

# 浙江白垩纪镰刀龙类恐龙

钱迈平<sup>1</sup>, 张宗言<sup>1</sup>, 姜 杨<sup>1</sup>, 蒋严根<sup>2</sup>, 张元军<sup>2</sup>, 陈 荣<sup>1</sup>, 邢光福<sup>1</sup>

(1. 南京地质矿产研究所, 江苏 南京 210016; 2. 浙江省天台县国土资源局, 浙江 天台 317200)

**摘要:**浙江白垩系中戴组和赖家组地层先后发现镰刀龙超科(Therizinosauridae)恐龙骨骼化石,证明镰刀龙类恐龙生活区域不仅遍及蒙古、哈萨克斯坦、中国华北、东北、华南及北美西部等地,而且也包括中国的华东。这类曾长期令人困惑的奇异动物,随着近一个世纪的化石材料积累和研究,逐渐显现出它们的演化过程,即由食肉性恐龙演化成以素食为主,也许还兼肉食的杂食性恐龙。随着食物来源的扩展,镰刀龙类成为白垩纪分布很广、对环境适应性很强、演化十分成功的恐龙。浙江天台盆地发现的始丰天台龙(*Tiantaisaurus sifengensis*)脊椎骨骼化石上的气囊构造(pneumaticity),说明其虽体态硕大,但骨骼结构并不笨重,而是与现代鸟类骨骼很接近。尽管还不能确定恐龙的气囊能像鸟类的那样可作为呼吸系统的重要部分,但其减轻体重、提高行动灵活性的作用是毋庸置疑的,并再一次证实了恐龙与鸟类在演化上关系密切。

**关键词:**镰刀龙类;恐龙;鸟类;白垩纪;浙江天台

中图分类号:Q915.2<sup>+</sup>3

文献标识码:A

文章编号:1674-3636(2012)04-0337-12

## 0 引言

自20世纪70年代以来,浙江多处白垩纪陆相沉积地层中,已发现各种类型的恐龙骨骼及蛋化石(方晓思等,2000,2003;唐烽等,2001;钱迈平等,2007,2008a,2008b,2009a,2009b),其中多次发现属于镰刀龙超科的恐龙骨骼及蛋化石(钱迈平等,2007)。考虑到古生物形成化石的条件极其苛刻,形成化石的几率非常低,由此足以说明当时这类恐龙的种群在浙江地区分布是相当广泛的。

## 1 构造地质背景、沉积环境

浙江地区东临太平洋,在中生代晚期,受环太平洋构造带板块运动作用影响,火山活动频繁,形成了一系列大小不一、受多种构造线控制的断陷盆地(翁世颀等,1987;李龙通,1989;蒋维三等,1993;马武平,1994,1997)。至早白垩世晚期(Aptian—Albi-

an期),火山作用减弱,盆地主要接受河湖相紫红色细碎屑岩沉积,偶尔也夹带火山喷发的玻屑凝灰质沉积,如横山组上部、朝川组(锆石U-Pb同位素年龄114.3 Ma)、赖家组(锆石U-Pb同位素年龄114 Ma)。进入晚白垩世早期(Cenomanian期)随着湖盆沉积中心的转移,形成河流及洪积相的紫红色粗碎屑为主,局部夹河流泛滥的较细碎屑沉积,如中戴组、金华组、赤城山组(锆石U-Pb同位素年龄97 Ma)和方岩组(表1)。

## 2 镰刀龙超科恐龙化石

中戴组和赖家组地层中已发现了镰刀龙超科(Therizinosauridae)恐龙骨骼化石。其中,中戴组恐龙化石发现地点在金衢盆地金华市汤溪镇中戴村附近。化石是一个破碎的右胫骨和一个保存较为完好的后足(图1)。1972年被发现,最初命名“浙江吉蓝泰龙(*Chilantaisaurus zhejiangensis*)”(董枝明,1979)。

收稿日期:2012-02-13;编辑:詹庚申

基金项目:国家自然科学基金(40872006,40672041),国家自然科学基金青年科学基金(41002024),中国地质调查局地质调查工作项目(1212011121099),中国地质调查局基础地质综合研究项目(1212010610611),国土资源部公益性行业科研专项经费项目(200811015)

作者简介:钱迈平(1954—),男,研究员,博士后,地层古生物专业,E-mail:qianmaiping@yahoo.com.cn

表1 浙江白垩系

时代	地区	
	浙西	浙东
上覆地层	古近系	中新统 嵊县组
上白垩统	桐乡组	
	衢县组	
	金华组	
	中戴组	
下白垩统	横山组	朝川组/赖家组 锆石U-Pb同位素年龄114.3 Ma /114 Ma
		馆头组
	寿昌组	九里坪组 茶湾组
	黄尖组	西山头组 高坞组
	劳村组	大爽组 锆石 U-Pb 同位素年龄 154 Ma
下伏地层	新元古界/古生界	

“吉蓝泰龙 (*Chilan-taisaurus*)”这个属,是根据发现于内蒙古阿拉善左旗吉蓝泰盐湖 60 km 毛儿图鄂博东北大水沟上白垩统的残缺头骨、肱骨、股骨、胫骨、肠骨及指爪化石建立的,最初描述 2 个种:“大水沟吉蓝泰龙 (*Chilantaisaurus tashuikouensis*)”和“毛儿图吉蓝泰龙 (*Chilantaisaurus maortuensis*)”。模式种是“大水沟吉蓝泰龙”,标本包括残破的头骨和部分颅后骨骼化石;“毛儿图吉蓝泰龙”标本仅有破碎的颅后骨骼化石。“大水沟吉蓝泰龙”具有粗壮而硕长的肱骨,类似于异特龙的肱骨,但长度有 2 倍之多。当时认为属于蜥臀目 (*Saurischia*) 兽足亚目 (*Theropoda*) 肉食龙类 (*Carnosauria*) 跃龙超科 (*Allosauroidae*) 跃龙科 (*Allosauridae*) 恐龙,系统演化关系上与跃龙 (*Allosaurus*) 接近 (胡寿永, 1964)。

另一个被归入“吉蓝泰龙”的种是“西伯利亚吉蓝泰龙 (*Chilantaisaurus sibiricus*)” (Molnar, et al, 1990),但这个种仅建立在 1 枚不完整的第 2 跖骨远端化石上,此前曾先后被命名为“西伯利亚跃龙 (*Allosaurus sibiricus*)” (Riabinin, 1915) 和“西伯利亚腔躯龙 (*Antrodemus sibiricus*)” (Steel, 1970)。

加上浙江金华发现的“浙江吉蓝泰龙”共 4 个种,都是零星破碎的骨骼化石。近年的研究认为“大水沟吉蓝泰龙”和“西伯利亚吉蓝泰龙”很可能接近棘龙超科 (*Spinosauroidae*) 恐龙;而“浙江吉蓝

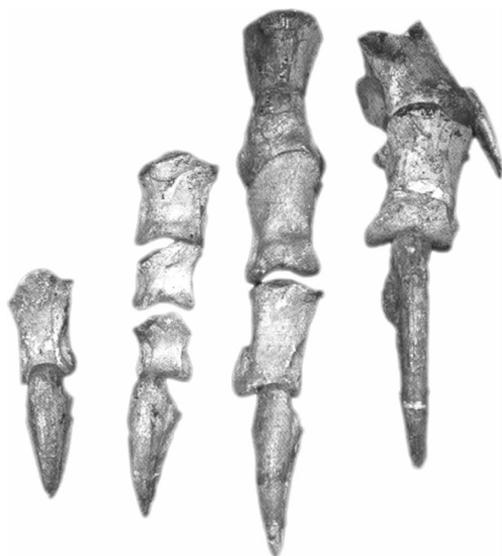


图1 镰刀龙超科 (*Therizinosauridae*) 恐龙 (曾被命名为“浙江吉蓝泰龙 *Chilantaisaurus zhejiangensis*”) 的右足趾骨骨骼化石

(浙江自然博物馆标本登记号: ZMNH V001; 产地: 浙江省金华市汤溪镇中戴村附近; 时代: 晚白垩世早期; 层位: 中戴组)

泰龙”应属于镰刀龙超科 (*Therizinosaurioidea*), 系统演化关系上与慢龙 (*Segnosaurus*) 接近 (Benson et al, 2008; Brusatte et al, 2009)。因此,“吉蓝泰龙”这个属实际上已被许多研究者废弃。

另一处镰刀龙超科恐龙骨骼化石发现地点是天

台县街头镇方山村,化石埋藏层位是白垩系赖家组上部(锆石 U-Pb 同位素年龄 101 Ma)。2005 年挖掘出 1 具不完整的化石骨架,标本包括:颈椎 12 个,背椎 9 个,尾椎 28 个,13 条近完整的背肋;腰带仅保存 1 对不完整的肠骨,1 个近完整的左耻骨,1 个右坐骨的远端,后肢仅保存左侧股骨远端,完整的胫骨和腓骨相连,左右距骨存在。虽缺失头骨、荐椎、前肢和脚,但仍是迄今为止在浙江发现的最完整的恐龙骨架化石。

其特征是:推测颈部共有 13 个颈椎,颈椎由前向后逐渐增长,最长的颈椎是第 7—8 颈椎,其椎体长为背椎体长的 2 倍,向后颈椎又开始递减。颈椎双平型,神经棘短粗,椎体上有气囊构造(pneumaticity)。背椎椎体呈平凹型,侧凹不发育,耻骨、坐骨板状,远端不愈合。

2006 年对这些骨骼化石进行复原,拼装成一具恐龙骨架(图 2)。身长约 5.5 m,身高超过 3 m,后肢长而健壮,前肢短而细小,大腹便便,说明其肠道较长,适合消化大量难以消化的植物纤维,身手并不十分敏捷。但它仍具有兽足类肉食恐龙那样尖利的爪子,可能也捕食小型动物,荤素杂食。董枝明、陈克樵和蒋严根等合作研究后认为这是一种新的慢龙类恐龙,并于 2007 年撰写了论文初稿,进行了系统分类和描述,命名为始丰天台龙(*Tiantaisaurus sifengensis*),但至今未见正式发表。

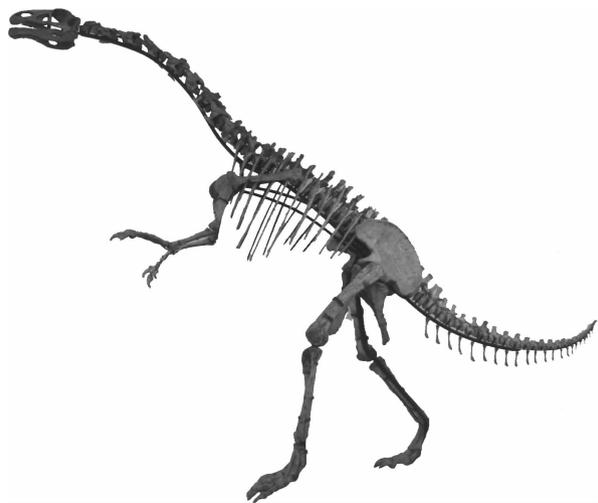


图 2 始丰天台龙(*Tiantaisaurus sifengensis*)恐龙骨架复原

(产地:天台县街头镇方山村;时代:早白垩世晚期 Albian 期,锆石 U-Pb 法同位素年龄 114 Ma;层位:赖家组)

## 3 讨论

### 3.1 镰刀龙类的化石记录及时空分布

镰刀龙类化石自 1954 年发现以来,已先后描述发表了至少 13 个属,其发现地点分布在蒙古、哈萨克斯坦、中国内蒙古、辽宁、甘肃、广东、美国犹他州、新墨西哥州等广大地区,时代跨度除 1 件标本是早侏罗世的外,其余都是白垩纪的。关于那件标本,是 1 枚不完整左下颌骨化石,发现于中国云南下侏罗统 Hettangian 阶下禄丰组,被命名为出口峨山龙(*Eshanosaurus deguchiianus*)(Xu et al, 2001),虽被归入镰刀龙超科,但因化石材料过于残缺,并未被普遍确认。另外一个被命名为蒙古秘龙(*Enigmosaurus mongoliensis*)的属(Barsbold et al, 1983),也因标本仅为一骨盆化石,又与此前发表的安氏死神龙(*Erlikosaurus andrewsi*)化石在体形大小、发现地点和层位上相同(Barsbold et al, 1980),被普遍认为很可能是其同物异名。所以,除了 2005 年浙江发现的始丰天台龙(*Tiantaisaurus sifengensis*)未正式发表外,目前已发表并确认的镰刀龙类恐龙,实际只有 11 个属,其特征根据发表的先后次序分别简述如下。

3.1.1 龟型镰刀龙(*Therizinosaurus cheloniformis*) 化石很不完整,包括巨大的指爪和残缺的前、后肢、脚、脊椎和牙齿,主要参考后来发现的其他镰刀龙类化石来重建其特征。双足行走,从宽大的骨盆可看出其拥有大型身体。手臂长度 2.5 m。脚上 4 个脚趾,其中 3 个用来支撑身体,趾爪短而弯曲。第一趾爪缩短成上爪,与其他兽脚亚目恐龙不同。最显著的特征是手部的 3 个巨大指爪,其中最长的第二指爪,长度可接近 1 m(Barsbold, 1983; Rozhdestvensky, 1970a, 1970b)(图 3)。

因未发现头骨,其食性仍在争论中,但最可能以植食性为主,可用长手臂和大型指爪抓取树叶送入嘴中,生活方式可能类似现代大猩猩(*Gorilla*)或渐新世的大地懒(*Megatherium*)。也有认为它们可用指爪将大型白蚁冢挖开,以白蚁为食。但根据其巨大的体型来看,似乎不太可能靠捕食昆虫来支撑日常活动的体能消耗,而且它们宽大的嘴与平坦牙齿显示应该是以植物为食(Svarney et al, 2003)。其指爪可能还有其他功能,如抵抗掠食动物(如同时

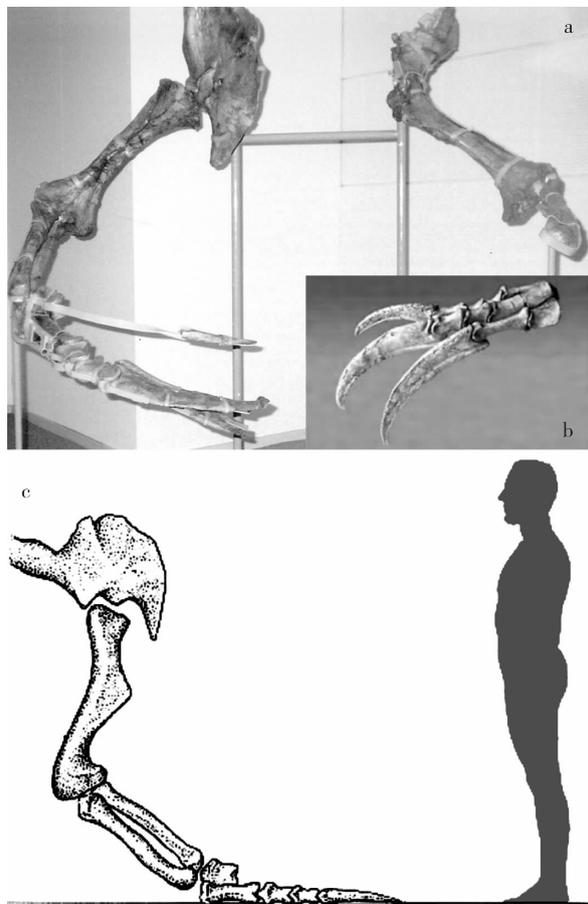


图3 龟型镰刀龙(*Therizinosaurus cheloniformis* Maleey, 1954) 骨骼化石

a-上肢;b-指爪;c-下肢

(时代:晚白垩世,约71 Ma;地点:蒙古、哈萨克斯坦;身长:8~11 m)

代、同地区的特暴龙 *Tarbosaurus*), 以及物种内的竞争打斗(可能是为了领地或求偶)。

3.1.2 戈壁慢龙(*Segnosaurus galbinensis*) 正型标本包括下颌, 肱骨残部, 前肢, 分离的手指骨, 几乎完整的骨盆, 不完整的右股骨, 腕骨残部, 不完整的尾椎。头就身体而言显得颇小, 上肢短小, 生有3个“手指”, 指尖有利爪。同其他两足行走的肉食恐龙一样, 它颌后部生有能切割食物的利齿, 但颌前部却是一个无牙的喙嘴, 这又与某些食植物的动物特征相同。慢龙的腿也与普通食肉动物不同, 它两腿粗短矮壮, 脚板宽厚, 生有4趾。根据该化石发现地点也发现了带蹼的足迹化石, Perle (1979) 认为慢龙的脚可能是蹼足, 可在水中游泳或徒涉, 用爪或无齿的喙捕鱼吃, 但目前尚无定论, 仍有可能只是素食恐

龙, 它的喙仅用来撕咬树叶(图4)。

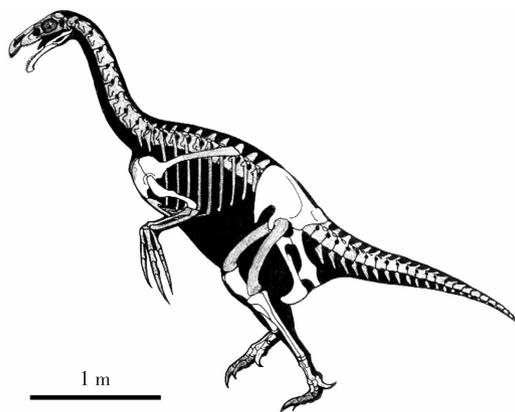


图4 戈壁慢龙(*Segnosaurus galbinensis* Perle, 1979) 骨骼化石复原

(时代:晚白垩世, 93~89 Ma;地点:蒙古;身长:4~6 m)

### 3.1.3 短棘南雄龙(*Nanshiungosaurus brevispinus*)

化石包括11个颈椎(仅缺失环椎), 10个背椎, 5个荐椎, 第1尾椎, 并伴随一几乎完整的骨盘。颈很短, 前方颈椎是呈两凹型, 后方颈椎则是呈后凹型。背椎双凹型;侧腔很浅, 背部神经棘低平而宽阔。5个荐椎结合在一起, 荐椎神经棘低平并连结在一起;尾椎则双凹型。骨盆肠骨低平, 前方骨突发育并向外伸出;耻骨直, 外缘很厚;坐骨很薄似板状, 后端延伸并接合;髁骨白大而圆形(董枝明, 1979)(图5)。

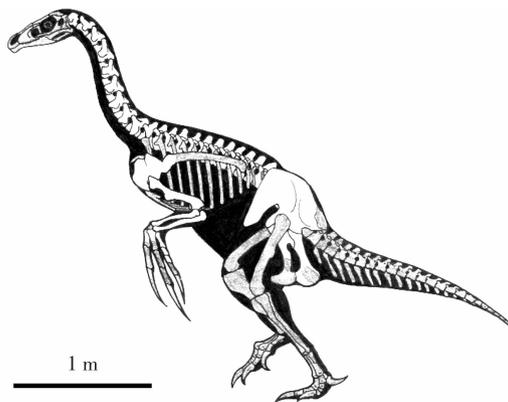


图5 短棘南雄龙(*Nanshiungosaurus brevispinus* Dong, 1979) 骨骼化石复原

(时代:晚白垩世, 约71 Ma;地点:中国广东;身长:约4 m)

3.1.4 安氏死神龙(*Erlikosaurus andrewsi*) 已发现完整的带有下颌的头骨, 一些颈椎碎片, 左肱骨及右足等骨骼化石。其上、下颌前端无齿, 外鼻孔横向延伸, 次生腭发育良好(Barsbold et al, 1980)。此外,

后来在同一地点和层位又发现一些残缺的骨骼化石,包括一几乎完整的骨盆,仅缺失右坐骨。其大小为肠骨约 650 mm,坐骨约 524 mm,耻骨约 634 mm。1983 年被命名为蒙古秘龙(*Enigmosaurus mongoliensis*) (Barsbold et al, 1980),很可能也属于死神龙(图 6)。

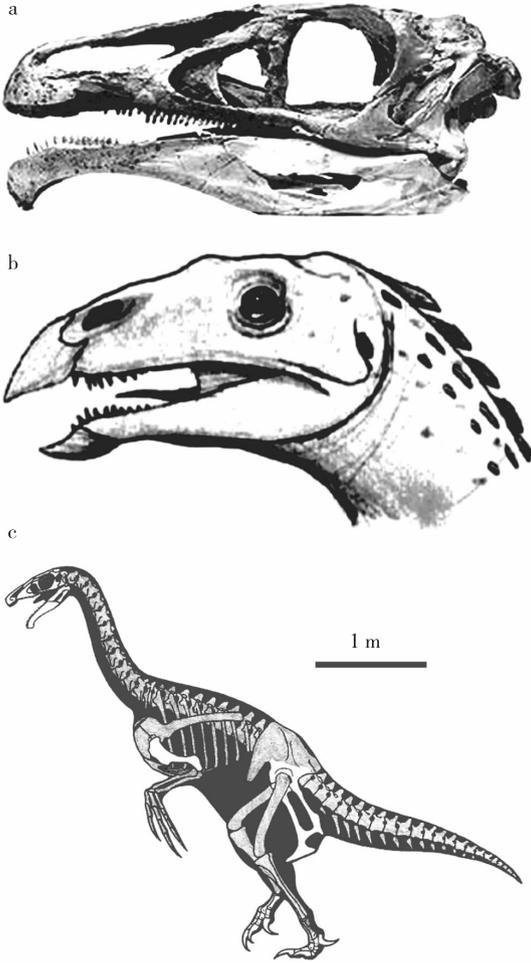


图 6 安氏死神龙(*Erlikosaurus andrewsi* Perle vide Barsbold et al, 1980)

a、b-头骨化石及复原;c-骨骼化石复原

(时代:晚白垩世,93~89 Ma;地点:蒙古;身长:约 6 m)

1972 年死神龙头骨化石被发现时,此前还从未发现过镰刀龙类的头骨化石,而且迄今它仍是已知最完整的镰刀龙类头骨化石(Lindsay, 2010)。死神龙比大多数镰刀龙类小,与慢龙相当,但是其爪子更锐利发达。该物种也许是最原始的站立起来的镰刀龙类,其脊椎可把身体抬升到合适的位置,短腿,短尾,不善奔跑。其习性可能是安静地坐在树下,用巨大的爪钩取植物的鲜嫩枝叶或刨取植物的块茎送到嘴里。或可能用其长爪掘地,搜寻穴居地下的大昆

虫或小哺乳动物为食。

### 3.1.5 阿莱斯台阿拉善龙(*Alxasaurus elestaiensis*)

化石发现于中国内蒙古阿拉善沙漠的阿莱斯台村附近下白垩统巴彦戈壁组,是迄今为止在亚洲发现的保存最完整的白垩纪早期兽脚类标本。已发现 5 具骨架化石,其中最大、保存最好的被作为正型标本,包括下颌、牙齿、肢骨、肋骨和脊椎骨,脊椎包括全部 5 个荐椎和第 1—19 尾椎。前肢长约 1 m,后肢长约 1.5 m(图 7)。



图 7 阿莱斯台阿拉善龙(*Alxasaurus elestaiensis* Russell et al, 1993) 骨骼复原

(时代:早白垩世,约 112 Ma;地点:中国内蒙古;身长:3.5~4 m)

与其他兽脚类的不同之处很多,如牙齿数目超过 40 个,齿骨联合部也有牙齿;肋骨与脊椎骨未愈合;韧带窝发育良好;肠骨的前后较长;爪较短等。最重要的发现是它的半月形腕骨,这也是兽足类中的手盗龙类(maniraptoran),包括盗蛋龙类(oviraptorosaurs)、驰龙类(dromaeosaurs)、伤齿龙类(troodontids)和鸟类的特征(Russell et al, 1993)。

3.1.6 意外北票龙(*Beipiaosaurus inexpectatus*) 化石发现于中国辽宁北票地区下白垩统,正型标本包括颅骨碎片、下颌、3 个颈椎、4 个背椎、1 个尾椎、肩胛骨及乌喙骨,完整的前肢和带后肢的完整骨盆。最重要的是发现其身上长有类似羽毛的结构,特别是前肢尺骨位置的毛长达 7 cm(图 8)(Xu et al, 1999a)。



图 8 意外北票龙(*Beipiaosaurus inexpectatus*, Xu et al, 1999a)

(时代:早白垩世,约 120 Ma;地点:中国辽宁;身长:约 2 m)

3.1.7 杨氏内蒙古龙(*Neimongosaurus yangi*) 正型标本为一较完整骨架,是已知镰刀龙类恐龙中第一件在同一个体中保存大多数脊椎和几乎所有肢骨的标本。其属于镰刀龙超科的特征包括:U形的下颌联合部、齿骨前端向下弯曲、齿骨前部没有牙齿、牙齿有一个收缩的基部、近圆形的齿根和叶形的齿冠、前部颈椎的神经脊低矮而轴向较长、后部颈椎背视呈X形、肱骨近端角状、肱骨有后转子、肱骨的尺骨髁和挠骨髁位于前部并为一狭窄槽分开、肠骨的耻骨柄细长而坐骨柄短以及跖部短;其有别于其他镰刀龙类恐龙的特征包括:前部尾椎横突下部有一圆形的窝,桡骨二头肌结节非常发育,后足趾节近端跟部非常发育,胫骨的腓骨嵴长,明显超过胫骨长度的一半,肠骨髁臼前支外侧面转向背方,尾椎前关节突向两侧侧伸明显(图9)。

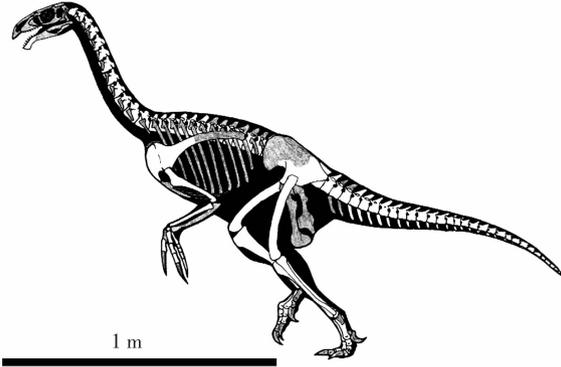


图9 杨氏内蒙古龙(*Neimongosaurus yangi* Zhang et al, 2001) 骨骼化石复原

(时代:晚白垩世,65~70 Ma;地点:中国内蒙古;身长:约2 m)

镰刀龙类有一些其他手盗龙类所没有的特征,表明这类恐龙较原始,可能和似鸟龙类(ornithomimosaurs)关系较近(Sereno, 1999);但也有另一些证据表明镰刀龙类较进步,可能和盗蛋龙类(oviraptorosaurs)关系较近(Makovicky et al, 1998; Xu et al, 1999)。内蒙古龙高度气孔化的脊椎和进步的肩带形态表明镰刀龙类相当进步,其加长的颈部和缩短的尾部等特征非常类似于盗蛋龙类,这些特征的出现支持了镰刀龙类和盗蛋龙类的系统关系较近的假说(Zhang et al, 2001)。

3.1.8 麦金利山懒爪龙(*Nothronychus mckinleyi*) 正型标本发现于美国新墨西哥州祖尼盆地(Zuni Basin),包括7个颈椎、肩胛骨、前肢、不完整的指爪,肋骨、坐骨、胫骨、腓骨、跖骨、指趾骨及1个尾

椎(图10)(Kirkland et al, 2001)。



图10 麦金利山懒爪龙(*Nothronychus mckinleyi*, Kirkland et al, 2001) 骨骼复原

(时代:晚白垩世,约89 Ma;地点:美国新墨西哥;身长:4.5~6 m)

3.1.9 美掌二连龙(*Erliaosaurus bellamanus*) 化石发现于内蒙古自治区二连浩特西南20 km 苏尼特左旗上白垩统二连组地层,正型标本包括颅骨、肩胛骨及肱骨。特征为肩胛骨干远端狭窄,肱骨近端角状,肱骨有后转子等(徐星等,2002)(图11)。



图11 美掌二连龙(*Erliaosaurus bellamanus*, Xu et al, 2002) 骨架复原模型

(时代:晚白垩世,65~70 Ma;地点:中国内蒙古;身长:约3 m)

3.1.10 犹他铸镰龙(*Falcarious utahensis*) 化石发现于美国犹他州东部雪松山组(Cedar Mountain Formation)黄猫段(Yellow Cat member)地层,挖掘地点约200 m,发现约数百、甚至数千化石标本,仅少量发掘出来。其中包括几具铸镰龙骨架化石,有类似鸟类的骨盆、较大的头骨、颈椎骨高度气孔化。根据其长颈、叶状牙齿及10~13 cm长的指爪,显示它们可取食高处的树叶或果实,或捕食小动物(Kirkland et al, 2005)。



图 12 犹他铸镰龙 (*Falcarius utahensis*, Kirkland et al, 2005) 骨架复原模型

(时代:晚白垩世,65~70 Ma;地点:美国犹他州;身长:3.7~4 m)

3.1.11 似大地懒肃州龙 (*Suzhousaurus megatherioides*) 化石发现于中国甘肃省俞井子盆地的新民堡群,包含部分的头骨与上肢化石。其肱骨的特征,属镰刀龙类特有。区别于其他已知镰刀龙类的特征包括:肩关节盂较浅,肩关节盂的肩胛骨关节面内上方有一圆形并具条饰的突起;耻骨前缘明显内凹(Li et al, 2007)(图 13)。



图 13 肃州龙 (*Suzhousaurus megatherioides*, Li et al, 2007) 骨骼复原模型

(时代:早白垩世;地点:中国甘肃;身长:约 10 m)

浙江镰刀龙类恐龙骨骼化石的发现,显示这类恐龙的生活区域不仅遍及蒙古、哈萨克斯坦、中国华北、东北、华南及北美等地,而且也包括中国华东。说明这是一类在白垩纪分布很广,对环境适应性很

强,演化十分成功的恐龙(图 14)。徐星等人(2001)记述的云南峨山早侏罗世峨山龙(*Eshanosaurus*)也被归入镰刀龙超科。尽管化石材料仅 1 枚不完整左下颌骨,目前一些论著和文献仍未将其归入镰刀龙超科,但也引起一些关注,不排除镰刀龙类在早侏罗世就已出现的可能性。最近,四川綦江发掘出 1 具不完整的大型恐龙骨架,已清理出 10 节尾椎、4 节颈椎、1 根肋骨及近 10 块脉弓,推测身长约 15 m,身高约 4 m,初步鉴定属镰刀龙类,但尚未进行系统描述和研究。可见,镰刀龙超科恐龙的生活范围很可能还包括中国西南地区。

### 3.2 系统分类

镰刀龙超科恐龙化石最早发现于 1948 年,当时的苏联与蒙古组成的化石挖掘队,在蒙古的上白垩统纳摩盖吐组(Nemegt Formation)发现 3 个不完整的大型动物的指爪化石,推测单个指爪长约 1 m(图 15)。后 Maleev (1954)发表了该化石的系统描述,命名 *Therizinosaurus cheloniformis*,并为此专门建立了 Therizinosauoidea 超科和 Therizinosauridae 科,认为是类似乌龟的大型爬行动物化石。此后,又发现了牙齿、肩胛骨、乌喙骨、肱骨、桡骨、尺骨、腕骨、掌骨、指骨、指爪、背肋和胃骨片(Barsbold, 1976)。由此,古生物学家得以组合出这种动物的骨架,这才认定它们是一种恐龙,*Therizinosaurus cheloniformis* 被称为龟型镰刀龙,但其分类位置长期不清楚。

直到 20 世纪 70 年代,随着几个镰刀龙近亲的发现,才逐渐理清了这类恐龙的系统分类和演化位置。如戈壁慢龙(*Segnosaurus galbinensis*)(Perle, 1979),因正型标本化石材料比镰刀龙的完整,得以进一步了解这类恐龙的大致面貌。其中最重要的发现是其骨盆的独特形态。以往恐龙通常分为鸟臀目(Ornithischia)和蜥臀目(Saurischia)两大类,区别是鸟臀目的耻骨和坐骨并排向后伸;蜥臀目的耻骨向前伸,坐骨向后伸。慢龙虽大部分特征属于蜥臀目兽足亚目,但骨盆却像鸟臀目那样,耻骨和坐骨并排向后伸(图 16)。

由于镰刀龙类恐龙具有非常独特的特征,加上化石材料非常残缺,令早期的研究者十分困惑,其分类位置曾长期争论不休。例如,镰刀龙类的长颈、大腹、4 个大脚趾和植食性的特征,非常类似原蜥脚类;坐骨向后伸,却给人以鸟臀目恐龙的印象。Gregory 和董枝明就认为它们是存活到很晚期的原

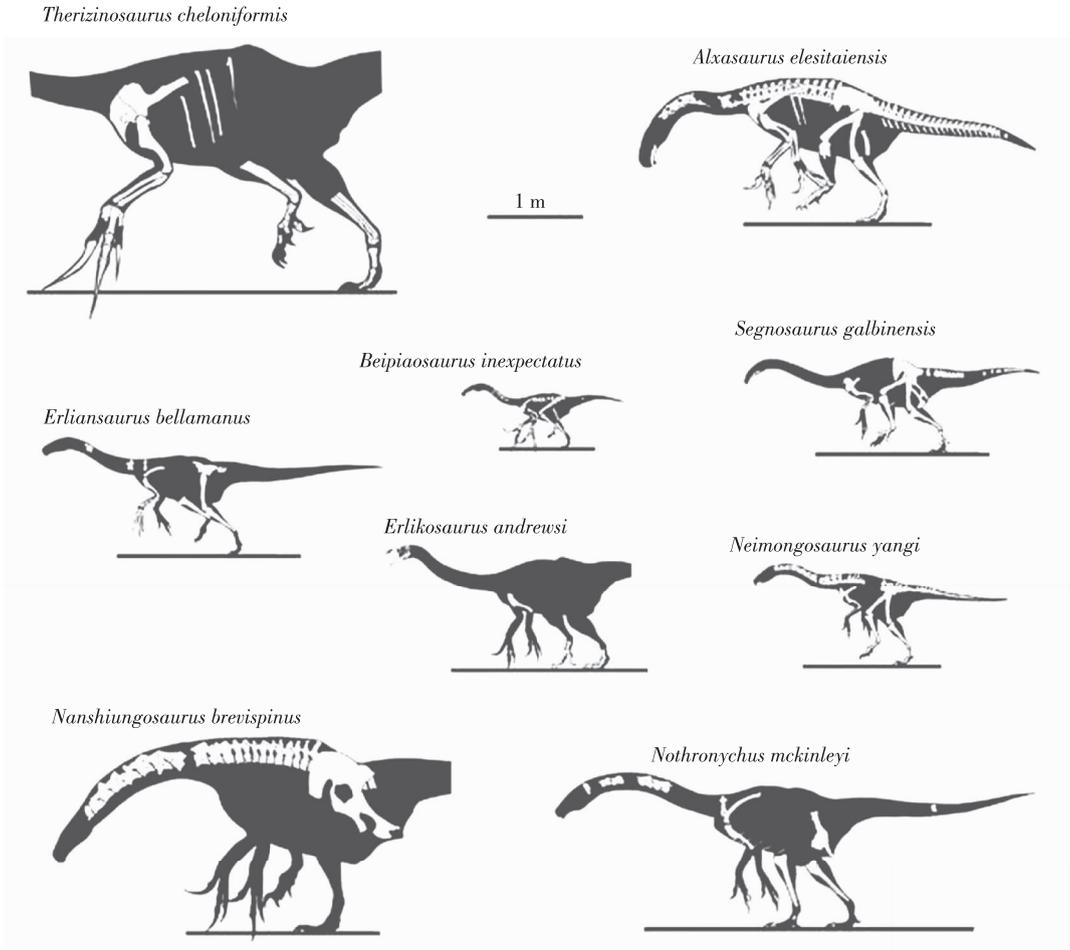


图 14 镰刀龙类一些属种骨骼化石复原对比



图 15 镰刀龙 (*Therizinosaurus*) 巨大的指爪化石

始恐龙。

因镰刀龙 (*Therizinosaurus*) 正型标本过于残缺, 在过去相当长的一个时期, 化石标本相对较完整的慢龙 (*Segnosaurus*) 实际上更加引人关注。起初归入蜥脚形亚目的原蜥脚形次亚目, 所以早期的复原图将它们描绘成半四足行走动物。随着 1990 年代保存较好的化石材料的发现, 如: 阿莱斯台阿拉善龙 (*Alxasaurus elesitaiensis*) (Russell et al, 1993) 和意外北票龙 (*Beipiaosaurus inexpectus*) (Xu et al, 1999),

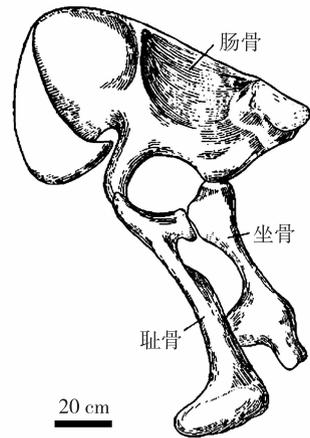


图 16 慢龙 (*Segnosaurus*) 独特的骨盆结构

呈现出半月形腕骨及类似羽毛的结构。由此, 目前大多认为镰刀龙超科应属于兽脚亚目的手盗龙类,

新的复原图也将它们描绘成两足行走动物。

Barsbold 等(1980)认为镰刀龙类属于兽脚亚目的一个独特分支,应建立慢龙下目(Segnosauria)。而 Dong(1992)则认为慢龙既有别于蜥臀目也不同于鸟臀目,是两者的中间类型,应将慢龙下目升格为慢龙亚目(Segnosaurischia)。但目前普遍认为,镰刀龙超科(Therizinosauroidea)早在 1954 年就已由 Maley 建立,再提出慢龙下目或慢龙亚目显然都是无效的。

### 3.3 演化

根据已发表的骨骼化石材料的对比研究,目前普遍认为镰刀龙类恐龙为拓展食物来源以适应环境的变化,由兽足类肉食性恐龙向素食或荤素兼食的杂食性恐龙演化,最终成为兽足类恐龙中的一个独特类群。它们为了适应吃植物,整个消化系统随之发生巨大改变。因食用植物所提供的热量远不如食用肉类的高,要维持日常活动所需能量必须大量进食,而且还要处理难以消化的粗糙植物纤维。为此,胃容量大幅度增加,肠道成倍延长,必然也带来了骨骼、体态乃至行为特征的一系列演化。经过 30 Ma 的演化,最终具有大型前肢、指爪长、身体宽大、脚具 4 趾爪,头小、颈长、尾短,嘴前端缺乏牙齿,嘴后段牙齿平坦,类似猪牙,前背椎具有高神经弓,背肋宽,骨盆结构类似鸟类,腹部和臀部宽大,身披羽毛的奇特动物。它们可能经常采取坐在地上用发达的指爪取食植物枝叶或果实,体态类似日本相扑运动员。

镰刀龙类恐龙最主要的演化特征表现在骨盆结构上,其演化过程是耻骨由向下伸转为向后伸,有点像鸟类(图 17)。

另一个重要的演化是在头骨,尤其表现在牙齿的分化和排列上,显示由细小、分化不明显、排列紧密的牙齿,向大小不一、分化明显、排列稀疏的牙齿演化。而且上颌前部牙齿趋向退化消失,颌骨前端也相应地扩大并在表面粗糙化——适合着生肌肉发达的厚实嘴唇。这样就可像现代长颈鹿(*Giraffa*)或骆驼(*Camelus*)那样用灵活、坚韧、有力的嘴唇,配合大小不一、错落有致的尖利牙齿,从植物上揪取枝叶食用,也方便撕裂肉食,荤素食都可适应。而且,排列不紧密、甚至有些稀疏的牙齿,不易在牙齿之间残留食物碎屑,有利于牙齿健康(图 18)。

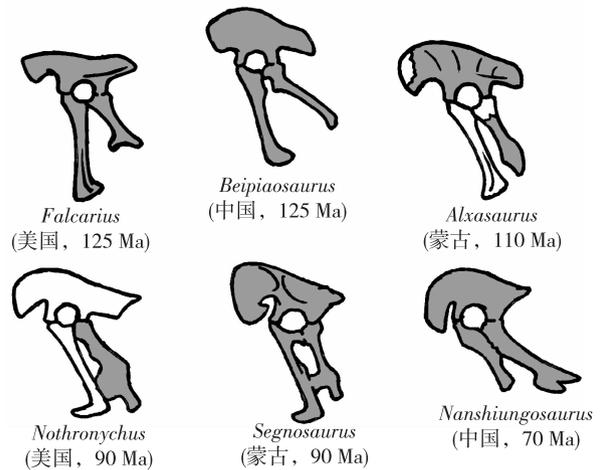


图 17 骨盆结构演化

(耻骨由向下伸转为向后伸,最终与坐骨合并,有点像鸟类)

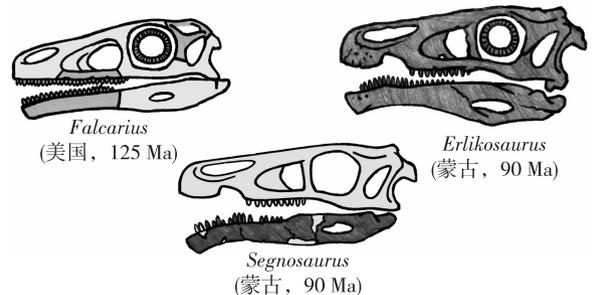


图 18 镰刀龙类头骨演化示意图

(牙齿由细小、分化不明显、排列紧密,向大小不一、分化明显、排列稀疏演化)

浙江天台盆地发现的始丰天台龙(*Tiantaisaurus sifengensis*)脊椎骨骼化石上有气囊构造(pneumaticity),说明其即使体态硕大,但骨骼结构并不笨重,而是与现代鸟类骨骼很接近。现代鸟类为适应飞行,其骨骼已演化成薄壁中空结构以减轻重量,而且还在骨骼和各器官腔体内形成一套发达的气囊系统,以显著提高鸟类飞行时的呼吸效率。以鸽(*Columba*)为例,飞行时呼吸的氧气消耗量是栖息时的 20 多倍,每次吸入胸腔的空气中,约 1/4 在肺里进行  $O_2$ - $CO_2$  气体交换,而约 3/4 却是经过肺进入气囊贮存。当肺里的  $CO_2$  排出体外时,贮存在气囊里的空气就又进入胸腔进行第 2 次  $O_2$ - $CO_2$  气体交换,周而复始。这样就可以吸一口气足够肺腔进行多次  $O_2$ - $CO_2$  气体交换,避免因运动量加大而喘不过气来,造成缺氧损害内脏器官。所以,现代鸟类的气囊分布于身体的各器官和骨骼腔体内,其容积明显超过肺腔,是飞行演化的结果。

恐龙的气囊显然与飞行无关,它的作用首先是为了减轻体重,提高行动的灵活性。至于是否像鸟类那样在大运动量期间有助于提高呼吸效率?目前尚无化石证据支持。联系到镰刀龙类的北票龙(*Beipiaosaurus*)化石上已发现其体表长着类似鸟类羽毛的结构(Xu et al, 1999),很像代谢率旺盛的体温恒定(温血)动物,其呼吸系统应该是相当发达的,所以这种可能性不能排除。

始丰天台龙骨骼内存在气囊构造,再一次证实了恐龙与鸟类在演化上关系密切。此前,已多次发现具备鸟类特征的恐龙,如中华龙鸟(*Sinosauropteryx*,虽命名为鸟,实际是一种兽足类恐龙)(季强等,1996;Chen et al, 1998)、原始祖鸟(*Protarchaeopteryx*,实际也是一种兽足类恐龙)(季强等,1997;Ji et al, 1998)、尾羽龙(*Caudipteryx*)(Ji et al, 1998)、北票龙(*Beipiaosaurus*)(Xu et al, 1999)、小盗龙(*Microraptor*)(Xu et al, 2000, 2003)和耀龙(*Epidexipteryx*)(Zhang et al, 2008)都不但有绒毛,甚至真正地具有羽轴和羽片的羽毛;天青石龙(*Nomingia*)尾端还有用于着生扇形尾羽(舵羽)的尾综骨(pygostyle)(Barsbold et al, 2000);单爪龙(*Mononykus*)(Perle et al, 1993; Chiappe, 1995)、快盗龙(*Velociraptor*)(Norell et al, 1997)、中国乌龙(*Sinornithosaurus*)(Xu et al, 1999)和可汗龙(*Khaan*)都有叉骨-胸骨。此外,中国乌龙(*Sinornithosaurus*)还有可把前肢折叠在身体两侧的半月形腕骨(Xu et al, 1999),单爪龙(*Mononykus*)的眼眶与下颞孔相连(Chiappe, 1995),以及寐龙(*Mei*)也像鸟类那样把头埋在折叠的前肢下睡眠(Xu et al, 2004)等,但它们绝大多数在时代上都比始祖鸟(*Archaeopteryx*)晚。即使个别标本的时代稍微早一些,如耀龙(*Epidexipteryx*)(Zhang et al, 2008)等,也仅仅早了不到1 Ma。所以,就目前的化石证据而言,还不能简单地说鸟类就是从恐龙演化而来的。不过,有一点可以确定:包括镰刀龙超科在内的兽足亚目恐龙与鸟类亲缘关系非常接近,至少它们都有共同的祖先。

## 4 结 论

浙江白垩系中戴组和赖家组地层先后发现镰刀龙超科(*Therizinosauridae*)恐龙骨骼化石,证明镰刀龙类恐龙生活区域不仅遍及蒙古、哈萨克斯坦、北美西部,以及中国华北、东北、华南等地,而且也包括中国的华

东。说明随着镰刀龙类由食肉性恐龙演化成以素食为主,也许还兼肉食的杂食性恐龙,扩大了食物来源,从而使其成为白垩纪分布很广,对环境适应性很强,演化十分成功的恐龙。

浙江天台盆地发现的始丰天台龙(*Tiantaisaurus sifengensis*)脊椎骨骼化石上的气囊构造(pneumaticity),说明其虽体态硕大,但骨骼结构并不笨重,而是与现代鸟类骨骼很接近。尽管还不能确定恐龙的气囊是否可像鸟类的那样作为呼吸系统的重要部分,但其减轻体重、提高行动灵活性的作用是毋庸置疑的,并再一次证实了恐龙与鸟类在演化上关系密切。

## 参考文献:

- 董枝明. 1979. 华南白垩纪的恐龙化石[C]//华南中、新生代红层: 广东南雄华南白垩纪—早第三纪红层现场会议论文集. 北京: 科学出版社, 342-350.
- 方晓思, 王耀忠, 蒋严根. 2000. 浙江天台晚白垩世蛋化石生物地层研究[J]. 地质论评, 46(1): 105-112.
- 方晓思, 卢立伍, 蒋严根, 等. 2003. 浙江天台盆地蛋化石与恐龙的绝灭[J]. 地质通报, 22(7): 512-520.
- 胡寿永. 1964. 内蒙古阿拉善旗肉食龙化石[J]. 古脊椎动物与古人类, 8(1): 42-46.
- 蒋维三, 甄金生, 李龙通, 等. 1993. 浙江白垩系研究[C]. 南京: 南京大学出版社.
- 季强, 姬书安. 1996. 中国最早鸟类化石的发现及鸟类的起源[J]. 中国地质, (10): 30-33.
- 季强, 姬书安. 1997. 原始祖鸟(*Protarchaeopteryx* gen. nov.)——中国的始祖鸟类化石[J]. 中国地质, (3): 38-41.
- 李龙通. 1989. 浙江白垩纪中晚期地层之研究[C]//中国南方白垩系会议论文集. 南京: 南京大学出版社, 103-115.
- 马武平. 1994. 论浙江中生代晚期地层划分[J]. 中国区域地质, 18(2): 91-101.
- 马武平. 1997. 浙江省中生代晚期地层多重划分对比新认识[J]. 地质学杂志, 16(2): 123-129.
- 钱迈平, 邢光福, 陈荣, 等. 2007. 从浙江天台白垩纪蛋化石复原恐龙类群[J]. 地质学刊(原《江苏地质》), 31(2): 81-89.
- 钱迈平, 姜杨, 陈荣, 等. 2008a. 浙江天台晚白垩世伤齿龙(*Troodontids*)蛋化石的新发现[J]. 古生物学报, 47(2): 248-255.
- 钱迈平, 姜杨, 蒋严根, 等. 2008b. 华东白垩纪暴龙类恐龙蛋化石的新发现[J]. 地质学刊(原《江苏地质》), 32(2): 86-97.
- 钱迈平, 应军, 姜杨, 等. 2009a. 浙江白垩纪恐龙化石[J]. 地质学刊, 33(4): 337-345.
- 钱迈平, 章其华, 姜杨, 等. 2009b. 华东白垩纪鸭嘴龙类恐龙蛋化石的发现[J]. 地质学刊, 33(1): 8-27.

- 唐烽,康熙民,金幸生,等. 2001. 浙江江山白垩纪一新的蜥脚类恐龙[J]. 古脊椎动物学报, 39(4):272-281.
- 翁世颀,孔庆寿,黄海. 1987. 浙闽赣粤中生代晚期火山地质[M]. 北京:地质出版社.
- 徐星,张晓虹,保罗·塞雷诺,等. 2002. 内蒙古上白垩统二连组发现一新镰刀龙类[J]. 古脊椎动物学报, 40(3):228-240.
- BARSBOLD R. 1976. New data on *Therizinosaurus* (Therizinosauridae, Theropoda) [in Russian] [C]//DEVÂTKIN E V, ÂNOVSKAÂ N M. Paleontologîâ i biostratigrafiâ Mongolii. Trudy: Sovmestnaâ Sovetsko-Mongol'skaâ paleontologîčeskaâ kspediciâ, 3:76-92.
- BARSBOLD R, PERLE A. 1980. Segnosauria, a new infraorder of carnivorous dinosaurs[J]. Acta Palaeontologica Polonica, 25(2):187-195.
- BARSBOLD R. 1983. Carnivorous dinosaurs from the Cretaceous of Mongolia [in Russian] [J]. Trudy, Sovmestnaâ Sovetsko-Mongol'skaâ paleontologîčeskaâ èkspediciâ, 19:1-120.
- BARSBOLD R, OSMÓLSKA H, WATABE M, et al. 2000. New Oviraptorosaur (Dinosauria, Theropoda) From Mongolia: The First Dinosaur With A Pygostyle[J]. Acta Palaeontologica Polonica, 45(2):97-106.
- BENSON R B J, XU XING. 2008. The anatomy and systematic position of the theropod dinosaur *Chilantaisaurus tashuikouensis* Hu, 1964 from the Early Cretaceous of Alanshan, People's Republic of China[J/OL]. Geological Magazine, 145(6):778-789.
- BRUSATTE S L, BENSON R B J, CHURE D J, et al. 2009. The first definitive carcharodontosaurid (Dinosauria; Theropoda) from Asia and the delayed ascent of tyrannosaurids[J]. Naturwissenschaften, 99(9):1051-1058.
- CHIAPPE L M. 1995. The first 85 million years of avian evolution [J]. Nature, 378:349-355.
- CHEN PEIJI, DONG ZHIMING, ZHEN SHUNAN. 1998. An exceptionally well-preserved theropod dinosaur from the Yixian Formation of China[J]. Nature, 391:147-152.
- CLARK J M, NORELL M A, BARSBOLD R. 2001. Two new oviraptorids (Theropoda: Oviraptorosauria), Upper Cretaceous Djadokhta Formation, Ukhaa Tolgod, Mongolia[J]. Journal of Vertebrate Paleontology, 21(2):209-213.
- DONG ZHIMING. 1992. Dinosaur Faunas of China[M]. Berlin: Springer-Verlag.
- JI QIANG, CURRIE P J, NORELL M A, et al. 1998. Two feathered dinosaurs from northeastern China[J]. Nature, 393:753-761.
- KIRKLAND J I, WOLFE D G. 2001. First definitive therizinosaurid (Dinosauria; Theropoda) from North America[J]. Journal of Vertebrate Paleontology, 21(3):410-414.
- KIRKLAND J I, ZANNO L E, SAMPSON S D, et al. 2005. A primitive therizinosaurid dinosaurs from the Early Cretaceous of Utah[J]. Nature, 435:84-87.
- LI DAQING, PENG CUO, YOU HAILU, et al. 2007. A large therizinosaurid (Dinosauria: Theropoda) from the Early Cretaceous of northwestern China [J]. Acta Geologica Sinica: English edition, 81(4):539-549.
- LINDSAY E ZANNO. 2010. A taxonomic and phylogenetic re-evaluation of Therizinosauria (Dinosauria: Maniraptora) [J]. Journal of Systematic Palaeontology, 8(4):503-543.
- MALEEY E A. 1954. Pansyrnye dinosavry verchnego mela Mongolii (Semeustvo Syrmosauridae) [The Upper Cretaceous armored dinosaurs of Mongolia (family Syrmosauridae)] [J]. Trudy Paleontologicheskogo Instituta Akademiy Nauk SSSR, 48:142-170.
- MOLNAR R E, KURZANOV S M, DONG ZHIMING. 1990. Carnosauria[M]//WEISHAMPEL D B, DODSON P, OSMÓLSKA H. The Dinosauria. Berkeley and Los Angeles: University of California Press, 169-209.
- MAKOVICKY P J, SUES H D. 1998. Anatomy and phylogenetic relationships of the theropod dinosaur microvenator celer from the Lower Cretaceous of Montana [J]. American Museum Novitates, (3240):1-27.
- NORELL M A, MAKOVICKY P J, CLARK J M. 1997. A *Velociraptor* wishbone [J]. Nature, 389:447.
- PERLE A. 1979. Segnosauridae-novoe semeistvo teropod is posdnego mela Mongolii [J]. Trudy-Sovmestnaya Sovetsko-Mongol'skaya Paleontologicheskaya Ekspeditsiya, 8:45-55.
- PERLE A, NORELL M A, CHIAPPE L M, et al. 1993. Flightless bird from the Cretaceous of Mongolia [J]. Nature, 362:623-626.
- RIABININ A N. 1915. Zamka o dinosavry ise Zabaykalya [A note on a dinosaur from the trans-Baikal region] [J]. Trudy Geologicheskago Muszeyah Imeni Petra Velikago Imperatorskoy Akademiy Nauk, 8(5):133-140.
- ROZHDESTVENSKY A K. 1970a. On the gigantic claws of mysterious Mesozoic Reptiles [J]. Paleontologicheskii Zhurnal, (1):131-141.
- ROZHDESTVENSKY A K. 1970b. Giant claws of Enigmatic Mesozoic Reptiles [J]. Paleontology Journal, 4(1):117-125.
- RUSSELL D A, DONG ZHI MING. 1993. The affinities of a new theropod from the Alxa Desert, Inner Mongolia, People's Republic of China [J]. Canadian Journal of Earth Sciences, 30(10):2107-2127.
- SERENO P C. 1999. The evolution of dinosaurs [J]. Science, 284:

- 2137 –2147.
- SVARNEY T E, BARNES-SVARNEY P. 2003. The Handy Dinosaur Answer Book[M]. Canton;Visible Ink Press.
- STEEL R. 1970. Handbuch der Paläoherpetologie, Part 14;Saurischia[M]. Stuttgart; Gustav Fischer Verlag.
- XU XING, TANG ZILU, WANG XIAOLIN. 1999a. A therizinosaurid dinosaur with integumentary structures from China[J]. Nature, 399:350 – 354.
- XU XING, WANG XIAOLIN, WU XIAOCHUN. 1999b. A dromaeosaurid dinosaur with a filamentous integument from the Yixian Formation of China[J]. Nature, 401:262 –266.
- XU XING, ZHOU ZHONGHE, WANG XIAOLIN. 2000. The smallest known non-avian theropod dinosaur[J]. Nature, 408:705 –708.
- XU XING, ZHAO XIJIN, CLARK J M. 2001. A new therizinosaur from the Lower Jurassic Lower Lufeng Formation of Yunnan, China[J]. Journal of Vertebrate Paleontology, 21 (3):477 –483.
- XU XING, ZHANG XIAO HONG, SERENO P C, et al. 2002. A new therizinosaurid (Dinosauria; Theropoda) from the Upper Cretaceous Iren Dabasu Formation of Nei Mongol[J]. Vertebrata PalAsiatica, 40(3):228 –240.
- XU XING, ZHOU ZHONGHE, WANG XIAOLIN, et al. 2003. Four-winged dinosaurs from China [J]. Nature, 421:335 –340.
- XU XING, NORELL M A. 2004. A new troodontid dinosaur from China with avian-like sleeping posture[J]. Nature, 431:838 –841.
- ZHANG FUCHENG, ZHOU ZHONGHE, XU XING, et al. 2008. A bizarre Jurassic maniraptoran from China with elongate ribbon-like feathers[J]. Nature, 455:1105 –1108.
- ZHANG XIAOHONG, XU XING, ZHAO XIJIN, et al. 2001. A long-necked therizinosaurid dinosaur from the Upper Cretaceous Iren Dabasu Formation of Nei Mongol, People's Republic of China[J]. Vertebrata PalAsiatica, 39(4):282 –290.

## Cretaceous Therizinosauroids in Zhejiang of eastern China

QIAN Mai-ping<sup>1</sup>, ZHANG Zong-yan<sup>1</sup>, JIANG Yang<sup>1</sup>, JIANG Yan-gen<sup>2</sup>, ZHANG Yuan-jun<sup>2</sup>,  
CHEN Rong<sup>1</sup>, XING Guang-fu<sup>1</sup>

(1. Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources, Nanjing 210016, China; 2. Tiantai Bureau of Land and Resources, Tiantai 317200, Zhejiang)

**Abstract:** Some fossil skeletons of Therizinosauridae dinosaurs were found in Cretaceous Zhongdai and Laijia Formations in Tiantai, Zhejiang Province. It was proved that their distribution areas were spread in Mongolia, Kazakhstan, western area in North America, and northern, northeastern, southern and eastern areas in China. According to the fossils found and studies for over a century, the puzzled paleontologists by the confusing animals for many years discovered and revealed gradually their evolution course, that was evolved successfully from carnivore to mainly vegetarian, or probably both, became euryphagous dinosaurs. The dinosaurs were distributed widely in various environments during Cretaceous period. The pneumaticity in vertebrae of *Tiantaisaurus sifengensis* found in Tiantai Basin of Zhejiang Province in eastern China suggested that the dinosaurs with big creatures were not bulky and their vertebrae was similar to that of the present birds. Although the pneumaticity of vertebrae of dinosaurs could not determine its acting respiratory system like present birds, yet it undoubtedly benefited the creatures' weight loss and enhanced its flexibility of activity. Then, it could be confirmed that many dinosaurs and birds were closely related during their evolution.

**Keywords:** Therizinosauroids; Dinosaurs; Aves; Cretaceous period; Tiantai, Zhejiang