

DOI: 10.16452/j.cnki.sdkjzk.2022.03.002

文章编号:1672-3767(2022)03-0008-09

辽西建昌早白垩世义县组 齿槽鸟(反鸟类:渤海鸟科)的新材料研究

周长付,徐绮涵,张莹莹

(山东科技大学 地球科学与工程学院,山东 青岛 266590)

摘要:本研究报道了 1 件产自辽西建昌要路沟义县组的齿槽鸟化石,明确了该属种的产地和地层信息。新标本展示了齿槽鸟独特的牙齿特征,即牙齿舌侧面发育沟槽,支持这一特征的稳定性。同时,新标本补充了一些齿列、胸骨和腰带等重要信息,比如:前颌齿 4 颗,上颌齿 4 颗,下颌齿 7 颗;胸骨前缘弧形,中部发育小的胸骨柄,侧后缘发育凹缺和突起,后外侧突的末端呈三角形;髌骨背缘较平直,中部发育一个瘤状突起,腹前缘发育前白窝;耻骨脚末端变尖,略前弯;坐骨侧面发育一纵脊,远端背缘发育一沟槽。这一发现丰富了对齿槽鸟的时代分布和骨骼形态学认识。

关键词:辽西;热河生物群;早白垩世;义县组;反鸟类;槽齿鸟

中图分类号:P641.1

文献标志码:A

New material of *Sulcavis* (Enantiornithes: Bohaiornithidae) from the Early Cretaceous Yixian Formation of Jianchang, western Liaoning

ZHOU Changfu, XU Qihan, ZHANG Yingying

(College of Earth Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China)

Abstract: A new specimen of *Sulcavis* from the Early Cretaceous Yixian Formation of Yaolugou, Jianchang, western Liaoning, is described and its locality and taxon horizon are confirmed. The new specimen shows the autoapomorphy of *Sulcavis*, longitudinal grooves present on the lingual surface of tooth crowns. It also provides some important information on dentition, sternum and pelvic girdle, including the whole dentition with four premaxillary teeth, four maxillary teeth and seven dentary teeth, the anterior margin of the sternum curved, the rostral spine of the sternum developed, the notch and process developed on the lateral edge of the sternum, the distal end of the lateral trabecula triangular, the dorsal margin of the ilium less curved, the presence of the processus supratrochantericus, the preacetabular fossa developed, the pubic foot tapered distally and slightly curved anteriorly, a longitudinal ridge on the lateral surface of the ischium, and a groove developed along the dorsal edge of the distal portion of the ischium. This discovery enriches our knowledge of temporal distribution and bony anatomy of *Sulcavis*.

Key words: western Liaoning; Jehol Biota; Early Cretaceous; Yixian Formation; Enantiornithes; *Sulcavis*

反鸟类是中生代鸟类中最为繁盛的一个类群,在我国早白垩世热河生物群中也有大量化石发现。渤海鸟科(Bohaiornithidae)作为其中的一个支系,以吻端粗壮、牙齿似锥形且齿尖后弯、胸骨后缘外侧突向外延

收稿日期:2021-05-23

基金项目:国家自然科学基金国际合作与交流项目(42161134003);山东省高等学校优秀青年创新团队支持计划项目(2019KJH004);山东省泰山学者青年专家计划项目(tsqn201812070)

作者简介:周长付(1979—),男,山东枣庄人,教授,博士生导师,主要从事中生代四足动物分类与演化研究。

E-mail:zhoucf528@sdu.edu.cn

伸、尾综骨末端逐渐变细、第Ⅱ趾骨粗壮、趾爪长且第3趾爪长度超过跗蹠骨的40%等为特征^[1]。目前,该科已发现有:孟氏神七鸟(*Shengiornis mengi*)、郭氏渤海鸟(*Bohaiornis guoi*)、格氏齿槽鸟(*Sulcavis georum*)、韩氏周氏鸟(*Zhouornis hani*)、马氏副渤海鸟(*Parabohaiornis martini*)、库氏长爪鸟(*Longsunguis kurochkin*)和中国格雷琴鸟(*Gretcheniao sinensis*)等7个属种^[1-10]。不过,该科的单系性尚不稳定,仍待于更多分支系统学的检验^[9-10]。渤海鸟科化石的发现大都集中于辽西建昌的九佛堂组或义县组,比如渤海鸟、齿槽鸟、副渤海鸟、长爪鸟和格雷琴鸟等;相比,神七鸟产自冀北丰宁的桥头组,层位与义县组相当;而周氏鸟则报道自辽西朝阳的九佛堂组。其中,齿槽鸟的产出层位尚有疑问,原文中报道为建昌喇嘛洞附近的义县组^[4];然而,喇嘛洞附近仅出露九佛堂组,未见义县组,后被更改为九佛堂组^[1]。不过,另一种情况也可能存在,即原文中标注的产地信息有误。

建昌盆地广泛发育早白垩世沉积地层,义县组和九佛堂组都有出露,并有大量化石产出^[11]。其中,义县组主要出露于盆地的西侧,化石点主要以要路沟、罗家沟、牛角沟等为代表^[11-12];九佛堂组分布于盆地的东侧,化石最为丰富,产地主要集中于喇嘛洞、西碱厂和头道营子等乡镇^[13]。本研究报道了第2件齿槽鸟标本,产自建昌县要路沟乡郎家沟。该地点出露义县组的湖相沉积地层^[11],产出鱼类、龟类和鸟类等脊椎动物化石。这一发现不仅支持了齿槽鸟正型标本产自义县组的可能,也明确了该属种的产地信息。齿槽鸟是一个独特的属种,牙齿舌侧面发育沟槽,可能适于捕食具有硬壳的食物,代表了反鸟类对食性的1个演化适应^[4,14]。新标本也展示了这一独特的牙齿特征,确定了该特征的稳定性。同时,新标本补充了一些胸骨和腰带的重要信息,增加了对齿槽鸟骨骼形态学的认识。

1 材料与方法

1.1 标本材料

化石标本(SDUST-V1043)为1件近完整的骨架(图1)。骨架呈压型保存,骨骼关联度较高,但部分区域破碎严重。其中,胸骨和右侧腰带明显与骨架脱离,保存位置较远。标本的大小与齿槽鸟的正型标本(BMNH Ph-000805)相当,胫跗骨和跗蹠骨等复合骨发育,可能代表了一近成年个体。

1.2 技术方法

化石修雕和图像处理:在实验室的双目实体显微镜(Leica M165C)下,经过专业修雕和处理,化石形态得以充分展露;借助数码相机(Nikon D750)和Photoshop软件等完成化石的图像处理。

机构名称简写:BMNH—北京自然博物馆;CNU—首都师范大学;CUGB—中国地质大学(北京);IVPP—中国科学院古脊椎动物与古人类研究所;LPM—辽宁古生物博物馆;SDUST—山东科技大学。

2 描述与比较

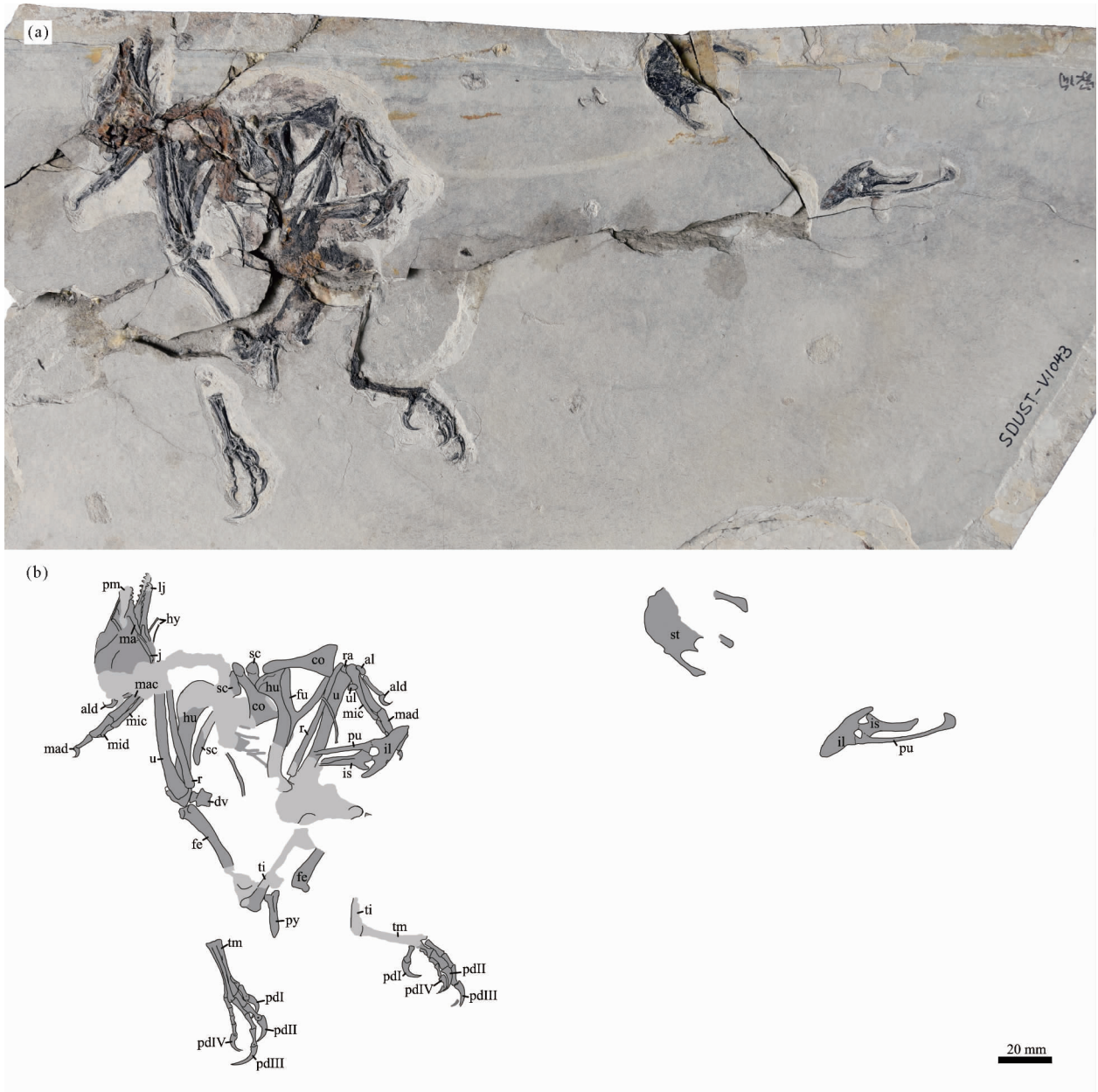
2.1 头骨

头骨呈右侧视暴露,骨块略有错动,眶前区骨块保存较好,可见前颌骨、上颌骨、鼻骨、颧骨、齿骨等(图2)。前颌骨的主体破损,鼻突保存;左右鼻突细长,连接紧密,基部的愈合情况不明。上颌骨保存较好,仅背突破损。上颌骨呈四射状,发育前颌骨突、背突和颧骨突。前颌骨突短于颧骨突。背突的基部保存,未见有开孔,区别于周氏鸟;后者的背突基部发育1明显开孔^[5]。颧骨突骨面平滑,也未见开孔,区别于长爪鸟;后者的颧骨突基部发育1个大的开孔^[1]。颧骨突末端倾斜,未分叉,同其它渤海鸟类。颧骨呈棒状,前端未完全暴露;后端分叉,背支长于腹支。鼻骨部分暴露,骨面光滑,可见前颌骨突;但上颌骨突是否发育,不能确定。鼻骨中部发育1开孔,同长爪鸟;但后者的开孔位置略靠前^[10]。额骨呈拱形,明显宽于鼻骨。

下颌的前部保存较好,但吻端破损。右下颌呈外侧视暴露,左下颌呈内侧视暴露。齿骨的齿列部位近平直,后部逐渐向腹方弯曲。齿骨骨面较平滑,沿齿列发育1列滋养孔。齿骨前部的背腹向高度略大于上颌骨的前颌骨突和颧骨突。齿骨后缘在腹部分叉。上隅骨的前部暴露,呈薄板状,高度明显小于齿骨。

齿列保存较好。前颌骨具有4颗牙齿,与多数的反鸟类相同。右侧的前2颗牙齿仅保存齿尖,但牙齿印迹清晰,大小相当。后2颗的齿冠保存完好,明显大于前2颗;齿冠呈唇面暴露,表面光滑;齿冠膨大,齿尖向

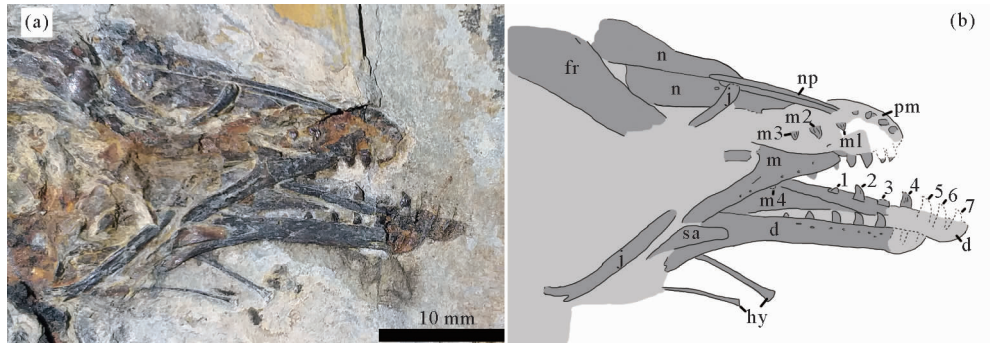
后轻微弯曲。左侧4颗前颌齿的齿根呈断面暴露,可观察到的信息不多。上颌齿发育4颗。右侧可见3颗,齿间距明显大于前颌齿。第1颗位于上颌骨的前端,齿冠较小;第2颗明显增大;第3颗缺失;最后1颗牙齿相对较小,位置近与眶前窗的前缘平齐。右侧上颌齿的齿冠形态,同前颌齿;唇侧面膨大,齿尖略向后弯曲。相比,左侧可见前3颗上颌齿,以舌侧面暴露;齿冠扁平,沟槽和棱脊微弱发育(图3(a)),类似于正型标本(BMNH Ph-000805)。在正型标本中,这一特征在前颌齿的舌侧面更为发育^[4]。下颌齿列为7颗。右侧前2颗破损,仅见印痕;第3~6颗保存完整,呈唇侧面暴露;齿冠大小和形态与上颌齿相当。左侧前3颗可见印痕,后4颗完整,呈舌侧视;第4颗牙齿舌侧面也发育棱脊和沟槽,但沟槽数量不及上颌齿(图3)。



al—小翼掌骨;ald—小翼指;co—乌喙骨;dv—背椎;fe—股骨;fu—叉骨;hu—肱骨;hy—舌骨;il—髌骨;is—坐骨;j—颧骨;lj—下颌骨;ma—上颌骨;mac—大掌骨;mad—大手指;mic—小掌骨;mid—小手指;pdI-IV—第1-4趾骨;pm—前颌骨;pu—耻骨;py—尾综骨;r—桡骨;ra—桡腕骨;sc—肩胛骨;st—胸骨;i—胫跗骨;tm—跗跖骨;u—尺骨;ul—尺腕骨

图1 格氏齿槽鸟新材料(SDUST-V1043)的化石照片(a)和线条图(b)

Fig. 1 Photograph (a) and line drawings (b) of new material(SDUST-V1043) of *Sulcavis geeorum*



1-7—第 1-7 颗下颌齿;d—齿骨;fr—额骨;hy—舌骨;j—颧骨;m—上颌骨;m1-4—第 1-4 颗上颌齿;
n—鼻骨;np—前颌骨的鼻突;pm—前颌骨;sa—上隅骨

图 2 格氏齿槽鸟新材料(SDUST-V1043)的头骨的照片(a)和线条图(b)

Fig. 2 Photograph (a) and line drawings (b) of the skull of new material(SDUST-V1043) of *Sulcavis geeorum*

2.2 头后骨骼

脊柱破损严重,形态特征难以识别。相比,尾综骨保存较好,长约 17 mm,明显短于第Ⅲ趾骨(23 mm),不同于尾综骨较长的副渤海鸟和长爪鸟^[1]。尾综骨骨体直,向后收缩变尖,同其它渤海鸟类。

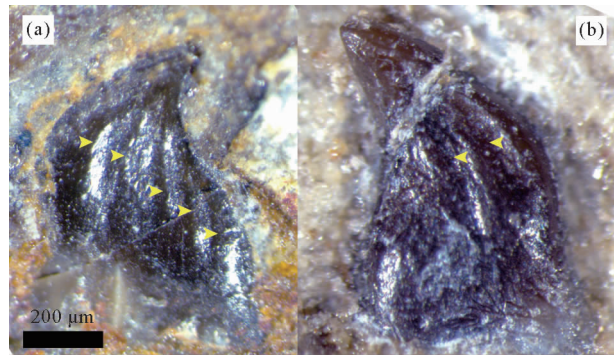
肩带的骨块呈分离状保存(图 1)。肩胛骨受到破损和叠覆的影响,近端信息较少;肩峰突粗壮,明显超出肩臼突;肩胛骨的骨干呈带状,末端收缩变窄,同其它渤海鸟类;全长约 38 mm。乌喙骨保存较好,背、腹面都有暴露;呈支柱状,近端窄,远端扩展,构成宽大的胸骨关节面;长约 28 mm,最大宽度约

12.5 mm;宽度与长度的比值(0.45)略小于其它渤海鸟类(0.49~0.60),但大于格雷琴鸟(0.36)^[9];远端扩展的程度,内侧明显大于外侧,形成更为尖锐的内角。胸骨关节面发育微弱凹陷,同其它渤海鸟科成员。

叉骨呈“Y”形,上升支粗壮,夹角约为 60°,与渤海鸟、副渤海鸟和齿槽鸟相当^[1,3-4],略大于神七鸟(50°)、周氏鸟(45°)、格雷琴鸟(45°)和长爪鸟(50°)^[2,5,9-10]。叉骨突破损,延伸长度短于上升支。

胸骨的保存位置远离骨架(图 1)。胸骨不完整,呈背视图暴露(图 4)。胸骨板近圆形,后缘发育剑状突、外侧突和中间突。胸骨前缘弧形,中部发育小的突起,可能为胸骨柄,同始华夏鸟(*Eocathayornis*)和侯氏鸟(*Houornis*)^[15],但未见于其它渤海鸟类^[1]。前侧缘发育乌喙骨关节面,侧边缘前部粗糙,发育胸肋关节面。二者之间未见前侧突,区别于周氏鸟,后者的胸骨前侧呈角状^[5]。侧边缘的后部发育一凹缺和突起,同渤海鸟、长爪鸟和格雷琴鸟^[9-10]。后缘的外侧突与胸骨的长轴形成夹角,同其它渤海鸟类。外侧突的末端扩展呈三角形,内侧的扩展程度强于外侧,故内角比外角尖锐。不过,发育程度明显弱于其它渤海鸟类^[1]。剑状突位于胸骨后缘的中部,向后延伸,末端略超出外侧突。剑状突的末端略有扩展,同其它渤海鸟类。中间突很小,呈刺状,位于外侧突和剑状突之间,同渤海鸟(IVPP V17963)和副渤海鸟^[1,6]。

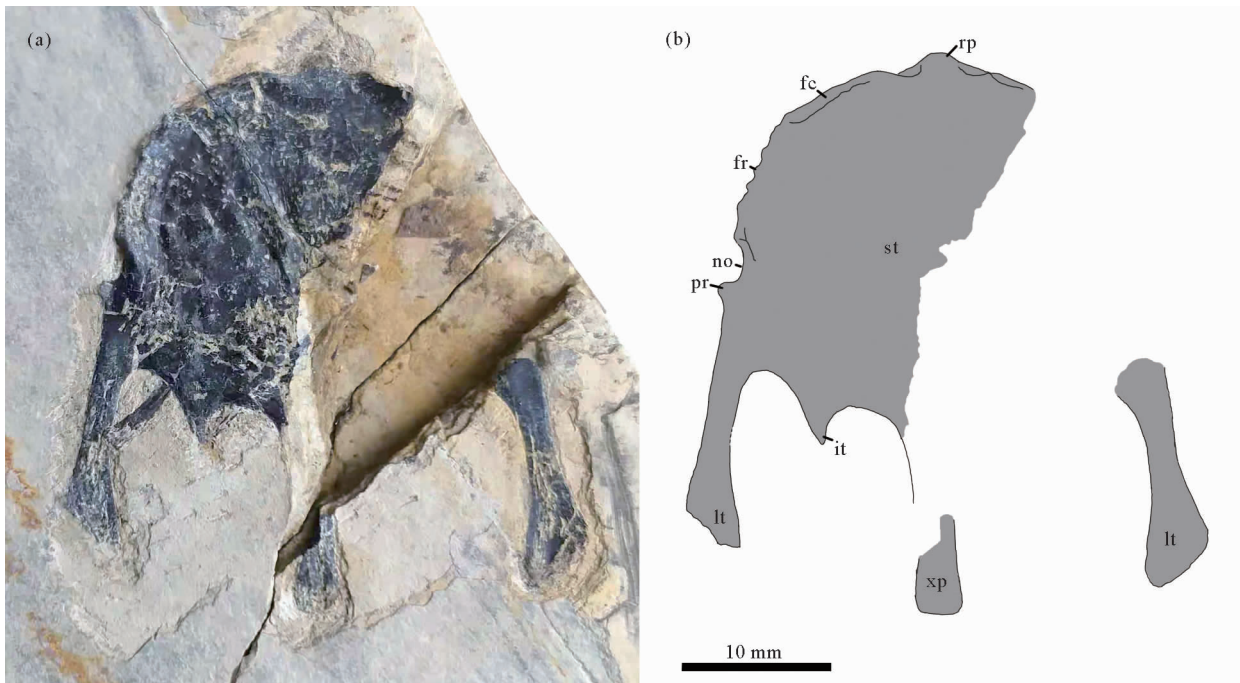
前肢保存较完整(图 1)。右肱骨的近端保存完整,但被叉骨部分覆盖;远端破损,可见其基本轮廓;长约 44 mm。左肱骨的近端破损,可见基本轮廓;三角肌嵴发达,长度约为肱骨的 1/3;远端被尺骨和桡骨所覆盖,末端略有暴露;全长约 46 mm。



(a)左侧第 3 上颌齿;(b)左侧第 4 下颌齿;箭头指示齿冠舌侧面上的沟槽

图 3 格氏齿槽鸟新材料(SDUST-V1043)的牙齿照片

Fig. 3 Photographs of the teeth of new material(SDUST-V1043) of *Sulcavis geeorum*



fc—乌喙骨关节面;fr—胸肋关节面;it—中间突;lt—外侧突;no—凹缺;pr—突起;rp—胸骨柄;st—胸骨;xp—剑状突

图4 格氏齿槽鸟新材料(SDUST-V1043)胸骨的照片(a)和线条图(b)

Fig. 4 Photograph (a) and line drawings (b) of the sternum of new material(SDUST-V1043) of *Sulcavis georum*

尺骨和桡骨均与近端的肱骨和远端的手部呈关联状保存。右尺骨和桡骨的近端破损,但轮廓可见,全长46 mm。左尺骨和桡骨的远端破碎,其长度不能确定。尺骨和桡骨与肱骨近等长。其中,尺骨较粗壮,呈弓形,与桡骨构成明显间隙;桡骨的骨体较直,宽度约为尺骨的一半。

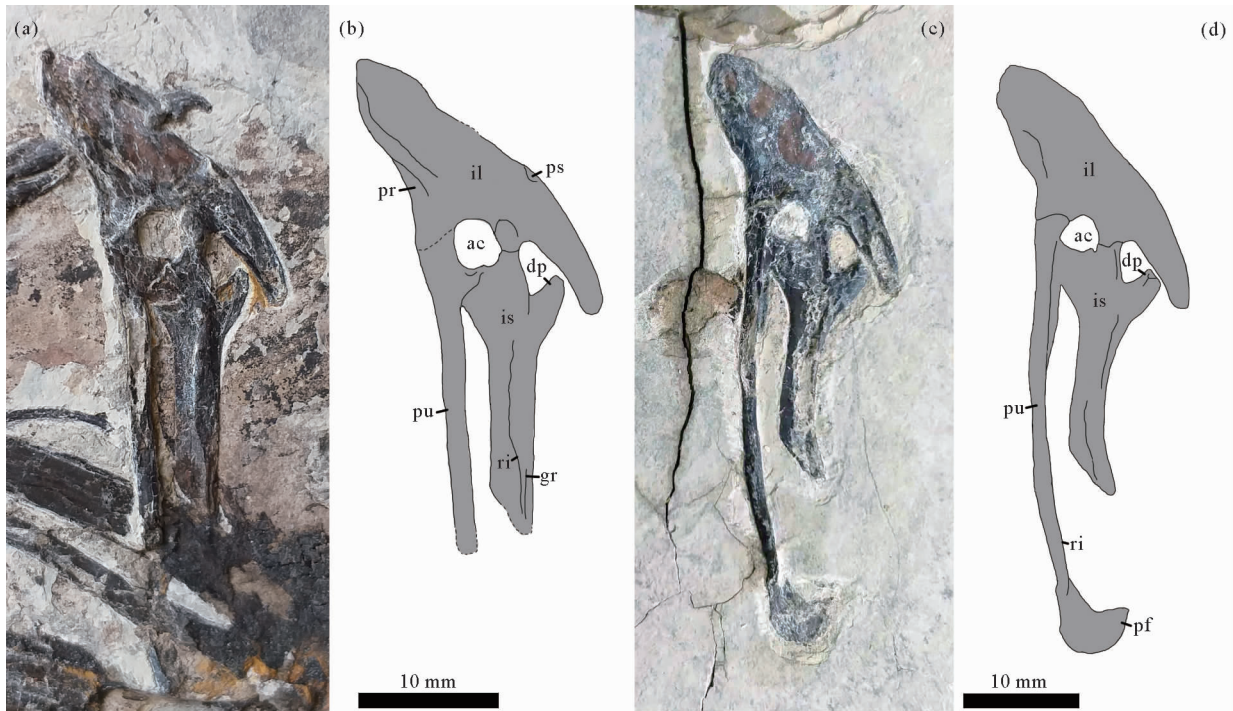
桡腕骨和尺腕骨可见,半月腕骨可能与掌骨愈合。小翼掌骨短小,略有弯曲。大掌骨最为粗壮,近端被小掌骨覆盖。小掌骨长于大掌骨,同其它反鸟类。小掌骨的近端宽大,向远端逐渐变窄,呈棒状;骨干明显弯曲,全长23 mm。

手部保存较好,指式为2-3-2。小翼指较短,未超出大掌骨。小翼指发育2个指节;近端指节细长,长约10 mm,骨干弯曲;指爪呈钩状,弯曲强烈,明显大于大手指的指爪。大手指最长,发育3个指节。第1指节最长,长约11 mm,也最粗壮,近端和远端膨大,宽度与大掌骨相当。第2指节较短,长约7.5 mm,近端宽大,向远端逐渐收缩,末端发育滑车构造,两侧韧带窝发育。大手指的指爪形态同小翼指的指爪,但小于后者。小手指明显退化,短于其它手指。小手指发育2个指节;近端指节长约5.5 mm,短于其它指节;远端指爪很小,近乎退化,呈三角形。小手指的指爪在正型标本中缺失^[4]。这一情况在渤海鸟类化石较为普遍,一度被解释为指爪退化消失^[10]。

腰带骨块关联紧密,保存较好(图1、图5)。右侧腰带呈内视面暴露,位置远离骨架;左侧腰带呈外视面暴露,保存位置靠近右侧前肢,并部分覆盖尺骨和大手指,但耻骨和坐骨的远端破碎。

髌骨长约25.5 mm。前臼突长于后臼突。前臼突宽大,呈薄板状;背缘较平直,腹缘增厚,呈圆棱状;前部收缩,构成宽圆的末端。前臼突的外侧面光滑,略呈凹形;内侧面较粗糙,用以关联荐椎。前臼突在基部腹缘,发育三角形的凹陷,可能为前臼窝(preacetabular fossa),同格雷琴鸟^[9]。后臼突窄长,末端较钝;背缘向后端收缩变低,呈倾斜状;腹缘近平直。后臼突的外侧面平滑,内侧面粗糙。髌骨中部的背缘发育一个瘤状突起(processus supratrochantericus),同原家洼鸟(*Yuanjiawaornis*)^[16]。该突起略有破损,但侧突明显。这一特征未见于渤海鸟类,但广泛分布于近鸟类恐龙和鸟类^[17]。髌骨中部的腹缘发育耻骨柄和坐骨柄,分别用以关联耻骨和坐骨,共同构成髌臼。髌臼为开放型。耻骨柄腹向扩展,明显低于坐骨柄。坐骨柄更为侧向扩展,但小于耻骨柄。

耻骨呈长棒状, 长约 38 mm。近端, 耻骨与髌骨和坐骨关联, 参与构成髌臼。耻骨的骨干微弯, 后腹向延伸, 末端向上发育耻骨脚。骨干内侧发育棱脊, 自近端开始, 一直延续至耻骨脚。耻骨脚大, 侧扁; 末端收缩变尖, 向前略弯曲, 同食鱼鸟 (*Piscivorenantionis*) 和强壮爪鸟 (*Fortunguavis*)^[18]。坐骨较短, 长约 22 mm。坐骨近端呈三射状, 分别发育耻骨突、髌骨突和背突。耻骨突短宽, 与髌骨突之间发育一个小的凹缺。髌骨突与背突大小相当; 髌骨突外侧隆起, 内侧扁平; 背突外侧扁平, 而内侧隆起。背突的位置略低于耻骨突和髌骨突。坐骨的骨干呈带状, 末端上弯, 收缩变窄。坐骨的外侧面中部发育一纵脊, 近端与坐骨背突的基部平齐, 远端偏向坐骨背缘, 同渤海鸟和长爪鸟^[3,10]。坐骨远端的背缘发育一窄的沟槽, 与纵脊平行。坐骨的内侧面中部发育一凹陷, 沿长轴延伸。



(a)、(b)左侧腰带; (c)、(d)右侧腰带

ac—髌臼; dp—坐骨背突; gr—坐骨沟槽; il—髌骨; is—坐骨; pf—耻骨脚; pr—前臼窝; pu—耻骨; ri—坐骨侧脊; ps—瘤状突起

图 5 格氏齿槽鸟新材料(SDUST-V1043)腰带的照片和线条图

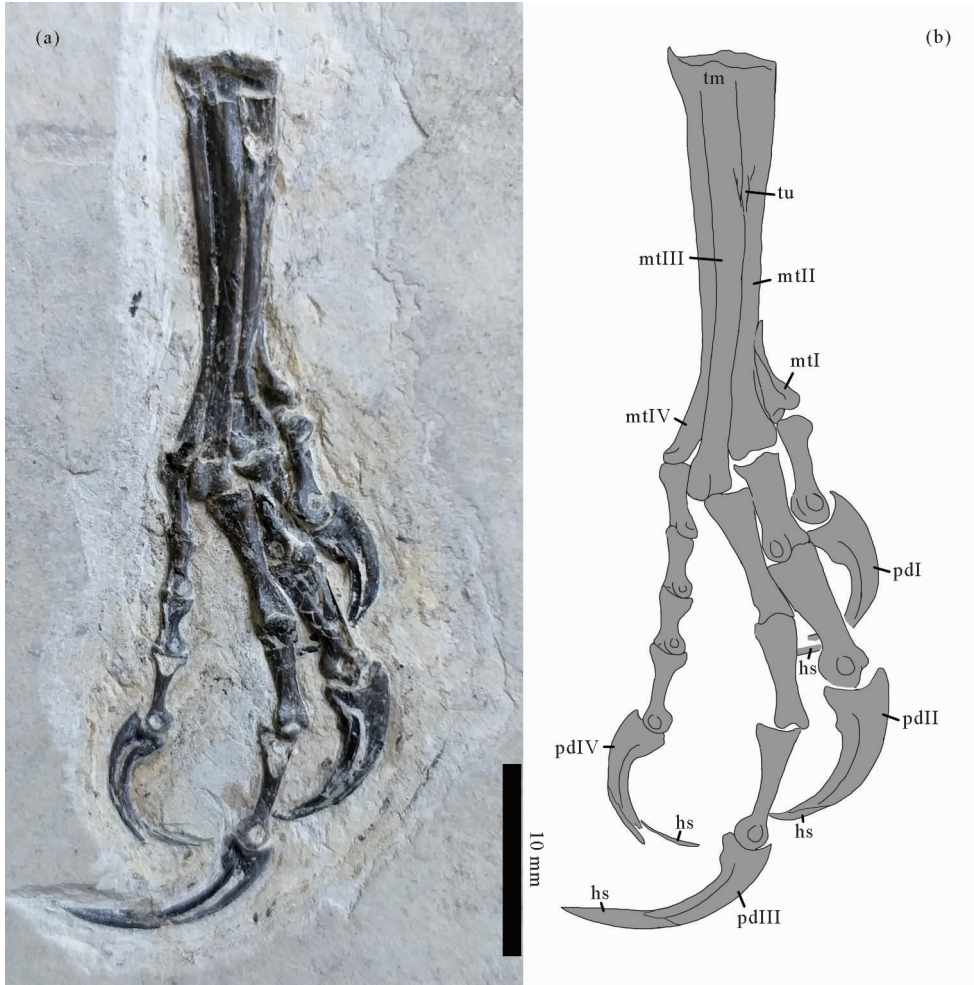
Fig. 5 Photographs and line drawings of the pelvic girdles of new material(SDUST-V1043) of *Sulcavis georum*

后肢的股骨和胫骨保存较差, 但足部保存较好。左侧股骨的近端保存, 而中远端缺失或破损; 依据轮廓测量, 股骨全长约 39 mm, 长度略小于胫跗骨, 同其它渤海鸟类。股骨头发育, 向内侧延伸, 与股骨骨体近垂直。股骨的骨干略微前曲。股骨的远端扩展, 发育关节髌; 内外髌大小相当, 中间发育髌间沟。胫跗骨仅远端部分保存, 腓骨未保存。依据轮廓测量, 胫跗骨长约 46 mm。胫跗骨远端呈滑车状, 侧视呈圆形。左侧胫跗骨与跗蹠骨关节。

右侧足部保存完好, 呈背视面暴露(图 6); 左侧足部的跗蹠骨破碎, 但趾骨保存较完整。跗蹠骨仅近端愈合。第 II~IV 趾骨构成主体, 呈长棒状。其中, 第 III 趾骨最长, 约 23 mm; 第 IV 趾骨长约 21.5 mm; 第 II 趾骨长约 21 mm。第 I 趾骨最短, 仅为 5.5 mm, 位置靠近第 II 趾骨远端的内侧。第 I 趾骨的远端膨大, 发育关节面以及关节趾骨; 近端强烈收缩变尖, 贴附于第 2 趾骨的内侧。第 II 和 III 趾骨的远端关节呈滑车状, 而第 IV 趾骨则不发育滑车, 同第 I 趾骨。第 II 趾骨近端三分之一处发育脊状结节, 用以附着肌肉。

趾骨信息完整, 趾式为 2-3-4-5-x。第 III 趾最长, 长度超过了第 III 趾骨; 其次是第 IV 趾; 第 II 趾略短于第 IV 趾, 但明显长于第 I 趾。趾骨的趾节呈短棒状, 远端滑车发达, 两侧韧带窝位置较高; 趾爪硕大, 强烈弯曲, 呈钩状。第 I-1 趾节长约 6 mm; 远端滑车发达, 明显大于近端。第 I 趾爪大而强烈弯曲, 弯曲程度明显

大于其它趾爪。第 II 趾骨最粗壮,同其它渤海鸟类,区别于其它反鸟类^[1]。第 II-1 趾节长约 6 mm,短于第 II-2 趾节(8 mm);第 II 趾爪大于第 I 趾爪。第 III 趾骨的近端趾节(7.5 mm)长于中间和远端的趾节(6.5 mm/7 mm)。第 III 趾爪细长,明显长于其它趾爪,但弯曲度最小,同其它渤海鸟类。第 III 趾爪的直线长度为 13 mm,超过第 III 趾骨的一半。第 IV 趾最细,发育 4 个趾节和 1 个趾爪。近端第 1 趾节(5 mm)的长度接近远端第 4 趾节(5.5 mm),同正型标本和长爪鸟^[1,4,10]。而其它渤海鸟类的第 IV-1 趾节明显短于第 IV-4 趾节^[1],第 IV 趾爪明显小于其它趾爪。



hs—角质鞘;mtI-IV—第 I-IV 趾骨;pdI-IV—第 I-IV 趾骨;tm—跗蹠骨;tu—结节
图 6 格氏齿槽鸟新材料(SDUST-V1043)右脚的(a)照片和(b)线条图

Fig. 6 Photograph (a) and line drawings (b) of right pes of new material(SDUST-V1043) of *Sulcavis georum*

3 讨论

新标本 SDUST-V1043 展示了反鸟类的一些典型特征,比如:鸟喙骨支柱状,不发育上鸟喙突;胸骨近圆形,后缘发育剑状突、中间突和外侧突;小掌骨长于大掌骨^[19]。同时,新标本还具有渤海鸟科的鉴定特征,比如:吻端粗壮;牙齿粗壮,近锥形,齿尖强烈收缩,末端略后弯;胸骨的后外侧突向外后方延伸;叉骨上升支顶端膨大;第 II 趾骨粗壮;趾爪长,第 III 趾的趾爪长度超过跗蹠骨的 40%^[1]。如前文所述,渤海鸟科已建立了 7 个属种:郭氏渤海鸟、孟氏神七鸟、格氏齿槽鸟、韩氏周氏鸟、马氏副渤海鸟、库氏长爪鸟和中国格雷琴鸟,以及 1 件未定名标本 CUGB P1202^[1-10]。其中,新标本与齿槽鸟最为相似,并发育了该属种的自裔性状:牙齿的舌侧面扁平,发育沟槽^[4]。同时,新标本又很好地区别于其它 6 个属种,比如:上颌骨缺少周氏鸟和长爪鸟所发育的开孔^[1,5];第 IV-1 趾节与第 IV-4 趾节的长度相当,不同于第 IV-1 趾节更短的副渤海鸟^[1];颞骨

末端分叉,区别于颧骨末端不分叉的渤海鸟和 CUGB P1202^[3,6,8];牙齿横切面呈 D 字形,不同于近圆形的神七鸟^[2];胸骨后外侧突末端呈三角形,也区别于扇形的神七鸟^[2];鸟喙骨的宽长比大于格雷琴鸟^[9]。因此,新标本被归入格氏齿槽鸟,代表了该属种的第 2 件标本。

新标本的发现进一步丰富了齿槽鸟的骨骼形态学信息,如齿列、胸骨和腰带等。在正型标本中,由于上下颌的中部缺失,上颌齿和下颌齿的数目并不确定,推测为 4~6 颗上颌齿和 9~10 颗下颌齿^[4]。新标本较好地保存了上颌和下颌齿列,包括前颌齿 4 颗、上颌齿 4 颗和下颌齿 7 颗。下颌齿的数量与正型标本的保存数目一致,说明正型标本齿列保存完整,并未受到下颌中部缺失的影响。在渤海鸟类中,齿列数目在不同属种中略有差异,但可能是受保存问题或个体/生长差异的影响^[10]。例如:4 颗前颌齿是反鸟类的一个普遍特征^[20],也存在于神七鸟、渤海鸟和齿槽鸟^[2-4,6];相比,周氏鸟(CNUVB-0903)、副渤海鸟(IVPP V18691)和长爪鸟(IVPP V17964)的正型标本却保存 3 颗前颌齿,并被作为特征差异^[1,5],但后续发现的归入标本(周氏鸟, BMNHC Ph756;长爪鸟, IVPP V18693)又都发育 4 颗前颌齿^[7,10]。因此,3 颗前颌齿不应作为属种间的特征差异。上颌齿也存在相似的情况,神七鸟、副渤海鸟(IVPP V18691)、长爪鸟(IVPP V18693)和齿槽鸟(SDUST-V1043)都发育 4 颗上颌齿,且第 4 颗位于上颌骨背突之后^[1-2,10];相比,渤海鸟(LPM B00167)和周氏鸟(CNUVB-0903, BMNHC Ph756)虽然保存有 3 颗上颌齿,但是最后 1 颗的位置与副渤海鸟和齿槽鸟等的第 3 颗位置相当^[3,5,7]。因此,渤海鸟和周氏鸟可能也具有 4 颗上颌齿。下颌齿在神七鸟和齿槽鸟中保存 7 颗^[2,4],而在渤海鸟、副渤海鸟、长爪鸟、周氏鸟(CNUVB-0903)中保存为 6 颗^[1,3,5-6,10]。周氏鸟(BMNHC Ph756)的右侧下颌保存 6 颗,而左侧保存 7 颗^[1]。这一变化说明 6 颗下颌齿可能属于个体间差异或者保存问题。因此,新标本揭示的齿列数目可能代表了渤海鸟类的基本模式,即前颌齿 4 颗、上颌齿 4 颗和下颌齿 7 颗。

新标本还展示了齿槽鸟所独特的牙齿特征:牙齿的舌侧面扁平,发育沟槽。这一特征不仅表现于前颌齿和上颌齿,而且也发育在下颌齿中。这一发现进一步确定了该特征在齿槽鸟中的稳定性。在其它渤海鸟类中,牙齿的舌侧面较少暴露或者被关注。因此,这一特征是否也存在于其它渤海鸟类仍待验证。

胸骨和腰带在新标本中都有较好保存,补充了正型标本的缺失信息。新标本的胸骨形态与其它渤海鸟类较为相似,尤其是发育了该类群的一个鉴定特征,即后外侧突与胸骨长轴呈一定夹角^[1]。此外,新标本也展示了一些不同,比如:胸骨前缘发育一小的胸骨柄,同始华夏鸟和侯氏鸟^[15],但未见于其它渤海鸟类^[1];外侧突末端呈三角形,但侧向的扩展程度不及后向,与其它渤海鸟类的情况相反(侧向的扩展程度强于后向)^[1]。

腰带在渤海鸟类中的保存较差,形态信息不多。相比,新标本的腰带保存了一些特征,可能具有一定的分类意义。髌骨背缘较平直,与格雷琴鸟和渤海鸟相似,不同于明显弧形的周氏鸟和长爪鸟^[7,10]。前臼突基部腹缘发育前臼窝,同格雷琴鸟。髌骨背缘发育一个瘤状突起。这一突起广泛分布于近鸟类恐龙和鸟类,位于前臼突与后臼突的分界处^[17],但未见于其它渤海鸟类。耻骨脚大,末端收缩变尖,向前略弯曲,同食鱼鸟和强壮爪鸟^[18]。相比,格雷琴鸟的耻骨脚末端没有明显变尖和弯曲^[9]。坐骨末端上弯,收缩变窄,同其它渤海鸟类。相比,神七鸟的坐骨被描述为骨干较直,末端较钝^[2]。但原文图片显示一侧坐骨的末端被耻骨覆盖,另一侧坐骨的远端未保存,所暴露的部分应为坐骨的骨干,同其它渤海鸟类。坐骨骨干较直的情况也报道于长爪鸟(IVPP V 17964)^[1],但可能是保存原因,因为归入标本(IVPP V18693)的坐骨明显弯曲^[10]。坐骨的外侧面中部发育一纵脊,近端与坐骨背突的基部平齐,远端偏向坐骨背缘,同长爪鸟和原家洼鸟^[10,16]。这一纵脊结构可能也存在于渤海鸟,但原文并未明确描述^[3]。此外,在原家洼鸟中,这一纵脊的腹侧还伴生了一条沟槽^[16],但在长爪鸟和新标本中,这一沟槽并没有明显发育(图 4)^[10]。不过,在新标本中,坐骨远端的背缘发育一窄的沟槽,与纵脊平行。

4 结论

研究了 1 件产自建昌要路沟附近的早白垩世义县组的齿槽鸟化石,明确了齿槽鸟的产地和地层信息。新标本不仅展示了齿槽鸟独特的牙齿特征,还补充了一些胸骨和腰带等的重要信息,比如:胸骨前缘弧形,中部发育小的胸骨柄,侧后缘发育一凹缺和突起,后外侧突的末端呈三角形;髌骨背缘较平直,中部发育 1 个瘤状突起,腹前缘发育前臼窝;耻骨脚末端变尖,略前弯;坐骨侧面发育一纵脊,远端背缘发育一沟槽。这一发

现丰富了对齿槽鸟的时代分布和骨骼形态学认识。

参考文献:

- [1] WANG M, ZHOU Z H, O'CONNOR J K, et al. A new diverse Enantiornithine family (Bohaiornithidae fam. nov.) from the Lower Cretaceous of China with information from two new species[J]. *Vertebrata Palasiatica*, 2014, 52(1): 31-76.
- [2] WANG X R, O'CONNOR J K, ZHAO B, et al. New species of Enantiornithes (Aves: Ornithothoraces) from the Qiaotou Formation in northern Hebei, China[J]. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 2010, 84(2): 247-256.
- [3] HU D, LI L, HOU L, et al. A new Enantiornithine bird from the Lower Cretaceous of western Liaoning, China[J]. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 2011, 31(1): 154-161.
- [4] O'CONNOR J K, ZHANG Y, CHIAPPE L M, et al. A new Enantiornithine from the Yixian Formation with the first recognized avian enamel specialization[J]. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 2013, 33(1): 1-12.
- [5] ZHANG Z, CHIAPPE L M, HAN G, et al. A large bird from the Early Cretaceous of China: New information on the skull of Enantiornithines[J]. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 2013, 33(5): 1176-1189.
- [6] LI Z H, ZHOU Z, WANG M, et al. A new specimen of large-bodied basal Enantiornithine *Bohaiornis* from the Early Cretaceous of China and the inference of feeding ecology in Mesozoic birds[J]. *Journal of Paleontology*, 2014, 88(1): 99-108.
- [7] ZHANG Y G, O'CONNOR J M, LIU D, et al. New information on the anatomy of the Chinese Early Cretaceous Bohaiornithidae (Aves; Enantiornithes) from a subadult specimen of *Zhouornis hani* [J/OL]. *PeerJ*, 2014, 2. DOI: 10.7717/peerj.407.
- [8] PETEYA J, CLARKE J A, LI Q G, et al. The plumage and colouration of an Enantiornithine bird from the Early Cretaceous of China[J]. *Palaeontology*, 2017, 60(1): 55-71.
- [9] CHIAPPE L M, MENG Q J, SERRANO F J, et al. New *Bohaiornis*-like bird from the Early Cretaceous of China: Enantiornithine interrelationships and flight performance [J/OL]. *PeerJ*, 2019, 7. DOI: 10.7717/peerj.7846.
- [10] HU H, O'CONNOR J K, WANG M, et al. New anatomical information on the bohaiornithid *Longusunguis* and the presence of a plesiomorphic diapsid skull in Enantiornithes [J]. *Journal of Systematic Palaeontology*, 2020, 18(18): 1481-1495.
- [11] 张立君, 张立东, 杨雅军, 等. 辽西建昌盆地白垩统义县组的划分及其介形类化石[J]. *地质与资源*, 2012, 21(1): 81-92. ZHANG Lijun, ZHANG Lidong, YANG Yajun, et al. Division of the Lower Cretaceous Yixian Formation and its ostracod fossils in Jianchang Basin, western Liaoning [J]. *Geology and Resources*, 2012, 21(1): 81-92.
- [12] PU H Y, KOBAYASHI Y, LÜ J C, et al. An unusual basal therizinosaur dinosaur with an ornithischian dental arrangement from northeastern China [J/OL]. *PLoS ONE*, 2013, 8(5). DOI: 10.1371/journal.pone.0063423.
- [13] 周长付, 王超凡, 常美静. 辽西建昌早白垩世九佛堂组矢部龙新材料研究[J]. *山东科技大学学报(自然科学版)*, 2021, 40(1): 1-7. ZHOU Changfu, WANG Chaofan, CHANG Meijing. New material of *Yabeinosaurus* from the Early Cretaceous Jiufotang Formation of Jianchang, western Liaoning, China [J]. *Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science)*, 2021, 40(1): 1-7.
- [14] O'CONNOR J K. The trophic habits of early birds [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2019, 513: 178-195.
- [15] WANG M, LIU D. Taxonomical reappraisal of Cathayornithidae (Aves; Enantiornithes) [J]. *Journal of Systematic Palaeontology*, 2016, 14(1): 29-47.
- [16] HU D Y, LIU Y, LI J H, et al. *Yuanjiawaornis viriosus*, gen. et sp. nov., a large enantiornithine bird from the Lower Cretaceous of western Liaoning, China [J]. *Cretaceous Research*, 2015, 55: 210-219.
- [17] HUTCHINSON J R. The evolution of pelvic osteology and soft tissues on the line to extant birds (Neornithes) [J]. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 2001, 131(2): 123-168.
- [18] WANG M, ZHOU Z H. A morphological study of the first known piscivorous Enantiornithine bird from the Early Cretaceous of China [J/OL]. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 2017, 37(2). DOI: 10.1080/02724634.2017.1278702.
- [19] CHIAPPE L M, WALKER C A. Skeletal morphology and systematics of the Cretaceous Euenantiornithes (Ornithothoraces; Enantiornithes) [C] // CHIAPPE L M, WITMER L M. *Mesozoic birds: Above the heads of dinosaurs*. Berkeley: University of California Press, 2002: 240-267.
- [20] O'CONNOR J K, CHIAPPE L M. A revision of Enantiornithine (Aves: Ornithothoraces) skull morphology [J]. *Journal of Systematic Palaeontology*, 2011, 9(1): 135-157.

(责任编辑:高丽华)