

中国中侏罗世哺乳动物研究新进展

季强 袁崇喜

中国地质科学院地质研究所, 北京 100037

摘要 本文介绍了中国北方东部地区发现的几种中侏罗世哺乳动物: 纤细辽兽、獭形狸尾兽、远古翔兽和粗壮假碾磨齿兽, 除纤细辽兽发现于辽宁凌源房身九龙山组外, 其他3种哺乳动物化石均发现于内蒙古宁城道虎沟地区的髻髻山组。这些哺乳动物化石的发现不仅丰富了我国中侏罗世生物群的组成, 加深了人们对于中侏罗世哺乳动物多样性的认识, 而且为解决我国北方东部地区晚中生代地层的划分和对比提供了可靠的古生物证据。

关键词 中侏罗世; 道虎沟生物群; 哺乳动物

中图分类号: Q915.87

文献标识码: A

文章编号: 1006-3021(2008)03-377-08

New Advances in the Study of Middle Jurassic Mammals in China

Ji Qiang YUAN Chongxi

Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037

Abstract This paper describes in brief some Middle Jurassic mammals from the eastern part of northern China, which include *Liaotherium gracile*, *Castrocauda lutrasimilis*, *Volaticotherium antiquus* and *Pseudotribos robustus*. *Liaotherium gracile* was found in the Jiulongshan Formation of Fangshen village, Lingyuan City, Liaoning Province, and the other three kinds were all unearthed from the Tiaojishan Formation in Daohugou area, Ningcheng County, Inner Mongolia. The discovery of these fossil mammals has not only enriched the components of Middle Jurassic biota in China and deepened our understanding of the diversity of mammals in Middle Jurassic, but also provided the palaeontological evidence for the subdivision and correlation of Late Mesozoic strata in the eastern part of northern China.

Key words Middle Jurassic; Daohugou biota; Mammals

我国北方东部地区中侏罗世地层发育良好, 分布广泛, 为一套陆相的火山—沉积建造, 产有丰富的化石, 已有几十年的研究历史。近十年来, 随着内蒙古宁城道虎沟地区大量化石的发现, 该区中侏罗世地层和古生物研究取得了突破性进展, 目前已发现的主要代表性化石有蝶螈 *Jeholotriton paradoxus* 和 *Chunerpeton tianyiensis*, 翼龙 *Jeholopterus ningchengensis* 和 *Pterorhynchus wellnhoferi*, 兽脚类恐龙 *Scansoriopteryx heilmanni* 和 (?) *Pedopenna daohugouensis*, 哺乳动物 *Castrocauda lutrasimilis*, *Volaticotherium*

antiquus, *Pseudotribos robustus*, 昆虫 *Mesobaetis sibirica*, *Mesoneta antique*, *Rhipidoblattina* (*Canaliblata*) *hebeiensis*, *Brunneus haifanggouensis*, *Palaeontinodes haifanggouensis* 等, 叶肢介 *Euestheria ziliujingensis*, *E. haifanggouensis*, *E. jingyuanensis* 和 *E. luanpingensis*, 植物 *Cladophlebis* (*Osmunda* ?) sp., *Anozamites angulatus*, *A.* (*Trymia* ?) sp., *Cycadolepis* sp., *Ginkgoites* sp., *Pityospermus* sp., *Pityocladus* sp. *Zamites gigas*, *Yanliaoia sinensis* 和 *Coniopteris burejensis* 等(汪筱林等, 2000; 季强等, 2002; 任东

本文由国家科技部“973”项目(编号:2006CB701405)资助。

收稿日期:2008-04-15; 改回日期:2008-05-05。责任编辑:刘志强。

第一作者简介:季强,男,1951年生,研究员,致力于中国中生代热河生物群、鸟类起源、真兽类哺乳动物起源和被子植物起源研究;通讯地址:100037,北京市西城区百万庄大街26号,电话:010-68999694;E-mail:jirod@cags.net.cn。

等,2002;陈文等,2004;Xu et al., 2005; Ji et al., 2006; Meng et al., 2006; Gao et al., 2006; Luo et al., 2007;)。2002年3月,季强等根据该区生物群的地层分布和总体面貌,正式将该生物群命名为“道虎沟生物群”(季强等,2002)。

相对而言,我国北方东部地区中侏罗世地层中以往发现的哺乳动物化石较少,仅记述了一件产自辽宁凌源房身九龙山组的哺乳动物下颌骨化石(周明镇等,1991)。目前在内蒙古宁城道虎沟地区也只发现了3种哺乳动物化石:獭形狸尾兽、远古翔兽和粗壮假碾磨齿兽。但是,这些哺乳动物化石的发现具有十分重要的科学意义,不仅使我们对中侏罗世哺乳动物的演化发展和生态多样性有了新的认识,而且为将来在中侏罗世地层中发现新的有胎盘类或有袋类哺乳动物化石提供了可能。

1 纤细辽兽 (*Liaotherium gracile*)

1976年,中国地质科学院地质研究所程政武和岳昭在辽西地区进行地质考察时,于凌源市房身村附近的中生代杂色火山碎屑岩地层中采集到一块哺乳动物的下颌化石,并将这块化石送往中国科学院古脊椎动物与古人类研究所,与周明镇和王元青合作研究(周明镇等,1991)。

为了确定化石产地和地层层位,周明镇等先后两次去野外实地核查,认为他们发现的哺乳动物化石与杨钟健(Young et al., 1958)发现的矢部龙化石应该产于同一地点同一层位,并且认为这套杂色火山碎屑岩层在地层层序及岩性特征方面均与河北平泉盆地的九龙山组一致,是河北平泉地区中侏罗世九龙山组向辽宁西部延伸的一部分。

辽西凌源房身发现的哺乳动物下颌骨化石除关节突部分破损外,基本保存完整,长约22.2 mm,高8.6 mm,水平枝较长且相对纤弱,长度大于15.6 mm。下颌骨体高度前部2.7 mm,后部2.4 mm,上、下缘平直,近于平行,下缘前端向上呈弧形弯曲,上缘厚度约1 mm。除最后一枚臼齿外,其余牙齿均未保存。在最后一枚臼齿之前,有14个颊齿窝,齿窝近方形。齿窝大小、间距无明显变化。从第一个颊齿窝前缘到最后一枚臼齿后缘长约为12.6 mm。最后一枚臼齿靠近上升支,长约1.1 mm。下颌骨前端还保存有两个门齿窝,在它们与颊齿窝之间,有一段骨体破损,可见一较大的齿窝痕迹,可能是犬齿窝所在的位置。下颌骨上升支高约5.8 mm,与水平支之间的夹角约为120°。冠状突小而弱,关节突破损,

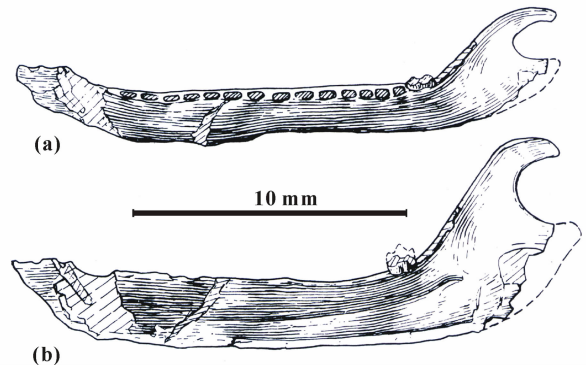


图 1 纤细辽兽的右下颌骨素描图(据周明镇等,1991)
Fig. 1 Right lower jaw of *Liaotherium gracile* (from Zhou et al., 1991)

(a)-内顶视;(b)-内侧视

(a)-internal-top view; (b)- internal view

从留下的痕迹上看,它略高于下齿列。髁上凹发育(图1)。

由于该哺乳动物化石标本仅保留最后一枚臼齿,难以对其进行更详细的描述,周明镇等人(1991)根据下颌骨和最后一枚臼齿的形态特征,认为其与新疆准噶尔盆地北部克拉美丽地区发现的克拉美丽兽(*Klamelia zhaopengi*; Chow et al., 1984)、辽东地区发现的满洲兽(*Manchurodon simplicidens*; Yabe et al., 1938)以及蒙古发现的戈壁兽(*Gobiconodon*; Trofimov, 1978)等区别较大,而与英国中侏罗统中的 *Amphilestes* 比较接近,推测其齿式可能为 I2 + ? C1P3M5 或 I2 + ? C1P4M4,因此建立一新属种 *Liaotherium gracile*,将其归于三尖齿兽目(Triconodontonta)环齿兽科(?) (Amphilestidae) (Osborn, 1888)。

纤细辽兽是我国北方东部地区发现的第一件中侏罗世哺乳动物化石,对于探讨三尖齿兽类的演化和分类,以及该区地层的划分和对比等方面均具有科学意义。

2 獭形狸尾兽 (*Castorocauda lustrasimilis*)

2004年8月,季强等在内蒙古宁城道虎沟地区获得了一件哺乳动物化石,该化石产自中侏罗世髻髻山组。

道虎沟地区发现的哺乳动物化石全长约42.5 cm,保存了头部和头后骨骼,以及毛发和鳞片印痕。下齿式 i4-c1-p5-m6,第3至第6枚下臼齿具有典型的柱齿兽类的臼齿特征,与其他柱齿兽类的区别在于第1、第2枚下臼齿内外压缩,齿尖直线排列但略

物的啮齿类)的尾巴及其功能非常相似,具有游泳(如适于游泳的有鳞片的宽而扁的尾巴)和挖掘(如粗壮的肱骨)能力。迄今为止,獭形狸尾兽是世界上发现的唯一的半水生中生代哺乳动物,也是已知体型最大的侏罗纪哺乳动物,或许部分因为其体躯较大,其可能才具有了食鱼和游泳的生活习性。

以往人们一般认为,现生半水生(如河狸类和水獭类)和现生全水生(如鲸类、海牛类)会游泳的哺乳动物,最早出现于始新世和渐新世(0.55~0.25 Ma),而狸尾兽却生活于中侏罗世(1.64 Ma),这表明,像獭形狸尾兽这样的原始柱齿兽类哺乳动物在中生代就已经单独具有了半水生的游泳功能,比新生代有胎盘类哺乳动物(如河狸、水獭、鲸、海牛)至少提早了 100 Ma“下水”,这是趋同演化的重要范例。

獭形狸尾兽保存有毛皮印痕(炭化的体毛和绒毛),其毛皮为哺乳动物皮肤结构的系统演化提供了直接证据。其牙齿和下颌特征表明,狸尾兽代表了柱齿兽目的一个新哺乳动物属种,可与发现于欧洲中侏罗世的几种柱齿兽类哺乳动物相比较。柱齿兽类是生存于中侏罗世到晚白垩世的一个绝灭中生代哺乳动物类群,无现生后裔,与现生有胎盘哺乳动物亦无直接亲缘关系。

3 远古翔兽(*Volaticotherium antiquus*)

2006 年 12 月,孟津等在英国《自然》杂志上以封面文章报道了一件产自内蒙古宁城道虎沟地区的哺乳动物化石(Meng et al., 2006)。该哺乳动物化石大小如松鼠,与所有其他已知的中生代哺乳动物的区别在于:具有相当大的覆盖毛发的翼膜;拉长的肢骨;近端指节具有明显的屈肌鞘脊;具有拉长的背腹扁平的椎体和脉弧的长尾;高度特化的齿式,3-1-4-3/2-1-4-2;门齿小,锥形;犬齿长而尖;臼齿具有高而尖的向后倾斜的齿尖,直线排列但分开很远;下臼齿齿尖更向后倾斜,但比上臼齿的紧密;M1 的 d 尖唇侧覆盖 M2 的 b 尖。他们根据这些特征将其命名为远古翔兽(*Volaticotherium antiquus*)(图 4)。

根据对中生代哺乳动物 58 个类群的 435 个特征的系统演化分析,孟津等认为远古翔兽是哺乳动物的一个独立的支系,是冠群或范围更广的类群,与包括真三尖齿兽、多瘤齿兽等在内的哺乳动物构成姊妹群关系,代表了一个以前未知的高度特化的哺乳动物类群,可能源自具有似三尖齿兽牙齿的祖先类群。

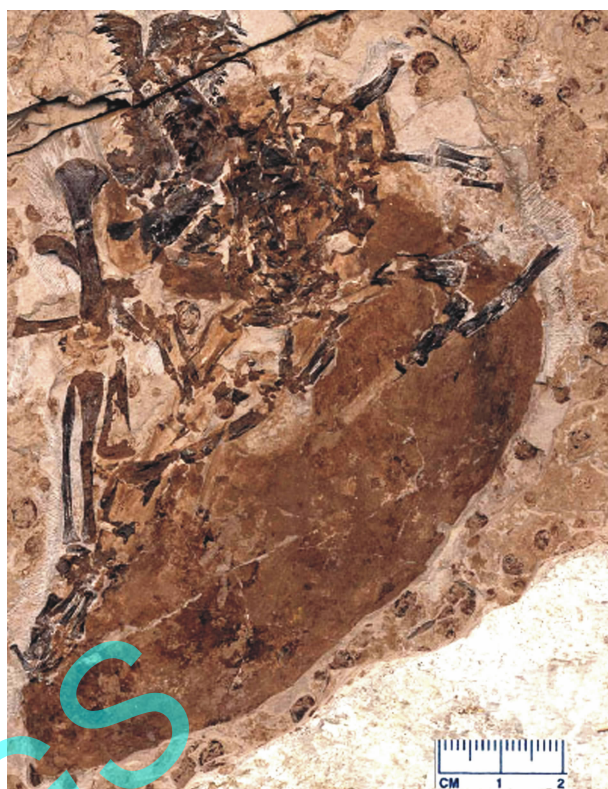


图 4 远古翔兽的正型标本(据 Meng 等, 2006)

Fig. 4 Holotype of *Volaticotherium antiquus*
(from Meng et al., 2006)

远古翔兽最突出的特征是发育了覆盖毛发的翼膜。翼膜印痕并没有完全暴露,但已充分表明其很大,明显大于渐新世的滑翔啮齿类。在一些区域,不同层上垂直的毛发表明翼膜保存时受到折叠。翼膜印痕与皮肤连续,毛发印痕包围着骨骼集中的区域。印痕延伸到趾骨区域,包夹跗骨的位置。这些表明,肢骨,可能包括手指和脚趾都参与对翼膜的支撑。翼膜上和身体周围的毛发细而均匀,但几节近端尾椎附近的毛发相对较后。与一些尾椎平行的毛发指示了毛发、皮肤、骨骼原位的解剖关系。

远古翔兽四肢长度与其他中生代哺乳动物四肢长度的比例相似于现生滑翔与非滑翔哺乳动物四肢长度的比例。除了四肢较长外,远古翔兽的尾椎也较长,背腹扁平,背面具有一个低矮的纵脊,腹面的脉弧也长而扁平。有几节尾椎的周围也保存翼膜的印痕。这些结构以及它们与翼膜的关系表明近端尾椎参与对翼膜的支撑,从而表明在尾和后肢之间存在“似翼膜”。

远古翔兽的股骨具有小的椭圆形股骨头,缺少哺乳动物特有的股骨颈。虽然臀部结构未保存,仅股骨头的形状表明髌臼可能浅而开放,可能与攀援

的袋鼠相似。与其他哺乳动物的球一窝的臀部关节不同,翔兽独特的股骨头严格限制了转体运动时后肢的灵活性,但可能允许后肢侧向伸展,在滑翔时保持稳定。

翔兽的许多其他肢骨特征与攀援运动有关,保证了它达到滑翔的开始点的高度。翔兽足部和手部的形态表明,手和足都相对较长,可能具有很强的弯曲指节的能力来抓紧比自身大的树枝。当四肢远端部用于滑翔的表面,翔兽的手、足可能用于在表面运动或稳定四足着落,与一些现生滑翔哺乳动物相似。结合独特的股骨与腰带的关节,这些形态表明翔兽是完全攀援的动物,与一些现生滑翔哺乳动物相似生活在树上。

现生滑翔的哺乳动物体重 10 ~ 1500 g, 与蝙蝠相似。根据 28.3 mm 长的下颌齿,翔兽的头骨估计 35 cm, 头骨约身体长 120 ~ 140 mm, 体重约 70 g, 与飞行的松鼠相似。翔兽最可能是夜间活动的,不紧紧因为小型中生代哺乳动物通常被认为是夜间活动的,而且因为滑翔的哺乳动物通常是攀援的、夜间活动的。翔兽可能是灵敏的滑翔者,因为其轻的翼膜负荷—结论来自其小的体重和大的翼膜,但其可能不具有习惯些捕捉空中食物的能力,就像很多食虫的蝙蝠一样。翔兽的翼膜具有低的纵横比,正如其四肢长度指式的那样,可能限制其只能进行滑翔飞行,不能重分地进行空中飞行。

人们一直认为最早具有滑翔飞行能力的哺乳动物是蝙蝠,但化石非常稀少,最早的记录是距今五千万年前的始新世,在此之前还没有令人信服的哺乳动物飞行适应的证据。翔兽最早的滑翔运动的形态学证据表明哺乳动物尝试飞行生活的时间比以前认为的要早得多,早在鸟类向天空发展之前,哺乳动物就已经飞向天空了(图 5)。

4 粗壮假碾磨齿兽 (*Pseudotribos robustus*)

2005 年,季强等在中国内蒙古宁城道虎沟地区发现了一对保存完好的蜀兽科哺乳动物化石,其产自中侏罗世髫髻山组中部的凝灰质粉砂岩中,化石从头到尾长约 11 cm,保存了头颅和头后骨骼,分为正模和副模(图 6)。

该哺乳动物的齿式为 I2 + . C1. P5. M3/i4. c1. p5. m3。上臼齿具有三角模式的 3 个齿尖:较高的前尖,较矮的后尖和隆起的“假原尖”。下臼齿三角座具有三角的齿尖模式:唇侧的下原尖(最高),舌



图 5 远古翔兽的复原图(据 Meng 等, 2006)

Fig. 5 Reconstruction of *Volaticotherium antiquus*
(from Meng et al., 2006)

侧的靠前的下前尖和靠后的下后尖(最矮)。三角座之前是假跟座,具有隆起的唇缘(假下次尖)与假下次小尖脊相连。假跟座的舌侧具有边缘但不存在明显的齿尖,而蜀兽的该位置存在“假下内尖”。与亲缘关系最近的蜀兽的区别在于,发育的后齿带延伸至三角座的唇侧、假下次尖较弱。根据其形态特征,该哺乳动物化石被归入蜀兽科,并命名为 *Pseudotribos robustus*。属名中“Pseudo-”的中文含义为“假”,“-tribos”的中文含义为“碾磨”,种名“robustus”意为“粗壮”,因此该哺乳动物化石的中文学名为“粗壮假碾磨齿兽”。与 *Shuotherium shilongi*、*S. kermacki* 的区别在于,假碾磨齿兽的牙齿小 30%, 但比 *S. dongi* 的牙齿大 20%。假碾磨齿兽的上臼齿长与宽的比例约为 85%, 宽大于长,与长、宽几乎相等的 *Shuotherium shilongi* 相区别。与 *S. kermacki* 的区别在于具有更为膨大的假前尖 (Chow et al., 1982; Wang et al., 1998; Sigogneau-Russell, 1998)。假碾磨齿兽与其他哺乳形动物的区别在于在下臼齿三角座之前具有非常发育的假跟座与上臼齿的假原尖完全咬合。与所有兽形(theriimorph

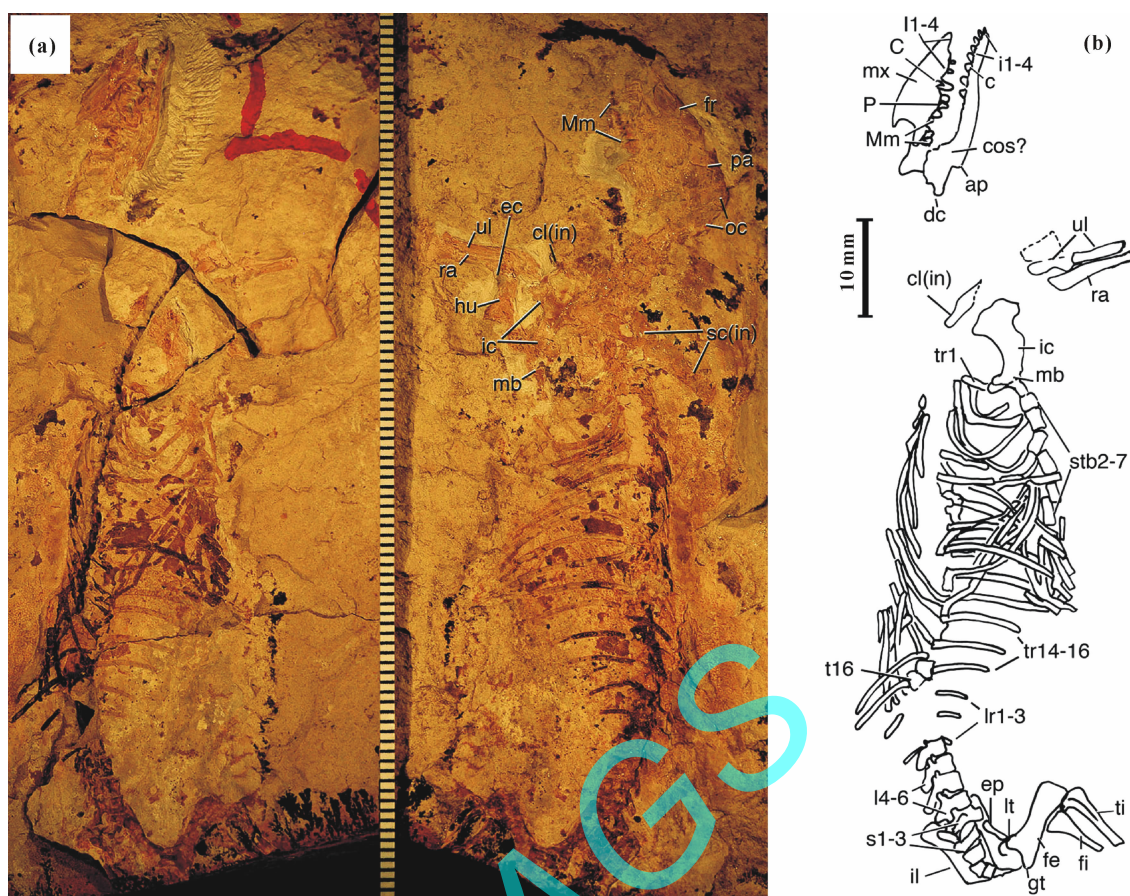


图6 粗壮假碾磨齿兽的正型标本(据 Luo 等, 2007)

Fig. 6 Holotype of *Pseudotribos robustus* (from Luo et al., 2007)

(a)-标本照片;(b)-骨骼素描图

(a)-photograph; (b)-osteological structures

mammals) 哺乳动物(真三尖齿兽、多瘤齿兽、对齿兽和现生兽类)的区别在于: 间锁骨大, 是胸骨柄的 2 倍, 具有 2 个侧突和膨大的后突。与多瘤齿兽和现生兽类(除了 *Akidolestes*) 的区别在于保留了活动的腰肋, 不存在与股骨板错位的股骨头, 膨大的小转子, 指向侧方的大转子。虽然粗壮的肢骨与 *Fruitafossor* 相似, 但假碾磨齿兽缺少后者管状犬后齿(tubular postcanines)和 X-形腰椎。这一研究成果发表在 2007 年 11 月 1 日出版的《自然》杂志(Luo et al., 2007)。

原始有袋类和有胎盘类哺乳动物发育的三磨楔式臼齿是一个关键的适应, 其上臼齿的原尖在下臼齿的跟座里碾磨。已绝灭的假三磨楔齿类哺乳动物具有反转的三磨楔式臼齿, 其三角座之前有一个假的跟座来容纳上臼齿的假原尖。该假原尖在功能上与原尖相似, 但前置的假跟座与真正三磨楔齿兽类哺乳动物的后置的跟座相反。

蜀兽类牙齿的研究在哺乳动物牙齿演化中是非

常重要的, 但以前研究的材料十分有限, 仅发现了 11 颗牙齿和不完整的下颌。由于研究材料所限, 且其进步的假三磨楔式臼齿和原始的下颌之间的结构显得很失调, 人们关于蜀兽系统演化关系的假设非常多: 蜀兽以前被认为是原始的哺乳形动物居耐兽与锐三角形哺乳动物对齿兽之间的过渡类型, 或与柱齿兽类关系密切, 或是锐三角形哺乳动物对齿兽与进步的前三磨楔齿类哺乳动物皮拉姆兽(*Peramys*)之间的过渡类型, 或作为澳洲楔齿类哺乳动物的姊妹群的一种原始类群。该研究小组根据对假碾磨齿兽的研究, 认为蜀兽类与对齿兽类、皮拉姆兽支系或更进步世系的亲缘关系不密切, 其与澳洲楔齿形哺乳动物的关系要比其他任何中生代哺乳动物类群更亲近。

在发现假三磨楔式臼齿的几何形态结构反转之前, 人们一个多世纪以来普遍认为, 在哺乳动物演化历史中上臼齿原尖、下臼齿跟座以及它们的咬合关系是单源一起发育的。蜀兽的发现改变了这种假

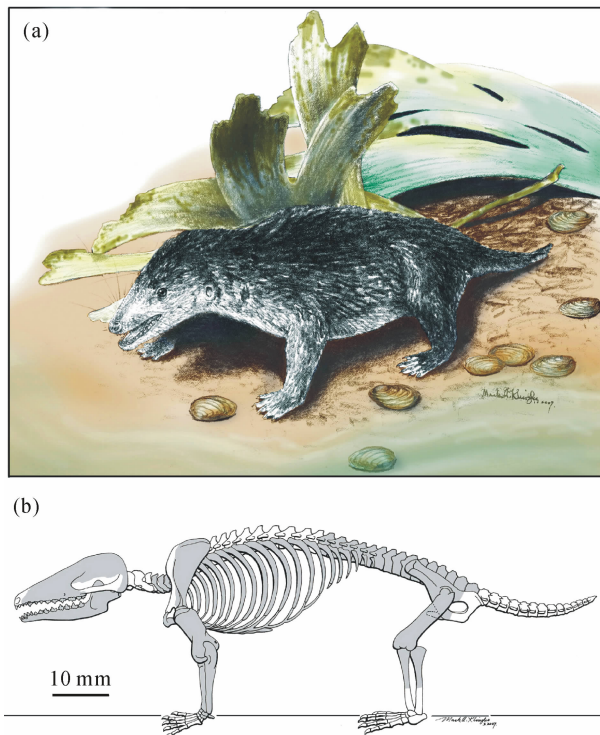


图7 粗壮假碾磨齿兽复原图(a)和骨骼再造图(b)
(据Luo等, 2007)

Fig. 7 Reconstruction (a) and osteological restoration (b)
of *Pseudotribos robustus* (from Luo et al., 2007)

设。上臼齿原尖形结构可以与下臼齿后部的跟座或一些支系的下臼齿前部的假跟座相咬合。上臼齿原尖的功能性适应在哺乳动物演化史上至少出现了两次的观点目前已被广泛接受。最近还有人认为,在早期哺乳动物中,下三磨楔式臼齿的跟座演化了不止一次。该观点得到了新发现的澳洲楔齿形哺乳动物的支持,它们缺少北方楔齿形哺乳动物所具有的典型的磨蚀面(正如劳亚三磨楔式臼齿经典研究的定义)。中国新发现的假碾磨齿兽为上臼齿原尖和下臼齿跟座在哺乳动物演化中均可能经历了趋同演化增加了新的证据。假碾磨齿兽具有高度发育的假三磨楔齿,但相当原始的下颌和头后骨骼,其肩带与其他哺乳动物和单孔类相似,四肢展现了掘穴特征。该发现不仅揭示了中生代哺乳动物的牙齿演化分异比其现生后裔更加丰富多彩,而且进一步支持了哺乳动物中“三磨楔齿形臼齿趋同演化”的假设(图7)。

内蒙古宁城道虎沟地区是我国研究燕辽生物群的经典地区之一,产有丰富的晚中生代化石,常见者有蝶螈 *Jeholotriton paradoxus* 和 *Chunerpeton tianyiensis*, 翼龙 *Jeholopterus ningchengensis* 和 *Pterorhynchus*

wellnhoferi, 兽脚类恐龙 *Scansoriopteryx heilmanni* 和 (?) *Pedopenna daohugouensis*, 哺乳动物 *Castrocauda lutrasimilis*, 昆虫 *Mesobaetis sibirica*, *Mesoneta antique*, *Rhipidoblattina (Canaliblata) hebeiensis*, *Brunneus haifanggouensis*, *Palaeontinodes haifanggouensis* 等, 叶肢介 *Euestheria ziliujingensis*, *E. haifanggouensis*, *E. jingyuanensis* 和 *E. luanpingensis*, 植物 *Cladophlebis (Osmunda ?) sp.*, *Ananozamites angulatus*, *A. (Trymia ?) sp.*, *Cycadolepis sp.*, *Ginkgoites sp.*, *Pityospermus sp.*, *Pityocladus sp.*, *Zamites gigas*, *Yanliaolia sinensis* 和 *Coniopteris burejensis* 等。长期以来,我国学者对道虎沟地区产这些化石地层的时代归属意见分歧很大(汪筱林等, 2000, 2005; 季强等, 2002, 2004; 2005; 任东等, 2002; He et al., 2004; 柳永清等, 2004, 2006; Gao et al., 2006)。少数学者认为这套地层的时代为早白垩世(义县阶), 所产的化石归于热河生物群。但大多数学者认为这套地层的时代为中侏罗世, 所产的化石应归于燕辽生物群。众所周知, 蜀兽科哺乳动物在世界各地分布较广, 在欧洲主要分布于中侏罗世地层中, 我国四川发现的董氏蜀兽产于中侏罗世上沙溪庙组(Chow et al., 1982)。内蒙古宁城道虎沟地区新发现的蜀兽科哺乳动物以直接的古生物证据再次证明这套地层的时代为中侏罗世, 所产的化石无疑应当归于燕辽生物群, 这对我国北方东部地区晚中生代陆相地层的精确划分和对比将具有重要意义。

内蒙古宁城道虎沟中侏罗世燕辽生物群的研究仅仅刚刚起步, 随着新材料的不断发现和研究的不断深入, 燕辽生物群的研究将会象辽西早白垩世热河生物群一样引起国际同行们的广泛关注。虽然我们已认识到, 在中侏罗世哺乳动物已经具有了很大的多样性, 占领了陆地、天空、水域等不同生境, 我们仍期待着在不远的将来能在中侏罗世发现诸如胎盘类、有袋类等哺乳动物化石, 以进一步推到真兽类和后兽类哺乳动物起源的研究。

参考文献

- 陈文, 季强, 刘敦一, 张彦, 宋彪, 刘新宇. 2004. 内蒙古宁城地区道虎沟化石层同位素年代学[J]. 地质通报, 23(12): 1165 ~ 1169.
- 季强, 袁崇喜. 2002. 宁城中生代道虎沟生物群中两类具原始羽毛翼龙的发现及其地层学和生物学意义[J]. 地质论评, 48(2): 221 ~ 224.
- 季强, 陈文, 王五力, 金小赤, 张建平, 柳永清, 张宏, 姚培毅, 姬书安, 袁崇喜, 张彦, 尤海鲁. 2004. 中国辽西中生代热河生物群[M]. 北京: 地质出版社.

- 季强, 柳永清, 陈文, 姬书安, 吕君昌, 尤海鲁, 袁崇喜. 2005. 再论道虎沟生物群的时代[J]. 地质论评, 51(6):609~612.
- 柳永清, 刘燕学, 李佩贤, 张宏, 张立君, 李寅, 夏浩东. 2004. 内蒙古宁城盆地东南缘含道虎沟生物群岩石地层序列特征及时代归属[J]. 地质通报, 23(12):1180~1187.
- 柳永清, 刘燕学, 姬书安, 杨之青. 2006. 内蒙古宁城和辽西凌源热水汤地区道虎沟生物群与相关地层 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年及有关问题的讨论[J]. 科学通报, 51(19):2273~2282.
- 任东, 高克勤, 郭子光, 姬书安, 谭京晶, 宋卓. 2002. 内蒙古宁城道虎沟地区侏罗纪地层划分及时代探讨[J]. 地质通报, 21(8~9):584~588.
- 汪筱林, 王元青, 张福成, 张江水, 周忠和, 金帆, 胡耀明, 顾罡, 张海春. 2000. 辽宁凌源及内蒙古宁城地区下白垩统义县组脊椎动物生物地层[J]. 古脊椎动物学报, 38(2):81~99.
- 汪筱林, 周忠和, 贺怀宇, 金帆, 王元青, 张江水, 王原, 徐星, 张福成. 2005. 内蒙古宁城道虎沟化石层的地层关系与时代讨论[J]. 科学通报, 50(19):2127~2135.
- 周明镇, 程政武, 王元青. 1991. 记辽西以侏罗纪哺乳动物下颌骨[J]. 古脊椎动物学报, 29(3):165~175.

References

- CHEN Wen, JI Qiang, LIU Dunyi, ZHANG Yan, SONG Biao, LIU Xinyu. 2004. Isotope geochronology of the fossil-bearing beds in the Daohugou area, Ningcheng, Inner Mongolia[J]. Geological Bulletin of China, 23(12):1165~1169(in Chinese with English abstract).
- CHOW M, RICH T. 1982. *Shouterium dongi*, n. gen. and sp., a thesian with pseudo-tribosphenic molars from the Jurassic of Sichuan, China[J]. Australian Mammalogy, 6:127~142.
- CHOW M, RICH T. 1984. A new triconodonta (Mammalia) from the Jurassic of China[J]. J. Vert. Paleont., 3(2):220~231.
- GAO Keqing, Ren Dong. 2006. Radiometric dating of ignimbrite from Inner Mongolia provides on indication of a post-Middle Jurassic age for the Daohugou Beds[J]. Acta Geologica Sinica, 80(1):42~45.
- HE Huaiyu, WANG Xiaolin, ZHOU Zhonghe, ZHU Rixiang, JIN Fan, Wang Fei, Ding X, BOVEN A. 2004. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of ignimbrite from Inner Mongolia, northeastern China, indicates a post-Middle Jurassic age for the overlying Daohugou Bed[J]. Geophysical Research Letters, 31(20):L20609, doi: 10.1029/2004GL020792.
- JI Qiang, YUAN Chongxi. 2002. Discovery of Two Kinds of Protofeathered Pterosaurs in the Mesozoic Daohugou Biota in the Ningcheng Region and Its Stratigraphic and Biologic Significances[J]. Geological Review, 48(2):221~224(in Chinese with English abstract).
- JI Qiang, CHEN Wen, WANG Wuli, JIN Xiaochi, ZHANG Jianping, LIU Yongqing, ZHANG Hong, YAO Peiyi, JI Shuan, YUAN Chongxi, ZHANG Yan, YOU Hailu. 2004. Mesozoic Jehol Biota of western Liaoning, China[M]. Beijing: Geological Publishing House.
- JI Qiang, LIU Yongqing, CHEN Wen, JI Shuan, LU Junchang, YOU Hailu, YUAN Chongxi. 2005. On the Geological Age of Daohugou Biota[J]. Geological Review, 51(6):609~612(in Chinese with English abstract).
- JI Qiang, LUO Zhexi, YUAN Chongxi, TABRUM A R. 2006. A Swimming Mammaliaform Middle Jurassic and Ecomorphological Diversification of Early Mammals[J]. Science, 311:1123~1127.
- LIU Yongqing, LIU Yanxue, JI Shuan, YANG Zhiqing. 2006. U-Pb zircon age for the Daohugou Biota at Ningcheng of Inner Mongolia and comments on related issues[J]. Chinese Science Bulletin, 51(21):2634~2644.
- LIU Yongqin, LIU Yanxue, LI Peixian, ZHANG Hong, ZHANG Lijun, LI Yin, XIA Haodong. 2004. Daohugou biota-bearing lithostratigraphic succession on the southeastern margin of the Ningcheng basin, Inner Mongolia, and its geochronology[J]. Geological Bulletin of China, 23(12):1180~1187(in Chinese with English abstract).
- LUO Zhexi, JI Qiang, YUAN Chongxi. 2007. Convergent Dental Adaptations in Pseudotribosphenic and Tribosphenic Mammals[J]. Nature, 450:93~97.
- MENG Jin, HU Yaoming, WANG, Yuanqing, WANG Xiaolin, LI Chuankui. 2006. A Mesozoic gliding mammal from northeastern China[J]. Nature, 444:889~893.
- OSBORN H F. 1888. On the structure and classification of the Mesozoic Mammals[J]. Acad. Nat. Sci. Philadelphia Jour., 2(9):186~263.
- REN Dong, GAO Keqin, GUO Ziguang, JI Shuan, TAN Jingjing, SONG Zhuo. 2002. Stratigraphic division of the Jurassic in the Daohugou area, Ningcheng, Inner Mongolia[J]. Geological Bulletin of China, 21(8~9):584~588(in Chinese with English abstract).
- SIGOCNEAU-RUSSELL D. 1998. Discovery of a Late Jurassic Chinese mammal in the upper Bathonian of England[J]. C. R. Acad. Sci. II, 327:571~576.
- TROFIMOV B A. 1978. The first triconodonts (Mammalia, Triconodonta) from Mongolia[J]. Dokl. Akad. Nauk. SSSR., 243(1):213~216.
- WANG Yuanqing, CLENEMS W A, HU Yaoming, LI Chuankui. 1998. A probable pseudo-tribosphenic upper molar from the Late Jurassic of China and the early radiation of the Holotheria[J]. J. Vert. Paleontol., 18:777~787.
- WANG Xiaolin, ZHOU Zhonghe, HE Huaiyu, JIN Fan, WANG Yuanqing, ZHANG Jiangyong, WANG Yuan, XU Xing, ZHANG Fuchang. 2005. Stratigraphy and age of the Daohugou Bed in Ningcheng, Inner Mongolia[J]. Chinese Science Bulletin, 50(20):2369~2376.
- WANG Xiaolin, WANG Yuanqing, ZHANG Fucheng, ZHANG Jiangyong, ZHOU Zhonghe, JIN Fan, HU Yaoming, GU Gang, ZHANG Haichun. 2000. Vertebrate biostratigraphy of the Lower Cretaceous Yixian Formation in Lingyuan, western Liaoning and its neighboring southern Nei Mongol (Inner Mongolia), China[J]. Vertebrata Palasiatica, 38(2):81~99(in Chinese with English abstract).
- XU Xing, ZHANG Fucheng. 2005. A new maniraptor dinosaur form China with long feathers on the metatarsus[J]. Naturwissenschaften, 92:173~177.
- YABE H, SHIKAMA T. 1938. A new Jurassic Mammalia from South Manchuria[J]. Proc. Imp. Acad., 14(9):353~357.
- YOUNG Chungchien. 1958. On a new locality of Yabeinosaurus tenuis Endo and Shikama[J]. Vert. Palasiat., 2(2~3):151~156.
- ZHOU Mingzhen, CHENG Zhengwu, WANG Yuanqing. 1991. A mammalian lower jaw from the Jurassic of Lingyuan, Liaoning[J]. Vertebrata Palasiatica, 29(3):165~175(in Chinese with English abstract).