

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

# 论热河生物群

季强

中国地质科学院地质研究所,北京,100037

**内容提要** 本文对中生代热河生物群的研究历史作了简要回顾,着重阐述了热河生物群的定义、组成、地层分布和时代,并讨论了与热河生物群相关的我国北方陆相侏罗系—白垩系界线问题。

**关键词** 热河生物群 陆相侏罗系—白垩系界线 中生代

侏罗纪—白垩纪是地球发展历史中最重要的地质时期之一。二叠纪末期形成的联合古陆在三叠纪末期开始出现开裂迹象,至侏罗纪这种开裂趋势继续加强。从侏罗纪起,地壳构造运动开始进入一个新的发展阶段:特提斯带洋盆进一步扩张,其海域普遍明显地出现沉陷,世界范围内开始广泛出现海侵;环太平洋带发生强烈的板块俯冲、构造变动和火山活动,开始形成著名的环太平洋火山喷发带和内生金属成矿带。侏罗纪的生物群是最能体现中生代特征的,主要反应在菊石、裸子植物、爬行动物等繁盛发展。海洋中,无脊椎动物菊石、双壳类、箭石十分繁盛,棘皮动物、六射珊瑚、腕足类等亦很常见,此外还有脊椎动物鱼龙等。陆地环境生活的生物更加丰富多彩:水里有双壳类、腹足类、叶肢介、介形虫、虾类等无脊椎动物,有龟类、蛙类、蝶螈、鱼类等脊椎动物,还有一些水生植物和藻类;空中飞行的有昆虫、翼龙、鸟类等;陆上生活的脊椎动物有爬行类、哺乳类等,其中爬行动物尤其繁荣昌盛,成为当时生物王国的霸主;陆生植物中的真蕨类和一些裸子植物,如松、柏、苏铁、银杏等,均十分繁盛,种子蕨类分子较少见。

大约在侏罗纪—白垩纪之交,东亚地区出现了一个独特的生物地理区系,分布范围包括了我国北方大部分地区和东南沿海部分地区、蒙古南部地区和俄罗斯外贝加尔地区。这个生物地理区系以产有丰富多彩的陆地环境生活的动物和植物为特征,如叶肢介、介形虫、双壳类、腹足类、鱼类、龟鳖类、昆虫、爬行类、哺乳类、植物及孢粉等。它们构成了著名

的东亚地区中生代陆相化石群——“热河生物群”。

## 1 热河生物群的研究历史

冀北—辽西地区是中国中生代陆相地层和热河生物群研究的经典地区之一,研究历史可追溯到20世纪初。20世纪30年代之前是冀北—辽西中生代地层古生物研究的初期阶段,一般限于矿点和化石点的地质调查。其中葛利普(Grabau, 1923, 1928)、谭锡畴(Tan, 1926, 1927)、翁文灏(Wong, 1927, 1928, 1929)、王竹泉和黄汲清(1929)等人的工作对后来中生代晚期地层的命名、划分对比和时代确定颇有影响。20世纪30~40年代为冀北—辽西中生代地层古生物研究的早期阶段,研究范围在时间和空间上有所扩大,一些重要的地层单位均在这一阶段命名和建立,如“热河系”、“义县火山岩类”、“九佛堂统”、“孙家湾统”等。20世纪50~60年代是该区中生代地层古生物研究的重要发展阶段,目前常用的辽西中生代地层格架和名称均可在这一时期找到它们的雏形,其中郝诒纯等(1958, 1962)、赵宗溥(1959)、赵宗溥和何铸文(1959)、顾知微(1962)、刘宪亭等(1963)、刘宪亭和周家健(1965)、等人的工作影响很大。20世纪70年代至今是冀北—辽西中生代地层古生物研究发展最快的时期,国内许多科研部门和科学家均在该区做了大量工作。

“热河生物群”源于“热河系”(“Jehol Series”),是由葛利普(Grabau, 1923)首先提出的,当时是指辽宁西部凌源附近产有叶肢介 *Estheria*、狼鳍鱼 *Lycoptera*、双壳类 *Corbicula* 等化石的中生代沉积岩

注:本文为国土资源部“十五”专项计划“辽西中生代热河生物群及相关地层综合研究”项目的成果。

收稿日期:2001-09-20;改回日期:2001-10-25;责任编辑:章雨旭。

作者简介:季强,1951年生。1976年毕业于南京大学地质系地层古生物专业,1981年于中国科学院南京地质古生物研究所获硕士学位,1988年于中国地质科学院获博士学位。德国洪堡学者。现为 中国地质科学院地质研究所研究员,主要从事晚古生代牙形类生物地层和中生代古脊椎动物和陆相地层研究。

系。5年后,葛利普(Grabau, 1928)本人将“热河系”中产出的化石群称为“热河动物群”(“Jehol Fauna”),常见的化石分子有叶肢介 *Estheria*、狼鳍鱼 *Lycoptera*、拟蜉蝣 *Ephemeropsis*、双壳类 *Corbicula* 等。此后,热河动物群的化石分子在中国北方许多地区相继被发现,因而“热河动物群”这一名称也被广泛采用。顾知微(1962)把中国北方地区产有狼鳍鱼的沉积地层称作“热河群”(“Jehol Group”),并将以狼鳍鱼—三尾拟蜉蝣—东方叶肢介 (*Lycoptera*—*Ephemeropsis trisetalis*—*Eosestheria*) 为代表的化石群通称为“热河生物群”(“Jehol Biota”)。自那时起,中国地层古生物学家均接受了这一概念,将与狼鳍鱼、北票鲟、三尾拟蜉蝣、东方叶肢介共生的化石群称为热河生物群。

## 2 热河生物群的组成和定义

在过去的几十年中,中生代热河生物群以无脊椎动物化石为主,脊椎动物化石相对较少。近几年,中国热河生物群的研究取得了很大进展,几乎每年都有具有重大科学价值的新发现,如孔子鸟、中华龙鸟、原始祖鸟、尾羽鸟、张和兽、热河兽、辽宁古果等,引起了国际科学界的广泛关注。另一方面,热河生物群的化石门类不断增多,尤其是脊椎动物和植物,真正成了名副其实的热河生物群。据不完全统计,热河生物群目前已包括了恐龙、蜥蜴、鳄类、翼龙、鸟类、哺乳类、龟鳖类、蛙类、蝶螺、鱼类、叶肢介、介形虫、双壳类、腹足类、虾类、鲎类、蜘蛛、昆虫、植物、孢粉、藻类等20多个化石门类。显而易见,热河生物群的组成远比以往认为的要丰富得多。就其丰富性、多样性以及保存情况而言,中国北方地区,尤其是冀北—辽西地区以中华龙鸟为代表的热河生物群完全可与德国巴伐利亚州索伦霍芬地区以始祖鸟为代表的生物群相媲美(刘宪亭等,1963,1965;庞其清,1984;王五力等1989;王思恩,1990;任东,1993;任东等,1995,1997;侯连海等,1995;季强等,1996,1997a, 1997b, 1999a;曹正尧等,1997;段淑英,1997;侯连海,1997;洪友崇,1998;Ji et al., 1998, 1999b, 1999c, 2001; Ren, 1998; Sun et al., 1998; Chiappe et al., 1999; Gao et al., 1999, 2000; Xu et al., 1999a, 1999b, 2000; 王宪曾等,2000)。

热河生物群的定义问题是一个既复杂又简单的问题。说其复杂,是因为热河生物群已有数十年的研究历史,其定义经历了复杂的演变过程。中国学者在工作中各自对热河生物群的原义、不同时期的含义

和实际情况有一个理解和取舍的问题。说其简单,是因为各家之间有一个共同的认识基础,即大家都承认北票鲟、三尾拟蜉蝣、东方叶肢介和狼鳍鱼是热河生物群的特色代表分子。客观地说,我们只要本着实事求是的原则,客观地尊重历史,以平和之心对待各家之说,热河生物群的定义问题是不难解决的。

对于热河生物群的定义问题,长期来中国学者有三种不同的意见。一些学者认为,冀北地区的大北沟组下部产有热河生物群的常见化石:北票鲟和三尾拟蜉蝣,因此大北沟组的化石应纳入热河生物群的范围(王思恩,1990,1998;王思恩等,1982)。很显然,这些学者维持了葛利普(Grabau, 1923,1928)当年提出的热河动物群含义。另外一些学者认为,冀北地区的大店子组下部不仅产有北票鲟和三尾拟蜉蝣,而且还产有热河生物群的重要化石东方叶肢介和狼鳍鱼,加之介形类的女星介也与它们同时出现,因此大店子组中以东方叶肢介、狼鳍鱼和女星介为代表的化石群才真正显示了热河生物群的面貌特征(李佩贤等,1994;李佩贤等,2001)。很明显,这些学者虽然接受了葛利普(1923,1928)和顾知微(1962)提出的热河生物群的含义,但他们是用生物地层的研究方法,强调了“三尾拟蜉蝣—东方叶肢介—狼鳍鱼”的共同产出。还有一些学者认为,近年来发现了许多化石与热河生物群的代表性化石东方叶肢介、狼鳍鱼、北票鲟和三尾拟蜉蝣共生,因此这些化石都应归于热河生物群。例如,中国鸟龙在辽西凌源和北票地区义县组(广义)中与东方叶肢介、狼鳍鱼、北票鲟和三尾拟蜉蝣共生,因此当它在朝阳附近九佛堂组上部出现时,他们也将九佛堂组上部的化石群归为了“热河生物群”(汪筱林等,1998;汪筱林等,1999a,1999b)。从化石的分布时限或生物群的发展和演替角度来看,这些学者的做法看来是不太可取的。例如中国鸟龙,虽然它在义县组中与东方叶肢介、狼鳍鱼、北票鲟和三尾拟蜉蝣共生,但它的分布时间相对长一些,可以上延至九佛堂组上部,与九佛堂组上部的化石共生。问题在于,迄今我们还没有在九佛堂组上部发现任何热河生物群的代表性分子。很显然,他们的看法与葛利普(1923,1928)或顾知微(1962)提出的热河生物群的含义相距甚远,无形中扩大了热河生物群的范围。

根据笔者这几年的工作,有两点情况值得注意。一是大家都承认北票鲟和三尾拟蜉蝣是热河生物群的重要组成部分。如果将早期出现的北票鲟和三尾拟蜉蝣排除在热河生物群之外不仅是不合理的,而

且也是与实际情况不相符。二是有人曾说在辽西九佛堂组上部曾发现过北票鲟、三尾拟蜉蝣、东方叶肢介等化石;也有人说在沙海组及煤系地层中曾发现狼鳍鱼化石,因此认为沙海组及煤系地层中产出的化石应包括在热河生物群内。这些化石资料及化石鉴定的可靠性和可信性究竟如何,目前查无实据,难以评论。近几年,我们也在辽西九佛堂组上部地层中发现了一些与东方叶肢介十分“形似”的小个体双壳类化石,经我们鉴定,它们是费尔干蚌(也许我们没有找到东方叶肢介);我们也找到了一些真骨鱼类化石,但它们并不是热河生物群中常见的狼鳍鱼。现在有一点看来是比较清楚的,迄今为止,在辽西九佛堂组上部及更年轻的地层中,除东方叶肢介外,我们还没有发现任何其他的热河生物群的代表性化石。绝大多数热河生物群的分子均消亡于九佛堂组的下部。从历史沿革的角度来看,笔者倾向于将与狼鳍鱼、北票鲟或三尾拟蜉蝣共生在一起的化石群称为热河生物群,而不是以与东方叶肢介、狼鳍鱼、北票鲟或三尾拟蜉蝣共生过的其他化石来定义热河生物群。

### 3 热河生物群的地层分布

根据笔者近几年的工作,热河生物群在冀北地区主要分布于大北沟组、大店子组和西瓜园组,在辽西地区主要分布在广义的义县组和九佛堂组的下部。从冀北—辽西的整个区域情况来看,大北沟组的生物类型显得比较单调,常见分子有鱼类 *Peipiaosteus pani*, 昆虫 *Ephemeropsis trisetalis*, 叶肢介 *Nestoria pissovi*, *N. xishunjingensis*, *N. (Magumbonia) fengwuoliangensis*, *Keratetheria gigantean*, *K. longa*, *Sentetheria banjiaensis*, *Abrestheria rotunda*, *Jibeilimnadia ovata*, 介形类 *Eoparacypris* sp., *Luanpingella* sp., *Pseudoparacypridopsis* sp. 等,代表了热河生物群发生的初始阶段。从生物地层的角度来看,大北沟组的化石群可称为“三尾拟蜉蝣—潘氏北票鲟—毕索夫尼斯托叶肢介”组合带(“*Ephemeropsis trisetalis*—*Peipiaosteus pani*—*Nestoria pissovi*” assemblage zone)。大店子组的生物类型有了明显的增加,常见分子有鱼类 *Lycoptera davidi*, *Peipiaosteus pani*, 昆虫 *Ephemeropsis trisetalis*, 叶肢介 *Eosetheria* cf. *lingyuanensis*, *E. ramulosa*, *E. gibba*, *Diestheria donggouensis*, *D. dadianziensis*, *Yanshan* *dabeigouensis*, *Y. subovata*, 介形类 *Cypridea* sp.,

*Djungarica* sp., *Timiriasevia* sp., *Rhinocypris* sp., *Yanshanina* sp., 双壳类 *Ferganconcha curta*, *F. subcentralis*, 腹足类 *Probaicalia vitimensis* 等,代表了热河生物群的辐射发展阶段。此外,辽西北票四合屯广义义县组底部的四合屯段(大致相当于大店子组上部)还产出似鸟龙类恐龙及恐龙脚印化石。从生物地层的角度来看,大店子组的化石群可称为“狼鳍鱼—东方叶肢介—女星介”组合带(“*Lycoptera*—*Eosetheria*—*Cypridea*” assemblage zone)。辽西北票四合屯广义义县组下部的九龙松段产出丰富多彩的化石群,常见分子有 *Sinosauropteryx prima*, *Caudipteryx zoui*, *Beipiaosaurus inexpectus*(?=阿拉善龙), *Protarchaeopteryx robusta*, *Sinornithosaurus millenii*, *Psittacosaurus* sp., *Confuciusornis sanctus*, *Liaoxiornis delicatus*, *Jeholodens jenkinsi*, *Dendrorhynchoides curvidentatus*, *Yabeinosaurus tenuis*, *Monjurosuchus splendens*, *Dalinghosaurus longidigitus*, *Manchurochelys liaoxiensis*, *Liaobatrachus grabaui*, *Callobatrachus sanyanensis*, *Lycoptera davidi*, *Peipiaosteus pani*, *Eosetheria* sp., *Ephemeropsis trisetalis*, 以及腹足类、介形类、双壳类、虾类、昆虫和植物化石等,代表热河生物群的繁盛期。从生物地层的角度来看,九龙松段的化石群可称为“中华龙鸟—孔子鸟—热河兽”组合带(“*Sinosauropteryx*—*Confuciusornis*—*Jeholodens*” assemblage zone)。辽西北票四合屯广义义县组中部的横道子段也产出丰富多彩的化石,常见分子有 *Confuciusornis sanctus*, *Changchengornis hengdaoziensis*, *Eosipterus yangi*, *Lycoptera davidi*, *L. sinensis*, *Peipiaosteus pani*, *Manchurochelys liaoxiensis*, *Eosetheria* sp., *Protonemestrius* sp., *Zhangheotherium quinquecupidens*, *Archaeofructus liaoningensis*, *Ephemeropsis trisetalis* 以及其他丰富的无脊椎动物和植物化石,也代表了热河生物群的繁盛期。从生物地层的角度来看,横道子段的化石群可称为“辽宁古果—原网翅虻—长城鸟”组合带(“*Archaeofructus*—*Protonemestrius*—*Changchengornis*” assemblage zone)。辽西义县义县组的金刚山段和九佛堂组下部产出不太丰富的化石群,常见分子有 *Lycoptera muroii*, *Eosetheria* sp., *Ephemeropsis trisetalis*, *Yabeinosaurus tenuis*, 以及少量的哺乳类、反鸟类和植物化石等,代表了热河生物群的衰败—消亡期。辽西九佛堂组下部是热河生物群分布的最高层位。从生物地层的角度来看,义县组

金刚山段和九佛堂组下部的化石可称为“室井氏狼鳍鱼—三尾拟蜉蝣—东方叶肢介”组合带 (“*Lycoptera muroii—Ephemeroptera trisetalis—Eosestheria*” assemblage zone)。值得一提的是,室井氏狼鳍鱼的分类是今后值得注意的一个问题。笔者觉得,室井氏狼鳍鱼与大卫狼鳍鱼之间的差异很大,而且时间和空间上的分布十分有限,有必要将其从狼鳍鱼中分离出来。

#### 4 热河生物群的时代与侏罗系—白垩系界线

热河生物群的时代归属长期来一直是中国地质界激烈争论的复杂问题之一,而且始终与中国陆相侏罗系与白垩系分界问题联系在一起。有些学者认为热河生物群的时代应为晚侏罗世,有些学者认为其时代应为早白垩世,还有部分学者认为热河生物群是跨越侏罗系—白垩系界线的(翁文灏,1927,1928,1929;王炳章,1929;王竹泉等,1929;远藤隆次,1936;郝诒纯等,1958,1962,1982;赵宗溥,1959;赵宗溥等,1959;顾知微,1962,1983;陈丕基等,1980;陈丕基,2000;米家榕等,1980;潘广,1981;洪友崇等,1982;李子舜等,1982;苏德英等,1982;王思恩,1982,1998,1999;庞其清,1984;王东方等,1984;李佩贤等,1994,2000,2001;任东等,1995,1997;刘本培等,1997;罗修泉等,1997;罗清华等,1999;季强等,1999;王五力等,1989;汪筱林等,1998,1999a,1999b)。究其原因,主要在于这些学者对于热河生物群的性质、组成、地层分布及采用的侏罗系—白垩系界线标准等方面认识很不一致。首先,国际侏罗系—白垩系界线主要是根据海相化石来确定的,而我国海相侏罗系和白垩系分布极为有限,仅见于西藏地区,中国其他地区的侏罗系和白垩系均为陆相沉积。因此,海相生物群与陆相生物群之间的确切对比难度很大。其次,目前国际侏罗系—白垩系界线层型(GSSP)尚未确定,国际地质科学联合会国际地层委员会同时公布了两个界线年龄值:144.2 Ma 或 135 Ma (瑞曼等,2000)。不管怎样,这两种界线标准之间本身就存在将近7~10 Ma 的差距。中国学者以往一贯主张采用135 Ma 或137 Ma 作为侏罗系—白垩系界线的年龄值,主要考虑到义县组火山岩的分布和辽西土城子组与义县组之间的区域不整合面。但国际侏罗系—白垩系界

线标准是全球统一的,不可能根据各国的生物群和地层发育情况而强调各自的区域特色。再者,德国巴伐利亚索伦霍芬地区产始祖鸟的地层时代为晚侏罗世提塘期(Tithonian),因为那儿产晚侏罗世提塘期菊石等无脊椎动物化石。但又有谁知道那套地层真实的地质年龄呢?实际上,索伦霍芬地区产始祖鸟的地层迄今没有放射性同位素测年数据的报道,因为那儿是一套潟湖相灰岩,难以进行放射性同位素测年工作,所谓的“150 Ma”的年龄值是从“144 Ma”的侏罗系—白垩系界线年龄值向前推算出来的。在这种情况下,我们过去所做的大量工作是必要的,但许多有关侏罗纪或白垩纪时代归属方面的争论显得是无谓的。事到如今,我们仍不清楚国际侏罗系—白垩系界线的年龄值究竟是“135 Ma”还是“144.2 Ma”。根据近几年冀北—辽西侏罗系—白垩纪过渡沉积的研究,今后有两个层位(火山岩)值得加以注意。一个是位于土城子组和大北沟组之间的张家口火山岩,另一个是位于大店子组和西瓜园组之间的无名山火山岩(可能相当于辽西广义义县组下部四合屯段与九龙松段之间的火山岩)。根据国内以往的地层古生物资料和“绝对年龄”数据,笔者推测它们的地质年龄可能各自为“144 Ma”和“135 Ma”。果真如此,如果国际侏罗系—白垩系界线的年龄值确定为144 Ma,那么意味着热河生物群的时代全部应为早白垩世;如果国际侏罗系—白垩系界线的年龄值确定为135 Ma,那么热河生物群是跨越侏罗系—白垩系界

表1 冀北—辽西中生代热河生物群地层分布表  
Table 1 The strata distribution of the Jehol biota in northern Hebei—western Liaoning area

冀北	辽西	生物地层	年龄 (Ma)
南店组	九佛堂组(下部)	室井氏狼鳍鱼—三尾拟蜉蝣—东方叶肢介组合带	
火山岩层	黄花山段(火山岩)		
沉积层	金刚山段		
火山岩层	义 砖城子段(火山岩)		
花吉营组	县 横道子段	辽宁古果—原网翅蛇—长城鸟组合带	
		九龙松段	中华龙鸟—孔子鸟—热河兽组合带
	组 无名山段(火山岩)		135
大店子组	四合屯段	狼鳍鱼—东方叶肢介—女星介组合带	
大北沟组		三尾拟蜉蝣—潘氏北票鲟—毕索夫尼斯托叶肢介组合带	
张家口火山岩	土城子组		144
后城组			

线的。无论如何,热河生物群的时代几乎不可能全部为晚侏罗世。以笔者愚见,我们应当进一步加强冀北—辽西地区中生代生物地层学、磁性地层学、地质年代学等方面的工作,建立起自己的系统和标准。一旦国际侏罗系—白垩系界线层型确定(GSSP),我们就有可能参与国际竞争,争取将侏罗系—白垩系界线(陆相)辅助层型建立在中国。

### 参 考 文 献

- 曹正尧,吴舜卿,张平安,等. 1997. 辽西义县组单子叶植物化石的发现. 科学通报, 42(16): 1764~1766.
- 陈丕基. 2000. 陆相白垩系. 中国地层研究二十年(1979~1999). 合肥: 中国科学技术大学出版社, 329~345.
- 陈丕基,文世宣,周志炎,等. 1980. 辽宁西部晚中生代陆相地层的研究. 中国科学院南京地质古生物研究所丛刊(1): 22~55.
- 段淑英. 1997. 最古老的被子植物——具三心皮结构被子植物生殖器官. 中国科学(D辑), 27(6): 519~524.
- 顾知微. 1962. 中国的侏罗系和白垩系. 北京: 科学出版社.
- 顾知微. 1983. 论我国非海相侏罗系和白垩系分界. 见: 中国各纪地层界线研究. 北京: 科学出版社.
- 郝治纯,陈芬,聂泽同. 1958. 辽宁阜新沙海含煤组的化石群及其地层意义. 中国古生物学会会讯, (12).
- 郝治纯,陈芬,聂泽同. 1962. 辽宁阜新沙海及阜新含煤组的化石群及其地层意义. 中国古生物学会第二届代表大会第九届学术年会论文摘要.
- 郝治纯,苏德英,李友桂,余静贤,张望平,李佩贤,齐骅,关绍曾,郭福祥. 1982. 论中国非海相白垩系的划分及侏罗—白垩系的分界. 地质学报, 56(3): 187.
- 洪友崇. 1998. 中国北方昆虫群的建立及演化序列. 地质学报, 72(1): 1~10.
- 洪友崇,程政武,王思恩,牛绍武,王璞,余静贤,苗淑娟,庞其清,白拥军. 1982. 京西晚期中生代地层和古生物的研究. 地质学报, 56(2): 98.
- 侯连海. 1997. 中国中生代鸟类. 台湾南投, 台湾省立凤凰谷鸟园.
- 侯连海,周忠和,顾玉才等. 1995. 侏罗纪鸟类化石在中国的首次发现. 科学通报, 40(8): 726~729.
- 季强,姬书安. 1996. 中国最早鸟类化石的发现及鸟类起源. 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. 中国地质, (3): 38~41.
- 季强,姬书安,任东,卢立伍,方晓思,郭子光. 1999. 辽西北票四合屯地区含鸟地层的层序及时代. 地层古生物论文集, (27): 74~80.
- 李佩贤,庞其清,程政武等. 2000. 中国北方陆相侏罗系与白垩系分界和临界阶的建立. 见: 第三届全国地层会议论文集. 北京: 地质出版社, 243~251.
- 李佩贤,苏德英,李友桂等. 1994. 狼鳍鱼(*Lycoptera*)岩层的时代归属. 地质学报, 68(1): 87~100.
- 李佩贤,程政武,庞其清. 2001. 辽西北票孔子鸟 *Confuciusornis* 的层位及时代. 地质学报, 75(1): 1~13.
- 李子舜,王思恩,于箬珊,黄怀曾,郑少林,于希汉. 1982. 中国北部上侏罗统的划分及其与白垩系的界线——着重讨论龙爪沟群、鸡西群、热河群的划分和对比. 地质学报, 56(4): 347~363.
- 刘本培,张世红. 1997. 侏罗—白垩系地球圈层演化节律及相互关系. 地质前缘, 4(3~4): 65~74.
- 刘宪亭,苏德造,黄龙,张国瑞. 1963. 华北的狼鳍鱼化石. 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所甲种专刊, (6).
- 刘宪亭,周家健. 1965. 辽宁北票晚侏罗世鲟类一新科. 古脊椎动物与古人类, 9(3).
- 罗修泉,李佩贤. 1997. 侏罗系—白垩系界线年代研究. 地球学报, 18(3): 242~247.
- 罗清华,陈丕基,邹东羽等. 1999. 辽西义县组火山凝灰岩激光单晶氩氩与钾氩同位素年龄分析研究. *Palaeoworld*(热河生物群专集). 合肥: 中国科学技术大学出版社, 328~340.
- 米家裕,徐开志,张川波,常建平,姚培毅. 1980. 辽宁北票附近中生代地层. 长春地质学院学报, (4).
- 潘广. 1981. 燕辽地区中生代地层. 辽宁地质学报, (1).
- 庞其清. 1984. 河北燕山地区陆相侏罗—白垩系介形类化石及其界线. 河北地质学院学报, (3): 1~61.
- 任东. 1993. 蚊蝎蛉科化石在我国的首次发现. 地质学报, 67(4): 376.
- 任东,郭子光,卢立伍,姬书安,唐峰,靳悦高,方晓思,季强. 1997. 辽宁西部上侏罗统义县组研究新认识. 地质学报, 43(5): 449~459.
- 任东,卢立伍,郭子光,姬书安. 1995. 北京与邻区侏罗—白垩纪动物群及其地层. 北京: 地震出版社.
- 瑞曼 J,等. 2000. 国际地层表说明. 金玉玕等译. 地层学杂志, 24(增刊): 321~329.
- 苏德英等. 1982. 中国的白垩系. 见: 中国地层(1), 中国地层概论. 北京: 科学出版社.
- 谭锡畴. 1926. 热河朝阳县北票煤田. 地质汇报, (8).
- 谭锡畴. 1927. 中国北部白垩纪之含煤层. 中国地质学会志, 6: 53~60(英文).
- 王炳章. 1929. 热河北票之火山岩研究. 中国地质学会志, 8(4): 343~362(英文).
- 王东方,刁乃昌. 1984. 辽西侏罗—白垩系火山岩系统的同位素年龄测定. 见: 国际交流地质学术论文集(1). 北京: 地质出版社, 1~12.
- 王思恩等. 1982. 中国的侏罗系. 见: 中国地层(1), 中国地层概论. 北京: 科学出版社.
- 王思恩. 1990. 热河动物群的起源、演化与机制. 地质学报, 64(4): 350~360.
- 王思恩. 1998. 中国北部陆相侏罗系与英国海陆交互相侏罗系的对比研究——兼论中国北部侏罗系的划分与对比. 地质学报, 72(1): 11~21.
- 王思恩. 1999. 热河动物群的古生态与古环境——冀北、辽西叶肢介群落古生态与古环境重建. 地质学报, 73(4): 289~301.
- 王五力,郑少林,张立君等. 1989. 辽宁西部中生代地层古生物(1). 北京: 地质出版社.
- 王宪曾,任东,王宇飞. 2000. 辽宁西部义县组被子植物花粉的首次发现. 地质学报, 74(3): 265~272.
- 汪筱林,王元青,王原等. 1998. 辽西四合屯及周边地区义县组下部地层层序与脊椎动物化石层位. 古脊椎动物学报, 36(2): 81~101.
- 汪筱林,王元青,金帆等. 1999a. 辽西热河生物群脊椎动物化石组合序列与地层层序. 第七届中国古脊椎动物学学术年会论文集. 北京: 海洋出版社, 1~12.
- 汪筱林,王元青,徐星等. 1999b. 辽西四合屯脊椎动物集群死亡事件: 火山爆发的灾变记录. 地质论评, 45(增刊): 458~467.
- 王竹泉,黄汲清. 1929. 热河阜新煤田. 地质汇报, (13).
- 翁文灏. 1927. 中国东部中生代以来之地壳运动及火山活动. 中国地质学会志, 6: 9~36(英文附中文摘要).

- 翁文灏. 1928. 热河北票附近地质构造研究. 地质汇报, (11).
- 翁文灏. 1929. 中国东部中生代造山运动. 中国地质学会志, 8: 33~44 (英文版).
- 远藤隆次. 1936. 关于九佛堂统及古山统化石二、三事实. 满洲地质学会记录, (3).
- 赵宗溥. 1959. 燕辽地区中生代地层层序及燕山运动时期的构造基本形态. 地质月刊, (4).
- 赵宗溥, 何铸文. 1959. 北票地区的侏罗纪地层层序及燕山期火山活动、地壳运动及构造形态的几个问题. 地质科学, (2).

## References

- Cao Z Y, Wu S Q, Zhang P A, et al. 1997. A discovery of monocotyledons from Yixian Formation in western Liaoning. Chinese Sci. Bull., 42 (16): 1764~1766 (in Chinese with English abstract).
- Chen P J. 2000. Continental Cretaceous System. In: Stratigraphical Studies in China (1979~1999). Hefei: Press of University of Science and Technology of China, 329~345 (in Chinese with English abstract).
- Chen P J, Wen S X, Zhou Z Y et al. 1980. Late Mesozoic continental stratigraphical studies of western Liaoning. Bull. Of Nanjing Inst. Of Geology and Palaeontology, Academia Sinica, No. 1. Nanjing: Press of Science and Technology of Jiangsu, 22~55 (in Chinese).
- Chen P J, Shi Z L, Ye N et al. 1998. Sungari Biota and Cretaceous stratigraphic sequence of NE China. Acta Paleont. Sinica, 37 (3): 380~385 (in Chinese with English abstract).
- Chiappe L M, Ji S A, Ji Q, Norell M A. 1999. Anatomy and Systematics of the *Confuciusornithidae* (Theropoda: Aves) from the Late Mesozoic of Northeastern China. Bull. Amer. Mus. Nat. Hist., 242: 1~89.
- Duan S Y. 1997. The Earliest Angiosperm. Scientia Sinica (D), 27 (6): 519~524 (in Chinese with English abstract).
- Gao K Q, Tang Z L, Wang X L. 1999. A long-necked diapsid reptile from the Upper Jurassic/Lower Cretaceous of Liaoning Province, northeastern China. Vert. Palaeont., 37: 1~8.
- Gao K Q, Evans S, Ji Q, Norell M A, Ji S A. 2000. Exceptional fossil material of a semi-aquatic reptile from China: the resolution of an enigma. Jour. Vert. Palaeont., 20: 417~421.
- Grabau A W. 1923. Cretaceous Mollusca From North China. Bull. Geol. Surv. China, No. 5, Part 2.
- Grabau A W. 1928. Stratigraphy of China. Part 2, Mesozoic.
- Gu Z W. 1962. The Jurassic and Cretaceous systems of China. Beijing: Science Press (in Chinese).
- Gu Z W. 1995. The studies on age of the Jehol Fauna. In: Retrospect of the development of geoscience disciplines in China. Wuhan: China University of Geosciences Press, 93~99 (in Chinese with English abstract).
- Hong Y C. 1998. Establishment and evolution successions of entomofauna in the North of China. Acta Geologica Sinica, 72(1): 1~10 (in Chinese with English abstract).
- Hou L H, Zhou Z H, Gu Y C et al. 1995. *Confuciusornis sanctus* — a new Late Jurassic sauririne from China. Chinese Sci. Bull., 40 (18): 1545~1551 (in Chinese with English abstract).
- Hou L H. 1997. Mesozoic birds of China. Taipei: Phoenix Valley Park, 1~228 (in Chinese).
- Ji Q, Ji S A. 1996. On discovery of the earliest bird fossil in China and the origin of birds. Chinese Geology, 10: 30~33 (in Chinese with English abstract).
- Ji Q, Ji S A. 1997a. Protarchaeopterygid bird (*Protarchaeopteryx gen. nov.*) — fossil remains of archaeopterygids from China. Chinese Geology, 3: 38~41 (in Chinese with English abstract).
- Ji Q, Ji S A. 1997b. Advances in the study of *Sinosauropteryx prima*. Chinese Geology, 7: 30~34 (in Chinese with English abstract).
- Ji Q, Currie P J, Norell M A, Ji S A. 1998. Two Feathered Dinosaurs From Northeastern China. Nature, 393: 753~761.
- Ji Q, Ji S A, Ren D, Lu L W, Fang X S, Guo Z G. 1999a. On the sequence and age of the protobird-bearing deposits in the Sihetun-Jianshangou area, Beipiao, western Liaoning. Prof. Papers Stratigr. Palaeont., 27: 74~80 (in Chinese).
- Ji Q, Chiappe L M, Ji S A. 1999b. A new Late Mesozoic confuciusornithid bird from China. Jour. Vert. Palaeont. 19(1): 1~7.
- Ji Q, Luo Z X, Ji S A. 1999c. A Chinese Triconodont Mammal And Mosaic Evolution Of The Mammalian Skeleton. Nature, 398: 326~330.
- Ji Q, Norell M A, Gao K Q, Ji S A, Ren D. 2001. The distribution of integumentary structures in a feathered dinosaur. Nature, 410: 1084~1088.
- Li P X, Su D Y, Li Y G et al. 1994. Age assignment of the Lycopetra-bearing Bed. Acta Geol. Sinica (in English), 7(3): 329~347.
- Li P X, Pang Q Q, Cheng Z W et al. 2000. The continental Jurassic—Cretaceous boundary and critical atage in Northern China. In: Proceedings of the third national stratigraphical conference of China. Beijing: Geol. Pub. House, 243~251 (in Chinese with English abstract).
- Li Z S, Wang S E, Yu J S et al. 1982. On the classification of the Upper Jurassic in North China and its bearing on the Juro-Cretaceous boundary. Acta Geol. Sinica, 56(4): 347~353 (in Chinese with English abstract).
- Liu B P, Zhang S H. 1997. Rhythms of different geospheres and their relation in Middle Jurassic—Early Cretaceous. Earth Science Frontiers, 4(3~4): 65~74 (in Chinese with English abstract).
- Luo X Q, Li P X. 1997. A study on the boundary age between Jurassic and Cretaceous. Acta Geol. Sinica, 18(3): 242~247 (in Chinese with English abstract).
- Lo C H, Chen P J, Tsou T Y et al. 1999a. Age of *Sinosauropteryx* and *Confuciusornis* —  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  laser single and K-Ar dating of the Yixian Formation, NE China. Geochimica, 28(4): 404~409 (in Chinese with English abstract).
- Lo C H, Chen P J, Tsou T Y et al. 1999b.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  laser single and K-Ar dating of the Yixian Formation, NE China. In: Palaeoworld 11. Hefei: Press of University of Science and Technology of China, 328~340 (in Chinese with English abstract).
- Pang Q Q. 1984. Ostracoda fossils and the boundary for terrestrial Jurassic—Cretaceous Systems in Yanshan Area, Hebei Province. Journal of Hebei College of Geology, No. 3 (Sum. 27): 1~61 (in Chinese).
- Ren D. 1998. Flower-Associated Brachycera Flies as Fossil Evidence for Jurassic Angiosperm Origin. Science, 280: 85~88.
- Ren D, Lu L W, Guo Z G et al. 1995. Fauna and stratigraphy of Jurassic—Cretaceous in Beijing and adjacent areas. Beijing: Press of Seismology (in Chinese with English abstract).

- Ren D, Guo Z G, Lu L W et al. 1997. A further contribution to the knowledge of the Upper Jurassic Yixian Formation in western Liaoning. *Geol. Rev.*, 34(5): 449~459 (in Chinese with English abstract).
- Sun G, Dilcher L D, Zheng S L et al. 1998. In search of the first flower: A Jurassic Angiosperm, *Archaeofructus*, from northeast China. *Science*, 282(5394): 1692~1695.
- Swisher C C, Wang Y Q, Wang X L et al. 1999. Cretaceous age for the feathered dinosaurs of Liaoning, China. *Nature*, 400(1): 58~61.
- Tan H C. 1927. On the existence of the Cretaceous coal series in north China. *Bulletin of the Geological Society of China*, 6: 53~59.
- Wang D F, Diao N C. 1984. Geochronology of Jura-Cretaceous volcanics in Liaoning, China. In: *Scientific Papers on Geology for International Exchange*. Beijing: Geol. Pub. House, 1~12 (in Chinese with English abstract).
- Wang P C. 1929. The volcanic rocks in Peipiao Region (北票). *Bulletin of the Geological Society of China*, 8: 343~362.
- Wang S E. 1990. Origin, evolution and mechanism of the Jehol Fauna. *Acta Geol. Sinica*, 64(4): 350~360 (in Chinese with English abstract).
- Wang S E. 1998. Correlation of the continental Jurassic in the north of China to the Paralic Jurassic in northwest Scotland, United Kingdom. *Acta Geol. Sinica*, 72(1): 11~21 (in Chinese with English abstract).
- Wang S E. 1999. Palaeoecology and palaeoenvironment of the Jehol biota — A palaeoecological and palaeoenvironmental reconstruction of conchstracan palaeocommunities in the northern Hebei—western Liaoning area. *Acta Geol. Sinica*, 73(4): 289~301 (in Chinese with English abstract).
- Wang W L, Zheng S L, Zhang L J et al. 1989a. Mesozoic stratigraphy and palaeontology of western Liaoning (1). Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese with English abstract).
- Wang X L, Wang Y Q, Wang Y et al. 1998. Stratigraphic sequence and vertebrate-bearing beds of the lower part of the Yixian Formation in Sihetun and neighboring area, western Liaoning, China. *Vert. Palasiat.*, 36(2): 81~101 (in Chinese with English abstract).
- Wang X L, Wang Y Q, Jin F et al. 1999a. Vertebrate assemblage of the Jehol biota in western Liaoning, China. In: *Proceedings of the 7th annual meeting of the Chinese Society of Vertebrate Paleontology*. Beijing: China Ocean Press, 1~12 (in Chinese with English abstract).
- Wang X L, Wang Y Q, Xu X et al. 1999b. Record of the Sihetun vertebrate mass mortality events, western Liaoning, China: caused by volcanic eruptions. *Geol. Rev.*, 45(sup.): 458~467 (in Chinese with English abstract).
- Wang X Z, Ren D, Wang Y F. 2000. First discovery of angiosperma pollen from Yixian Formation in western Liaoning. *Acta Geol. Sinica*, 74(3): 265~272 (in Chinese with English abstract).
- Wong W H. 1927. Crustal movements and igneous activities in eastern China since Mesozoic time. *Bulletin of the Geological Society of China*, 6: 9~36 (in English with Chinese abstract).
- Wong W H. 1929. The Mesozoic orogenic movement in Eastern China. *Bulletin of the Geological Society of China*, 8: 33~44.
- Xu X, Tang Z L, Wang X L. 1999a. A therizinosaurid dinosaur with integumentary structures from China. *Nature*, 399: 350~354.
- Xu X, Wang X L, Wu X C. 1999b. A dromaeosaurid dinosaur with a filamentous integument from the Yixian Formation of China. *Nature*, 401: 262~266.
- Xu X, Zhou Z H, Wang X L. 2000. The smallest known non-avian theropod dinosaur. *Nature*, 408: 705~708.

## On the Mesozoic Jehol Biota of China

Ji Qiang

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

### Abstract

The Jehol biota is widely distributed in East Asia and characterized by the co-occurrence of *Lycoptera*, *Eosestheria*, *Ephemeropsis trisetalis* and *Peipiaosteus pani* associated with other fossils, such as feathered theropods, mammals, pterosaurs, fishes, reptiles, ostracods, bivalves, gastropods, insects and plants. This paper gives a brief historical review of the Mesozoic Jehol biota of China, sets forth the present situation in its definition, composition, stratigraphic distribution and geological age and discusses the Jurassic—Cretaceous boundary of terrestrial facies in China. Biostratigraphically, five assemblage zones can be recognized (in ascending order): “*Ephemeropsis trisetalis*—*Peipiaosteus pani*—*Nestoria pissovi*” assemblage zone, “*Lycoptera*—*Eosestheria*—*Cypridea*” assemblage zone, “*Sinosauropteryx*—*Confuciusornis*—*Jeholodens*” assemblage zone, “*Archaeofructus*—*Protonemistrius*—*Changchengornis*” assemblage zone and “*Lycoptera muroi*—*Ephemeropsis trisetalis*—*Eosestheria*” assemblage zone. According to biostratigraphic and isotopic data available, the Jehol biota may belong to the Early Cretaceous or range from the Latest Jurassic to the Early Cretaceous, because the GSSP of the Jurassic—Cretaceous boundary has remained uncertain yet. Anyway, it is impossible that the age of the Jehol biota is limited to the Late Jurassic.

**Key words:** Jehol fauna; Jurassic—Cretaceous boundary; terrestrial facies; Mesozoic