

# 对《自然》、《科学》杂志报道的热河生物群、道虎沟生物群重大发现与研究进展的述评

姬书安

中国地质科学院地质研究所,北京,100037

**内容提要:**20 世纪 90 年代以来,中国辽宁西部及其邻区晚中生代热河生物群和道虎沟生物群研究取得了令世人瞩目的成果,尤其是在鸟类起源及其早期分异、羽毛起源及其早期演化模式、真兽类起源与早期兽类的生态辐射、被子植物起源等研究方面获得了许多重大进展。截至 2006 年底,共有 46 篇关于热河生物群的研究论文以及 3 篇道虎沟生物群的研究论文发表在世界著名的《自然》和《科学》杂志上,其中第一作者单位为中国科研机构的论文数量分别达 39 篇和 2 篇。《自然》和《科学》杂志是世界上自然科学领域两个国际性学术周刊,其覆盖范围广、传播速度快、读者群广泛,其连续刊登热河生物群和道虎沟生物群的研究论文,使这些重要研究成果在短时期内为全世界的学者所认可和接受,为推动这两个重要生物群的研究发挥了重要的作用。

**关键词:**《自然》;《科学》;热河生物群;道虎沟生物群;中国;述评

《自然》和《科学》杂志是世界上自然科学领域两个国际性学术周刊,其覆盖范围广、传播速度快、读者群广泛。

热河生物群是晚中生代东北亚的一个著名陆相生物群,分布于中国北方大部分地区、蒙古和西伯利亚的一些地区、以及朝鲜半岛和日本等地。20 世纪 90 年代以来,在中国辽宁西部及其相邻的河北北部和内蒙古东南部的早白垩世热河群地层中,发现了许多具有非常重要科学价值的化石,这些化石包含了生物演化过程中若干重要的信息,从而引起了国际古生物学界的极大关注。这些化石为我们提供了研究鸟类起源与早期分异、羽毛起源与早期演化模式、真兽类起源与早期兽类的生态辐射、被子植物起源等一系列重大理论问题最重要最直接的化石依据,使热河生物群成为世界古生物学界所关注的焦点,热河生物群亦被公认为世界级的化石宝库。与此同时,在内蒙古东南部中侏罗世的道虎沟生物群中亦发现有重要的滑体两栖类、原始哺乳类化石。在热河生物群和道虎沟生物群化石的发现和atory 中,以中国古生物学者为主体的研究人员取得了许多重大研究进展。仅在过去的 15 年中,在国内外有较大影响的学术杂志上发表了数百篇有关的学术论

文,其中在《自然》和《科学》杂志上发表 49 篇(其中关于热河生物群的 46 篇,关于道虎沟生物群的 3 篇)。众多高水平论文在《自然》和《科学》杂志上的连续发表,很好地宣传了热河生物群和道虎沟生物群研究所取得的成果,许多新的观点和结论被世界上的同行所认可和接受,同时还促进了国际学术交流和学术合作的蓬勃开展。在本文中,笔者将全面介绍以中国学者为主体的研究人员在《自然》、《科学》杂志上发表的涉及热河生物群和道虎沟生物群的论文情况,并阐明论文中重大科学发现和研究成果的重要意义。

## 1 《自然》、《科学》杂志简介

《自然》(Nature)杂志创刊于 1869 年,其目的旨在迅速传播科研成果和使公众广受教育,所刊载的科学论文一般均具有很高的学术水平。该杂志由自然出版集团(Nature Publishing Group)出版,每星期四(但每年的最后一个星期休刊)在英国伦敦出刊一期。《自然》的原始研究论文主要有三种形式,即“论文”(Article)、“来信”(Letter)和“简讯”(Brief Communication,1999 年 8 月第 400 卷及其之前称为 Scientific Correspondence)。“论文”要求在对一

注:本文为国家自然科学基金资助项目(编号 40272008)的成果。

收稿日期:2007-01-22;改回日期:2007-04-15;责任编辑:章雨旭。

作者简介:姬书安,男,1964 年生。博士,现为地质科学院地质研究所研究员。主要从事中生代爬行类、鸟类化石及其生物地层研究。

通讯地址:100037,北京市西城区百万庄大街 26 号;电话:010-68994637;传真:010-68997803;Email:jishu\_an@sina.com。

表 1 截至 2006 年底在《自然》和《科学》上发表的热河生物群研究论文数量统计

Table 1 Number of the papers concerning the Jehol Biota published on *Nature* and *Science* by the end of 2006

年度	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	合计
《自然》	—	—	—	1	—	2	2	6	1	4	7	3	6	2	2	36
《科学》	1	—	—	—	1	—	2	—	1	1	1	1	1	—	1	10
小计	1	—	—	1	1	2	4	6	2	5	8	4	7	2	3	46

个重要问题的理解上取得了一个实质性进展,其结论具有现实和深远意义,在刊出形式上最高。“来信”是较短的原始研究报告,集中介绍一个重要研究成果,这个成果的重要性体现在其他领域的科学家将会对其感兴趣。简讯是篇幅很小的涉及具有广泛科学兴趣的热门课题的简短报道。新闻与观点(News and Views)栏目内的评论性论文,为特邀的专家学者针对同一期上某一领域较重要的原始研究论文进行背景介绍或进一步阐述其重要科学意义。此外,《自然》杂志还定期地刊登综述性论文,通常有综述(Review Article)、进展(Progress)、假说(Hypothesis)或比较(Analysis)。

《科学》(Science)杂志最早由发明家爱迪生于 1880 年创办,现由美国科学促进会(American Association for the Advancement of Science)编辑出版,每星期五(但每年的最后一个星期休刊)在美国华盛顿刊出一期。《科学》杂志刊登的原创新性学术论文也分三种形式:“研究论文”(Research Article)、“报告”(Report)和“简报”(Brevia),它们在学术上的重要性和对篇幅的限制大体与《自然》杂志的三种形式(Article、Letter、Brief Communication)对应。《科学》杂志对刊出的有重要学术价值的论文,亦在上一期上的展望(Perspectives)栏目内刊发评论性文章。《科学》杂志也不定期地刊登综述性论文(Review)。

## 2 在《自然》、《科学》杂志上发表的热河生物群研究论文统计

自 1992 年美国和中国学者合作在《科学》上发表第一篇热河生物群研究论文以来,截止 2006 年底,中国学者独立或与外国学者合作在《自然》和《科学》杂志上共发表了 46 篇关于热河生物群的研究论文(表 1),但其中有 1 篇论文未标注中国的研究单位。

第一作者单位为中国科研机构的有 39 篇,其中中国科学院系统的 29 篇,国土资源部系统 7 篇,高等院校 2 篇(表 2)。

表 2 截至 2006 年底在《自然》和《科学》上发表热河生物群研究论文的第一作者单位统计

Table 2 Number of the first institutions of authors writing the papers concerning the Jehol Biota published on *Nature* and *Science* by the end of 2006

第一作者单位	中国科学院	国土资源部	高等院校	国内其他	国外(美国)	合计
《自然》	24	5	1	1	5	36
《科学》	5	2	1	—	2	10
小计	29	7	2	1	7	46

在这 46 篇研究热河生物群的研究论文中,《自然》和《科学》杂志以最高级别的 Article(包括 Review Article) / Research Article 形式刊登的论文共有 7 篇,以 Letter / Report 形式刊登的论文有 28 篇,以 Brief Communication (Scientific Correspondence) / Brevia 形式刊登的论文有 11 篇。同时 4 篇论文登上了这两个杂志的封面,有 12 篇论文还专门配发有评论性文章(表 3)。

这些论文主要涉及到热河生物群中脊椎动物的许多重要类群和被子植物等化石(表 4),具体内容包括:无颌类、有尾类、翼龙类、角龙类恐龙、非鸟兽脚类恐龙、鸟类、哺乳类、植物及其他方面,其中涉及内容最多的是非鸟兽脚类恐龙(13 篇)、鸟类(11 篇)和哺乳类(7 篇)。

表 3 截至 2006 年底在《自然》和《科学》上发表的热河生物群的论文的等级和相关说明

Table 3 Classes and associated illustrations of the papers concerning the Jehol Biota published on *Nature* and *Science* by the end of 2006

	Article/ Research Article 论文数量	Letter / Report 论文数量	Brief Communica- tion/ Brevia 论文数量	封面 论文数量	配发评论性 文章的 论文数量
《自然》	6	20	10	2	9
《科学》	1	8	1	2	3
小计	7	28	11	4	12

注:论文发表的等级、是否封面论文、是否配发评论性文章详见附 1。

表4 截至2006年底在《自然》和《科学》上发表的热河生物群不同内容的论文数量统计

Table 4 Number of the papers concerning the different fields of the Jehol Biota published on *Nature* and *Science* by the end of 2006

门类	无颌类	有尾类	翼龙类	角龙类	兽脚类	鸟类	哺乳类	植物	其他	合计
《自然》	1	1	4	2	13	6	5	1	3	36
《科学》	—	—	—	—	—	5	2	2	1	10
小计	1	1	4	2	13	11	7	3	4	46

至2006年底为止,关于热河生物群中化石新属新种的命名,有22个新属和26个新种是在《自然》和《科学》杂志上首先发表出来的,其中非鸟兽脚类恐龙达8新属9新种、哺乳类5新属6新种、鸟类3新属4新种(表5)。这些新属种的发现不仅大大丰富了热河生物群的化石组成,而且在探讨这些类群的特征和演化分异等方面也具有十分重大的意义。

表5 截至2006年底在《自然》和《科学》上命名的热河生物群化石新属新种名称  
Table 5 List of the new genera and new species concerning the Jehol Biota published originally on *Nature* and *Science* by the end of 2006

门类	新属新种
无颌类	◎孟氏中生鳊 <i>Mesomyzon mengae</i> Chang, Zhang et Miao, 2006
有尾类	◎凤山中华螈 <i>Sinerpeton fengshanensis</i> Gao et Shubin, 2001
翼龙类	◎杨氏飞龙 <i>Feilongus youngi</i> Wang, Kellner, Zhou et de Almeida Campos, 2005 ◎布氏努尔哈赤翼龙 <i>Nurhachius ignaciobritoii</i> Wang, Kellner, Zhou et de Almeida Campos, 2005
角龙类	◎燕子沟三角龙 <i>Liaoceratops yanzigouensis</i> Xu, Makovicky, Wang, Norell et You, 2002
兽脚类	◎邹氏尾羽鸟 <i>Caudipteryx zoui</i> Ji, Currie, Norell et Ji, 1998 ◎意外北票龙 <i>Beipiaosaurus inexpectus</i> Xu, Tang et Wang, 1999 ◎千禧中国鸟龙 <i>Sinornithosaurus millenii</i> Xu, Wang et Wu, 1999 ◎赵氏小盗龙 <i>Microraptor zhaoianus</i> Xu, Zhou et Wang, 2000 ◎张氏中国猎龙 <i>Sinovenator changii</i> Xu, Norell, Wang, Makovicky et Wu 2002 ◎戈氏切齿龙 <i>Incisivosaurus gautheri</i> Xu, Cheng, Wang et Chang, 2002 ◎顾氏小盗龙 <i>Microraptor gui</i> , Xu, Zhou, Wang, Kuang, Zhang et Du, 2003 ◎奇异帝龙 <i>Dilong paradoxus</i> Xu, Norell, Kuang, Wang, Zhao et Jia, 2004 ◎寐龙 <i>Mei long</i> Xu et Norell, 2004
鸟类	◎三塔中国鸟 <i>Sinornis santensis</i> Sereno et Rao, 1992 ◎杜氏孔子鸟 <i>Confuciusornis dui</i> Hou, Martin, Zhou, Feduccia et Zhang, 1999 ◎丰宁原羽鸟 <i>Protopteryx fengningensis</i> Zhang et Zhou, 2000 ◎原始热河鸟 " <i>Jeholornis prima</i> " Zhou et Zhang, 2002
哺乳类	◎五尖张和兽 <i>Zhangheotherium quinquecuspidens</i> Hu, Wang, Luo et Li, 1997 ◎金氏热河兽 <i>Jeholodens jenkinsi</i> Ji, Luo et Ji, 1999 ◎攀缘始祖兽 <i>Eomaia scansoria</i> Ji, Luo, Yuan, Wible, Zhang et Georgi, 2002 ◎沙氏中国袋兽 <i>Sinodelphys szalayi</i> Luo, Ji, Wible et Yuan, 2003 ◎巨型爬兽 <i>Repenomamus giganticus</i> Hu, Meng, Wang et Li, 2005 ◎西氏尖吻兽 <i>Akidolestes cifellii</i> Li et Luo, 2006
被子植物	◎辽宁古果 <i>Archaeofructus liaoningensis</i> Sun, Dilcher, Zheng et Zhou, 1998 ◎中华古果 <i>Archaeofructus sinensis</i> Sun, Dilcher, Ji et Nixon, 2003

注:属种名称前标注◎的为新属新种,标注○的为新种;鸟类的原始热河鸟("*Jeholornis prima*")是中华神州鸟(*Shenzhouraptor sinensis*)的晚出同物异名。

### 3 《自然》、《科学》杂志发表的热河生物群重大发现与研究进展

#### 3.1 无颌类(七鳃鳗类)

2006年,张弥曼等报道了内蒙古宁城义县组中一种新的七鳃鳗类化石——孟氏中生鳊(*Mesomyzon mengae*)。七鳃鳗类属于无颌类,是非常原始的脊椎动物类群,其化石曾在南非泥盆纪和北美石炭纪的海相地层中有发现。孟氏中生鳊的整体结构特征与现生种类的较为相似,它不仅代表着目前唯一的中生代七鳃鳗类,也是已知最早的淡水生活的七鳃鳗类(Chang et al., 2006),该化石的发现为研究七鳃鳗类的演化和生态分异提供了极其珍贵的实物依据。

#### 3.2 有尾类

高克勤和 Shubin 于2001年报道了河北丰宁凤山盆地热河群中的有尾两栖类化石凤山中华螈

(*Sinerpeton fengshanensis*),这是一种具有幼态持续特点的蜥蜴类,显示出较多原始的特征(Gao and Shubin, 2001)。同产地同层位的地层中还有另一种此前已报道的完全变态类型的蜥蜴类东方塘蜥(*Laccotriton subsolanus*) (高克勤等, 1998)。这些有尾两栖类化石的发现,为一些现生蜥蜴类别起源于亚洲的观点提供了重要依据。

### 3.3 翼龙类及翼龙胚胎

1997和1998年,姬书安和季强相继报道了辽西北票义县组中的翼龙化石:杨氏东方翼龙(*Eosipterus yangi*)和弯齿树翼龙(*Dendrorhynchoides curvidentatus*),它们是翼龙化石在热河生物群中的最早报道(姬书安,季强,1997,1998)。这两类翼龙化石代表了原始的喙嘴龙类和进步的翼手龙类在辽西同一层位的共同出现,显示出与德国晚侏罗世的翼龙化石组合较大的相似性和可比性,因而具有重要的生物地层和古生物地理意义,为评价热河生物群的面貌和地质时代提供了重要信息(Ji et al., 1999b)。

在翼龙化石发现以来的100多年里,翼龙蛋化石始终缺少实物材料的佐证。2004年发现于辽宁西部义县义县组的2枚含胚胎的翼龙蛋,代表了世界上首次报道的确切翼龙蛋化石(Wang and Zhou, 2004; Ji et al., 2004),以实际材料证实翼龙确为卵生动物。而且其中一枚蛋还显示出,蛋壳缺少坚硬的钙质外壳,而是相对较软的革质外壳(Ji et al., 2004)。辽西热河生物群中翼龙蛋化石的发现为我们认识该类动物的繁殖方式提供了最直接的化石依据。

2005年,汪筱林等报道了义县和朝阳的两个新翼龙属种:杨氏飞龙(*Feilongus youngi*)、布氏努尔哈赤翼龙(*Nurhachius ignaciobritoi*) (Wang et al., 2005),并对热河生物群中的翼龙类组合面貌进行了分析。热河生物群的翼龙化石可明显分为两个组合:下部义县组翼龙组合包括原始的和较为进步的属种,与德国Solnhofen晚侏罗世的翼龙组合面貌较相似;而九佛堂组的翼龙组合则仅由进步的分子组成,与巴西早白垩世Santana组中的翼龙具有更多的相近分子(Wang et al., 2005)。热河生物群的翼龙化石为我们提供了翼龙由原始类群到进步类群之间过渡演变的重要信息,在研究全球翼龙类的分布、迁徙、生活环境等方面亦具有非常重要的科学意义。

### 3.4 角龙类恐龙

2002年,徐星等人报道了辽西北票一原始角龙类化石——燕子沟辽角龙(*Liaoceratops yanzigouensis*),该属种在探讨早期新角龙类的演化分异等方面较为重要(Xu et al., 2002b)。2004年,孟庆金等人报道了同一地点的一窝鹦鹉嘴龙(*Psittacosaurus* sp.)骨架化石,其中34具为保存在一起的幼年个体骨架,同时还有一件成年鹦鹉嘴龙的头骨,该标本为我们提供了这样的信息:成年鹦鹉嘴龙具有照顾幼仔的行为,而鹦鹉嘴龙应该营群体生活(Meng et al., 2004)。

### 3.5 长羽毛的兽脚类恐龙与鸟类起源、羽毛早期演化

长羽毛恐龙化石的发现以及它们所包含的有关鸟类起源和羽毛早期演化的重要信息,是热河生物群近十年来最为重要的研究成果,它为热河生物群研究增添了最浓重最绚丽的一笔。1996年,季强和姬书安正式命名了世界上第一件保存有原始羽毛的兽脚类恐龙——原始中华龙鸟(*Sinosauropteryx prima*),这种个体很小的美颌龙类属种,保存有最原始的纤维状原始羽毛(季强,姬书安,1996)。1998年,陈丕基等依据新标本对该属种的研究论文在《自然》上得以发表,证实了原始中华龙鸟身上原始羽毛的存在(Chen et al., 1998)。同年,季强等又在《自然》上报道了长有真正羽毛的非鸟兽脚类化石粗壮原始祖鸟(*Protarchaeopteryx robusta*)和邹氏尾羽鸟(*Caudipteryx zoui*),其最有意义的科学价值在于:它们不是鸟类,但却长着像鸟类那样的真正羽毛(Ji et al., 1998),从而为鸟类是由兽脚类恐龙演化而来的观点提供了最直接和最有力的证据。这篇论文被作为封面论文发表(图版I-1),代表了我国学者在《自然》上首次发表的关于热河生物群的封面论文。不久后,通过对尾羽鸟有效的后肢长度与躯干长度之比、位置较靠前的身体重心等的对比分析,显示其奔跑姿态可能更接近于陆地行走的鸟类(Jones et al., 2000)。

1999年,徐星等连续在《自然》上发表了两篇文章,对辽西北票义县组中的另外两类非鸟兽脚类恐龙化石分别作了初步研究,它们是镰刀龙类的意外北票龙(*Beipiaosaurus inexpectus*) (Xu et al., 1999a)和奔龙类的千禧中国鸟龙(*Sinornithosaurus millenii*) (Xu et al., 1999b)。有意义的是,在它们的身上亦发现了类似原始中华龙鸟身上的纤维状原始羽毛,表明这类原始羽毛在非鸟兽脚类中普遍存

在,羽毛不再是鸟类所特有的特征。2000年,徐星等又报道了辽西朝阳九佛堂组中一件个体很小的奔龙类化石赵氏小盗龙(*Microraptor zhaoianus*) (Xu et al., 2000),它的第一趾位置低且所有趾爪的钩曲度较大,这些特征被原作者认为是树栖生活的证据,并认为为飞行的树栖起源假说提供了证据。2001年,徐星等重新对千禧中国鸟龙身上的原始羽毛作了进一步深入观察,发现有些羽毛已经具有了分枝结构和简单羽轴,从而为建立羽毛的早期演化模式提供了重要依据,即羽枝的出现早于羽轴的出现(Xu et al., 2001)。同年,季强等人报道了采自辽西凌源义县组的保存非常精美的奔龙类化石,这是一未完全成年之个体,与千禧中国鸟龙具有很多相似之处;但这件标本最吸引古生物学家的是,其全身都披着羽毛,且这些羽毛也显示了分枝结构(Ji et al., 2001)。2002年,一件来自辽西朝阳九佛堂组中的奔龙类标本告诉我们,在它的前肢上已经出现了长长的具有典型羽轴的羽毛(Norell et al., 2002),其结构与现生鸟类的羽毛已经没有什么区别了。2003年初,徐星等依据朝阳境内的新的奔龙类化石,建立了小盗龙属的第二个种——顾氏小盗龙(*Microraptor gui*) (Xu et al., 2003),对这一重要成果的研究论文以封面形式发表在《自然》杂志上(图版 I-2)。顾氏小盗龙在前肢上发育着长长的不对称的飞羽,与飞行鸟类的飞羽一样;其后肢上也生长着较长的不对称的羽毛;它的尾巴很长,长长的尾羽主要集中在数枚末端尾椎上。顾氏小盗龙前、后肢不对称羽毛的出现,不仅表明羽毛在非鸟兽脚类中已经演化出非常复杂的结构,而且也表明这些羽毛具有较强的飞行动力学功能,同时还显示在早期鸟类飞行的起源演化过程当中,应当经历了一个四翼阶段。

发表在《自然》上的其他类别的非鸟兽脚类化石还有:原始的窃蛋龙类戈氏切齿龙(*Incisivosaurus gautheri*) (Xu et al., 2002c),伤齿龙类张氏中国猎龙(*Sinovenator changii*) (Xu et al., 2002a)、寐龙(*Mei long*) (Xu and Norell, 2004),以及早期的霸王龙类奇异帝龙(*Dilong paradoxus*) (Xu et al., 2004)。其中伤齿龙类亦显示出与早期鸟类的许多相似和相近之处,表明它们也是与鸟类分支系统关系最为密切的类群之一。个体较小的奇异帝龙是早期霸王龙类的确切代表,其头骨较进步而头后骨骼较原始,为研究霸王龙类的发生演化等具有重要价值;同时它的身上也有着原始状羽毛,从而进

一步表明这种结构的最初出现很可能与保持体温有关。

### 3.6 原始鸟类

辽西中生代鸟类化石发现于20世纪80年代后期,1992年被正式命名的三塔中国鸟(*Sinornis santensis*),代表着一较原始的反鸟类化石(Sereno and Rao, 1992)。1995年,侯连海等报道了辽西北票的圣贤孔子鸟(*Confuciusornis sanctus*)化石,这是已知最早的具有角质喙的原始鸟类(Hou et al., 1995);但限于当时的材料,他们认为它可能具有一较长的骨质尾巴。次年他们依据新的化石材料对孔子鸟的特征进行了修订,表明孔子鸟不具有长的骨质尾巴,它已经具备了进步鸟类所特有的尾综骨(Hou et al., 1996)。1999年,侯连海等又命名了孔子鸟属的另一种——杜氏孔子鸟(*Confuciusornis dui*),该种的头骨颞区呈现出典型双弓类爬行动物的一些特征(Hou et al., 1999)。孔子鸟作为最重要的化石鸟类之一,在研究鸟类的早期演化与分异、原始鸟类的生态与生活习性等都具有不可替代的作用。

1997年,Martin和周忠和发现个别反鸟类头骨如燕都华夏鸟(*Cathayornis yandica*)的一些特征与印板石始祖鸟(*Archaeopteryx lithographica*)的存在着一定的相似性(Martin and Zhou, 1997)。2000年,发现于冀北丰宁义县组的丰宁原羽鸟(*Protopteryx fengningensis*)被认为代表了最原始的反鸟类化石(Zhang and Zhou, 2000),主要表现在前肢第一指、胸骨等方面。2004年发现于辽西义县的义县组的反鸟类新材料为我们提供了该类化石不同侧面的新信息。后肢胫骨着生有较长羽毛的反鸟类化石,表明后肢羽毛在飞行当中起着较为重要的作用(Zhang and Zhou, 2004)。含反鸟类胚胎的蛋化石的发现,对我们了解反鸟类个体发育早期阶段提供了珍贵的化石材料(Zhou and Zhang, 2004)。头大、羽毛和骨化的骨架表明:这类鸟是一种早成性鸟,它在蛋中已经发育至可独立生活的程度,出壳后即可自己行走和觅食。

2002年,在辽西发现了可与德国的始祖鸟类比的长尾型原始鸟类化石——中华神州鸟(*Shenzhouraptor sinensis*) (季强等, 2002)和原始热河鸟(" *Jeholornis prima* ") (Zhou and Zhang, 2002),后者应是前者的晚出同物异名(Ji et al., 2003)。这是热河生物群中与德国的始祖鸟大体处于同一演化水平的原始鸟类化石,它的头部、牙齿和

翅膀比始祖鸟进化,而其很长的尾则比始祖鸟的原始。这一长尾型鸟类的发现,表明早期鸟类的镶嵌演化现象较为明显。

作为中国第一种中生代鸟类化石的玉门甘肃鸟(*Gansus yumenensis*),是今鸟类的分子。但自1984年报道以来,该鸟类仅以一足部标本为代表(Hou and Liu, 1984),因而我们对它的认识程度非常低。2006年,尤海鲁等人根据丰富的新材料对这一鸟类进行了详细研究(You et al., 2006)。结果表明:玉门甘肃鸟是最早的狭义的今鸟类代表,它具有晚白垩世和新生代鸟类的一些特征;而且该鸟类适应于水生生活,为现代鸟类起源于水生环境的假说提供了证据。

### 3.7 早期哺乳类与真兽类起源

中生代时期的哺乳动物虽然受到爬行动物的压制,但在哺乳动物的演化历史中却占据了超过三分之二长的时间。伴随着热河生物群中其他重要化石的发现,哺乳动物化石研究也取得了许多重大发现与进展。辽西发现的哺乳动物不仅类型多样,而且保存非常精美;不仅头骨和头后骨骼完整的关联保存,个别标本上还保存着清晰的毛发痕迹。1997年,胡耀明等命名了辽西北票义县组中对齿兽类一新属种——五尖张和兽(*Zhangheotherium quinquecuspidens*) (Hu et al., 1997),首次为我们提供了该类化石头后骨骼的许多重要信息。2006年初,李罡和罗哲西对凌源义县组中一新的对齿兽类西氏尖吻兽(*Akidolestes ciffellii*)进行了描述,这一属种的吻部较尖,但其头后骨骼的腰肋、腰带和后肢却显示出与单孔类相类似的结构特征(Li and Luo, 2006),表明对齿兽类身体骨骼构造的不同与其生活习性的不同是互相适应的。

1999年,季强等命名了北票义县组中的三尖齿兽类金氏热河兽(*Jeholodens jenkinsi*) (Ji et al., 1999a),该属种肩带和前肢较为进步而腰带和后肢较为原始,显示出明显的镶嵌演化现象。2001年,王元青等通过对辽西北票两类个体较大的三尖齿兽类强壮爬兽(*Repenomamus robustus*)和戈壁兽(*Gobiconodon* sp.)的描述,详细讨论了它们的下颌麦克尔氏软骨的特征,这些在研究哺乳动物中耳的起源方面具有较大的科学意义(Wang et al., 2001)。2005年初,关于巨型爬兽(*Repenomamus giganticus*)的论文发表(Hu et al., 2005),这是一个个体很大的哺乳动物,长度可达1m,在中生代的哺乳动物中是个体很大的动物。同时在一件新发现的

强壮爬兽标本的肚子中还保存有残存着的一些幼年鸚鵡嘴龙的零散骨骼,显示中生代时某些个体较大的哺乳动物可捕食较为弱小的幼年恐龙。

2002年,季强等报道了一件采自辽西凌源义县组中的哺乳动物化石攀缘始祖兽(*Eomaia scansoria*) (Ji et al., 2002),这是已知最原始的真兽类化石,为探索真兽类的起源及其早期演化具有十分重要的价值。2003年,罗哲西等人又报道了同一地点的已知最早的有袋类化石沙氏中国袋兽(*Sinodelphys szalayi*) (Luo et al., 2003),为研究有袋类的早期演化与分异等提供了珍贵的化石依据。多门类哺乳动物化石在辽西义县组中的发现,表明哺乳动物在中生代时期经历了许多重要的演化阶段,它们已分化出具有进步特征的类群,为哺乳动物在新生代开始时期的分化辐射打下了坚实的物质基础。

### 3.8 植物及被子植物起源

被子植物的起源一直被视为“令人讨厌之谜”。1998年,孙革等人在《科学》上发表封面文章(图版I-3),报道了辽西义县组中的原始被子植物化石——辽宁古果(*Archaeofructus liaoningensis*) (Sun et al., 1998)。2002年,孙革等人又一次发表《科学》封面文章(图版I-4),建立了古果的另一新种中华古果(*Archaeofructus sinensis*) (Sun et al., 2002)。古果类植物是目前已知最原始的被子植物类群,它的结构表明,被子植物可能起源于类似草本的水生植物。这是近年来被子植物发现研究的重要进展,极大地推动了我们被子植物起源问题的认识。

2003年,发现于辽西义县境内义县组中新的银杏(*Ginkgo* sp. nov.)化石(Zhou and Zheng, 2003),填补了银杏类在中侏罗世至早第三纪间演化过程中的空白。

### 3.9 其他

1998年,任东根据辽西北票义县组中两类喜花昆虫的存在,以及昆虫和植物之间的协同演化关系,间接论证了被子植物在当时的辽西地区就已经出现(Ren, 1998),为探讨被子植物起源问题拓展了新思路。

作为热河生物群化石的重要产出层位之一,辽西义县组的地质时代长期存在着晚侏罗世、早白垩世、晚侏罗世至早白垩世等不同的观点。1999年,Swisher和中国科学院的学者通过对新样品的同位素年龄测定,重申了义县组时代应为早白垩世的观

点(Swisher et al., 1999)。

1999 年的“辽宁古盗鸟”(Archaeoraptor liaoningensis)事件(Sloan, 1999),不仅使个别国外知名学者和美国《国家地理》杂志蒙受羞辱,还给热河生物群的研究工作造成了一定的负面影响。2001 年,美国学者 Rowe 和徐星等人在《自然》杂志上发表了一篇简讯,他们通过 CT 扫描等手段,证实“辽宁古盗鸟”至少是由两类或更多类型的化石拼接在一起的,其头和身体为一今鸟类化石而尾则代表着一奔龙类的尾(Rowe et al., 2001)。而周忠和等人后来对这件标本的研究进一步表明,其头骨和身体可归入今鸟类的马氏燕鸟(*Yanornis martini*) (Zhou et al., 2002)。

2003 年,周忠和等在《自然》上发表了迄今唯一一篇关于热河生物群研究的综述性论文(Zhou et al., 2003)。这篇论文全面而简要的评述了热河生物群的组成、面貌和性质,阐述了它们在鸟类的起源、羽毛和鸟类飞行的起源及被子植物的起源等方面所提供的重要化石依据,讨论了热河生物群的演化规律、不同化石类群之间的相互关系,以及该生物群的地质时代、形成的地质背景等重大理论问题,从而进一步阐明了热河生物群的重要科学价值及其在全球中生代生物圈中的重要地位。

#### 4 《自然》和《科学》杂志发表的道虎沟生物群化石重大发现

在我国内蒙古宁城道虎沟一带的“道虎沟层”中,近年亦陆续发现了一些非常重要的脊椎动物化石,但关于“道虎沟层”地质时代的认识还存在着三种不同的观点。第一种观点认为是早白垩世,可作为义县组最底部(汪筱林等, 2000, 2005),其化石可归入热河生物群范畴。第二种观点认为是晚侏罗世,其主要依据是翼龙和昆虫化石面貌(季强, 袁崇喜, 2002; 张俊峰, 2002)。第三种观点认为是中侏罗世,且应为九龙山组或髫髻山组(任东等, 2002; 陈文等, 2004; 季强等, 2005; Gao and Ren, 2006; 柳永清等, 2006)。依据对地质构造、地层层序、化石群面貌、放射性同位素年龄等研究方面所取得的结果,都支持第三种观点,本文亦持这种观点。有些学者将这一层位中的所有化石称为“道虎沟生物群”,其与热河生物群的面貌区别显著。截止 2006 年底,共有 3 篇论文在这两个刊物上发表,内容仅涉及有尾两栖类(1 篇)和哺乳类(2 篇),其中 2 篇论文的第一作者单位为中国的科研机构。

2003 年,高克勤和 Shubin 报道了“道虎沟层”的有尾两栖类——天义初螈(*Chunerpeton tianyiensis*),该属种可确切地归入隐鳃鲑科(Gao and Shubin, 2003),与亚洲现生的大鲵同属一科,将该科的化石记录提前了约 0.1Ga,对探讨有尾类现生科级类型的出现和分异具有重要意义。

2006 年初,季强等命名了一种会游泳的原始哺乳类新属种——獭形狸尾兽(*Castorocauda lutrasimilis*),与其他已知的中生代早期哺乳类不同,该动物具有宽扁的尾,适应于游泳和捕食鱼类(Ji et al., 2006)。同年底,孟津等人又报道了另一类会滑翔的哺乳类:远古翔兽(*Volaticotherium antiquus*),这是一个新的哺乳动物类型,和松鼠大小相似,以昆虫为食,但它具有较发达的用于滑翔的翼膜,是最早的会滑翔的哺乳动物,表明哺乳动物在中侏罗世时就开始尝试进入空中(Meng et al., 2006)。这两个重要化石表明,在哺乳类的早期演化阶段,不同的哺乳类类群已经存在不同的生态适应类型,至少在中侏罗世已经出现了会游泳和会滑翔的种类。由于其重要意义,该两篇论文分别在《科学》和《自然》上以最高级别的研究论文(Research Article)和论文(Article)的形式发表,且这两类动物的彩色复原图片分别登上了两杂志的封面(图版 I-5、I-6)。

#### 5 结语

在截至 2006 年底之前的 15 年中,关于中国早白垩世热河生物群以及中侏罗世道虎沟生物群的研究论文各有 46 篇和 3 篇发表在《自然》和《科学》杂志上,其中第一作者单位为中国科研机构的论文数量分别达 39 篇和 2 篇,封面论文有 6 篇之多。这些研究成果为一些重要生物类群的起源和早期演化提供了极为关键的科学信息,其中最为引人注目的方面包括鸟类起源及其早期分异、羽毛起源及其早期演化模式、真兽类起源与早期兽类的生态辐射、被子植物起源等。羽毛或原始羽毛在兽脚类恐龙的多个类群中的发现,不仅将鸟类起源与羽毛起源作为两个不同的研究问题区分开来,而且以一系列的化石资料为鸟类起源于兽脚类恐龙的学说提供了确凿依据。羽毛在非鸟兽脚类中的发现还有力地证明了羽毛早在鸟类出现之前就已以存在、并有了相当的分化,化石材料为羽毛早期演化模式的提出奠定的基础,即羽枝的出现早于羽轴的出现。迄今最早的真兽类和哺乳类化石在热河生物群中的发

现,不仅将它们的化石记录提前的数千万年,而且为探讨真兽类的起源提供了珍贵资料。道虎沟生物群中会游泳的和会滑翔的哺乳动物的发现,表明中侏罗世的哺乳动物已经演化出了适应不同生态环境的类型。古果类植物化石代表着最古老的被子植物,它们的发现研究为解开被子植物的起源之谜和探讨被子植物的起源地具有重要意义。此外,有尾两栖类、翼龙及其胚胎、长尾型原始鸟类以及最早的尾综骨鸟类等重要化石的发现与研究,也为国际上相关领域的研究作出了重大贡献。这些成果在《自然》和《科学》杂志上的连续发表,极大地促进了热河生物群和道虎沟生物群的研究,其中许多新的观点在短时期内得到了国际古生物学界的广泛认可和接受。

**致谢:**首都师范大学生命科学学院任东教授、中国地质博物馆卢立伍研究员阅读了本文初稿并提出了一些很好的建议,作者在此表示衷心的感谢。

## 参 考 文 献 / References

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. 地质通报, 23(12): 1165~1169.

高克勤,程政武,徐星. 1998. 中国中生代有尾两栖类化石的首次报导. 中国地质, (1): 40~41.

季强,姬书安. 1996. 中国最早鸟类化石的发现及鸟类的起源. 中国地质, (10): 30~33.

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. 地质论评, 48(2): 221~224.

季强,姬书安,尤海鲁,张建平,袁崇喜,季鑫鑫,李景路,李印先. 2002. 中国首次发现真正会飞的“恐龙”——中华神州鸟(新属新种). 地质通报, 21(7): 363~369.

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. 地质论评, 51(6): 609~612.

姬书安,季强. 1997. 辽西北部翼龙类化石的首次发现. 地质学报, 71(1): 1~6.

姬书安,季强. 1998. 记辽宁一新翼龙化石(喙嘴龙亚目). 江苏地质, 22(4): 199~206.

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. 科学通报, 51(19): 2273~2282.

任东,高克勤,郭子光,姬书安,谭晶晶,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. 地质通报, 21(8~9): 584~591.

汪筱林,王元青,张福成,张江永,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生物地层. 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,张江永,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. 科学通报, 50(19): 2127~2133.

张俊峰. 2002. 道虎沟生物群(前热河生物群)的发现及其地质时代. 地层学杂志, 26(3): 173~177.

Gao Keqin, Ren Dong. 2006. Radiometric dating of ignimbrite from Inner Mongolia provides no indication of a post-Middle Jurassic

age for the Daohugou Beds. Acta Geologica Sinica (English Edition), 80(1): 42~45.

Hou Lianhai, Liu Zhicheng. 1984. A new fossil bird from Lower Cretaceous of Gansu and early evolution of birds. Scientia Sinica (Series B), 27(12): 1296~1302.

Ji Qiang, Ji Shu-an, You Hailu, Zhang Jianping, Zhang Hongbin, Zhang Nanjun, Yuan Chongxi, Ji Xinxin. 2003. An early Cretaceous avialian bird, *Shenzhouraptor sinensis* from western Liaoning, China. Acta Geologica Sinica (English Edition), 77(1): 21~27.

Jones T D, Farlow J O, Ruben J A, Henderson D M, Hillenius W J. 2000. Cursoriality in bipedal archosaurs. Nature, 406: 716~718.

Sloan C P. 1999. Feathers for *T. rex*? National Geographic, 196(5): 98~107.

## 附件 1:《自然》和《科学》杂志发表的关于热河生物群的研究论文(46 篇)

(标记中国科研单位的作者用其中文姓名加以注明;[a]指该论文以 Article / Review Article / Research Article 形式发表;[b]指该论文以 Letter / Report 形式发表;[c]指该论文以 Scientific Correspondence / Brief Communication / Brevia 形式发表;[d]指该论文为封面论文;[e]指该论文配发有专门的评论性文章)

Chang Meemann (张弥曼), Zhang Jiangyong (张江永), Miao Desui. 2006. A lamprey from the Cretaceous Jehol biota of China. Nature, 441: 972~974. [b]

Chen Peiji (陈丕基), Dong Zhiming (董枝明), Zhen Shuonan (甄朔南). 1998. An exceptionally well-preserved theropod dinosaur from the Yixian Formation of China. Nature, 391: 147~152. [a] [e]

Gao Keqin, Shubin N H. 2001. Late Jurassic salamanders from northern China. Nature, 410: 574~577. [b]

Hou Lianhai (侯连海), Zhou Zhonghe (周忠和), Martin L D, Feduccia A. 1995. A beaked bird from the Jurassic of China. Nature, 377: 616~618. [b]

Hou Lianhai (侯连海), Martin L D, Zhou Zhonghe (周忠和), Feduccia A. 1996. Early adaptive radiation of birds: evidence from fossils from northeastern China. Science, 274: 1164~1167. [b]

Hou Lianhai (侯连海), Martin L D, Zhou Zhonghe (周忠和), Feduccia A, Zhang Fucheng (张福成). 1999. A diapsid skull in a new species of the primitive bird *Confuciusornis*. Nature, 399: 679~682. [b]

Hu Yaoming (胡耀明), Wang Yuanqing (王元青), Luo Zhexi, Li Chuankui (李传夔). 1997. A new symmetrodont mammal from China and its implications for mammalian evolution. Nature, 390: 137~142. [a]

Hu Yaoming (胡耀明), Meng Jin, Wang Yuanqing (王元青), Li Chuankui (李传夔). 2005. Large Mesozoic mammals fed on young dinosaurs. Nature, 433: 149~152. [b] [e]

Ji Qiang (季强), Currie P J, Norell M A, Ji Shu-an (姬书安). 1998. Two feathered dinosaurs from northeastern China. Nature, 393: 753~761. [a] [d] [e]

Ji Qiang (季强), Luo Zhexi, Ji Shu-an (姬书安). 1999a. A Chinese triconodont mammal and mosaic evolution of the mammalian skeleton. Nature, 398: 326~330. [b] [e]

Ji Qiang (季强), Norell M A, Gao Keqin, Ji Shu-an (姬书安), Ren



- Dong (任东). 2001. The distribution of integumentary structures in a feathered dinosaur. *Nature*, 410: 1084~1088. [b] [e]
- Ji Qiang (季强), Luo Zhexi, Yuan Chongxi (袁崇喜), Wible J R, Zhang Jianping (张建平), Georgi J A. 2002. The earliest known eutherian mammal. *Nature*, 416: 816~822. [a] [e]
- Ji Qiang (季强), Ji Shu-an (姬书安), Cheng Y N, You Hailu (尤海鲁), Lü Junchang (吕君昌), Liu Yongqing (柳永清), Yuan Chongxi (袁崇喜). 2004. Pterosaur egg with a leathery shell. *Nature*, 432: 572. [c]
- Ji Shu-an (姬书安), Ji Qiang (季强), Padian K. 1999b. Biostratigraphy of new pterosaurs from China. *Nature*, 398: 573~574. [c]
- Li Gang (李罡), Luo Zhexi (罗哲西). 2006. A Cretaceous symmetrodont therian with some monotreme-like postcranial features. *Nature*, 439: 195~200. [b]
- Luo Zhexi (罗哲西), Ji Qiang (季强), Wible J R, Yuan Chongxi (袁崇喜). 2003. An Early Cretaceous tribosphenic mammal and metatherian evolution. *Science*, 302: 1934~1940. [a] [e]
- Martin L D, Zhou Zhonghe (周忠和). 1997. *Archaeopteryx*-like skull in enantiornithine bird. *Nature*, 389: 556. [c]
- Meng Qingjin (孟庆金), Liu Jinyuan (刘金远), Varricchio D J, Huang T, Gao Chunling (高春玲). 2004. Parental care in an ornithischian dinosaur. *Nature*, 431: 145~146. [c]
- Norell M A, Ji Qiang (季强), Gao Keqin, Yuan Chongxi (袁崇喜), Zhao Yibin (赵毅宾), Wang Lixia (王丽霞). 2002. 'Modern' feathers on a non-avian dinosaur. *Nature*, 416: 36~37. [c]
- Ren Dong (任东). 1998. Flower-associated Brachycera flies as fossil evidence for Jurassic angiosperm origins. *Science*, 280: 85~88. [b] [e]
- Rowe T, Ketcham R A, Denison C, Colbert M, Xu Xing (徐星), Currie P J. 2001. The *Archaeoraptor* forgery. *Nature*, 410: 539~540. [c]
- Sereno P C, Rao Chenggang (饶成刚). 1992. Early evolution of avian flight and perching: new evidence from the Lower Cretaceous of China. *Science*, 255: 845~848. [b]
- Sun Ge (孙革), Dilcher D L, Zheng Shaolin (郑少林), Zhou Zhekun (周浙昆). 1998. In search of the first flower. *Archaeofructus*, from Northeast China. *Science*, 282: 1692~1695. [b] [d] [e]
- Sun Ge (孙革), Ji Qiang (季强), Dilcher D L, Zheng Shaolin (郑少林), Nixon K C, Wang Xinfu (王鑫甫). 2002. Archaeofructaceae, a new basal angiosperm family. *Science*, 296: 899~904. [b] [d]
- Swisher C C III, Wang Yuanqing (王元青), Wang Xiaolin (汪筱林), Xu Xing (徐星), Wang Yuan (王原). 1999. Cretaceous age for the feathered dinosaurs of Liaoning, China. *Nature*, 400: 58~61. [b] [e]
- Wang Xiaolin (汪筱林), Zhou Zhonghe (周忠和). 2004. Pterosaur embryo from the Early Cretaceous. *Nature*, 429: 621. [c]
- Wang Xiaolin (汪筱林), Kellner A W A, Zhou Zhonghe (周忠和), de Almeida Campos D. 2005. Pterosaur diversity and faunal turnover in Cretaceous terrestrial ecosystems in China. *Nature*, 437: 875~879. [b]
- Wang Yuanqing (王元青), Hu Yaoming (胡耀明), Meng Jin, Li Chuankui (李传夔). 2001. An ossified Meckel's Cartilage in two Cretaceous mammals and origin of the mammalian middle ear. *Science*, 294: 357~361. [b]
- Xu Xing (徐星), Norell M A. 2004. A new troodontid dinosaur from China with avian-like sleeping posture. *Nature*, 431: 838~841. [b]
- Xu Xing (徐星), Tang Zhilu (唐治路), Wang Xiaolin (汪筱林). 1999a. A therizinosaurid dinosaur with integumentary structures from China. *Nature*, 399: 350~354. [b]
- Xu Xing (徐星), Wang Xiaolin (汪筱林), Wu Xiaochun (吴肖春). 1999b. A dromaeosaurid dinosaur with a filamentous integument from the Yixian Formation of China. *Nature*, 401: 262~266. [b]
- Xu Xing (徐星), Zhou Zhonghe (周忠和), Wang Xiaolin (汪筱林). 2000. The smallest known non-avian theropod dinosaur. *Nature*, 408: 705~708. [b]
- Xu Xing (徐星), Zhou Zhonghe (周忠和), Prum R O. 2001. Branched integumental structures in *Sinornithosaurus* and the origin of feathers. *Nature*, 410: 200~204. [b]
- Xu Xing (徐星), Norell M A, Wang Xiaolin (汪筱林), Makovicky P J, Wu Xiaochun. 2002a. A basal troodontid from the Early Cretaceous of China. *Nature*, 415: 780~784. [b]
- Xu Xing (徐星), Makovicky P J, Wang Xiaolin (汪筱林), Norell M A, You Hailu (尤海鲁). 2002b. A ceratopsian dinosaur from China and the early evolution of Ceratopsia. *Nature*, 416: 314~317. [b]
- Xu Xing (徐星), Cheng Y N, Wang Xiaolin (汪筱林), Chang C H. 2002c. An unusual oviraptorosaurian dinosaur from China. *Nature*, 419: 291~293. [b]
- Xu Xing (徐星), Zhou Zhonghe (周忠和), Wang Xiaolin (汪筱林), Kuang Xuewen (匡学文), Zhang Fucheng (张福成), Du Xiangke (杜湘珂). 2003. Four-winged dinosaurs from China. *Nature*, 421: 335~340. [a] [d] [e]
- Xu Xing (徐星), Norell M A, Kuang Xuewen (匡学文), Wang Xiaolin (汪筱林), Zhao Qi (赵祺), Jia Chengkai (贾程凯). 2004. Basal tyrannosauroids from China and evidence for protofeathers in tyrannosauroids. *Nature*, 431: 680~684. [b]
- You Hailu (尤海鲁), Lamanna M C, Harris J D, Chiappe L M, O'Connor J, Ji Shu-an (姬书安), Lü Junchang (吕君昌), Yuan Chongxi (袁崇喜), Li Daqing (李大庆), Zhang Xing (张行), Lacovara K J, Dodson P, Ji Qiang (季强). 2006. A nearly modern amphibious bird from the Early Cretaceous of northwestern China. *Science*, 312: 1640~1643. [b]
- Zhang Fucheng (张福成), Zhou Zhonghe (周忠和). 2000. A primitive enantiornithine bird and the origin of feathers. *Science*, 290: 1955~1959. [b]
- Zhang Fucheng (张福成), Zhou Zhonghe (周忠和). 2004. Leg feathers in an Early Cretaceous bird. *Nature*, 431: 925. [c]
- Zhou Zhiyan (周志炎), Zheng Shaolin (郑少林). 2003. The missing link in *Ginkgo* evolution. *Nature*, 423: 821~822. [c]
- Zhou Zhonghe (周忠和), Zhang Fucheng (张福成). 2002. A long-tailed, seed-eating bird from the Early Cretaceous of China. *Nature*, 418: 405~409. [b]
- Zhou Zhonghe (周忠和), Zhang Fucheng (张福成). 2004. A precocial avian embryo from the Lower Cretaceous of China. *Science*, 306: 653. [c]
- Zhou Zhonghe (周忠和), Clarke J A, Zhang Fucheng (张福成). 2002. *Archaeoraptor's* better half. *Nature*, 420: 285. [c]
- Zhou Zhonghe (周忠和), Barrett P M, Hilton J. 2003. An exceptionally preserved Lower Cretaceous ecosystem. *Nature*, 421: 807~814. [a]

## 附 2:《自然》和《科学》上发表的关于道虎沟生物群的研究论文(3 篇)

(标记中国科研单位的作者用其中文姓名加以注明;[a]、[b]、[d]、[e]的含义同附 1)

Gao Keqin (高克勤), Shubin N. 2003. Earliest known crown-group salamanders. *Nature*, 422: 424~428. [b]

Ji Qiang (季强), Luo Zhexi (罗哲西), Yuan Chongxi (袁崇喜), Tabrum A R. 2006. A swimming mammaliaform from the Middle Jurassic and ecomorphological diversification of early mammals. *Science*, 311: 1123~1127. [a] [d] [e]

Meng Jin (孟津), Hu Yaoming (胡耀明), Wang Yuanqing (王元青), Wang Xiaolin (汪筱林), Li Chuankui (李传夔). 2006. A Mesozoic gliding mammal from northeastern China. *Nature*, 444: 889~893. [a] [d]

## 图 版 说 明 / Explanation of Photos

1. 1998 年 6 月 25 日《自然》杂志封面(邹氏尾羽鸟 *Caudipteryx zoui* 复原图);
2. 2003 年 1 月 23 日《自然》杂志封面(顾氏小盗龙 *Microraptor gui* 化石照片与复原图);
3. 1998 年 11 月 27 日《科学》杂志封面(辽宁古果 *Archaeofructus liaoningensis* 化石照片);
4. 2002 年 5 月 3 日《科学》杂志封面(中华古果 *Archaeofructus sinensis* 化石照片);
5. 2006 年 2 月 24 日《科学》杂志封面(獭形狸尾兽 *Castorocauda lurasimilis* 复原图);
6. 2006 年 12 月 14 日《自然》杂志封面(远古翔兽 *Volaticotherium antiquus* 复原图)。

## Comments on the Major Advances in the Jehol Biota and Daohugou Biota Published by the Journals *Nature* and *Science*

Ji Shu'an

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

### Abstract

From 1990s, a series of major advances have been obtained in the study of the late Mesozoic Jehol Biota and Daohugou Biota from western Liaoning and its neighboring areas, northeastern China. The research progress on the origins of birds, feathers, eutherians and angiosperms has been regarded as ones of the most important contributions in the field of paleontology worldwide in the past 15 years. By the end of 2006, total 46 scientific papers concerning the Jehol Biota and 3 papers about the Daohugou Biota have been published on the two top international journals "*Nature*" and "*Science*". Among all these papers, 39 papers on the Jehol Biota and 2 on the Daohugou Biota were finished by the Chinese paleontologists as the first research institutions of China. These publications not only make many new and important viewpoints accepted by the scientists across the world soon, but also considerably promote the research about the Jehol Biota and Daohugou Biota.

**Key words:** *Nature*; *Science*; Jehol Biota; Daohugou Biota; China; comments

姬书安：对《自然》、《科学》杂志报道的热河生物群、道虎沟生物群  
重大发现与研究进展的述评

图版 I



1

2

3

4

5

6