·综合评述·

热河生物群重大研究进展综述

姬书安

(中国地质博物馆,北京 100034;中国地质大学地球科学与资源学院,北京 100083)

提 要:简要介绍了近五年来热河生物群研究的一些重大进展,讨论了该生物群中两栖类、长羽毛恐龙、哺乳类、被子植物等化石的一些重大发现与研究成果,指出热河生物群包含着鸟类、真兽类、被子植物等重要生物门类起源的关键信息,最后讨论了热河生物群的地质时代及其争论焦点。

关键词:热河生物群;两栖类;鸟类起源;哺乳类;被子植物;地质时代

辽西及邻区热河生物群的研究已有数十年历史,但近五年来大量化石新类型的不断发现使我们对这一生物群的面貌、性质、地史及地理分布等有了更为深入全面的认识。目前在热河生物群中已发现的生物化石多达20几个大的门类,其中白鲟类、有尾两栖类、无尾两栖类、翼龙类、长羽毛的恐龙、孔子鸟类、反鸟类等在热河生物群中均为首次发现,而昆虫类、洞虾类、龟类、蜥蜴类、离鳄类、哺乳类、被子植物等的研究也取得了许多重大进展。从化石类型、数量及保存程度等方面看,热河生物群是比德国索伦霍芬始祖鸟(*Archaeopteryx*)生物群还重要的中生代生物群。五年来我国科学家已在国际最为著名的刊物"*Nature*"和"*Science*"上发表了近20篇关于热河生物群的研究文章,在世界学术界产生很大影响。应该强调指出的是,热河生物群中包含有鸟类、真兽类、被子植物等重要生物门类的起源与早期演化的关键信息,这一点在全球范围内都是独一无二的。限于篇幅,本文仅对近年来热河生物群研究的几个方面作一简要评述。

1 滑体两栖类的发现及其早期演化

现代两栖类又称滑体两栖类,虽然它出现于中生代早期,但侏罗纪的化石非常稀少。1998年以来,我国学者在辽西冀北晚期中生代地层中发现了大量保存精美的滑体两栖类化石,已记述了无尾两栖类(Anura)辽蟾(*Liaobatrachus*)(姬书安等, 1998)、丽蟾(*Callobatrachus*)(王原等,1999),以及有尾两栖类(Caudata)塘螈(*Laccotriton*)(高克勤等,1998)、辽西螈(*Liaoxitriton*)(董枝明等,1998)和热河螈(*Jeholotriton*)(王原,2000),此外还有一些化石正在研究中。热河生物群中滑体两栖类化石不仅类型多、数量大,而且其保存的完整程度是非常罕见的。这是热河生物群中两栖类化石的首次发现,也是我国中生代滑体两栖类化石的首次发现。对这些化石的

收稿日期:2001-02-26

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cn

研究使我们对早期滑体两栖类骨骼解剖学特征有了许多新的认识，同时也为研究其早期演化与分异、迁徙与进化历史等提供了重要科学信息。

热河生物群中的无尾两栖类代表着该类群的原始类型，而同一时期数量更多、类型更多、地理分布更广泛的有尾两栖类提供着更加丰富的科学信息。中国东北是世界上晚侏罗世至早白垩世现代类型两栖动物最为重要的分布地区和早期演化中心。

2 长羽毛的恐龙化石与鸟类起源、鸟类定义

20世纪70年代至今，世界上对鸟类起源的研究一浪高过一浪，90年代中期以来，热河生物群中中华龙鸟(*Sinosauropteryx*)、原始祖鸟(*Protarchaeopteryx*)、尾羽鸟(*Caudipteryx*)、北票龙(*Beipiaosaurus*)、中国鸟龙(*Sinornithosaurus*)、小盗龙(*Microraptor*)等一系列长羽毛恐龙化石的发现，是鸟类起源研究史上划时代的重大事件。中华龙鸟是世界上首次发现的长有原始羽毛的恐龙化石(季强等，1996)，暂被一些学者归入美颌龙类(Compsognathidae)(Chen et al，1998)。原始祖鸟和尾羽鸟的前肢及尾部已发育有真正的羽毛，但其前肢上的羽毛呈对称状，显示出较原始的性质，无疑代表着羽毛演化的一个重要阶段(Ji et al，1998)，尾羽鸟有可能自成一类(周忠和等，2000a，b)。北票龙的形态特征表明它属于镰刀龙类(Therizinosauridae)，该类恐龙是兽脚类恐龙中的特化类群，但北票龙的身体上也保存着类似中华龙鸟身上的细丝状皮肤衍生物(Xu et al，1999a)。中国鸟龙和小盗龙属于奔龙类(Dromaeosauridae)，该类恐龙在鸟类起源研究方面具有特殊意义，其形态已经非常接近早期鸟类，该两者也发育有细丝状皮肤衍生物(Xu et al，1999b，2000)，它们的发现进一步证实了这种构造在兽脚类恐龙中分布较为广泛的观点，为羽毛的起源和演化提供了重要的信息。

尽管仍有部分学者认为鸟类起源于槽齿类(侯连海等，1999；周忠和，2000)，但辽西这些长羽毛恐龙化石的发现以实际材料证实了鸟类确由兽脚类恐龙演化而来，肯定了恐龙与鸟类的祖裔关系，而且还为鸟类的飞行起源于陆地奔跑假说提供了依据。随着近年世界范围内大量进步小型兽脚类恐龙化石新材料的发现及研究的不断深入，以前被认为是鸟类所特有的许多特征在兽脚类恐龙中都有发现，使得兽脚类恐龙与鸟类之间的界线越来越模糊，“鸟类就是恐龙”这一观点正在被越来越多的人所接受(Padian et al，1998；Sereno，1999)。目前国际学术界对鸟类起源问题的研究已转移到了鸟类的定义方面，也就是兽脚类恐龙与鸟类的区分标准问题。

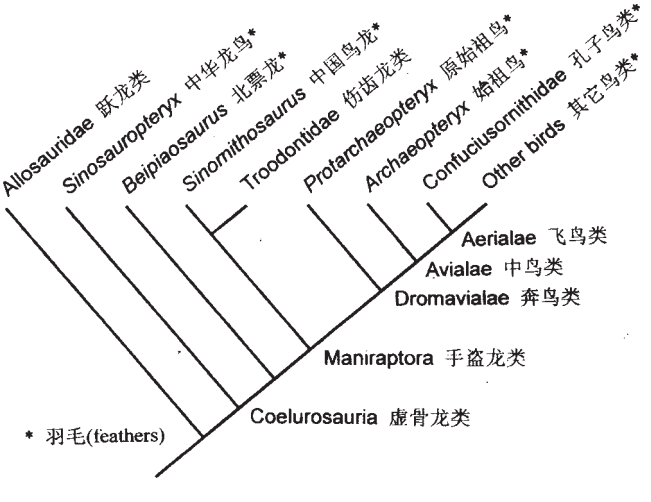

图1 兽脚类恐龙与鸟类分支系统简图

关于鸟类的定义标准主要有以下几种观点（季强等，

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cn

1999)。第一种认为鸟类应局限于现生鸟类及其最近的直系祖先类型(包括少量化石),以保持鸟类定义的最初含义,按照这个定义,中华龙鸟、尾羽鸟、原始祖鸟和始祖鸟等被称为长羽毛的恐龙。第二种观点主张以始祖鸟作为最早的鸟(Padian et al, 1998),也就是说,始祖鸟之后的都可称之为鸟,而比始祖鸟原始的其它长羽毛的动物则被称为长羽毛的恐龙。通过对热河生物群中一系列长羽毛动物化石中华龙鸟、中国鸟龙、尾羽鸟、原始祖鸟等的研究对比,可以看出:在兽脚类恐龙向鸟类演化的过程中,中华龙鸟开始出现原始羽毛 ;奔龙类(中国鸟龙)前肢已呈翼状,其下臂已能向身体方向折过来 ;原始祖鸟和尾羽鸟最早发育了翅膀和羽片为对称状的飞行羽毛 ;始祖鸟的飞行羽毛已变为不对称类型 ;孔子鸟类出现角质喙、尾变短并出现尾综骨(图 1)。因而我国学者提出了鸟类定义的另一种看法(季强等, 1999),即鸟类应该被定义为已具备了翅膀和飞行羽毛的所有生物,具体讲,原始祖鸟和尾羽鸟应作为鸟类的开始,它们是目前已知最早的鸟类。

辽西热河生物群中长羽毛恐龙化石的重要意义可概括为 :(1)首次以实际材料证明了由兽脚类恐龙向鸟类演化过程中中间环节的存在 ;(2)支持和完善了兽脚类恐龙鸟类起源假说和陆地奔跑飞行起源假说 ;(3)大大改变了以往人们对于恐龙和鸟类的概念和定义的认识 ;(4)辽宁西部应为鸟类起源及最重要的早期演化中心。

3　原始哺乳类化石与真兽类起源

1997 年以来, 辽西热河生物群中相继记述了两个新的原始哺乳动物化石张和兽(*Zhangheotherium*)及热河兽(*Jeholodens*),有意义的是它们不仅保存了完整的头骨,还同时保存有较为完整的头后骨骼,为我们研究认识哺乳类的早期演化提供了重要化石依据,目前我们对对齿兽类(Symmetrodonta)及三尖齿兽类(Triconodonta)头后骨骼结构特征的了解,基本上都来自对张和兽及热河兽的认识。张和兽属于对齿兽类(Hu et al, 1997),热河兽则属于三尖齿兽类(Ji Q et al, 1999),它们还不是真兽类。热河兽的进步前肢和肩部、以及原始的腰带和后肢的结合特征表明,哺乳类的早期演化是非常复杂的,且镶嵌式进化现象极为普遍。热河兽的足部显示它生活于陆地,而不是树上,这也许表明哺乳动物可能起源于陆地。热河生物群中原始哺乳类化石是近年来国际上原始哺乳类研究的重大进展, 但到目前为止还没有发现真正意义上的真兽类化石。从我们已掌握的化石材料及信息来看,辽西应该含有真兽类起源的重要化石信息,最近发现的多个哺乳类化石可能能在这方面提供依据。

4　早期被子植物化石及其起源

辽西热河生物群中植物化石属种数量很丰富,是我国中生代门类最齐全的植物群之一,也是现阶段被子植物化石出现最早的一个植物群。被子植物的起源也是地球生命发展史中一个重大的未解之谜,世界其它各地早期被子植物化石的报道均来自白垩纪,侏罗纪的有花植物化石十分罕见,因而有关前白垩纪的被子植物化石发现都能引起极大的轰动。近年来,辽西义县组中相继发现了大量类被子植物化石及真正的被子植物化石, 而使辽西成为被子植物重要的发源地之一,这也是目前热河生物群中植物化石被国内外同行关注的原因所在。与中国已知的大体同期的植物群相比, 热河植物群中大量被子植物化石及在进化上与被子植物关系密切的买麻藤类及可疑被子植物化石的存在是一个极为显著的特征。自1990年,多种与被子植物关系

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cn

密切的买麻藤类植物和可疑的被子植物及真正的被子植物在辽西的发现，动摇了被子植物起源于早白垩世的传统观点。1998年，任东(Ren，1998)根据对喜花昆虫的研究提出辽西义县组沉积时期已经有被子植物的存在，孙革等(Sun et al，1998)报道的辽西确凿的被子植物化石辽宁古果(*Archaefructus*)引起国内外的关注。随后，我国学者在义县组中又发现了可靠的多类型的原始被子植物花粉(王宪曾等，2000)，该发现表明当时原始被子植物确已存在，并呈现出多类型的特点。目前仍有一些新的有价值的植物化石被发现，热河生物群中植物化石材料使我们对被子植物起源这一问题的研究向前迈进了一大步。

5 热河生物群地质时代

热河生物群主要赋存于义县组、九佛堂组及其相当层位，关于其地质时代多年来一直存在着争议，九佛堂组一般被认为早白垩世，而义县组的时代则有晚侏罗世、早白垩世、晚侏罗世至早白垩世这几种不同的观点。近年来大量脊椎动物化石的不断发现，使得对义县组的时代争论更加激烈，这种争议在很大程度上是对四合屯—尖山沟一带含中华龙鸟和孔子鸟(*Confuciusornis*)地层存在着认识分歧。孔子鸟的最初描述者将孔子鸟与德国的始祖鸟进行对比，主张其时代应为晚侏罗世(Hou et al，1995)，这种看法得到了其它一些门类的化石如兽脚类恐龙(Chen et al，1998)、翼龙(Ji S A et al，1999)、昆虫(Ren，1998)等的支持。也有一些研究者依据义县组的同位素年龄绝对值，主张将整个义县组归入早白垩世(Swisher et al，1999；Wang et al，2000)。然而不少学者对这些同位素年龄值是否能代表含孔子鸟化石的沉积岩层的时代提出质疑，他们认为，由于测试的样品直接来自后期侵入的玄武岩岩床或岩墙，或受到后期次火山岩的强烈烘烤或化学的影响，其年龄值不能真实反映沉积岩的年龄，只能比沉积岩年龄新。最近，罗清华等(1999a，b)用Nd-YAG激光Ar-Ar法和K-Ar法两种方法，对四合屯—尖山沟化石层中火山凝灰岩做了数十次分析，得出的同位素年龄值分别为147±1.8Ma和147.3±3.3Ma，论证了含孔子鸟化石的义县组底部或下部地层的时代属晚侏罗世提塘期(Tithonian)。目前，不少学者都支持这一观点(蒋福兴等，2000；孙革等，2000)。

义县组的时代之争在一段时间还将存在下去，而对四合屯—尖山沟一带含化石地层的深入研究将有助于这一问题的解决。关于四合屯一带产脊椎动物化石的地层，绝大多数学者都把它归入义县组底部，同时他们将对这一段地层的时代看法扩大化，认为代表了整个义县组的时代。季强等(2000)认为这段地层与最初义县组的定义有很大区别，故将四合屯—尖山沟含中华龙鸟、孔子鸟等脊椎动物化石的地层新建“炒米甸子组”，其与上覆的义县组为整合接触关系；炒米甸子组的时代为晚侏罗世，而其上义县组的时代仍需进一步研究。

参考文献：

[1]王宪曾，任东，等.辽宁西部义县组被子植物花粉的首次发现[J].地质学报，2000，74(3)：265~272.

[2]王原，早白垩世热河生物群一新的有尾两栖类[J]. 古脊椎动物学报，2000，38(2)：100~103.

[3]王原，高克勤. 亚洲最早的盘舌蟾类化石[J]. 科学通报，1999,44(4)：407~412.

[4]孙革，郑少林. 中国东北中生代地层划分对比之新见[J]. 地层学杂志，2000，24(1)：60~64.

[5]季强，姬书安. 中国最早鸟类化石的发现及鸟类的起源[J]. 中国地质，1996，(10)：30~32.

[6]季强，姬书安. 谈谈鸟类的定义问题[J]. 科技术语研究，1999,(2)：15~17.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cn

[7]季强，姬书安,等.论辽西北票四合屯－尖山沟一带含原始鸟类地层的层序及时代[A]. 地层古生物论文集[C]，2000, 27：74~80.

[8]罗清华，陈丕基,等.中华龙鸟与孔子鸟类的时代－辽西义县组火山凝灰岩激光$^{40}Ar/^{39}Ar$年龄测定[J]. 地球化学,1999a, 28(4)：405~409.

[9]罗清华，陈丕基,等.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*,1999b. 11 :328~340.

[10]周忠和. 鸟类起源研究的进展与现状[J]. 古脊椎动物学报,2000, 38(1)：72~78.

[11]周忠和，汪筱林. 辽宁北票尾羽龙(*Caudipteryx*)一新种[J]. 古脊椎动物学报，2000a,38(2)：111~127.

[12]周忠和，汪筱林,等. 尾羽龙(*Caudipteryx*)的新材料及其重要骨骼特征的补充和修订[J]. 古脊椎动物学报，2000b. 38(4)：241~254.

[13]侯连海，周忠和. 中国古鸟类研究进展[J]. 科学通报，1999.44(13)：1378~1383.

[14]高克勤，程政武,等. 中国中生代有尾两栖类的首次报道[J]. 中国地质，1998.(1)：40~41.

[15]姬书安，季强. 中国首次发现的中生代蛙类化石(两栖纲：无尾目)[J]. 中国地质，1998.(3)：39~42.

[16]蒋福兴，陈金华,等. 关于辽西孔子鸟层时代的讨论[J]. 古生物学报，2000.39(2)：307~311.

[17]董枝明，王原. 辽宁西部早白垩世一新的有尾两栖类(*Liaoxitriton zhongjiani*)[J]. 古脊椎动物学报,1998. 36(2)：159~172.

[18]Chen P J, Dong Z M et al. An exceptionally well-preserved theropod dinosaur from the Yixian Formation of China[J]. *Nature*, 1998, 391:147~152.

[19]Hou L H, Wartin L D et al. A beaked bird from the Jurassic of China[J]. *Nature*,1995, 377:616~618.

[20]Hu Y M, Wang Y Q et al. A new symmetrodont mammal from China and its implications for mammalian evolution[J]. *Nature*, 1997, 390:137~142.

[21]Ji Q, Currie P J et al. Two feathered dinosaurs from northeastern China[J]. *Nature*.1998, 393:753~761.

[22]Ji Q, Luo Z X et al. A Chinese triconodont mammal and mosaic evolution of the mammalian skeleton[J]. *Nature*, 1991, 398:326~330

[23]Ji S A, Ji Q et al. Biostratigraphy of new pterosaurs from China. *Nature*, 1999, 398:573~574.

[24]Padian K, Chiappe L M. The origin and early evolution of birds[J]. *Biol Rev*,1998,73:1~42.

[25]Ren D Flower-associated Brachycera flies as fossil evidence for Jurassic angiosperm origins[J]. *Science*,1998, 280:85~88.

[26]Sereno P C The evolution of dinosaurs[J]. *Science*,1999,284:2137~2147.

[27]Sun G, Dilcher D L et al. In search of the first flower:a Jurassic angiosperm, *Archaefructus*, from northeast China[J]. *Science*,1998,282:1692~1695.

[28]Swisher C C Ⅲ, Wang Y Q et al. Cretaceous age for the feathered dinosaurs of Liaoning, China[J]. *Nature*,1999,400: 58~61.

[29]Wang X L, Wang Y Q et al. Vertebrate faunas and biostratigraphy of the Jehol Group in western Liaoning, China[J]. *Vert PalAsiat*, 2000,38(sup):41~56.

[30]Xu X,Tang Z L et al. A therizinosaurid dinosaur with integumentary structures from China[J]. *Nature*,1999a,*399: 350~354.*

[31]Xu X, Wang X L et al. A dromaeosaurid dinosaur with a filamentous integument from the Yixian Formation of China[J]. *Nature*,1999b, 401:262~266.

[32]Xu X, Zhou Z H et al. The smallest known non-avian theropod dinosaur[J]. *Nature*,2000,408:705~708.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cn