

热河生物群中戈壁兽一新种：其时代意义及哺乳动物若干特征演化

李传夔^① 王元青^① 胡耀明^{①②③} 孟津^②

(^①中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 北京 100044; ^②American Museum of Natural History, New York, NY 10024, USA; ^③Biology Program (Ecology, Evolutionary Biology, and Behavior), Graduate School and City College, City University of New York, NY 10016, USA. E-mail: li.chuankui@pa.ivpp.ac.cn)

摘要 描述了产自辽宁西部下白垩统义县组的一种新的哺乳动物——索菲娅戈壁兽(*Gobiconodon zofiae* sp. nov.). 新种耳区的岩骨前骨板提供了第 5 脑神经Ⅱ, Ⅲ分支的汇合出口, 这可能是类似犬齿兽类的原始特征. 与爬兽一样, 新种保存了骨化的麦氏软骨, 表明它具有与下颌分离的耳区结构, 为哺乳动物中耳的起源和演化提供了新的直接的化石证据. 新种以 I^1/I_1 增大, 眶下孔靠后, 4 个额孔及牙齿结构区别于戈壁兽已知种. 新材料所具有的齿列咬合关系表明戈壁兽的上臼齿数目应为 4 个而不是 5 个. 在热河生物群已知的 50 余种脊椎动物中大多是东北亚的土著种类, 因之在进行动物群及时代洲际对比时有一定困难. 索菲娅戈壁兽的发现使热河生物群可以直接与北美及亚洲其他脊椎动物群进行对比. 戈壁兽的出现支持同位素测年数据, 表明含戈壁兽的义县组时代可能为早白垩世.

关键词 热河生物群 戈壁兽 三尖齿兽类 头骨 早白垩世

在哺乳动物近两亿年的进化历史中, 三分之二的时间处在中生代^[1]. 而已发现的中生代哺乳动物化石既稀少又零星破碎. 从 1871 年 Owen 发表第一部中生代哺乳动物专著^[2]至今的近一个半世纪中, 全世界已经发表的保存有头骨及颅后骨骼的完整骨架不过数具. 近几年来, 在我国辽西义县组中发现了 4 类早白垩世哺乳动物的完整骨架: 对齿兽类的张和兽^[3]、三尖齿兽类的热河兽^[4]和爬兽^[5,6]、多瘤齿兽类的中国俊兽^[7]和攀援始祖兽^[8]. 以上 5 种除爬兽外, 都是压扁的标本, 形态特征的保存有限. 新近发现的同一个体的头骨和下颌标本呈立体状态保存, 代表了戈壁兽的一个新种. 它的发现不仅有助于确定地质时代, 而且提供了以往不曾知道的该类动物形态学特征信息.

1 分类学描述

- 哺乳动物纲 Mammalia Linnaeus, 1758
- 三尖齿兽目 Triconodonta Osborn, 1888^[9,10]
- 戈壁兽科 Gobiconodontidae Chow and Rich, 1984^[11]
- 戈壁兽属 *Gobiconodon* Trofimov, 1978
- 索菲娅戈壁兽(新种) *Gobiconodon zofiae* sp. nov.
- 特征 大小与 *G. borissiaki* 相近; 头骨窄长, 齿

式 2·1·4·4/1·1·4·5; 上臼齿有明显的环状齿带, A, B, C 三尖呈直线排列, E 和 F 尖突出而 D 尖退化; 下臼齿齿带几近缺失, b 尖小于 c 尖, e 尖发育, f 尖退化缺失; 眶下孔偏后, 位于 M^2 之上; 第 5 脑神经的第Ⅱ, Ⅲ支共用一个出口; 下颌骨具 4 个额孔; 保留有骨化麦氏软骨.

正型标本 同一个体的头骨左侧部分及左、右下颌骨(中国科学院古脊椎动物与古人类研究所编号: IVPP V12585, 图 1).

地点及层位 辽宁省北票市上园乡陆家屯; 义县组一段; 早白垩世^[12].

词源 种名赠予长期从事中生代哺乳动物研究并取得突出成绩的波兰古生物学家、北美古脊椎动物学会 1995 年度 Romer-Simpson 奖章获得者 Zofia Kielan-Jaworowska 博士.

头骨 头骨长约 45 mm, 左侧因挤压错位, 右侧全部缺失, 骨缝大多难以辨识. 头骨长, 颅基部(从 $M4$ 的后缘至枕髁后缘)长 26.5 mm, 与面颅之比为 1.4, 为所有已知中生代哺乳类中头骨基颅最窄长者(头骨较长的其他哺乳动物如 *Vincelestes*^[13]和爬兽^[5]的相应比值为 1.1). 腭面的上颌骨与腭骨骨缝位置相当于 M^4 之前, 骨缝之后见一大的腭孔, 但只保存了后缘. 在臼齿内侧的上颌骨腭面有 4 个斗坑, 分别位

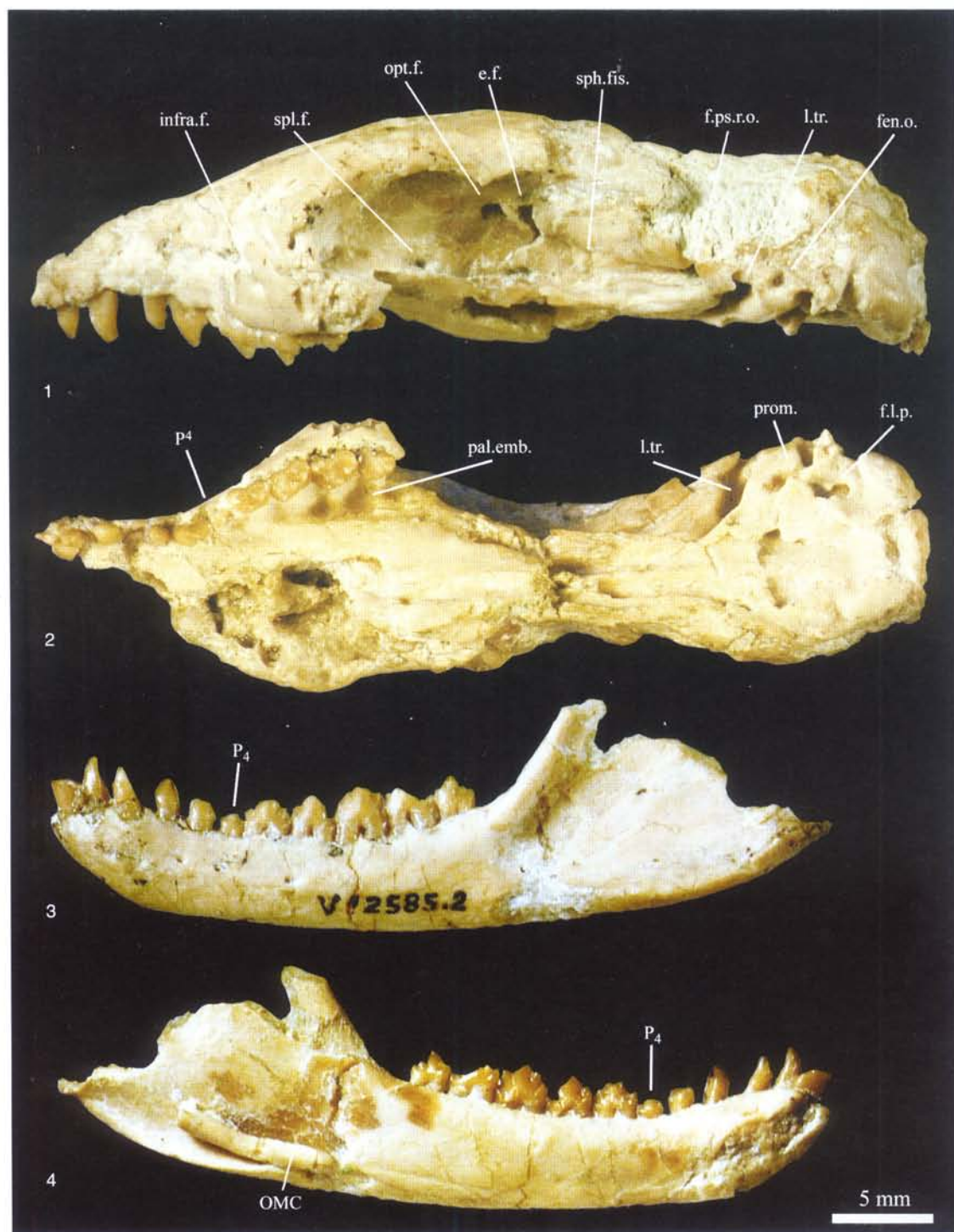


图1 索菲娅戈壁兽 (新种) *Gobiconodon zofiae* sp. nov. IVPP V12585, 正型标本

1. 头骨左侧视, 2. 头骨腹面视, 3. 左下颌唇侧视, 4. 左下颌舌侧视. e.f.: 筛孔, f.ps.r.o.: 假(卵)圆孔, f.l.p.: 后破裂孔, fen.o.: 卵圆窗, infra.f.: 眶下孔, l.tr.: 外凹槽, OMC: 骨化麦氏软骨, opt.f.: 视神经孔, pal.emb.: 腭面斗坑, prom.: 岩骨岬, Sph.fis.: 蝶裂, spl.f.: 蝶腭孔

于对应臼齿的后内侧,以 M^2 处的斗坑最深, M^4 处的斗坑后部破损.在 P^4 内侧亦有一小的斗坑.腭骨向后伸至相当蝶裂孔位置,形成一舌状后缘.翼骨破碎,但可见分叉的翼板.基蝶骨很长并与长的基枕骨构成极长的颅底.面颅侧面,眶下孔位于 M^2 之上,眶下管后开口位于眼眶之内下方,呈一横扁的大孔.泪骨面突较大,有一个大的泪孔位于眼眶前缘.眼窝中等大小,有一微弱的眶后突,其下方有一大圆孔,应是视神经孔.其后见一垂直向的裂隙,断续地伸达眶底.裂隙顶端一孔可能是筛孔,底端孔洞可能为挤错破裂所致.眶后突下前方眶底处是蝶腭孔.蝶裂孔大,其后约 5 mm 处为一直径 2 mm 的大孔,位于岩骨前骨板(anterior lamina)上,孔前有一直伸向前的压迹.该孔可能为三叉神经第 2, 3 分支(V_2 , V_3)汇合出口,假卵圆-圆孔.岩骨前板与岩骨岬间有一深的凹槽,岩骨岬为长锥形,卵圆窗直径 0.7 mm,其外侧头骨已缺失,外淋巴孔保存在一深窝内.因岩骨向内错动,后破裂孔呈长的“Z”形.

下颌骨 下颌齿骨水平支细长,保留部分长度为 38 mm,而在 M_1 处仅高 4.8 mm.下缘平直,前端上翘.唇侧面具有 4 个颞孔,分别位于 C, P_3 , P_4 和 M_2 之下.齿骨唇侧咬肌窝深,前端止于 M_4 之后,其下缘处齿骨横向增宽.舌侧面下颌联合部后伸到 $P_2\sim P_3$ 之间.翼肌窝浅,其底缘保留一长约 8 mm,直径为 1.3 mm 的骨化麦氏软骨棒^[6],骨棒的前上方为一直径 1.4 mm 的下颌孔.下颌孔前方有一浅沟沿齿骨舌面前伸并逐渐变细,止于联合部的后端.这是麦氏沟的主体部分.下颌孔的前下方,有一半椭圆形压迹,为骨化麦氏软骨的前端与齿骨接触处.此压迹可看作麦氏沟系统的一部分.类似的压迹在 *Gobiconodon hoburensis* 标本(PPS 10-37c 等)上也存在^[14],说明戈壁兽可能都具有骨化麦氏软骨.齿骨上升支的舌面未见冠状骨痕迹,仅 M_5 后方的骨体稍显下凹.

齿列 测量数据见表 1. I^1 仅保留一部分,大于 I^2 . I^2 单尖状,顶部后弯.上犬齿大于 I^2 及 P^2 . P^1 已失落,应为一小的单尖齿. P^2 略小于 I^2 , 单尖,有锥形齿带.

P^3 大,双根,几乎与 M^1 等高,主尖后有一小尖. P^4 臼齿化,双根,大小不及 M^1 的 1/3,齿冠仅与 M^1 的 E 尖等高,主尖占据齿冠的大部,其前后各有一小的附尖,前大后小.臼齿呈直线排列,惟 M^3 , M^4 受挤略向内倾. M^1 呈卵圆形,较 M^2 , M^3 为窄;主尖(A)虽已破损,仍为齿列中最高者. B 尖已破,与 P^4 之后附尖相叠压,小于 C 尖. A, B, C 三尖排列在一直线上.齿冠被发育的齿带所环绕,在前内角、前外角及后缘分别形成 E, F 及 D 尖,其中 E 尖最大, D 尖最小. M^2 的 B 尖低,小于 C 尖,其磨蚀面朝向前内方, C 尖磨蚀面则朝向后内方.齿带比 M^1 更为发育, E, F 尖很大, D 尖甚小,齿冠的后外侧和后内侧齿带上形成数个小尖. M^3 最宽, B 尖破碎,齿冠结构与 M^2 相似,仅外齿带加宽,并具有 6 个小附尖. M^4 最小,后部显著收缩,前部齿冠已破, C 尖略小,无 D 尖,齿带环绕齿冠后部.上臼齿的磨蚀程度由深至浅为 M^4 - M^3 - M^2 - M^1 .

下门齿(I_1)大,齿冠已破,牙齿截面呈前外-后内向的长椭圆形,长径 1.9 mm.下犬齿呈尖锥形,齿冠后弯,内侧面有两条纵脊. $P_1\sim P_3$ 均为单根, P_1 与下犬齿等高,形态相似. P_2 锥形,齿冠内弯,前后各有一极弱的齿带. P_3 与 P_2 等高,略大,后部有一显著的小尖及一弱的内齿带. P_4 双根,半臼齿化,长度与 P_3 接近,但高度仅有其一半, a 尖占齿冠多半,偏前, b 尖小且低, c 尖较大,与主尖有沟相隔,内齿带弱. M_1 的 a 尖高大, c 尖大于 b 尖,此两尖皆与 a 尖以深沟相隔; d 尖很小; e 尖微弱,位于 b 尖内侧,无 f 尖,无齿带. M_1 上未见与上牙咬合的磨蚀面. M_2 大于 M_1 , e 尖已发育成清楚的小尖,在 a 尖的前外侧隐约可见与上牙咬合的磨蚀面. M_3 大, e 尖已独立于齿的前内侧;与上牙的磨蚀面清楚地出现在 a 尖的外壁及 b 尖的基部. M_4 最大,具发育的 d 尖和 e 尖;磨蚀程度最深,磨蚀面在 b 尖外侧成一自尖顶直达齿冠基部、斜向前外方的大磨蚀面,使 b 尖近于消失. M_5 最小, b 尖的磨蚀面也伸至根部,而 a 尖处磨蚀面不明显.尽管所有下臼齿上的 f 尖极为退化,但前后牙齿仍与戈壁兽的其他种一样,相互紧扣.磨蚀面的发育程度由深至浅为

表 1 索菲娅戈壁兽齿列测量数据(单位: mm)

上 齿 列	I ²		C		P ²		P ³		P ⁴		M ¹		M ²		M ³		M ⁴		I ¹ ~M ⁴
	长	宽	长	宽	长	宽	长	宽	长	宽	长	宽	长	宽	长	宽	长	宽	长
	1.25	0.70	1.75	0.95	1.15	0.70	2.05	0.85	1.10	0.65	2.50	1.60	2.55	1.65	2.60	1.85	2.00	1.60	18.60
下 齿 列	I ₁	C	P ₁	P ₂	P ₃		P ₄		M ₁		M ₂		M ₃		M ₄		M ₅		I ₁ ~M ₅
	直径	直径	直径	直径	长	宽	长	宽	长	宽	长	宽	长	宽	长	宽	长	宽	长
	1.90	1.05	0.85	1.15	1.25	1.00	1.25	0.55	2.30	0.90	2.30	0.95	2.50	1.05	2.55	1.00	1.95	0.75	20.30

M₄-M₅-M₃-M₂-M₁. 上、下臼齿的咬合关系基本与 *G. hoburensis* 相同, 即上牙 A 尖的后缘与后一下牙 a 尖前缘和 b 尖外侧咬合, B 尖则与对应下牙的 c 尖相咬合(因 Kielan-Jaworowska 和 Dashzeveg 误认为戈壁兽有五个上臼齿, 致使其图 8 上臼齿前错一位, 见文献[14]中图 8).

2 比较与讨论

新标本的齿列结构与戈壁兽属的鉴定特征相符^[14], 应归入该属. 同时, 新材料与该属已知各种又有明显差别. 辽西标本与 *G. borissiaki*^[14]大小相近, 两者的区别在于新材料的 P₄ 双根, 下臼齿 f 尖不发育, 上臼齿 A, B, C 三尖呈直线排列, 下颌具 4 个颊孔, 眶下孔位置靠后. *G. hoburensis* 的标本显著小于辽西标本, 下牙齿尖之间的分化不完全, M₁ 的 b 尖高, 齿骨前端变宽厚, 只有 3 个颊孔, 眶下孔位置靠前^[14]. *G. ostromi*^[15]个体大于本文描述的标本近 2 倍, I¹ 小于 I². 鉴于这些明显的差别, 辽西的新材料被命名为一个新种——索菲娅戈壁兽(*Gobiconodon zofiae* sp. nov.).

索菲娅戈壁兽与同一地点发现的爬兽一样, 在下颌骨内侧保存了骨化麦氏软骨^[6], 齿骨上无任何后齿骨成分贴附的痕迹, 说明戈壁兽和爬兽的听小骨都与下颌分离. 骨化麦氏软骨的发现表明, 在哺乳动物演化早期麦氏软骨不但后端骨化成槌骨的一部分, 中间部分也骨化成细长骨棒并联接下颌和耳区. 现生哺乳类个体发育早期麦氏软骨也联接在下颌和耳区之间, 后期其后端骨化发育成槌骨的一部分, 其他部分未独立骨化^[16]. 麦氏软骨在早期哺乳动物中的存在说明下颌骨上的麦氏沟中并未附有齿后骨. 这些齿后骨为哺乳动物听小骨的前身. 因此, 骨化麦氏软骨的发现为哺乳类中耳(Definitive Mammalian Middle Ear)的演化出现提供了直接证据.

索菲娅戈壁兽的上下颌都具有尺寸很小但完全白齿化具双根的 P⁴ 和 P₄. 在 *G. hoburensis*(PSS10-37a) 下颌上虽然牙齿已脱落, 但仍保存具有双根的 P₄ 齿槽, 区别于其他未白齿化的单根前臼齿; *G. borissiaki* 下颌上也有白齿化的 P₄(PSS10-15a), 但为单根. *G. ostromi* 的两个个体上, MCZ19965 的左右下颌上均没有 P₄, 代之以愈合的齿虚位; 而 MCZ19806 标本上, 右侧 P₄ 保留一单根, 左侧 P₄ 则保存了双根. 白齿化的 P₄ 在戈壁兽不同种中的差异可能与年龄发育等有关.

索菲娅戈壁兽的发现也有助于我们确定该属动

物的齿式. 以往记述的 3 种戈壁兽的材料均很破碎, 无法得出该属的确切齿式. 依 *G. borissiaki*, 其下齿式(PSS 10-15a)为 1·1·4·?, 上齿式(PSS 10-15b)为?·?·?·5. 依 *G. hoburensis* 下齿式(PSS10-37c 和 PIN 3101/24)为 1·1·4·5, 上齿式(PSS 10-37a, b)为?·?·4·5; 依 *G. ostromi* 下齿式为 1·1·3·4·5; 上齿式为 2·1·?·?. 由此得出的戈壁兽下齿式比较统一, 即 1·1·3·4·5, 这在索菲娅戈壁兽的完整下齿列上得以证实. 但其上齿式则因已知的这 3 个种的材料稀少而无法确定. 特别是上臼齿数为 5 颗的看法, 是由不同个体的标本拼凑得出(如 *G. hoburensi*^[14]), 或依据下齿列推测(如 *G. ostromi*^[15]). 索菲娅戈壁兽完整齿列的发现表明戈壁兽的上齿式当为 2·1·3·4·4. 由 V12585 可见 4 个上臼齿能与 5 个下臼齿匹配咬合.

索菲娅戈壁兽岩骨前板(anterior lamina)上只有一个孔, 且孔前有一明显伸向前方的压沟, 当为三叉神经第 2 支(上颌支 V₂)的出口. 但在该孔的下内方未见三叉神经第 3 支[下颌支, V₃]的单独出口. 因此, 只能解释为三叉神经的第 2, 3 分支在岩骨前骨板上共有一个出口, 即假卵圆孔和假圆孔合为一孔. 而其他中生代哺乳动物中该两分支却分别从两个孔自脑颅中引出^[17,18]. 白垩纪晚期的种类和以后的真兽类中, 第 2 支由前破裂孔穿出, 而第 3 支多经翼区后部的卵圆孔(foramen ovale)引向下颌^[18]. 戈壁兽的这一状态与 Hopson 和 Rougier 推测的包括戈壁兽类在内的三尖齿兽类的情况不同^[18]. 他们认为三尖齿兽类应与单孔类、多瘤齿兽类一样, 第 2 支从前破裂孔穿出, 而第 3 支仍从假卵圆孔穿出. 戈壁兽的这一形态特征却与进步的犬齿兽类相似^[18]. 如果我们对标本鉴定正确, 这一形态特征应该代表原始性状态, 有着系统发育上的意义. 索菲娅戈壁兽头骨, 尤其基颅部相对窄长, 基颅与面颅之比类似现生食虫类如鼯鼠, 在所有中生代已知哺乳类头骨中为基颅最窄长者. 这似为一进步特征, 其形态功能意义有待深究.

戈壁兽在辽西的出现为讨论确定热河生物群时代提供了新的化石证据. 在已经描述发表的热河生物群 50 余种脊椎动物化石中, 戈壁兽是惟一亚洲和北美大陆所共有的一属. 蒙古 Khoboor 层中产出两种戈壁兽: *Gobiconodon borissiaki* 和 *G. hoburensis*^[14,19]. 材料为上、下颌骨, 时代为早白垩世的阿普第期晚期(?)或阿尔布期早期(?). 在西伯利亚 Ilek 层中找到的一件戈壁兽破下颌, 被归入 *G. borissiaki*, 时代为纽

表 2 戈壁兽类的地理、地史分布简表

分类单元	材料	层位, 地点	时代	著者	年份	文献
<i>Gobiconodon borissiaki</i>	10 上下颌	蒙古 Khoboor	Aptian-Albian (K ₁)	Trofimov	1978	[19]
<i>Guchinodon hoburensis</i>	21 上下颌	蒙古 Khoboor	Aptian-Albian (K ₁)	Trofimov	1978	[19]
<i>Gobiconodon ostromi</i>	2 不完整骨架	Cloverly 组, 美国蒙大拿州	Aptian-Albian (K ₁)	Jenkins 等	1988	[15]
<i>Gobiconodon borissiaki</i>	3 上下颌	蒙古 Khoboor	Aptian-Albian (K ₁)	Kielan-Jaworowska 等	1998	[14]
? <i>Gobiconodon borissiaki</i>	1 破下颌	俄罗斯西伯利亚	Neocomian - Albian	Maschenko 等	1998	[20]
<i>Hangjinia chowi</i>	残下颌, 仅 M ₂	伊金霍洛组, 中国内蒙古杭锦旗	Early Cretaceous	Goefroit 等	1999	[25]
<i>Gobiconodontidae</i> indet.	残头及牙	新民堡群下红层, 中国甘肃马鬃山	Late Barremian - Aptian (K ₁)	Tang 等	2001	[23]
<i>Gobioconodon hopsoni</i>	2 上下颌	蒙古 Oshih (Ashile)	?Valanginian - Neocomian (K ₁)	Rougier 等	2001	[24]
<i>Gobiconodon</i> sp.	2 破下颌	蒙古 Oshih (Ashile)	?Valanginian - Neocomian (K ₁)	Rougier 等	2001	[24]
<i>Gobiconodon zofiae</i>	头及下颌	义县组一段, 中国辽宁	Hauterivian (K ₁)	李传夔等	2002	本文

康姆期或阿普第期至阿尔布期^[20]. 美国蒙大拿州 Cloverly 组^[21,22]中发现了两具上、下颌不全的戈壁兽骨架, 命名为 *G. ostromi*^[15], 时代亦为阿普第期至阿尔布期. 在辽西发现戈壁兽之前, 甘肃马鬃山也有该属残破头骨和零散牙齿发现, 共生动物群的时代被确定为巴列姆期至阿尔布期^[23]. 最近根据在蒙古 Ashile 发现的一件极破的上颌命名了 *G. hopsoni*, 仅从地层对比关系认为可能是早白垩世凡兰吟阶^[24]. 另在 1999 年, Godefroit 等人^[25]记述了一件采自内蒙杭锦旗伊锦霍洛组(K₁)仅带有一个破臼齿的下颌, 取命 *Hangjinia chowi*, 并将其归入 *Gobiconodontinae*. 如 Rougier 等人^[24]所指出的, 它可能是一种进步的戈壁兽类. 因此, 就世界范围内的地史分布看, 戈壁兽多限于早白垩世中晚期(表 2). 戈壁兽与爬兽均发现于辽宁北票上园镇陆家屯, 产出地层为义县组一段^[12,26,27]. 其上覆义县组二段玄武安山岩的 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄值为 128.2 ± 0.8 Ma, 推测含戈壁兽和爬兽的地层时代不早于 130 Ma^[28]. 与义县组呈不整合接触的下伏土城子组上部的火山灰样品 19 组透长石单晶的 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄测定, 给出的平均年龄值为 139.4 ± 0.19 Ma^[29], 也支持了对索菲亚戈壁兽时代的推测. 因此可以认为含戈壁兽、爬兽和热河龙等脊椎动物化石的义县组一段地层属于欧特里夫期(国际地科联 2000 年发布的年代数据为 132 ± 1.9 ~ 127 ± 1.6 Ma^[30])(相当于纽康姆期晚期). 化石证据和同位素年代数据的吻合, 进一步支持了义县组及其所含生物群属早白垩世的观点, 排除了含张和兽-孔子鸟化石层为晚侏罗世的可能性^[31], 为义县组下部化石层在世界范围

的对比增添了直接的化石依据. 部分学者通过对无脊椎动物化石的研究, 也得出类似的结论^[32].

致谢 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所徐星、汪筱林、周忠和、张福成博士及辽西队其他成员收集标本, 谢树华修理标本. 张福成摄制图件. 张弥曼院士、李锦玲教授审阅初稿, 并提出宝贵意见. 本工作受国家重点基础研究发展规划项目(G2000077700)、国家自然科学基金重点项目(批准号: 49832020)和中国科学院创新工程重大项目(KZCX3-J-03)资助.

参 考 文 献

1 Lillegraven J A, Kielan-Jaworowska Z, Clemens W A, eds. Mesozoic Mammals: The First Two-thirds of Mammalian History. Berkeley: Univ Calif Press, 1979. 1 ~ 311

2 Owen R. Monograph of the fossil Mammalia of Mesozoic formations. Palaeotogr Soc Monogr, 1871, 24: 1 ~ 115

3 Hu Y M, Wang Y Q, Luo Z X, et al. A new symmetrodont mammal from China and its implications for mammalian evolution. Nature, 1997, 390: 137 ~ 142

4 Ji Q, Luo Z X, Ji S A. A Chinese triconodont mammal and mosaic evolution of the mammalian skeleton. Nature, 1999, 398: 326~330

5 李锦玲, 王原, 王元青, 等. 辽宁西部中生代原始哺乳动物一新科. 科学通报, 2000, 45(23): 2545 ~ 2549

6 Wang Y Q, Hu Y M, Meng J, et al. An ossified Meckel's cartilage in two Cretaceous mammals and origin of the mammalian middle ear. Science, 2001, 294: 357 ~ 361

7 胡耀明, 王元青. 中国俊兽(*Sinobaatar* gen. nov.): 热河生物群中一多瘤齿兽类. 科学通报, 2002, 47(5): 382 ~ 386

8 Ji Q, Luo Z X, Yuan C X, et al. The earliest known eutherian mammal. Nature, 2002, 416: 816~822

9 Jenkins F A Jr, Crompton A W. Tricondonta. In: Lillegraven J A, Kielan-Jaworowska Z, Clemens W A, eds. Mesozoic Mammals: The First Two-Thirds of Mammalian History. Berkeley: Univ

- Calif Press, 1979. 74 ~ 90
- 10 McKenna M C, Bell S K, Classification of mammals above the species level. New York: Columbia Univ Press, 1997. 1 ~ 631
- 11 Chow M, Rich T W. A new triconodonta (Mammalia) from the Jurassic of China. *J Vert Paleont*, 1984, 3(2): 220 ~ 231
- 12 王筱林, 王元青, 王原, 等. 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*, 1998, 36(2): 81 ~ 101
- 13 Bonaparte J F, Rougier G. Mamíferos del Cretacico inferior de Patagonia. *Actas IV Congr Latinoamer Paleont*, Bolivia, 1987, 1: 343 ~ 359
- 14 Kielan-Jaworowska Z, Dashzeveg D. Early Cretaceous amphilestid ("triconodont") mammals from Mongolia. *Acta Palaeont Pol*, 1998, 43(3): 413 ~ 438
- 15 Jenkins F A Jr, Schaff C R. The Early Cretaceous mammal *Gobiconodon* (Mammalia, Triconodonta) from the Cloverly Formation in Montana. *J Vert Paleont*, 1988, 8(1): 1 ~ 24
- 16 Zeller U. Ontogenetic evidence for cranial homologies in Monotremes and Therians, with special reference to *Ornithorhynchus*. In: Szalay F S, Novacek M J, McKenna M C, eds. *Mammal Phylogeny: Mesozoic Differentiation, Multituberculates, Monotremes, Early Therians and Marsupials*. New York: Springer-Verlag, 1993. 95 ~ 107
- 17 Kermack K A, Mussett F L S, Rigney H W. The skull of *Morganucodon*. *Zool J Linn Soc*, 1981, 71: 1 ~ 158
- 18 Hopson J A, Rougier G W. Braincase structure in the oldest known skull of a therian mammal: Implications for mammalian systematics and cranial evolution. *Amer J Sci*, 1993, 293-A-A: 268 ~ 299
- 19 Trofimov B A. The first triconodonts (Mammalia, Triconodonta) from Mongolia. *Dokl Akad Nauk SSSR*, 1978, 243: 213 ~ 216
- 20 Maschenko E N, Lopatin A V. First record of an Early Cretaceous triconodont mammal in Siberia. *Bull Inst R Sci Nat Belg*, 1998, 68: 233 ~ 236
- 21 Ostrom J H. Stratigraphy and Paleontology of the Cloverly Formation (Lower Cretaceous) of the Bighorn Basin area, Wyoming and Montana. *Bull Peabody Mus Nat Hist*, Yale Univ, 1970, 35: 1 ~ 234
- 22 Cifelli R L, Wible J R, Jenkins F A Jr. Triconodont mammals from the Cloverly Formation (Lower Cretaceous), Montana and Wyoming. *J Vert Paleont*, 1998, 18(1): 237 ~ 241
- 23 Tang F, Luo Z X, Zhou Z H, et al. Biostratigraphy and palaeoenvironment of the dinosaur-bearing sediments in Lower Cretaceous of Mazongshan area, Gansu Province, China. *Cret Res*, 2001, 22: 115 ~ 129
- 24 Rougier G W, Novacek M J, McKenna M C, et al. Gobiconodonts from the Early Cretaceous of Oshih (Ashile), Mongolia. *Amer Mus Novitates* 2001, 3348: 1 ~ 30
- 25 Godefroit P, Guo D Y. A New Amphilestid from the Early Cretaceous of Inner Mongolia (P. R. China). *Bull Inst R Sci Nat Belgique*, 1999, 69(Suppl B): 7 ~ 16
- 26 汪筱林, 王元青, 金帆, 等. 辽西北票四合屯脊椎动物化石组合及其地质背景. *Palaeoworld*, 1999, (11): 310 ~ 327
- 27 汪筱林, 王元青, 周忠和, 等. 辽西热河脊椎动物化石群及生物地层. *古脊椎动物学报*, 2000, 38(增刊): 57 ~ 63
- 28 王松山, 胡华光, 李佩贤, 等. 再论辽西四合屯脊椎动物生存时代: Ar-Ar 年龄证据. *岩石学报*, 2001, 17(4): 663 ~ 668
- 29 Swisher C, 汪筱林, 周忠和, 等. 义县组同位素年代新证据及土城子组 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄测定. *科学通报*, 2001, 46(23): 2009 ~ 2013
- 30 瑞曼 J, 等编著. 金玉玕, 王向东, 王玥译. 国际地层表说明. *地层学杂志*, 2000, 24(增刊): 321 ~ 340
- 31 侯连海. 中国中生代鸟类. 南投: 凤凰谷鸟园出版, 1997. 1 ~ 143
- 32 顾知微, 蔡华伟. 陆相侏罗系. 见: 中国科学院南京地质古生物研究所编著. *中国地层研究二十年(1979 - 1999)*. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2000. 309 ~ 314

(2002-09-18 收稿)