些特征是性双形现象。在个体发育的不同阶段,鸟类的解剖学特征也有着显著差别,如肢骨的长度比例、胸骨形态、部分骨骼的愈合程度等^[30-33]。鉴于目前热河鸟类发现的化石数量较多,部分个体形态特征较相似,极有可能这一类群的骨骼特征和羽毛形态存在性双形特征和个体发育特征。但准确的性别鉴定和个体发育研究均需对标本进行骨组织分析,并对大量标本进行统计分析和对比研究。而通过对四肢骨骼中间部位的取样过程,将破坏这些珍贵标本的完整性。因此,许多研究标本未能开展相应的骨组织学研究。希望未来能通过新的研究方法,减少对标本的损坏程度,或通过对大量同类群标本的定量分析研究,进一步探讨热河鸟类的性别差异、种内差异特征及个体发育模式。

4 结论

(1)根据对新标本详细的解剖学特征描述和与其他已知热河鸟类形态特征对比研究,建立了热河鸟类新属、新种:直掌内蒙鸟(*Neimengornis rectusmim* gen. et sp. nov.)。

(2)直掌内蒙鸟区别于其他热河鸟类的特征组合为:前后肢长度比为1.09,肱骨三角肌脊延伸至肱骨骨干的27%,第三掌骨较直,与第二掌骨间距较小,中后部尾椎脉弧和关节突不发育,第一趾爪最大。

参考文献

- [1] Walker C A. New subclass of birds from the Cretaceous of South America[J]. Nature, 1981, 292(5818): 51-53.
- [2] 王旭日,季强,滕芳芳,等.中国辽宁义县早白垩世燕鸟一新种[J].地质通报,2013,32(4): 601-606.
- [3] Dalsätt J, Ericson G P, Zhou Z A. A new Enantiornithes (Aves) from the Early Cretaceous of China[J]. Acta Geologica Sinica, 2014, 88(4): 1034-1040.
- [4] Wang M, Liu D. Taxonomical reappraisal of Cathayornithidae (Aves: Enantiornithes)[J]. Journal of Systematic Palaeontology, 2016, 14(1): 29-47.
- [5] 牛绍武,辛后田.冀北滦平盆地九佛堂组—沙海组叶肢介化石的发现与陆相建阶问题的讨论[J].地质通报,2018,37(10): 1801-1819.
- [6] 陈刚,张晓明,杨桂芳,等.辽西地区下白垩统九佛堂组沉积与有机质发育特征[J].地质通报,2019,38(2/3): 426-436.
- [7] Wang X R, Chiappe L M, Teng F, et al. *Xinghaiornis lini* (Aves: Ornithothoraces) from the Early Cretaceous of Liaoning: an example of evolutionary mosaic in early birds[J]. Acta Geologica Sinica, 2013, 87(3): 686-689.
- [8] Kundrát M, Nudds J, Kear B P, et al. The first specimen of *Archaeopteryx* from the Upper Jurassic Mörnsheim Formation of Germany [J]. Historical Biology, 2019, 31: 3-63.
- [9] Wang M, Zhou Z. A new Enantiornithine (Aves: Ornithothoraces) with completely fused premaxillae from the Early Cretaceous of China[J]. Journal of Systematic Palaeontology, 2019, 17(15): 1299-1312.
- [10] Xu X, Zhou Z, Wang Y, et al. Study on the Jehol Biota: recent advances and future prospects [J]. Science China (Earth Sciences), 2020, 63(6): 757-773.
- [11] 季强,姬书安,尤海鲁,等.中国首次发现会飞的“恐龙”——中华神州鸟(新属新种)[J].地质通报,2002,21(7): 364-369.
- [12] Zhou Z H, Zhang F C. A long-tailed, seed-eating bird from the Early Cretaceous of China[J]. Nature, 2002, 418(6896): 405-409.
- [13] 季强,姬书安,张鸿斌,等.辽宁北票首次发现初鸟类化石——东方吉祥鸟[J].南京大学学报(自然科学),2002,38(6): 723-736.
- [14] Ji Q, Ji S A, You H L, et al. An early Cretaceous avialan bird, *Shenzhouraptor sinensis* from Western Liaoning, China[J]. Acta Geologica Sinica, 2003, 77(1): 21-25.
- [15] Zhou Z H, Zhang F C. *Jeholomis* compared to *Archaeopteryx*, with a new understanding of the earliest avian evolution [J]. Naturwissenschaften, 2003, 90(5): 220-225.
- [16] 高春玲,刘金远.辽西早白垩世九佛堂组一新的初鸟类[J].世界地质,2005,24(4): 313-318.
- [17] Zhou Z H, Zhang F C. Mesozoic birds of China—a synoptic review[J]. Frontiers of Biology in China, 2007, 2(1): 1-14.
- [18] Li D S, Corwin S, Zhou Z H, et al. Basal birds from China: a brief review[J]. Chinese Birds, 2010, 1(2): 83-96.
- [19] O'Connor J K, Sun C K, Xu X, et al. A new species of *Jeholomis* with complete caudal integument[J]. Histological Biology, 2012, 24(1): 29-41.
- [20] Lefèvre U, Hu D Y, Escuillie F, et al. A new long-tailed basal bird from the Early Cretaceous of northeastern China [J]. Biological Journal of the Linnean Society, 2014, 113: 790-804.
- [21] Chiappe L M, Ji S A, Ji Q, et al. Anatomy and systematics of the Confuciusornithidae (Theropoda, Aves) from the late Mesozoic of northeastern China[J]. Bulletin of the American Museum of Natural History, 1999, 242: 3-90.
- [22] Peters W S, Peters D S. Sexual size dimorphism is the most consistent explanation for the body size spectrum of *Confuciusornis sanctus* [J].

- Biology Letters, 2010, 6: 531–532.
- [23] Jesús M L, Chiappe L M, Ji S A, et al. Quantitative patterns of morphological variation in the appendicular skeleton of the Early Cretaceous bird *Confuciusornis* [J]. Journal of Systematic Palaeontology, 2011, 9(1): 91–101.
- [24] Lü J C, Unwin D M, Deeming D C, et al. An egg–adult association, gender, and reproduction in pterosaurs [J]. Science, 2011, 331: 321–324.
- [25] 王旭日, 季燕南, 黑须球子, 等. 四翼恐龙还是恐龙的性双形现象 [J]. 地质学刊, 2016, 40(1): 1–6.
- [26] Zheng X T, O' Connor J K, Huchzermeyer F W, et al. Exceptional preservation of ovarian follicles in Early Cretaceous birds and implications for early evolution of avian reproductive behavior [J]. Nature, 2013, 495: 507–511.
- [27] Chinsamy A, Chiappe L M, Marugán – Lobón J, et al. Gender identification of the Mesozoic bird *Confuciusornis sanctus*. Nature Communications, 2013, 4(1381): 1–5.
- [28] O' Connor J K, Wang M, Zheng X T, et al. The histology of two female Early Cretaceous birds [J]. Vertebrata Palasiatica, 2014, 52: 112–128.
- [29] O' Connor J K, Erickson G M, Norell M, et al. Medullary bone in an Early Cretaceous enantiornithine bird and discussion regarding its identification in fossils [J]. Nature Communications, 2018, 9(5169): 1–8.
- [30] Chiappe L M, Ji S A, Ji Q. Juvenile birds from the Early Cretaceous of China: implications for enantiornithine ontogeny [J]. American Museum Novitates, 2007, (3594): 1–46.
- [31] O' Connor J K, Zheng X T, Sullivan C, et al. Evolution and functional significance of derived sternal ossification patterns in ornithothoracine birds [J]. Journal of Evolutionary Biology, 2015, 28: 1550–1567.
- [32] Wang M, Li Z H, Zhou Z H. Insight into the growth pattern and bone fusion of basal birds from an Early Cretaceous enantiornithine bird [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2017, 14: 11470–11475.
- [33] Dana J, Rashid K S, Chiappe L M, et al. Avian tail ontogeny, pygostyle formation, and interpretation of juvenile Mesozoic specimens [J]. Scientific Reports, 2018, 8(9014): 1–12.