

# 记甘肃和内蒙古新发现的中华马化石<sup>1)</sup>

侯素宽<sup>1,2</sup> 邓涛<sup>1</sup> 何文<sup>3</sup> 陈善勤<sup>3</sup>

(1 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所 北京 100044)

(2 中国科学院研究生院 北京 100039)

(3 和政古动物化石博物馆 甘肃和政 731200)

**摘要:**结合甘肃临夏盆地和内蒙古四子王旗发现的新材料及之前发现的材料,辨认出中国晚中新世三趾马地层中的大型中华马与其他安琪马类的显著区别:下门齿前倾,第一对下门齿大而粗壮,第二对比第一对稍小,第三对非常小;前臼齿列及臼齿列的宽度分别向前和向后明显变小;下前脊长,下外谷与齿列长轴近垂直;m3 第三叶退化。确定 *Sinohippus* 为一有效属。重新对中国晚中新世的安琪马类材料整理和分类,建立新种 *Sinohippus robustus*。简要分析了低冠的中华马与高冠的三趾马共生的生态学意义。

**关键词:**甘肃,内蒙古,晚中新世,安琪马亚科,中华马属

**中图法分类号:**Q915.877 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3118(2007)03-0213-19

中华马 (*Sinohippus*) 是马科中安琪马亚科 (*Anchitheriinae*) 在亚洲的一类代表。安琪马仅生存于古北区的中新世。这类马每肢有三蹄,颊齿为低冠脊型齿,结构简单,无白垩质覆盖;以嫩枝叶为食,生活于森林边缘。这一亚科目前已知 5 属。北美有 4 个属: *Kalobatippus* (早中新世), *Hypohippus* (Hemingfordian (?)-Clarendonian, 18.8 ~ 8.8 Ma), *Mega-hippus* (Barstovian-Clarendonian, 15.8 ~ 8.8 Ma) 和 *Anchitherium* (Arikarean-Barstovian, 23 ~ 15.8 Ma)。欧亚大陆目前仅知两个属: *Anchitherium* (MN3-9, 20 ~ 10 Ma) 及 *Sinohippus* (MN11(?)-12(?), 10 ~ 7 Ma), 前者大概在 Orleanian 期 (MN3) 从北美到达欧亚大陆。另外 Borissiak (1938) 曾经记述了旧大陆的一个单型属 *Paranchitherium*, Forstén (1982) 认为相对于 *Anchitherium*, 其与新大陆的 *Parahippus* 更相似, Abusch-Siewert (1983) 则将之归入了 *Anchitherium*。

*Sinohippus* 的材料目前仅发现于中国及蒙古(蒙古 Alten Teeli 地区发现一些肢骨,是否属于 *Sinohippus* 尚未确定), 由于材料的局限, 对其分类地位一直存在很多的争议。早期发现的 *Sinohippus* 的材料也都被翟人杰 (1962, 1963) 归在了 *Sinohippus zitteli* 一个种内。

本文在记述甘肃临夏盆地和政地区以及内蒙古四子王旗新发现的几件 *Sinohippus* 化石的基础上, 结合美国自然历史博物馆 Frick Collection 两件标本的模型(标本编号: 头骨,

1) 中国科学院知识创新工程重要方向项目(编号: KZCX2-YW-120)、科技部科技基础性工作专项(编号: 2006FY120300)、国家重点基础研究发展规划项目(编号: 2006CB806400)、国家自然科学基金重点项目(编号: 40232023) 和国家自然科学基金特殊学科点人才培养基金项目(编号: J0630965) 资助。

F:AM 60775;下颌骨,F:AM 60776,美国自然历史博物馆。模型编号:FV0137,古脊椎动物与古人类研究所)以及早期发现的 *Sinohippus* 的材料,对这种大型的安琪马类化石的性质和分类地位重新进行了研究,确定了 *Sinohippus* 为一个有效属,并将中国晚中新世三趾马地层中的 *Sinohippus* 化石重新进行了厘定和分类,建立了一个新种 *Sinohippus robustus* sp. nov.。

## 1 标本记述

### 马科 Equidae Gray, 1821

#### 安琪马亚科 Anchitheriinae Leidy, 1869

#### 中华马属 *Sinohippus* Zhai, 1962

属型种 *Sinohippus zitteli* (Schlosser, 1903)。

其他归入种 *Sinohippus robustus* sp. nov.。

地史和地理分布 中国北方晚中新世的三趾马地层中。

修订特征 大型的安琪马类。眶前窝大而深,后缘界线显著,与眼眶前缘距离短,上缘、前缘和下缘无明显的界线;眶下孔深,位于眶前窝内的前下方。下颌联合部长,在犬齿后显著收缩。下门齿前倾,第一对下门齿大而粗壮,第二对比第一对稍小,第三对非常小。前臼齿列及臼齿列的宽度分别向前和向后明显变小。内齿带弱或无。上颊齿原脊和后脊皆显著地向后倾斜,与外脊相连处不曲折。下颊齿外谷很深,与齿列长轴近垂直,下前脊长,下内脊向前弯折。DP1 双根愈合。P2 原脊不发育,仅在原脊的位置发育两个小的突起。p2 原尖外壁发育远中嵴(distobuccal crest, 见 Abusch-Siewert, 1983, Abb. 1a)。m3 第三叶小。

#### 粗壮中华马(新种) *Sinohippus robustus* sp. nov.

(图1-4;表1-2)

*Anchitherium zitteli* Schlosser, 1903: 76-78, 图版 III, 图 11, 14

*Hypohippus zitteli* (Schlosser) Osborn, 1918: 203-210, 图版 35, 图 3

Anchitheriinae gen. et sp. indet. Zdansky, 1935: 16-20, 图版 I, 图 4

*Sinohippus zitteli* 翟人杰, 1962: 48-55, 图版 I, 图 8

*Sinohippus zitteli* 翟人杰, 1963: 168-172, 图版 I, 图 1-4

正型标本 V 15164(图1-2),右下颌水平支及下颌联合,保留门齿齿列和右侧颊齿列,其中 i3、c 及 dp1 仅保留齿根,水平支轻微挤压,底缘破碎。

其他标本 V 15163(图3,图4A),头骨上颌部分,保留两侧 DP1 和 P2-M2,腭骨水平部后缘缺失。SZ 0601(图4B),右 DP1-M1。V 为中国科学院古脊椎动物与古人类研究所标本编号,SZ 为内蒙古四子王旗乌兰花地点化石编号。

名称来源 *robustus*,拉丁文,粗壮的。表示新种较属型种 *Sinohippus zitteli* 更为粗壮。

产地与层位 V 15163、V 15164,甘肃省和政县西南买家集乡王家山,晚中新世柳树组上部红粘土中;SZ 0601,内蒙古四子王旗乌兰花镇南 3 km 处,晚中新世红粘土中。

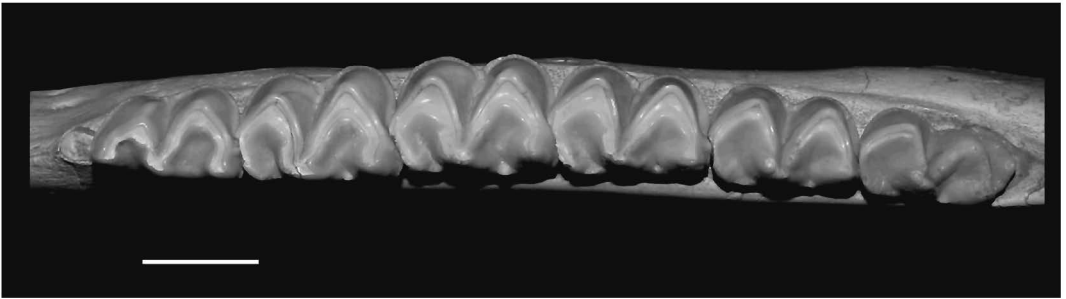
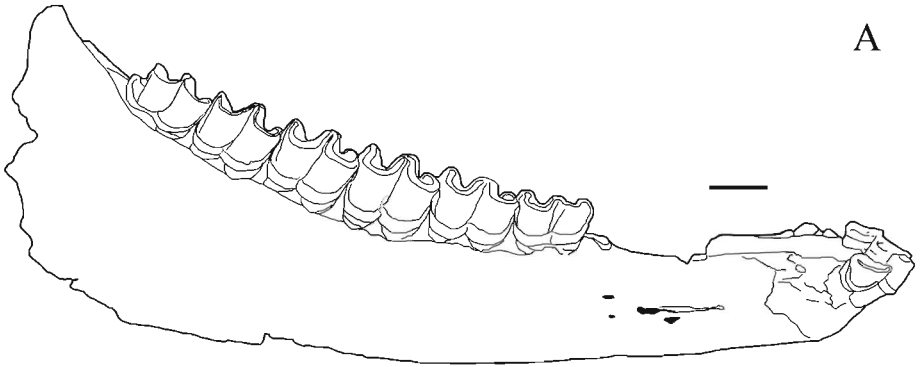


图1 粗壮中华马下颌(V 15164)

Fig.1 Mandible of *Sinohippus robustus* sp. nov. (V 15164)

A. 下颌右侧视 lateral view of the mandible; B. 下颊齿冠面视 occlusal view of the lower cheek teeth; 比例尺 scale bars = 2cm

**特征** 较 *Sinohippus zitteli* 更大型的中华马类。前臼齿原尖、次尖膨大,前收缩沟发育。下颊齿非常强壮,p2 原尖外壁发育强壮的远中嵴,m3 第三叶较 *S. zitteli* 的大。

**描述** V 15164 下颌联合部窄而长,在犬齿后显著收缩,距离犬齿约 18 mm 处最窄(宽约 35 mm),向后又扩张;骨体厚,舌面光滑,凹陷很深;唇侧光滑,中央沟仅在第一对门齿界线下方可见,长约 19 mm,宽而浅。水平支在齿槽处很厚,垂直方向隆突,向下逐渐变薄,可能与标本受挤压有关;外面光滑,近联合部发育一个颞孔,长椭圆形,向前延伸出一条窄沟(长约 30 mm),周围发育三个小的滋养孔;内面光滑,垂直方向较外面更为隆起,隆起下方发育浅的矢状沟;水平支下缘相对平直,上缘由前向后缓慢抬升,与上升支前缘呈逐渐过渡状,深度在 dp1、p2、p3 和 m3 的前端外侧测量分别为 40.2 mm、45.5 mm、48.0 mm 和 71.5 mm。

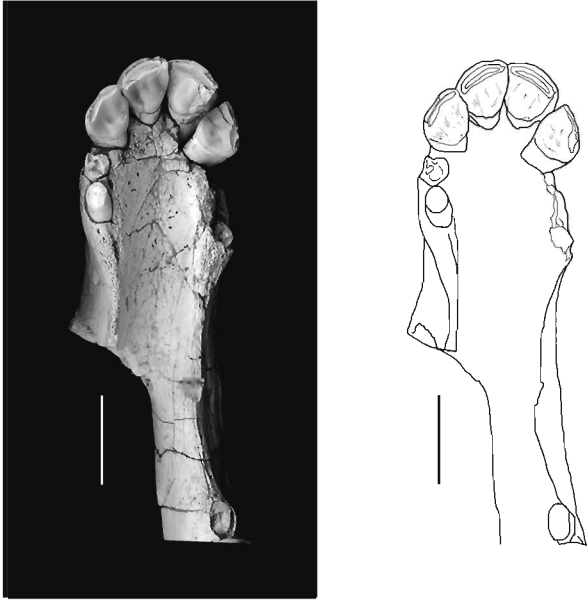


图 2 粗壮中华马(新种)下颌联合部(V 15164)冠面视

Fig. 2 Mandibular symphysis of *Sinohippus robustus* sp. nov. (V 15164), occlusal view

比例尺 scale bars = 2cm

下门齿前倾,排列成窄的圆弧形,门齿间几乎无齿隙,第一对门齿最大,第二对门齿次之,第三对很小(表 1)。门齿磨蚀轻微,嚼面近三角形,齿坎横长,齿冠向齿根处收缩,但不显著;唇侧齿带很发育,边缘呈锯齿状;釉质外壁有细密的水平纹。从齿根来看,犬齿较强壮,应为一雌性个体。犬齿与门齿间无齿隙。

下颊齿除 dp1 仅保留齿根外,其他均保存完整。牙齿磨蚀轻微,齿冠显得比较高,没有白垩质覆盖。从齿根来看,dp1 比较强壮,单齿根。p2-m3 六个颊齿中,p4 为最大者,前臼齿和臼齿列分别向前后缩减,且每一个前臼齿的前半叶比后半叶缩减程度更大,臼齿则相反,后半叶比前半叶缩减程度大。外谷很深,与齿列长轴近垂直;齿叶外壁新月形,发育明显的细密水平纹;外齿带及前后齿带很强壮,且前臼齿较臼齿的齿带更为强壮,齿带边

缘呈锯齿状;内齿带弱,仅在前谷口和后谷口形成锯齿和齿柱;下后尖与下后附尖大小相似,在顶端分离;下次小尖弱;下前脊长,长度可达到下原脊的 2/3;下内脊与齿列长轴斜交,自中部明显折向前内方。p2 前叶收缩得很厉害,原尖外壁发育明显的远中嵴;m3 下次小尖低,由中间一个较大的圆锥状突起和左右各两个小突起组成,构成了 m3 的第三叶。

V 15163 为头骨上颌部分。骨体厚,外面较光滑,齿根凸出,大部分暴露于表面,表明为一老年个体。左侧 P3 中部上方约 33 mm 处可观察到部分面嵴。硬腭平板状,后缘 U 形,位于 P4 和 M1 的界线,前缘至 DP1 处强烈收缩隆起;颊齿列呈明显的弧形。腭正中缝宽,几乎不向上凸起。腭沟仅在 M1、M2 下方可见;腭前孔未保留。鼻腔面光滑,横轴方向凹入;鼻嵴前端宽平,表面粗糙,两侧发育浅的纵沟,向后急剧收缩隆起。腭骨水平部前缘与上颌骨腭突愈合,口腔面平缓,鼻腔面具嵴。

表 1 粗壮中华马(新种)下门齿及下颊齿测量(V 15164)

Table 1 Measurements of the lower teeth (V 15164) of *Sinohippus robustus* sp. nov. (mm)

Cheek teeth	L × Bv × Bh	Incisor	L × W	Tooth row	L
p2	26.5 × 13.7 × 18.1	Left i1	12.9 × 15.1	p2-m3	166.7
p3	29.6 × 19.5 × 21.9	Right i1	12.9 × 14.9	p2-p4	82.8
p4	29.6 × 22.0 × 22.5	Left i2	10.1 × 13.0	m1-m3	86.4
m1	29.4 × 21.0 × 19.4	Right i2	10.4 × 13.5		
m2	27.0 × 19.3 × 17.2	Left i3	—		
m3	30.5 × 17.0 × 14.4	Right i3	—		

注:颊齿 cheek teeth: L. 长 length; Bv. 下原尖处宽 width at the protoconid; Bh. 下次尖处宽 width at the hypoconid  
 门齿 incisor: L. 唇舌向长 bucco-lingual length; W. 近中-远中横宽 mesio-distal width.

两侧颊齿列均保留了 DP1 和 P2-M2,其中左 DP1、P3-M1 和右 P4-M2 保存完整,其余颊齿均有不同程度的破损。牙齿中等偏重磨蚀,齿冠粗大,无白质层覆盖。所有颊齿中,P4 为最大者,前臼齿列向前缩减,臼齿列向后缩减。前臼齿原尖、次尖膨大,前收缩沟发育。DP1 双根愈合,齿冠呈圆角的三角形,外侧边最短,弧形,内侧边长而平直,后侧边与 P2 前壁贴合,平直伸向前外方;原尖微弱,次尖很发育。P2 前附尖发育,呈尖角状向前方突出,中附尖强壮,较尖锐,后附尖极弱;原尖和次尖近圆形,大小相似;后脊向后倾斜,较直,不发育前刺;外齿带发育,不发育内齿带。P3-P4 前附尖和中附尖很发育,较圆隆,后附尖弱,外壁在前尖和后尖处呈深的 V 字型,不发育竖肋;原脊与后脊呈拉长的 S 形向后倾斜,后脊与外脊的连接处不曲折,未观察到前刺;前、后齿带发育,外齿带在前尖和后尖处显著,不发育内齿带。P3 原尖较次尖略大,近圆形;P4 的原尖明显比次尖大,原尖长椭圆形,次尖近圆形。P4 可观察到封闭的后凹;次附尖三角形,与后齿带愈合,在磨蚀面上与次尖连通,未磨蚀时顶端与次尖是分离的。M1-M2 结构与前臼齿相似,磨蚀程度比前臼齿弱,中附尖变得比较尖锐,后附尖较前臼齿上的发育,但仍很弱;外脊外壁在前尖处呈深的 V 字型,在后尖处则变得比较宽缓;原尖明显比次尖大,均呈长椭圆形;原小尖和前刺均不发育;后凹未封闭。

SZ 0601,右 DP1-M1, M1 后部破损。牙齿特征与 V 15163 基本一致,比 V 15163 更为粗壮,P2 原脊不发育,仅在原脊的位置发育两个小的突起。后凹封闭。

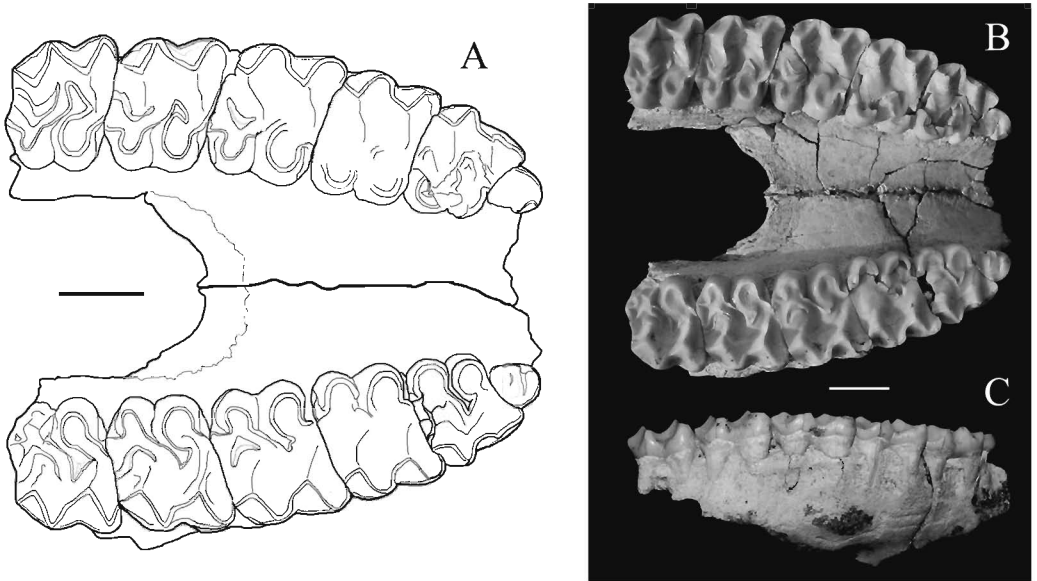


图3 粗壮中华马(新种)上颌(V 15163)

Fig. 3 Maxillary of *Sinohippus robustus* sp. nov. (V 15163)

A. 素描 charcoal drawing; B. 冠面视 occlusal view; C. 右侧视 lateral view; 比例尺 scale bars = 2 cm

表2 粗壮中华马(新种)上颊齿测量

Table 2 Measurements of the upper cheek teeth of *Sinohippus robustus* sp. nov. (mm)

	V 15163 (left)	V 15163 (right)	SZ 0601
DP1 (L × B)	15.4 × 11.4	—	14.6 × 11.3
P2 (L × Bv × Bh)	25.1 × 23.6 × 27.0	25.5 × — × 28.1	27.9 × —
P3 (L × Bv × Bh)	25.3 × 30.1 × 30.2	24.6 × 30.2 × 30.9	30.2 × 31.8 × 32.4
P4 (L × Bv × Bh)	27.0 × 32.3 × 31.8	27.0 × 32.3 × 31.2	27.9 × 32.3 × 31.7
M1 (L × Bv × Bh)	25.5 × 31.8 × 30.6	25.4 × 31.4 × 30.5	—
M2 (L × Bv × Bh)	23.7 × 31.2 × —	24.9 × 31.3 × 29.4	—
P2–P4 (L)	75.2	75	79.3

注: L. 长 length; B. 宽 width; Bv. 前附尖处宽 width at the parastyle; Bh. 中附尖处宽 width at the mesostyle.

## 2 比较与讨论

*Sinohippus* 最早的一批材料为德国古生物学家 Schlosser 在 1903 年记述, 可能来自山西上新统(现在的上中新统), Schlosser 将之定为 *Anchitherium* 属的一个新种 *A. zitteli*。Osborn(1918)则根据该种牙齿的一些特征, 如齿冠很大、上臼齿的外脊外壁成宽 V 字型

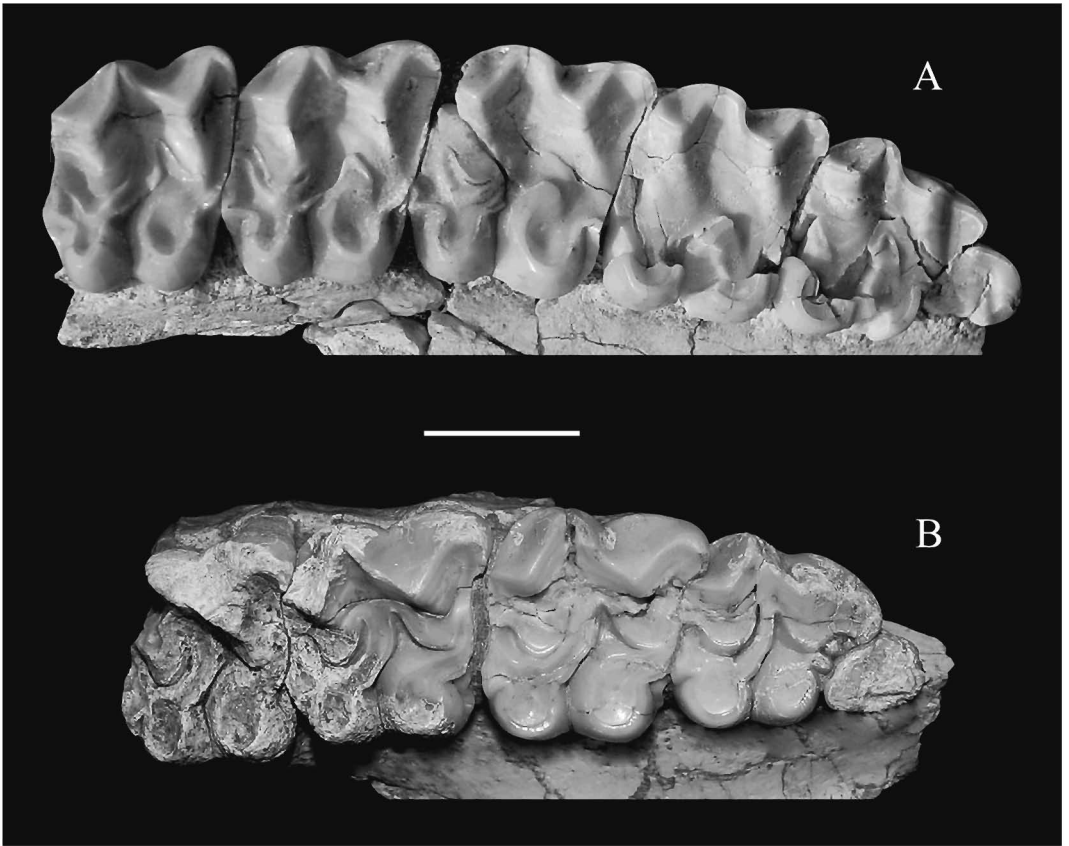


图 4 粗壮中华马(新种)上颊齿冠面视

Fig. 4 Upper cheek teeth of *Sinohippus robustus* sp. nov., occlusal view  
A. V 15163; B. SZ 0601; 比例尺 scale bar = 2cm

等,认为与北美的 *Hypohippus* 属的一些种相像,时代上也吻合,因而将之归入了 *Hypohippus* 属,并认为这种大型的安琪马是从北美的种进化过来的。Schlosser(1924)本人也同意这一新的分类,并将 Andersson 在内蒙古乌兰霍里发现的一块下臼齿碎片定为 *H. zitteli*。但 Osborn 的意见并没有为古生物学家们普遍接受。1935 年,Zdansky 描述了产自山西保德的这一类马的一个幼年个体的上颌,他认为该标本的某些特征相对于北美的 *Hypohippus* 和 *Megahippus* 来说,更像欧洲的 *Anchitherium*。Colbert(1939)在研究通古尔的 *Anchitherium* 时,对中国晚中新世的这种安琪马类化石的性质也有所怀疑,但未作详细讨论。

1962 年,翟人杰根据山西发现的新材料认为产自中国三趾马地层中的安琪马类在形态上有别于北美的 *Hypohippus* 和 *Megahippus* 以及典型的 *Anchitherium*,因而建立一个新属 *Sinohippus*。次年,翟人杰又依据在内蒙古化德县发现的标本,对 *Sinohippus zitteli* 进行补充记述,进一步肯定它具有明显不同于典型的 *Anchitherium* 和北美的 *Hypohippus* 的特征,包括:齿冠很大,齿冠相对较长;上颊齿前附尖和中附尖发达,此二附尖间的外脊呈宽 V 字形;齿带大大消失;前臼齿列及臼齿列的宽度分别向前和向后明显变小,特别是下前臼齿

列向前变窄的程度与欧洲 *Anchitherium* 各种间有显著的差异;下门齿前倾,第一对下门齿大而粗壮,第二对比第一对稍小,第三对非常小,犬齿也很小,犬齿与门齿间几乎无齿隙。

但之后对于 *Sinohippus* 是否为一个有效属仍然存在很多争议,如 Abusch-Siewert (1983) 在研究欧亚大陆的安琪马类化石时,明确不同意建立新属 *Sinohippus*, 她认为这些亚洲大陆晚期的大型安琪马类应归入 *Anchitherium* 属,并将中国的 *A. gobiense* 归为 *A. aurelianense* 的一个亚种,认为 *A. gobiense* 可能为 *A. zitteli* 的祖先。叶捷等(2005)则认为 *Sinohippus* 具有明显不同于欧洲 *Anchitherium* 的特征,主张保留 *Sinohippus* 属。此外, Sondaar (1971) 认为 *Sinohippus* 可能由 *Anchitherium* 进化而来。Forstén (1982) 认为她的数据无法体现翟人杰(1962)所指出的 *Sinohippus* 和 *Hypohippus* 的区别特征,二者最重要的区别应该是眶前窝的大小和位置;Forstén 认为二者可能是一种平行演化的关系。Salesa et al. (2004) 也承认 *Sinohippus* 的有效性,并依据牙齿尺寸较大及 p2 相对较小等特征将西班牙 Nombrevilla-1 地点的 *A. sampelayoi* 归入 *Sinohippus* 属,认为该属是亚洲迁徙过去的。

迄今为止 *Sinohippus* 的化石发现不多,已报道的有中国的山西保德地区、甘肃秦安程村、内蒙古化德县乌兰霍里、土城子和黑沙图的三趾马地层中的材料以及蒙古 Altan Teeli 的一些材料 (Schlosser, 1903, 1924; Zdansky, 1935; 邱铸鼎, 1979; 翟人杰, 1962, 1963; Forstén, 1982)。作者将中国已发现的 *Sinohippus* 的全部材料,包括两件 Frick Collection 的标本模型重新进行了研究,现叙述如下。

***Sinohippus* 与 *Anchitherium* 的对比** Abusch-Siewert (1983) 根据颊齿特征将欧亚大陆的 *Anchitherium* 分为三个支系: *Anchitherium aurelianense* (包括 *A. aurelianense aurelianense*, *A. a. steinheimense*, *A. a. hippoides* 三个亚种,分布于整个欧亚大陆), *Anchitherium ezquerrae* (包括 *A. ezquerrae ezquerrae*, *A. e. sampelayoi* 两个亚种,仅发现于西班牙地区) 和 *Anchitherium zitteli* (*Sinohippus*, 中国北方三趾马地层)。其中西班牙地区的 *Anchitherium* 也存在一些争议,因而本文主要将 *Sinohippus* 同欧亚大陆 *Anchitherium* 的典型代表 *A. aurelianense* 进行对比。

*Sinohippus* 无疑是一种比 *Anchitherium aurelianense* 更大型的安琪马类化石,其上下颊齿的长和宽均远远大于 *A. aurelianense* (图 5、6)。V 15163 的上颌骨腭部明显较 *A. aurelianense* 的更宽,弧形排列的上颊齿列也有别于 *A. aurelianense*。安琪马亚科的颊齿列向前向后均有不同程度的收缩,根据笔者的统计, *Sinohippus* 上下前臼齿列和白齿列整体的收缩程度要远远大于 *A. aurelianense* (图 7),这一区别对于较完整齿列具有很好的鉴定意义。

从单个牙齿的特征来看,翟人杰(1962)曾经认为 *Sinohippus* 上颊齿的前附尖和中附尖发达,此二附尖间的外脊外壁呈宽 V 字形,这一特征是 *Sinohippus* 与 *Anchitherium* 的一个显著区别。笔者观察了中国的安琪马类化石以及欧亚大陆 *Anchitherium* 的图版和插图,发现根据上颊齿前附尖和中附尖发育程度以及外脊的形态,可以辨认出三种类型: V 2639、F: AM 60775 与 *Anchitherium* 的部分材料前附尖和中附尖很发育,较尖锐,外脊外壁为宽而浅的凹陷; V 15163、SZ 0601 及 *Anchitherium* 的部分材料的前附尖和中附尖较圆隆,外脊外壁呈窄而深的凹陷; V 2640、V 2762 和 V 2763 前附尖和中附尖也比较尖锐,外脊外壁却同样为深的 V 字形。因而,笔者认为这种前附尖和中附尖间宽 V 字形的外脊外壁并不足以作为 *Sinohippus* 区别于欧亚大陆 *Anchitherium* 的属一级的差异。但 *A. aureli-*



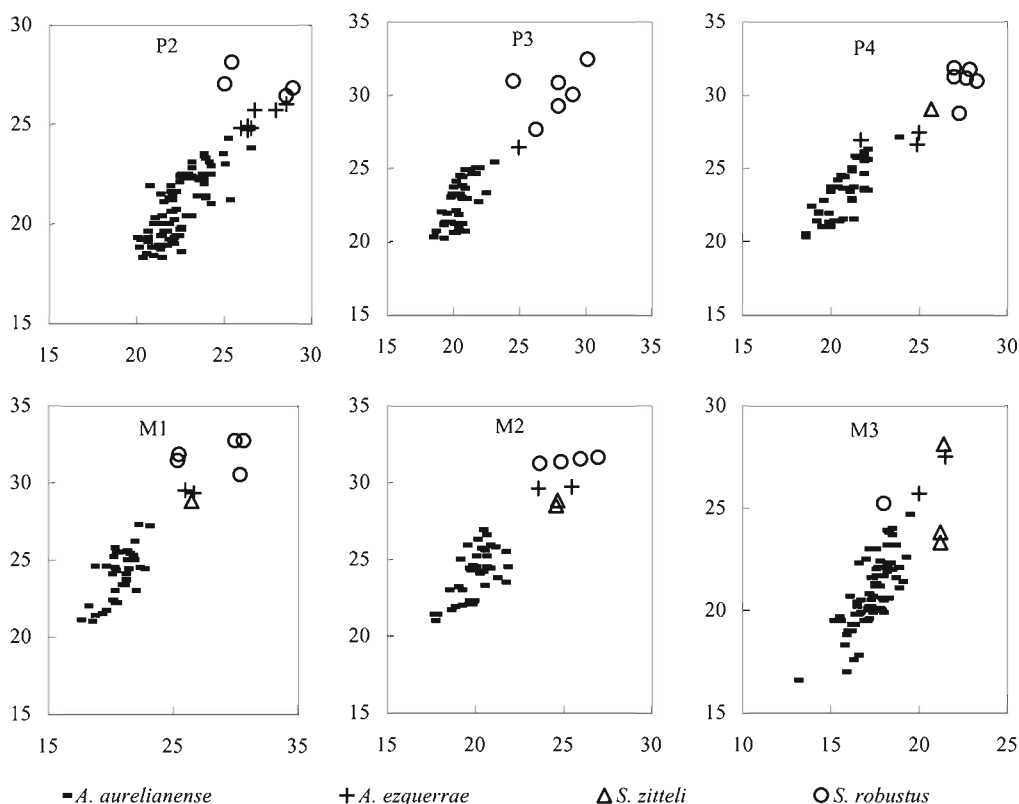


图5 *Anchitherium* 和 *Sinohippus* 上颊齿大小对比

Fig. 5 Comparison in the size of P2-M3 in the genera *Anchitherium* and *Sinohippus* (mm)  
P2-P4: Bh-L; M1-M3: Bv-L

*anense* 的前附尖发育明显的褶曲,特别是在磨蚀面上,膨大或呈“T”字形,这一特征区别于 *Sinohippus*。

*Sinohippus* 的外齿带在下颊齿上及上颊齿的前尖和后尖处仍很强壮,内齿带则变得很微弱甚至消失,区别于 *Anchitherium aurelianense*。值得注意的是,在内蒙古化德县发现的 V 2763 的上颊齿舌侧发育很强壮的齿柱,这是比较原始的特征,在 *Anchitherium* 中比较普遍。

*Sinohippus* 的上颊齿原脊和后脊比较平直,与外脊相连处亦不曲折,二者皆显著地向后倾斜,几与外脊后部的外壁平行,*Anchitherium aurelianense* 的原脊和后脊则常发育一些微弱的折曲。另外,*Sinohippus* 的 P2 原脊不发育,仅在原脊的位置发育两个小的突起。

*Sinohippus* 的下颊齿外谷窄而深,与齿列长轴近垂直,下内脊与齿列长轴斜交,下前脊普遍比较长;*Anchitherium aurelianense* 的下外谷则向前方倾斜,下内脊与齿列的长轴近垂直,下前脊也较短。*Sinohippus* 的 m3 的第三叶小,显得非常退化,特别是 *Sinohippus zitteli* 的 m3 的第三叶,仅剩一个残株,*A. aurelianense* 的则很发育。

翟人杰(1963)根据在内蒙古化德县土城子发现的一块带有下门齿列和犬齿的下颌

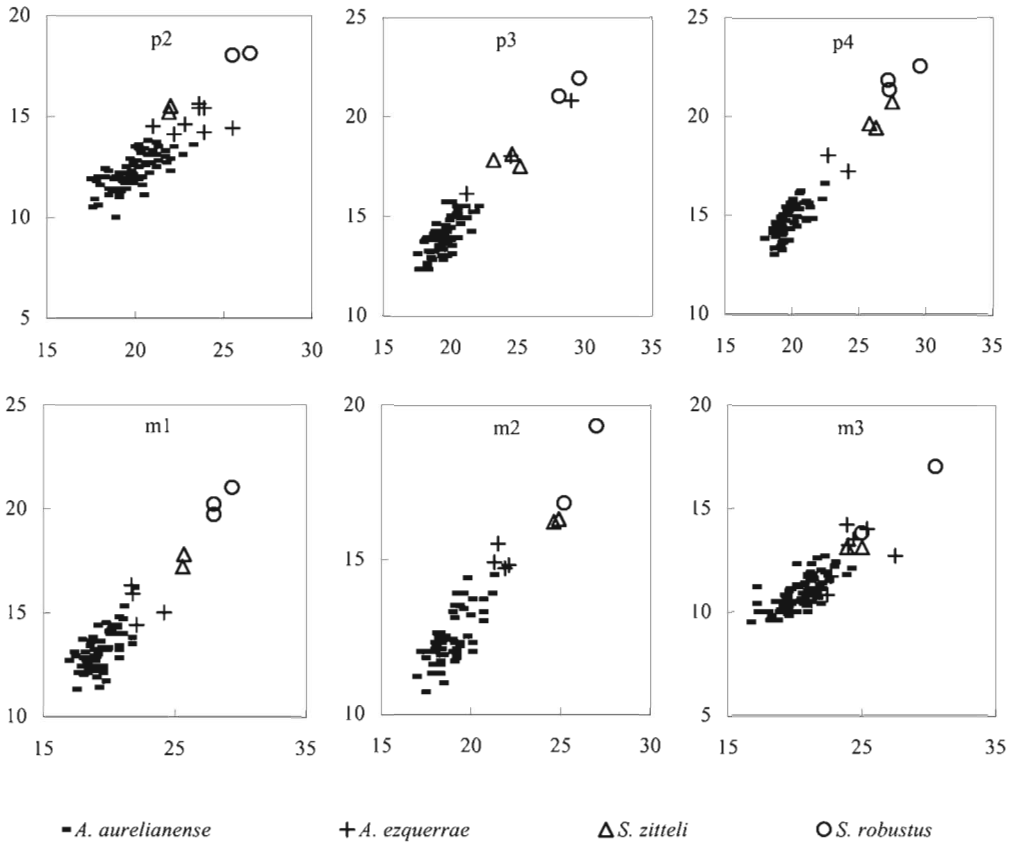


图6 *Anchitherium* 和 *Sinohippus* 下颊齿大小对比

Fig. 6 Comparison in the size of p2-m3 in the genera *Anchitherium* and *Sinohippus* (mm)  
p2-p4: Bh-L; m1-m3: Bv-L

前端(V 2761)辨认出 *Sinohippus* 不同于安琪马亚科其他几个属的重要特点:下门齿前倾,第一对下门齿大而粗壮,第二对比第一对稍小,第三对非常小,犬齿也很小,犬齿与门齿间几乎无齿隙。但是由于这一标本在下颌联合之后断去,它是否代表 *Sinohippus* 并不肯定。和政发现的 V 15164 为一带有完整门齿区的下颌,F:AM 60776 的下颌也保留了完整的门齿区,这两件标本门齿缩小的程度与化德的标本最为相似,远远大于安琪马亚科的其他几个属。尽管这几件标本之间也存在着差异,如 V 15164 的下门齿排列成窄的圆弧形,联合部相对窄而长,与 Abusch-Siewert (1983) 描述的 *Anchitherium aurelianense steinheimense* 相似;V 2761 和 F:AM 60776 的下门齿则排列为比较宽缓的弧形,联合部相对宽,与 Romer (1926) 描述的 *A. agatense*、Colbert (1939) 描述的 *A. gobiense*、Alberdi et al. (2004) 描述的 *A. aurelianense* 以及 Osborn (1918) 描述的 *Hypohippus* 相似。考虑到安琪马亚科其他几个属的门齿均未发现如此特殊的缩减现象,笔者更倾向于将这三件标本归为一类。

另外,叶捷等(2005)将中国中新世已发现的 *Anchitherium* (不包括南京方山的)都归

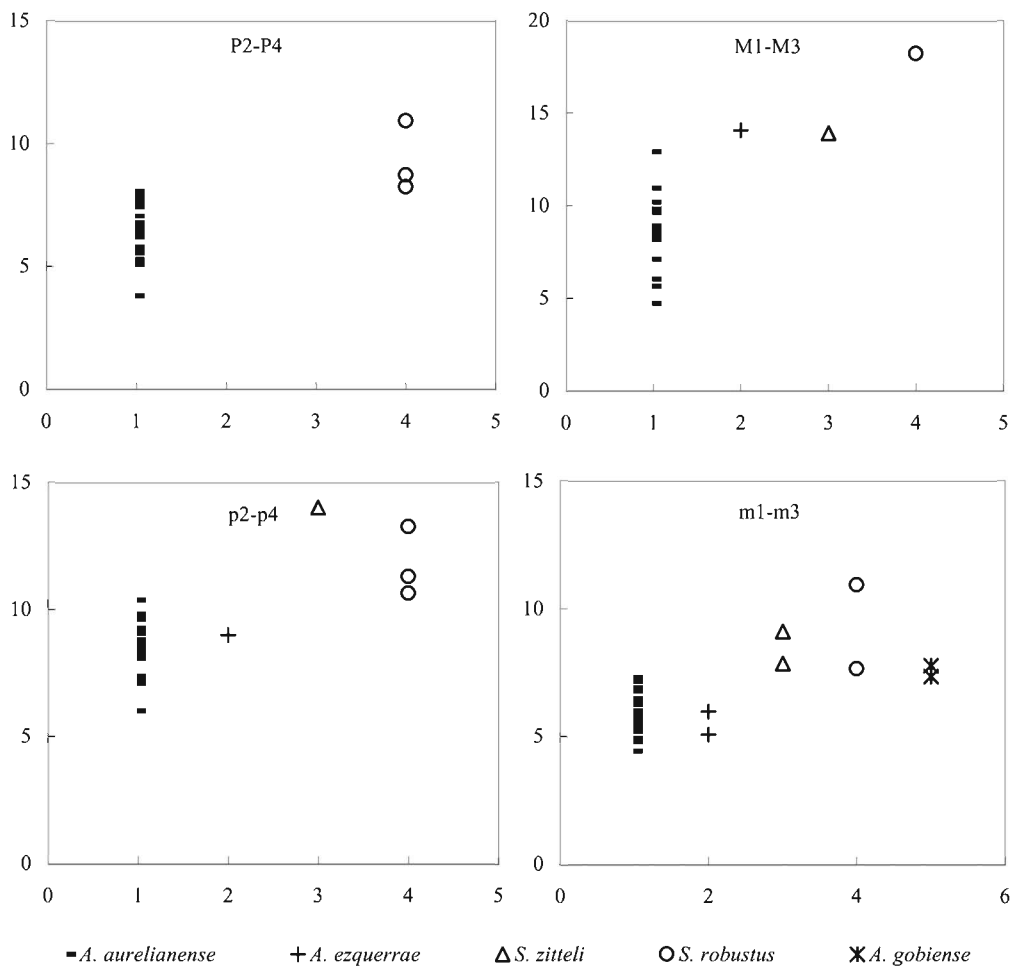


图7 *Anchitherium* 和 *Sinohippus* 颊齿收缩程度对比

Fig. 7 Comparison in the reduction of the cheek teeth in the genera *Anchitherium* and *Sinohippus*

为 *A. gobiense*。从牙齿的特征来看, *Sinohippus* 的个体明显较大, 外谷及下内脊、下前脊的形态与 *A. gobiense* 不同, *Sinohippus* 下次小尖较弱, 下颊齿齿叶外壁较圆隆, m3 的第三叶也较 *A. gobiense* 的退化。

Abusch-Siewert (1983) 将发现于西班牙地区的较大型的 *Anchitherium* 都归入了 *A. ezquerrae* 种, 并辨认出两个亚种: *A. e. ezquerrae* 和 *A. e. sampelayoi*。笔者根据 Abusch-Siewert 的数据计算得出, *A. e. ezquerrae* 材料的上颊齿在大小和收缩程度上都与 *Sinohippus* 更接近而与 *A. aurelianense* 有较大的区别, 下颊齿的大小和收缩程度则与 *A. aurelianense* 的更为接近 (图 5-7)。Sánchez et al. (1998) 将西班牙地区的 *Anchitherium* 化石重新进行了分类, 划分为 9 个种, 由于他们的主要分类依据是肢骨, 笔者无从利用其成果, 但从其统计的牙齿的数据来看, 除 Bunol 地点的材料外, 几乎所有其他地点的牙齿的最大值都与

*Sinohippus* 很接近而比 *A. aurelianense* 的大,最小值则落在 *A. aurelianense* 的范围内。Salesa et al. (2004) 依据牙齿尺寸较大及 p2 相对较小等特征将西班牙 Nombrevilla-1 地点的 *A. sampelayoi* 的材料归入 *Sinohippus* 属。考虑到除个体较大外, *Sinohippus* 与 *Anchitherium* 区分的主要依据并不是 p2 相对小,而是特殊的门齿区及显著收缩的前臼齿列和臼齿列, Nombrevilla-1 地点的材料保存不多且不够好,无法观察到这些特征,其是否属于 *Sinohippus* 并不确定。但毫无疑问,在西班牙地区普遍存在着与中国北方的 *Sinohippus* 大小相近的安琪马类化石,其部分标本的上颊齿具有 *Sinohippus* 的一些特征,个体大小也显著区别于 *A. aurelianense*,至于其究竟是属于 *Sinohippus*,还是代表了另外一类大型的安琪马,有待于更多的材料来证实。

***Sinohippus* 与 *Hypohippus* 及 *Megahippus* 的对比** *Hypohippus* 和 *Megahippus* 发现于北美早-晚中新世的地层中,早期的 *Hypohippus* 体型较小,晚中新世的 *H. giganteus* 体型已经变得巨大, *Megahippus* 则在中中新世时已经有明显变大的趋势, *Megahippus matthewi* (中中新世)、*M. mckennai* (中中新世) 和 *Megahippus cf. M. matthewi* (晚中新世) 均比 *Sinohippus* 大 (McGrew, 1938; Mawby, 1968; MacFadden, 1998; Salesa et al., 2004)。

*Hypohippus* 的下门齿也有比较明显的缩减,但程度不及 *Sinohippus*, *Hypohippus* 的 i3 比 i2 的 1/2 稍大, *Sinohippus* 的 i3 则比 i2 的 1/2 小得多; *Sinohippus* 的齿槽间隙也较 *Hypohippus* 的长。 *Hypohippus* 的外齿带特别是下颊齿的外齿带相对较低,原尖和次尖不发育前收缩沟,次附尖的位置更靠近舌侧,下颊齿特别是下前臼齿的下外谷与齿列长轴斜交,齿叶显著地向后倾斜,下内脊不发生弯折,这些特征均与 *Sinohippus* 显著不同。另外, *Hypohippus* 的 DP1 很小, *Sinohippus* 的 DP1 则相对较强,双根愈合。 *Hypohippus* 的 p2 不发育远中嵴, m3 的第三叶比 *Sinohippus* 的强壮。从模型上还可以观察到 *Sinohippus* 头骨的部分特征,眶前窝大而深,后缘与眼眶的位置很近,形成明显的界线,上缘、前缘和下缘无明显的界线,上缘延伸至鼻骨的顶端,前缘至鼻颌切迹处,下缘达面嵴上部; *Hypohippus* 的眶前窝则很小,界线分明,上缘至鼻骨的下缘,前缘仅达 P3 前缘上方,下缘与眼眶下缘位于同一水平,后缘与眼眶的距离很远。从眶前窝的特点来看, *Sinohippus* 更像欧亚大陆的 *Anchitherium* (如 Kowalevsky, 1873)。另外, *Sinohippus* 的眶下孔深,位于眶前窝的内部, *Hypohippus* 的眶下孔则在眶前窝的范围之外。

*Megahippus* 时代比 *Hypohippus* 稍晚 (Barstovian-Clarendonian, 15.8 ~ 8.8 Ma), 曾经被归入 *Hypohippus* (Forstén, 1991)。同 *Sinohippus* 相比, *Megahippus* 的个体要大,下颌联合与之有显著的不同。 *Megahippus* 的下门齿排列成窄的圆弧形,两侧的门齿近平行, i1 到 i3 减小的程度远不及 *Sinohippus*; *Megahippus* 齿槽间隙非常小,下颌联合显得非常短。另外, *Megahippus* 不发育 dp1, p2 原尖外壁也未见远中嵴。 *Megahippus* 的下颊齿的外齿带比 *Sinohippus* 的低,下外谷及齿叶均与齿列长轴斜交,下内脊不发生弯折,区别于 *Sinohippus*。

综上所述,发现于中国晚中新世三趾马地层中的安琪马类,门齿形态明显不同于安琪马亚科其他几个属,个体大小和颊齿特征等方面也与 *Anchitherium* 以及北美大型的 *Hypohippus* 和 *Megahippus* 有显著的不同。因而笔者认为,有必要保留翟人杰所建立的 *Sinohippus* 属。

***Sinohippus* 的划分** 翟人杰建立 *Sinohippus* 属时,由于材料的局限,将发现于中国晚

中新世三趾马地层中的大型安琪马类化石都归入了 *Sinohippus zitteli* 中。笔者重新观察和对比了这些材料,辨认出一些比较明显的区别,认为中国晚中新世三趾马地层中的 *Sinohippus* 至少可以区分出两个种: *Sinohippus zitteli* 和 *Sinohippus robustus* sp. nov.。

*Sinohippus robustus* sp. nov. 的标本包括 V 15163、V 15164、SZ 0601、V 2640、V 2760、V 2761、V 2762、V 2763 以及 F:AM 60775。新种个体明显较 *S. zitteli* 大,牙齿显得更为粗壮;前臼齿原尖和次尖膨大,前收缩沟发育;M3 不发育前刺;p2 发育强壮的远中嵴;m3 第三叶较 *S. zitteli* 的大。V 2761 从联合部形态来看与 F:AM 60776 有相似之处,但是考虑到个体的大小,笔者也将之归入了 *S. robustus*。

*Sinohippus zitteli* 的标本包括 V 2639、V 2641 和 F:AM 60776,对其特征修订如下:下颌联合部相对宽;外齿带弱,不发育内齿带;M3 发育前刺;p2 的远中嵴弱;m3 第三叶小。

Zdansky (1935) 描述的在山西保德县三趾马红土内发现的幼年个体 (RV 35010) 大小和颊齿的形态与 V 15163 接近,笔者认为可能是属于新种的幼年个体。Schlosser (1903) 最早记述的标本上颊齿比新种略大,下颊齿与化德的标本 (V 2760) 类似,从图版上来看,牙齿很粗壮,笔者同样将之归入了新种。Schlosser (1924) 记录的标本仅为一枚下颊齿的碎片,外齿带的发育程度较弱,从大小来看可能属于 *Sinohippus zitteli*。邱铸鼎 (1979) 记述了一枚采自甘肃秦安三趾马红土中的 m2,将之归入了 *Sinohippus* 属。从其大小,强烈发育的前、后和外齿带,强壮的下次小尖以及与齿列长轴斜交的下外谷和尖锐的齿叶来看,秦安标本与叶捷等人描述的发现于新疆的 *Anchitherium gobiense* 很相似,可能归入 *A. gobiense* 更合适。

叶捷等 (2005) 曾经提出中国发现的不同层位的安琪马类 *Sinohippus* 与 *Anchitherium* 的下颊齿相对较宽、齿叶外端均较尖锐、下臼齿列向后明显变窄,这些特征构成了安琪马类中特有的一个演化支系。目前中国发现的安琪马类化石不多,包括内蒙古通古尔的 *A. gobiense* (Colbert, 1939), 南京方山的 *A. aurelianense* (周明镇、胡长康, 1956), 湖北房县的 *A. aurelianense* (阎德发, 1979), 准噶尔盆地北缘哈拉玛盖组中的 *A. gobiense* (叶捷, 1989; 叶捷等, 2005), 内蒙古阿木乌苏动物群的 *Anchitherium* (Qiu, 1988), 山西保德地区、甘肃秦安程村、内蒙古化德乌兰霍里、土城子和黑沙图的三趾马地层中的 *Sinohippus* (Schlosser, 1903, 1924; Zdansky, 1935; 邱铸鼎, 1979; 翟人杰, 1962, 1963), 以及甘肃和政和内蒙古四子王旗的材料。根据笔者的观察,除新疆的 *A. gobiense* 标本下颊齿齿叶显得非常尖锐外,中国安琪马类材料下颊齿齿叶的尖锐程度虽然彼此之间存在差异,但落在了欧洲 *Anchitherium* 变异范围之内,而且 Abusch-Siewert (1983) 在系统研究欧亚大陆安琪马时,也提到了 *Anchitherium* 不同种之间的这一差异。另外,根据统计数据,中国安琪马类材料下颊齿的长宽比也全部落在了欧洲 *Anchitherium* 的变异范围之内。从下臼齿列的收缩程度来看,虽然 *Sinohippus* 和大部分 *Anchitherium* 的收缩程度都落在了欧洲 *Anchitherium* 的上限附近或大于欧洲 *Anchitherium*, Colbert (1939) 报道的通古尔的 *A. gobiense* 的收缩程度却落在了欧洲 *Anchitherium* 的范围之内。另外,在西班牙地区发现了大小与 *Sinohippus* 类似,上臼齿收缩程度也与 *Sinohippus* 相当的安琪马类化石。因而笔者认为尚没有足够的证据表明中国的安琪马代表了一个独特的演化支系。

### 3 生态学意义

在取食植物的有蹄动物中,具低冠齿的种类以柔嫩多汁的树叶为食,具高冠齿的种类以粗糙难嚼的草本植物为食。因此,低冠齿的安琪马通常被认为是典型的以嫩枝叶为食的种类,占据森林边缘的生境,而欧亚大陆的三趾马动物群,根据其动物群组合特点及有蹄类高冠齿的普遍存在,在生态上普遍被认为与现代非洲的斑马动物群相似,生活于稀树草原(savanna)环境。

一般认为,欧亚大陆马类主要的适应辐射发生在晚中新世,中中新世低冠齿的安琪马被晚中新世高冠齿的三趾马取代,稀树草原已经在东亚广泛扩散。然而,中国三趾马动物群化石的牙齿釉质碳同位素组成的分析结果显示,在现代稀树草原中占优势的 $C_4$ 植物直到上新世时才在山西中部出现,在其以西的地区还要晚得多。目前已知所有的*Sinohippus*的材料都发现于中国晚中新世的三趾马地层中,也表明在欧亚大陆,直到中新世晚期,仍然存在着高冠齿的三趾马与低冠齿的安琪马类的共存,这个时期虽然已经有广泛的草本植物的分布,但并非通常所认为的以 $C_4$ 植物为主的稀树草原环境,而是以 $C_3$ 草本植物为特征的温带草原(steppe)环境(Wang and Deng, 2005;侯素宽等,2006),有灌丛植物为少量的安琪马类提供食物。

### 4 结论

1)通过对新标本的记述,我们比过去更为清楚地了解到中国晚中新世的大型安琪马类的特征,确定*Sinohippus*为一个有效属,并对属征进行了修订。

2)将*Sinohippus*化石重新进行了厘定和分类,建立了新种*Sinohippus robustus* sp. nov.,新种为较*Sinohippus zitteli*更大型的种,牙齿更为粗壮。修订了*Sinohippus zitteli*的特征。

3)目前还很难说哪一类安琪马可能是*Sinohippus*的直接祖先,也没有足够的证据表明中国的安琪马类代表了一个特有的演化支系。

4)直到中新世晚期,仍然有低冠齿的安琪马类与高冠齿的三趾马共存。中国北方虽然已经具有开阔的草原环境,但并非像通常所认为的那样与今天东非的斑马动物群生活的热带稀树草原一致,而是以 $C_3$ 草本植物为特征的温带草原。

**致谢** 在本文写作过程中,邱占祥院士、吴文裕、郑绍华、张兆群研究员对作者进行了有益的指导并提供重要的参考文献和宝贵意见,张兆群热心提供并亲自带回了内蒙古的研究材料,孟津和倪喜军博士帮助寻找并拍摄了模型的照片。内蒙古四子王旗国土资源局提供部分研究材料,美国自然历史博物馆同意作者研究两件标本的模型,梁忠协助进行野外工作,王团伟修理化石,Cristopher J. Norton 修改英文摘要,作者在此表示感谢。

## NEW MATERIALS OF *SINOHIPPIUS* FROM GANSU AND NEI MONGOL, CHINA

HOU Su-Kuan<sup>1,2</sup> DENG Tao<sup>1</sup> HE Wen<sup>3</sup> CHEN Shan-Qin<sup>3</sup>

(1 Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, Chinese Academy of Sciences Beijing 100044 kk338@126.com)

(2 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences Beijing 100039)

(3 Hezheng Paleozoological Museum Hezheng, Gansu 731200)

**Key words** Gansu and Nei Mongol, China; Late Miocene; Anchitheriinae, *Sinohippus*

### Summary

New materials of *Sinohippus* from the Late Miocene “*Hipparion* Red Clay” of Gansu and Nei Mongol, China, are described and identified as *Sinohippus robustus* sp. nov. A review of the known specimens of *Sinohippus* indicates that this genus is generically distinct from other members of Anchitheriinae. The sympatry of the low-crowned *Sinohippus* with the high-crowned *Hipparion* indicates that there should have been a small quantity of shrub distributed during the Late Miocene in northern China.

### 1 Systematic paleontology

#### Family Equidae Gray, 1821

#### Subfamily Anchitheriinae Leidy, 1869

#### Genus *Sinohippus* Zhai, 1962

**Type species** *Sinohippus zitteli* (Schlosser, 1903).

**Included species** *Sinohippus robustus* sp. nov.

**Geographical and stratigraphical distribution** “*Hipparion* Red Clay Bed” of the Late Miocene, northern China.

**Revised diagnosis** A large-sized anchithere. The preorbital fossa is wide and clear, forming a distinct posterior boundary close to the orbit. The infraorbital foramen is small and deep, situated in the inferoanterior part of the preorbital fossa. The mandibular symphysis is long and constricted markedly posterior to the canines. The first pair of lower incisors is very large and massive. The second pair is only slightly smaller and the third pair is conspicuously small. Molars markedly decrease posteriorly in width, while premolars, anteriorly. The lingual cingulum is weak to absent. The protoloph and the metaloph slant posteriorly and connect to the ectoloph without secondary structures. The ectoflexid is deep, narrow, and perpendicular to the tooth row. The paralophid is long. DP1 has its two roots closely fused. Two tubercles are present replacing the protoloph in P2. A distobuccal crest develops on the labial wall of the protoconid of p2. The third lobe of m3 is weak.

#### *Sinohippus robustus* sp. nov.

(Figs. 1–4; Tables 1–2)

*Anchitherium zitteli* Schlosser, 1903:76–78, Pl. III, figs. 11, 14

*Hypohippus zitteli* (Schlosser) Osborn, 1918: 203–210, Pl. 35, fig. 3

Anchitheriinae gen. et sp. indet. Zdansky, 1935:16–20, Pl. I, fig. 4

*Sinohippus zitteli* Zhai, 1962:48–55, Pl. I, fig. 8

*Sinohippus zitteli* Zhai, 1963:168–172, Pl. I, figs. 1–4

**Holotype** V 15164 (Figs. 1–2), a nearly complete right horizontal ramus with symphy-sis, i1, i2, and p2–m3. Roots of i3, c, and dp1 are preserved. The ramus is slightly laterally

pressed, with its lower border damaged.

**Referred specimens** V 15163 (Figs. 3, 4A), maxillary with DP1 and P2–M2 of both sides, the left P2 and the right DP1–P3 being slightly damaged. SZ 0601 (Fig. 4B), fragment of a right maxillary with DP1–M1.

**Etymology** *Robustus*, Latin, large and strong.

**Locality and horizon** V 15163 and V 15164 are from the red clays of the upper Liushu Fm. of the Late Miocene at Wangjiashan (IVPP field locality: LX 0501, 35°22'34.3"N, 103°12'48.9"E) in Maijiaji Town, Hezheng County, Gansu Province, China; SZ 0601 is from the red clays of the Late Miocene, 3 km south of Wulanhua Town, Siziwang Banner, Nei Mongol, China.

**Diagnosis** Large-sized *Sinohippus*. Protocone and hypocone strongly bulged with strong anterior constriction grooves. Crochet absents. A distobuccal crest is prominent on the labial wall of protoconid in p2. The third lobe of m3 is larger than in *S. zitteli*.

**Description** V 15164; the mandibular symphysis is narrow and long, constricted behind the canines, with a deeply concave lingual side. The median furrow of the labial side is short (ca. 19 mm) and shallow. The horizontal ramus is rather thick. One mental foramen is present at the level of the posterior end of the symphysis. Three small nutrient foramina occur around the mental foramen. A shallow longitudinal depression is present in the middle of the inner surface of the horizontal ramus. The lower border of the horizontal ramus is straight and the upper border is slightly curved. The heights of the horizontal ramus in front of dp1, p2, p3 and m3 are 40.2, 45.5, 48.0 and 71.5 mm respectively.

The lower incisors are inclined forward and arranged tightly in a narrow arc. They have a strongly developed and jagged labial cingulum and dense horizontal lines on the labial wall. The first pair of lower incisors is very large and massive, the second pair is only slightly smaller, and the third pair is conspicuously small (Table 1). The occlusal surface of the incisors is triangular. The labial wall of the incisors is slightly reduced from the crown to the root. The lower canines are strong judged from the roots and have little space with the incisors.

Judged from the root, dp1 is strong. The p4 is the largest among the lower cheek teeth. The premolars reduce anteriorly and the molars reduce posteriorly. On all lower cheek teeth, the metaconid and the metastylid are separated upwards. The labial cingulum is thick and high above the base of the teeth, while the lingual cingulum is faintly serrated at the entrances of the anterior and posterior valleys. The paralophid is long. The entolophid bends forwards in the middle and bevels with the tooth row. The ectoflexid is narrow and deep, perpendicular to the tooth row. The hypoconulid is weak. A distobuccal crest develops prominently on the labial wall of the protoconid of p2. The third lobe of m3 is small and low.

V 15163; maxillary of an old individual. The palate is wide and flat, strongly reduced and arched anteriorly. The posterior margin of the palate is U-shaped and situated at the level between P4 and M1. The palatine surface is smooth and presents the palatine groove along its lateral part at the level of M1 and M2. The median palatine suture is distinct, without a sagittal edge. The nasal surface of the palate is smooth and concave transversely, with a rough crest in the middle which is sharply reduced backwards.

The upper cheek teeth are arranged in a gentle arc, among which, P4 is the largest. Molars reduce posteriorly, while premolars, anteriorly. The labial cingulum is not continuous, only presents on the external wall of the paracone and the metacone. The lingual cingulum is absent. The external wall of the ectoloph is deep W-shaped. There is no rib on the external wall of the ectoloph. The protoloph and metaloph slant posteriorly and connect to the ectoloph without secondary structures. All the teeth are brachyodont and lack cement. DP1 is strong and its two roots are fused. The parastyle of P2 is strong and extends forward; the protocone and the hypocone are round and nearly of the same size. The hypocone becomes smaller than the protocone and the an-



terior constriction grooves develop in P3 and P4. The postfossette of P4 is closed. The hypostyle, which is triangular, joins with the posterior cingulum and is separated from the hypocone on top. M1 and M2 are similar to P3 and P4. The mesostyle becomes weaker and sharper than the parastyle. The protocone appears prominently larger than the hypocone, and both of them are oval. The postfossette is open. The protoconule and the crochet are absent.

SZ 0601 possesses the most characters of V 15163, and its teeth are larger and more robust. Two small tubercles are present replacing the protoloph in P2. The postfossette is closed in P2–P4.

## 2 Comparison and discussion

Schlosser (1903) originally placed fossils of the large-sized anchithere found from the Late Miocene of northern China into *Anchitherium*. Osborn (1918) and Zdansky (1935) later put them into *Hypohippus* and *Anchitherium* respectively. Zhai (1962, 1963) created the new genus *Sinohippus* based on the materials found from Shanxi and Nei Mongol. However, the systematic position of *Sinohippus* has been doubted due to the scarcity of its fossil remains. For instance, Abusch-Siewert (1983) included it in the genus *Anchitherium*. Sondaar (1971) suggested that *Sinohippus* might have evolved from *Anchitherium*. Forstén (1982) declared that the evidences Zhai (1962) had listed to distinguish *Sinohippus* and *Hypohippus* were not sufficient, and the most important difference between them was the shape and position of the preorbital fossa; she indicated that *Sinohippus* parallels *Hypohippus*. Ye et al. (2005) suggested to retain *Sinohippus*.

Zhai (1963) regarded the special reduction of the lower incisors as an important diagnostic character of *Sinohippus* based on a fragment of mandibular symphysis (V 2761), but whether V 2761 belongs to *Sinohippus* is questionable. V 15164 and F:AM 60776 show the same character which is only found in *Sinohippus*, so, there is no doubt that *Sinohippus* is different from any other Anchitheriinae forms.

Compared with *Anchitherium aurelianense*, the best-known species of *Anchitherium*, *Sinohippus* is observably larger (Figs. 5–6). The data of the reduction of the tooth row (premolar and molar rows of the lower and upper cheek teeth) are also larger in *Sinohippus* than in *A. aurelianense* (Fig. 7). We compare the fossils of *Sinohippus* with the plates and figures of the Eurasian *Anchitherium*, and recognize three types of the ectoloph labial wall. Therefore, the W-shaped labial wall of ectoloph cannot be used to differentiate between *Sinohippus* and *Anchitherium* in the generic level. But the parastyle of *A. aurelianense* is often folded, which is different from *Sinohippus*. The weak-to-absent lingual cingulum is also a difference between *Sinohippus* and *A. aurelianense* (A matter worthy of note, prominent tubercles appear on the lingual side of V 2763, which is a primitive character that often exists in *Anchitherium*). In addition, the protoloph and the metaloph of *Sinohippus* slant posteriorly and connect to the ectoloph without secondary structures; the ectoflexid is deep and narrow, perpendicular to the tooth row; the paralophid is long; the DP1 has its two roots closely fused; two tubercles are present replacing the protoloph in P2; a distobuccal crest develops on the labial wall of the protoconid of p2; the third lobe of m3 is weak. All the characters above differs *Sinohippus* from *A. aurelianense*.

The North American genera *Hypohippus* and *Megahippus* have teeth equal in size to, or exceeding, those of *Sinohippus* (McGrew, 1938; Mawby, 1968; MacFadden, 1998; Salesa et al., 2004). The lower incisors of *Hypohippus* also decrease markedly, but the reduction is weaker than in *Sinohippus*. Besides, the mandibular symphysis is longer in *Sinohippus* than in *Hypohippus*. The labial cingulum of *Hypohippus* is relatively low. The ectoflexid of *Hypohippus* bevels with the tooth row and the entolophid does not bend forwards. DP1 of *Hypohippus* is small and one-rooted. The distobuccal crest is absent in *Hypohippus*. The third lobe of m3 is larger in *Hypohippus* than in *Sinohippus*. The preorbital fossa of *Sinohippus* is wide, and only

the posterior boundary is distinct and close to the orbit; the infraorbital foramen is small and situated in the inferoanterior part of the preorbital fossa. While in *Hypohippus*, the preorbital fossa is small and well defined, having a long distance to the orbit, and the infraorbital foramen is situated out of the preorbital fossa. *Megahippus* is even larger, and its mandibular symphysis is evidently different from *Sinohippus*. The lower incisors of *Megahippus* are arranged in a narrow arc and only slightly reduced, and the symphysis looks especially short. The ectoflexid and the entolophid of *Megahippus* are similar to those of *Hypohippus* and different from *Sinohippus*. The third lobe of m3 is also larger in *Megahippus* than in *Sinohippus*. Besides, dp1 is absent in *Megahippus*.

Zhai (1963) placed all the materials found from the Late Miocene “*Hipparion* Red Clay” of northern China into *Sinohippus zitteli* due to the scarcity of the fossil remains. We restudied these materials and identified two *Sinohippus* species: *Sinohippus zitteli* (V 2639, V 2641 and F:AM 60776) and *Sinohippus robustus* sp. nov. (V 15163, V 15164, SZ 0601, V 2640, V 2760, V 2761, V 2762, V 2763, RV 35010 and F:AM 60775).

*Sinohippus robustus* is larger than *Sinohippus zitteli*, and its teeth appear more robust. The protocone and the hypocone of the former are expanded, and the anterior constriction grooves develop; the crochet is absent; the distobuccal crest is prominent on p2; the third lobe of m3 is larger than that of *S. zitteli*.

The diagnosis of *Sinohippus zitteli* is revised as: a large-sized anchitherid; the mandibular symphysis is broad; the labial cingulum is weak, and the lingual cingulum is absent; the crochet of M3 is developed and the distobuccal crest of p2 is weak; the third lobe of m3 is weak.

Ye et al. (2005) stressed that *Sinohippus* and *Anchitherium* from the different strata of China share some characters, including the relatively broad lower cheek teeth, the sharp labial lobes of the lower cheek teeth, and the marked reduction of m1–m3. They suggested that the Chinese anchitherid might represent a peculiar lineage. However, we find that only in the *A. gobiense* fossils from Xinjiang, the labial lobes of the lower cheek teeth are especially sharp. The width-length proportions of the Chinese anchitherids are also within the range of the European *Anchitherium*. Though the reduction of the tooth row of the most Chinese fossils is equal to or larger than the European *Anchitherium*, the reduction of *A. gobiense* from Tunggur is small and fits inside the range of variation of *Anchitherium*. Otherwise, fossils of large-sized anchitherids have been found in Spain, which resemble *S. zitteli* in dental size and the reduction of the upper tooth row. Therefore, we think the evidences that Ye et al. (2005) enumerated are not sufficient. Whether the Chinese anchitherid represent a peculiar lineage or not is still a question.

The fossils of *Sinohippus* were found from the “*Hipparion* Red Clay Bed” of northern China. The sympatry of the low-crowned anchitherid with the high-crowned *Hipparion* indicates that a small quantity of shrub should be distributed during the Late Miocene in northern China. The analytical results of the carbon isotopes of tooth enamel of the Chinese *Hipparion* fauna also support this viewpoint: the habitats in northern China were steppes dominated by C<sub>3</sub> grasses instead of savannas dominated by C<sub>4</sub> plants during the Late Miocene (Wang and Deng, 2005; Hou et al., 2006).

## References

- Abusch-Siewert S, 1983. Gebissmorphologische Untersuchungen an eurasiatischen Anchitherien (Equidae, Mammalia) unter besonderer Berücksichtigung der Fundstelle Sandelzhausen. *Cour Forsch-Inst Senckenberg*, **62**: 1–361
- Alberdi M T, Ginsburg L, Ronríquez J, 2004. *Anchitherium aurelianense* (Mammalia, Equidae) (Cuvier, 1925) dans l’Orléanien (Miocène) de France. *Geodiversitas*, **26**(1): 115–155
- Borissiak A A, 1938. Ob ostatkah anhteria iz sredne-miozenovih otlozenii severnovo Kavkaza. *Izv Akad Nauk SSSR, Ser Biol*, **1**: 207–218 (in Russian)

- Chow M C (周明镇), Hu C K (胡长康), 1956. The occurrence of *Anchitherium aurelianense* at Fangshan, Nanking. *Acta Palaeont Sin (古生物学报)*, **4**(4): 525–533 (in Chinese with English summary)
- Colbert E H, 1939. A new anchitheriine horse from the Tung Gur Formation of Mongolia. *Am Mus Novit*, (1019): 1–9
- Forstén A, 1982. The taxonomic status of the Miocene horse genus *Sinohippus*. *Palaeontology*, **25**(3): 673–679
- Forstén A, 1991. Size trends in Holarctic Anchitherines (Mammalia, Equidae). *J Paleont*, **65**(1): 147–159
- Hou S K (侯素宽), Deng T (邓涛), Wang Y (王杨), 2006. Stable carbon isotopic evidence of tooth enamel for the Late Neogene habitats of the *Hipparion* fauna in China. In: Dong W ed. *Proceedings of the Tenth Annual Meeting of the Chinese Society of Vertebrate Paleontology*. Beijing: China Ocean Press. 85–94 (in Chinese with English summary)
- Kowalevsky V, 1873. Sur L' *Anchitherium aurelianense* Cuv. et sur L' Histoire paléontologique des chevaux. *Mém Acad Imperiale Sci St Petersburg, Ser 7*, **20**(5): 1–73
- MacFadden B, 1998. Equidae. In: Janis C M, Scott K M, Jacobs L L eds. *Evolution of Tertiary Mammals of North America*. Cambridge: Cambridge University Press. 537–559
- Mawby J E, 1968. *Megahippus* and *Hypohippus* (Perissodactyla, Mammalia) from the Esmeralda Formation of Nevada. *Paleobios*, **7**: 1–13
- McGrew P O, 1938. The Burge Fauna, a Lower Pliocene mammalian assemblage from Nebraska. *Univ Calif Publ Bull Dept Geol Sci*, **24**: 309–328
- Osborn H, 1918. Equidae of the Oligocene, Miocene and Pliocene of North America. *Mem Am Mus Nat Hist, New Ser*, **2**(1): 1–217
- Qiu Z D (邱铸鼎), 1979. Some mammalian fossils from the Pliocene of Nei Mongol and Gansu (Kansu). *Vert PalAsiat (古脊椎动物学报)*, **17**(3): 225–235 (in Chinese with English abstract)
- Qiu Z D, 1988. Neogene micromammals of China. In: Chen E K Y ed. *The Palaeoenvironment of East Asia from the Mid-Tertiary Volume II*. Hong Kong: Centre of Asia Studies, University of Hong Kong. 834–848
- Romer A, 1926. A Lower Miocene horse, *Anchitherium agatense* (Osborn). *Am J Sci, Ser 5*, **12**(70): 325–335
- Salesa M J, Sánchez I M, Morales J, 2004. Presence of the Asian horse *Sinohippus* in the Miocene of Europe. *Acta Palaeont Pol*, **49**(2): 189–196
- Sánchez I M, Salesa M J, Morales J, 1998. Revisión sistemática del género *Anchitherium* Meyer, 1834 (Equidae; Perissodactyla) en España. *Estud Geol*, **55**(1–2): 1–37
- Schlosser M, 1903. Die fossilen Säugetiere Chinas nebst einer Odontographie der recenten Antolopen. *Abh Bayer Akad Wiss*, **22**(1): 1–221
- Schlosser M, 1924. Tertiary vertebrates from Mongolia. *Paleont Sin, Ser C*, **1**(1): 1–119
- Sondaar P Y, 1971. An *Anchitherium* from the Vallesian of Soblay (Ain, France). *Mém BRGM V Congr Néog Médit*, **1**(78): 247–253
- Wang Y, Deng T, 2005. A 25-Ma record of paleodiet and environmental change from carbon and oxygen isotopes in mammalian tooth enamel and paleosols from the NE margin of the Tibetan Plateau. *Earth Planet Sci Lett*, **236**: 322–338
- Yan D F (阎德发), 1979. Einige der fossilen miozänen Säugetiere der Kreis von Fangxian in der Provinz Hupei. *Vert PalAsiat (古脊椎动物学报)*, **17**(3): 189–199 (in Chinese with German summary)
- Ye J (叶捷), 1989. Middle Miocene artiodactyls from the northern Junggar Basin. *Vert PalAsiat (古脊椎动物学报)*, **27**(1): 37–52 (in Chinese with English summary)
- Ye J (叶捷), Wu W Y (吴文裕), Meng J (孟津), 2005. *Anchitherium* from the Middle Miocene Halamagai Formation of northern Junggar Basin, Xinjiang. *Vert PalAsiat (古脊椎动物学报)*, **43**(2): 100–109 (in Chinese with English summary)
- Zdansky O, 1935. *Equus* und andere Perissodactyla. *Paleont Sin, Ser C*, **6**(5): 17–20
- Zhai R J (翟人杰), 1962. On the generic character of “*Hypohippus ziteli*”. *Vert PalAsiat (古脊椎动物学报)*, **6**(1): 48–55 (in Chinese with English summary)
- Zhai R J (翟人杰), 1963. Additional note on *Sinohippus ziteli*. *Vert PalAsiat (古脊椎动物学报)*, **7**(2): 168–172 (in Chinese with English summary)