古生物学报, 64(3): 328–341 (2025年9月)
Acta Palaeontologica Sinica, 64(3): 328–341 (September 2025)

·研究论文·

DOI: 10.19800/j.cnki.aps.2024044

晚新近纪太行山东麓井陉三趾马动物群之奇蹄目化石*

张 彤[1] 刘傲然[2,3] 齐海燕[1] 全永涛[1] 庞丽波[1,2] 陈少坤[1,2**]

1 河北地质大学, 地球科学学院, 石家庄 050031;
2 河北地质大学, 河北省古人类形态与演化国际联合研究中心, 石家庄 050031;
3 河北地质大学, 地球科学博物馆, 石家庄 050031

提要 井陉三趾马动物群是在太行山东麓的首次确切发现, 本文描述了其中的马科和犀科化石。马科标本可鉴定为平齿西瓦三趾马*Sivalhippus platyodus*和原始长鼻三趾马*Proboscidipparion pater*, 前者上颊齿褶皱复杂, 原尖唇侧圆隆, 舌侧平, 下颊齿双叶次角形, 下马刺单一或双分, 下内尖强烈收缩, 后谷狭长; 后者下乳齿双叶贺风型, 下马刺微弱或不发育, 下内尖和后谷的长轴方向与牙齿长轴方向平行。犀科化石可鉴定为林氏山西犀*Shansirhinus ringstroemi*和真犀亚科属种未定Rhinocerotinae gen. et sp. indet., 前者下颌联合部中度侧向扩展, 下门齿呈獠牙状, 下三角座呈角状U形, 下后尖前壁可见收缩, 下内脊向后倾斜; 后者上前臼齿的原尖和次尖不收缩, 反前刺不发育, 肢骨较粗壮。根据这些化石的生活习性和时代分布特点, 推测该动物群生存于开放的森林草原环境, 时代为晚中新世保德期晚期至早上新世高庄期早期, 更可能是高庄期最早期。

关键词 三趾马 犀科 太行山 三趾马动物群 晚新近纪

中文引用 张彤, 刘傲然, 齐海燕, 全永涛, 庞丽波, 陈少坤, 2025. 晚新近纪太行山东麓井陉三趾马动物群之奇蹄目化石. 古生物学报, 64(3): 328–341. DOI: 10.19800/j.cnki.aps.2024044

英文引用 Zhang Tong, Liu Ao-ran, Qi Hai-yan, Quan Yong-tao, Pang Li-bo, Chen Shao-kun, 2025. Perissodactyl fossils of the Late Neogene Jingxing *Hipparion* fauna from the eastern piedmont of the Taihang Mountains. Acta Palaeontologica Sinica, 64(3): 328–341. DOI: 10.19800/j.cnki.aps.2024044

Perissodactyl fossils of the Late Neogene Jingxing *Hipparion* fauna from the eastern piedmont of the Taihang Mountains

ZHANG Tong[1], LIU Ao-ran[2,3], QI Hai-yan[1], QUAN Yong-tao[1], PANG Li-bo[1,2], CHEN Shao-kun[1,2]

1 *College of Geoscience*, *Hebei GEO University*, *Shijiazhuang* 050031, *Hebei*, *China*;
2 *Hebei International Joint Research Center for Paleoanthropology*, *Hebei GEO University*, *Shijiazhuang* 050031, *Hebei*, *China*;
3 *Geoscience Museum*, *Hebei GEO University*, *Shijiazhuang* 050031, *Hebei*, *China*

Abstract This paper reports the first confirmed site of the Jingxing *Hipparion* fauna from the eastern piedmont of the Taihang Mountains and describes Equidae and Rhinocerotidae fossils from this fauna. The Equidae specimens are identified as *Sivalhippus platyodus*, characterized by with labially rounded and lingually flattened protocones and complex folds on upper cheek tooth, angular double-knots, single or bifid pli caballinids, strongly constricted entoconids, and narrow, elongated postflexids on lower cheek tooth; and *Proboscidipparion pater*, distinguished by a

收稿日期: 2024-12-11; 改回日期: 2025-08-25; 录用日期: 2025-08-25

* 国家自然科学基金重点项目(42430207)、国家重点研发计划(2023YFF0804501)、河北省自然科学基金(D2024403014)和河北地质大学博士科研启动基金(BQ2024018)联合资助。

** 通讯作者: 陈少坤, 研究馆员, e-mail: cskcsk2000@163.com

houfenoid double-knot, weak or absent pli caballinid, and the long axes of entoconid and postflexid parallel to that of the lower deciduous tooth. The Rhinocerotidae fossils include *Shansirhinus ringstroemi* with a moderately expanded mandibular symphysis, tusk-like lower incisors, angular U-shaped trigonid, a strongly constricted anterior wall of the metaconid, and a posteriorly tilted entolophid; and Rhinocerotinae gen. et sp. indet., characterized by poorly developed protocone and hypocone constrictions, antecrochets on premolars, and relatively robust limb bones. Based on the ecological habits and chronological distribution of these species, it is inferred that this fauna inhabited in an open forest-grassland environment. Biochronological analysis suggests an age ranging from the late Baodean of the Late Miocene to the early Gaozhuangian of the Early Pliocene, most likely corresponding to the earliest Gaozhuangian.

Key words　Hipparionine, Rhinocerotidae, Taihang Mountains, *Hipparion* fauna, late Neogene

1　前　言

新近纪晚期旧大陆和北美的古哺乳动物群组成了生物进化史上著名的“三趾马动物群”, 该动物群常以丰富的三趾马(广义)、多样化的犀科以及繁盛的食肉目、长鼻目、偶蹄目等为代表, 在高阶元的分类上与现代萨瓦纳动物群相似。得益于我国广布的陆相新近系沉积, 众多的三趾马动物群化石地点和丰富的化石标本被发现。从青藏高原的札达盆地到蒙古高原的中部地区, 从甘肃临夏盆地的红黏土堆积到山西榆社盆地的河湖相砂岩, 都有富集的三趾马动物群化石埋藏, 使我国具有其他国家不可替代的研究资源优势(邓涛等, 2015; Wang *et al*., 2013)。古生物学者以山西保德和榆社、陕西府谷和蓝田、内蒙古四子王旗、甘肃临夏、青海柴达木、西藏札达、云南元谋和禄丰等地区(邱占祥等, 1987a; 岳乐平等, 2003; 祁国琴等, 2006; 邓涛等, 2010b; 孙博阳, 2013; Deng *et al*., 2012; Wang *et al*., 2013)为代表的化石产地在化石门类和综合研究方面取得了大量的成果。然而, 我国晚新近纪三趾马动物群的分布版图中尚缺少太行山东部的可靠记录。

2022年, 河北地质大学师生在进行古生物野外实习时, 在太行山东麓的井陉县测鱼镇石门村发现了丰富的三趾马动物群化石材料(陈少坤等, 2024), 在一定程度上填补了该地区动物化石, 尤其是古脊椎动物化石材料的空白, 拓展了三趾马动物群的分布范围。作为其中的代表性类群, 井陉三趾马动物群中的奇蹄目化石有着较高的分异度, 对动物群的年代、生存环境等研究具有重要意义。

石门村化石点在此前的初步报道(陈少坤等, 2024)中已有介绍, 该地点不整合于中元古代常州沟组之上, 海拔660 m左右(图1), 化石层产自该剖面红黏土层的底部, 除本文所述奇蹄目化石外, 动物群还包括猫科Felidae gen. et sp. indet.、鬣狗科Hyaenidae gen. et sp. indet.、原河猪*Propotamochoerus* sp.、弓颌猪*Chleuastochoerus* sp.、山西兽*Schansitherium* sp.、古麟*Palaeotragus* sp.、羊羚*Dorcadoryx* sp.、高庄羚羊*Gazella gaozhuangensis*和似葛氏羚羊*G*. cf. *gaudryi*等。

文中三趾马的解剖术语依据Sisson (1953); 下颌测量方法、牙齿冠面术语均依据邱占祥等(1987a)建立的标准。犀科材料的下颌、牙齿及头后骨骼的解剖术语依据邱占祥、王伴月(2007), 测量方法依据Guérin (1980)建立的标准。文中所述化石标本均收藏于河北地质大学古生物研究院。

缩略语: AMNH--美国自然历史博物馆(纽约)化石标本编号; HMV--和政古生物化石博物馆化石标本编号; IVPP V--中国科学院古脊椎动物与古人类研究所化石标本编号; Loc.--化石产地编号; MNHN--法国自然历史博物馆化石标本编号; PMUM--瑞典乌普萨拉大学演化博物馆化石标本编号; 23SMC--河北地质大学古生物研究院收藏井陉三趾马动物群化石标本编号; THP--天津自然博物馆化石标本编号。DP--上前臼齿乳齿; dp--下前臼齿乳齿; i--下门齿; M--上臼齿; m--下臼齿; P--上前臼齿; p--下前臼齿。

2　系统古生物学

奇蹄目　Order Perissodactyla Owen, 1848

马科　Family Equidae Gray, 1821

三趾马族　Tribe Hipparionini Quinn, 1955

西瓦三趾马属　Genus *Sivalhippus* Lydekker, 1877

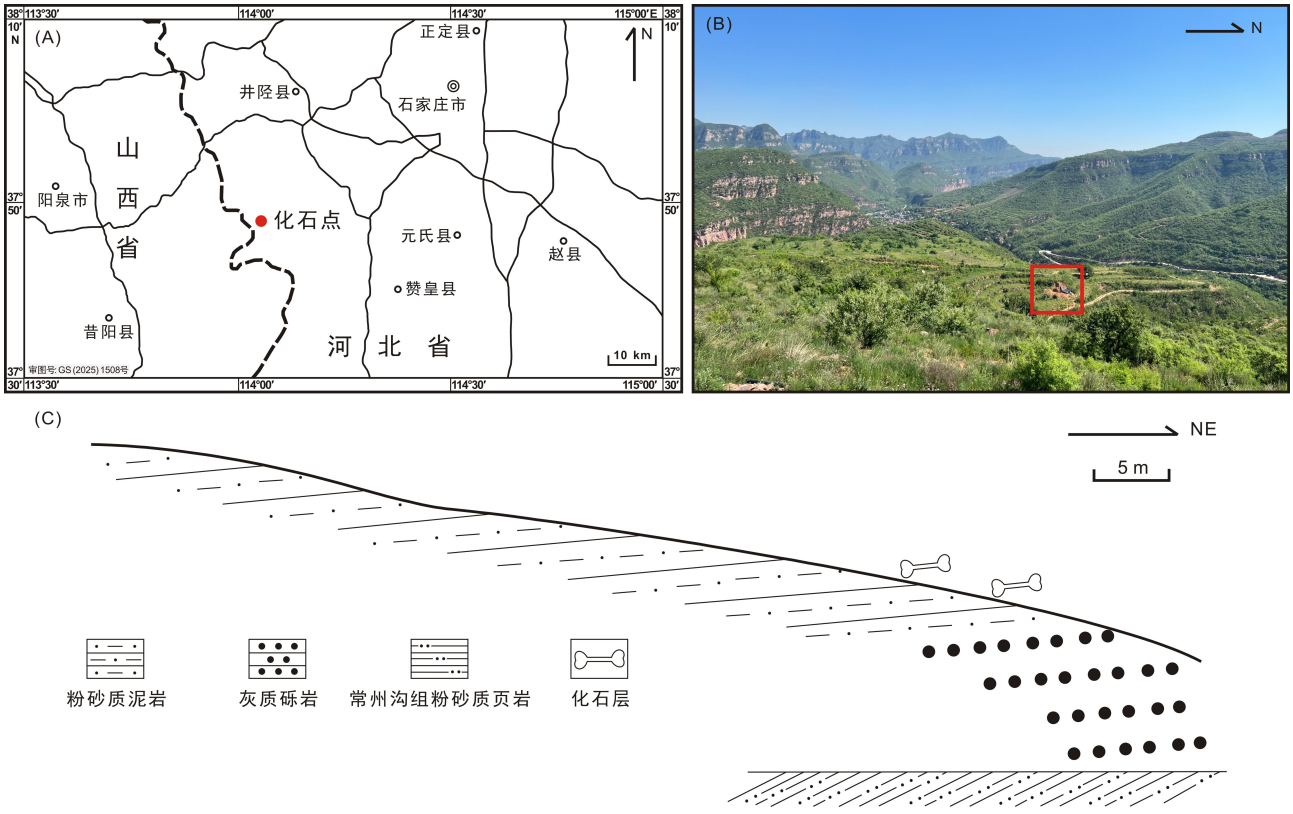

图 1 井陉三趾马动物群化石点简况

Fig. 1 Overview of the fossil locality of the Jingxing *Hipparion* fauna

A. 地理位置; **B**. 地貌景观(红框内为化石点); **C**. 地层剖面。

A. Map showing location of fossil site; **B**. Geomorphologic landscape (Red box indicates the fossil site); **C**. Cross section of the fossil-bearing strata.

模式种 *Sivalhippus theobaldi* Lydekker, 1877

平齿西瓦三趾马 *Sivalhippus platyodus* Sefve, 1927

(图2, 表1—2)

1927 *Hipparion platyodus*, Sefve, p. 34—38, pl. VI, fig. 21; text-figs. 17—18.

1978 *Hipparion thoebaldi platyodus*, Zhegallo, p. 81—83.

1987a *Hipparion platyodus*, 邱占祥等, 74—80页, 图版XVII—XX; 插图31—32。

1990a "*Hipparion*" *platyodus*, Bernor *et al*., p. 12—21, text-fig. 4.

选模 PMU M 3691, 头骨连下颌。采自山西武乡西沟村青沟Loc. 70 (7—6.5 Ma)。

鉴定特征 个体大小中等, 颊齿列长度125—150 mm。吻短而粗壮; 鼻颌切迹后缘位于P2前缘附近; 眶前窝距眼眶较远, 一般为38—50 mm (在幼年个体中可短至32 mm); 泪骨在面部出露部分大, 其长度超过眶前窝至眼眶前缘距离的一半; 眶下孔位于P4前附尖之前。门齿齿坎具微弱褶曲, 唇舌面无明显纵沟; 雌雄均有犬齿; DP1成年后脱落; 颊齿冠高中等(约50 mm); 上颊齿皱褶中至强, 中等磨蚀时原脊褶为3—5个, 次附尖褶在臼齿中也多于两个; 次尖沟深, 次尖强烈向内后方向伸展, 有时有次尖收缩; 原尖扁, 内面较平, 前、后端常呈尖角形; 下颊齿双叶次角形(邱占祥等, 1987a)。

记述标本 一枚右侧DP2 (23SMC-010); 一枚左侧上颊齿(23SMC-011); 一件青年个体的残破下颌骨(23SMC-012), 雄性, 保留了吻部、两侧水平支和门齿、犬齿及颊齿列, 上升支几乎未保留。

描 述 下颌骨大小中等, 下颊齿列全长139.8 mm。颏隆发育弱, 其宽度小于门齿区的最大宽。颏孔明显, 长9.2 mm, 宽4.7 mm, 位于下颌联合部侧面, 椭圆形, 后缘位于p2之前12.5 mm处。齿槽间隙约44.4 mm。下颌水平支浅, 自m1向后高度增加快。下颌角底部向唇侧突出, 血管压迹较深, 呈圆润的钝角。

表 1　井陉地点平齿西瓦三趾马下颌骨测量与相关属种的比较(单位: mm)

Table 1　Measurements of the mandible of *Sivalhippus platyodus* from Jingxing and comparisons with related species (mm)

属种	*Sivalhippus platyodus*			*Sivalhippus ptychodus*	
标本编号	23SMC-012	PMU M 3691[a]	IVPP V 8201[b]	PMU M 353[a]	AMNH 143267[a]
产地	河北井陉	山西武乡	山西榆社	山西武乡	山西寿阳
M2	75.4	93.7	92.5	94.7	105.7
M3	71.3	77.5	70.0	69.3	69.1
M4	66.4	69.0	67.0		63.2
M5	138.0	146.0	138.2		132.5
M7	46.3	46.0	~41.5	47.4	36.0
M10	78.9				89.9
M11	61.1		63.0		66.1
M12	37.7	41.8	46.4	42.9	51.9
M13	59.4	79.5	~58.0	63.6	71.7
M14	30.7	29.8	25.7	31.5	

注(Note): a. Sun等(2018); b. 邱占祥等(1987a)。

表 2　井陉地点平齿三趾马下颊齿测量与相关属种的比较(单位: mm)

Table 2　Measurements of lower cheek teeth of *Sivalhippus platyodus* from Jingxing and comparisons with related species (mm)

属种		*S. platyodus*				*S. theobaldi*	*S. ptychodus*	
标本编号		23SMC-012		PMU M 3691[a]	IVPP V 8199[b]	IVPP V 18497.1[c]	PMU M 353[a]	AMNH 143267[a]
产地		河北井陉		山西武乡	山西榆社	云南禄丰	山西武乡	甘肃庆阳
		left	right					
p2	L	24.5	25.0	28.7	23.8	31.6	26.1	26.0
	W	12.1	13.1	13.2	11.1	15.9	12.0	11.8
	d.k.	10.4	10.1	11.9	9.2	12.6	9.9	9.6
p3	L	22.1	21.8	24.5	21.9	26.9	22.4	23.7
	W	13.2	14.0	16.8	12.3	16.2	13.8	13.6
	d.k.	13.7	13.1	15.3	12.6	15.0	13.2	12.2
p4	L	22.0	＞19.7	23.8	20.8	27.0	21.7	23.1
	W	12.5	14.0	17.3	11.8	16.3	13.3	12.0
	d.k.	13.0	12.5	14.7	11.5	14.1	12.1	10.8
m1	L	21.1	21.0	22.0	21.2		19.0	22.8
	W	12.4	12.1	12.7	10.6	13.1	11.4	10.1
	d.k.	12.9	12.5	13.8	11.6	10.5	11.6	12.5
m2	L	21.0	21.5	22.1	20.3			23.9
	W	10.8	11.0	12.1	10.4			9.4
	d.k.	11.3	11.2	12.6	10.7			11.4
m3	L	22.0	21.8	24.6	21.6			22.5
	W	9.8	10.0	12.0	9.5			8.6
	d.k.	9.0	9.1	10.7	8.9			9.2

注(Note): a. Sun 等(2018); b. 邱占祥等(1987a); c. 孙博阳(2013)。L = 长; W = 宽; d.k. =双叶长。

DP2端附尖较长, 前附尖宽, 中附尖前后壁收缩; 前尖唇侧微凸, 舌侧凹入, 后尖唇舌侧均凹入; 前窝扁长, 后窝比前窝更靠近唇侧, 尤其是后窝的前外角强烈伸向唇侧; 原尖唇侧圆隆, 舌侧相对较平; 马刺发育3个; 次尖沟深, 次尖收缩微弱; 褶皱强烈, 原脊褶5个, 前窝褶5个, 后窝褶6个, 次附尖褶1个。上颊齿23SMC-011磨蚀很深, 其前附尖显著, 总体结构与前述DP2无明显差异, 但马刺仅发育一个, 不见次尖收缩, 无原脊褶, 前窝褶6个, 后窝褶7个。

下门齿i1、i2的齿坎靠近舌侧, 呈横长条形, 均未封闭, 珐琅质层很薄, 有轻微褶曲。因保存问题, i3咬合面白垩质剥落, 咬合面性状不显著。i1、i2舌侧的中纵沟明显, 唇面平滑。i3的唇侧纵沟靠

图 2 井陉三趾马动物群中马科化石

Fig. 2 Equidae fossils of the Jingxing *Hipparion* fauna

A. 23SMC-010, 平齿西瓦三趾马右DP2; **B**. 23SMC-011, 平齿西瓦三趾马左侧上颊齿; **C**. 23SMC-012, 平齿西瓦三趾马下颌骨, 冠面视(C1), 颊面视(C2), 左侧下颊齿列(C3); **D**. 23SMC-013, 原始长鼻三趾马下颌骨, 冠面视(D1), 颊面视(D2), 左侧下颊齿列(D3)。比例尺为5 cm。

A. Right DP2 of *Sivalhippus platyodus*, 23SMC-010; **B**. Upper cheek tooth of *S. platyodus*, 23SMC-011; **C**. Mandible of *S. platyodus*, occlusal view (C1), buccal view (C2), left lower cheek teeth (C3), 23SMC-012; **D**. Mandible of *Proboscidipparion pater*, occlusal view (D1), buccal view (D2), left lower cheek teeth (D3), 23SMC-013. Scale bars = 5 cm.

近后缘。下犬齿距离i3很近, 较粗壮, 下犬齿发育前后翼状嵴, 顶端有轻微磨蚀的痕迹。

下颊齿咬合面珐琅质厚。下前臼齿明显大于下臼齿。p2下前尖三角形, 向前强烈伸出; 下原尖在下臼齿上更向舌侧突出, 除p3、p4外, 下原尖唇侧都圆隆。下后尖圆形, 下后附尖近三角形, 从前向后其内后角变得更尖锐。双叶谷总体呈深宽U形, 在p2上较浅, 在m1上最深, 到达双叶颈顶部, 下前臼齿双叶谷有轻微褶皱。双叶颈发育褶皱, 下臼齿的双叶颈宽于下前臼齿。下颊齿无下原附尖和下外附尖, 前后谷不对称, 下前谷宽阔, 其前壁发育有1—2个釉质凸起, 下后谷总体狭长。其唇侧壁有1个或无釉质凸起。下马刺在下前臼齿上单一或双分, 在下臼齿上发育微弱。下外中谷宽而深。下内尖前外角强烈收缩, 斜向前外方。下次小尖从前向后发育程度越来越高, 至m3程度最高, 表现为下次小尖长而双分。

比较与讨论 23SMC-012尺寸中等, 上颊齿褶皱复杂, 下颊齿双叶圆三角形至三角形, 双叶谷宽U形, 下马刺单一或双分, 下外中谷深, 有时切入双叶颈, 这些特征和西瓦三趾马类群吻合。中国三趾马中已有四个种被归入*Sivalhippus*这个属中: *Sivalhippus theobaldi*、*S. platyodus*、*S. ptychodus*和*S. lufengense* (孙博阳, 2013; Bernor *et al*., 1990b; Bernor and Lipscomb, 1991; Wolf *et al*., 2013)。

Zhegallo (1978)认为*Sivalhippus platyodus*是*S. theobaldi*的一个亚种, Wolf等(2013)则认为*S. theobaldi*有着强壮的肢骨, 个体要更大。孙博阳(2013)鉴定为*S. theobaldi*的产自云南禄丰石灰坝地点的

化石材料下颊齿下后尖较圆, 下后附尖后角较尖, 此特征与此处标本类似, 但它们之间仍有区别。从个体大小来看, 此处标本明显更小一些(表1—2), 禄丰的材料下前臼齿列长84.0 mm, 下颌在p2前的高度(M12)为47.3 mm, 在p4和m1之间的高度(M11)为80.0 mm。

孙博阳(2013)根据石灰坝地点的另外一件带有部分吻部和完整上颊齿列的头骨残部建立了一个新种——禄丰西瓦三趾马*S. lufengense*。*S. lufengense*下后尖圆, 下后附尖后内角较尖, 这一特征与此处标本类似。但是禄丰三趾马个体小, 吻部长, p2前缘至吻部最前端长为104.9 mm; 虽然井陉三趾马缺少上颌的材料, 但仍能根据已有的下颌吻部长进行比对, 此处标本的吻部长仅为66.9 mm, 与禄丰三趾马尺寸差距很大。而且禄丰三趾马下外中谷窄而浅, 与此处材料中的下外中谷宽且深不一致, 因此也不应归入*S. lufengense*。

联齿西瓦三趾马*Sivalhippus ptychodus*最初被Sefve (1927)归入*Hipparion*, 因其与平齿三趾马*S. platyodus*在许多特征上较为相似, 而被视为后者的同物异名(邱占祥等, 1987a)。随后Bernor等(1990a)又恢复了*H. ptychodus*的有效性, Bernor等(1990b)又将联齿种归为"*Sivalhippus*" *ptychodus*。*S. platyodus*和*S. ptychodus*大小相似(表1—2), 端附尖和下前尖的特征能很好地区分这两个种: *S. platyodus*的P2端附尖和p2下前尖明显长于*S. ptychodus*。而且, *S. platyodus*正型标本(标本号PMU M 3691)的颊齿下后尖圆, 下后附尖角状(Bernor *et al*., 1990a), 而*S. ptychodus*的大部分标本都有着角状的下后尖和下后附尖(Sun *et al*., 2018), 因此井陉三趾马的下颊齿特征更偏向于*S. platyodus*。另外井陉这批材料的原尖舌侧平, 唇侧圆隆, 上颊齿褶皱复杂, 次尖沟深, m3下次小尖发育等这些特征均能将其归为*S. platyodus*。

长鼻三趾马属　Genus *Proboscidipparion* Sefve, 1927

模式种　*Proboscidipparion sinense* Sefve, 1927

原始长鼻三趾马　*Proboscidipparion pater* Matsumoto, 1927

(图2, 表3)

1927　*Hipparion richthofeni pater*, Matsumoto, p. 59—63, pl. II, figs. 1—18.

1987a　*Hipparion* (*Proboscidipparion*) *pater*, 邱占祥等, 31—45 页, 图版I—IV; 插图 13, 15—17。

2015　*Proboscidipparion sinense*, Bernor *et al*., p. 257—259, text-fig. 2.

2021　*Proboscidipparion pater*, Sun *et al*., p. 28—29, text-figs. 4—5.

选模　THP 14312, 头骨连下颌, 雄性, 3.5—4岁。头骨及下颌均受侧向挤压变扁。采自山西榆社白海村(L. Loc. 26) (高庄期)。

鉴定特征　头骨基全长在450 mm左右。腹面M3后缘至犁骨后缘中点之间的距离短, 仅约为基全长的14%—16%, 上颌突短于M2+M3, 自侧面看, 眶前缘约位于M3后缘或稍后; 头高在M3处为基全长的25%以上; 鼻颌切迹的下缘在P3之后并不急剧变薄; 下颌垂直支相对较高, 关节突高与上全长之比为约50%。上门齿唇面中纵沟弱。中间颊齿冠高约60—70 mm, 颊齿齿列长140—160 mm, M3短于M2; 上臼齿的中附尖为尖突状, 不怎么增宽, 颊齿的前附尖宽度也较小; 下颊齿, 特别是下臼齿明显较窄, 下前附尖向舌侧伸延较弱, 不怎么向后弯曲, 双叶分开较弱(邱占祥等, 1987a)。

记述标本　一件残破的幼年下颌骨(23SMC-013), 仅保留部分吻部、下颌联合部及左侧水平支。

描述　下颌骨上升支缺失, 骨体较薄。吻部细弱, 下颌联合部短, 在舌面凹入, 其后缘距dp2前缘29.0 mm。不见颏孔。水平支浅, 向后缓慢加深, 下缘较平直, 在dp2和dp3界线位置水平向前抬升。

下乳齿列(dp2—m1)长111.5 mm, 其中dp2—dp4长86.6 mm。下乳齿较窄, m1明显更窄。双叶贺风型, 双叶颈宽。下内尖和后谷的长轴与牙齿长轴近乎平行。下马刺极弱, 下反马刺不发育。釉质褶皱极少。

dp2下前尖三角形, 与下原尖在舌侧有明显分界。下原尖很大, 舌侧突出, 唇侧较平; 下后尖小, 长圆形, 指向舌侧, 下后附尖有柄; 双叶谷浅V形; 下次尖宽大; 下内尖有个尖锐的前外角, 伸向前方, 舌侧较平; 下后尖距离下前尖远, 使得前谷开口极大, 后谷扁长, 呈弧形, 两端向舌侧翘起; 下外中谷窄浅, 至双叶颈基部。

dp3下前附尖发育一个褶皱; 下后尖很大, 圆三角形, 前外角尖锐指向唇侧, 舌侧圆润, 下后附

表 3 井陉地点原始长鼻三趾马下颊齿测量与相关属种的比较(单位: mm)

Table 3 Measurements of lower cheek teeth of *Proboscidipparion pater* from Jingxing and comparisons with related species (mm)

属种		*Pr. pater*	*Pr. heintzi*
标本编号		23SMC-013	MNHN. F. ACA337[a]
产地		中国河北井陉	土耳其
dp2	L	31.1	37.3
	W	11.8	15.2
	d.k.	11.9	16.7
dp3	L	26.1	28.1
	W	12.4	15.3
	d.k.	15.2	17.9
dp4	L	28.2	28.5
	W	11.7	14.6
	d.k.	14.5	18.5
m1	L	24.0	30.2
	W	10.4	12.3
	d.k.	11.1	16.7

注(Note): a. Bernor 和 Sen (2017)。L =长; W =宽; d.k. =双叶长。

尖内后角较尖; 双叶谷深V形; 下次尖和下内尖形态类似于dp2, 但都比dp2小; 下次小尖窄长, 较大, 近乎垂直; 前后谷长度相近, 前谷似哑铃状,后谷扁, 两端翘起弧度缓; 下外中谷深, 切入双叶颈。下原附尖不孤立发育, 呈垂直方向的椭圆形, 下外附尖孤立发育, 呈扁椭圆形。dp4整体与dp3相似, 但下次小尖更扁长, 向斜后方延伸, 下外附尖更弱。

m1磨蚀很浅。下原尖扁长, 唇侧向内凹入, 舌侧突出, 使得下原尖呈波浪形; 双叶形状不规则, 但角形显著; 双叶谷宽V形; 双叶颈前壁发育指向前谷的褶皱; 下次尖极其扁长; 下内尖圆形; 后谷较前臼齿加宽; 下外中谷深, 切入双叶颈。

比较与讨论 双叶形态在三趾马的分类中十分重要。双叶呈贺风型、近贺风型的三趾马属有: 西瓦三趾马属*Sivalhippus*、近三趾马属*Plesiohipparion*和长鼻三趾马属*Proboscidipparion* (邱占祥等, 1987a)。23SMC-013与前述*Sivalhippus platyodus*有明显区别, 其个体显著大于后者。

*Proboscidipparion*与*Plesiohipparion*双叶都呈贺风型, 两者在颊齿构造上都很相像, 但是也有不同点, 以*Pr. pater*和*Pl. houfenense*为例: 1) *Pr. pater*双叶前后向很长, 双叶谷宽, 后谷前端向舌侧弯曲缓; *Pl. houfenense*双叶短, 双叶谷窄而深, 后谷前端总向舌侧弯曲。2) *Pr. pater*反马刺弱或缺失, *Pl. houfenense*的反马刺很明显(邱占祥等, 1987a)。不论是尺寸和形态上, 此处的标本都更接近*Pr. pater*。

*Proboscidipparion*的双叶呈贺风型, 双叶谷很宽, 后谷近平直, 有时有微弱的下马刺和下反马刺, 23SMC-013的下颊齿形态与之基本符合。在该属中, 中国的已知种有原始长鼻三趾马*Pr. pater* (Matsumoto, 1927)和中国长鼻三趾马*Pr. sinense* (Sefve, 1927), 前者是属中个体较小的种, 后者个体大。在牙齿上, *Pr. pater*的尺寸比*Pr. sinense*小, 尤其体现在下颊齿的宽度上(邱占祥等, 1987a)。Bernor和Sen (2017)提到发现于土耳其的幼年个体*Pr. heintzi*在头骨和颊齿形态上与榆社的*Pr. pater* (标本号THP 20847)相似, 而土耳其标本与23SMC-013的下颊齿尺寸相近(表3)。山西榆社的*Pr. pater*幼年个体中(邱占祥等, 1987a), 下颌颏隆表现弱, 水平支前后高度差别不显著, 下乳齿双叶形状不同, dp2的双叶明显更短一些, dp3和dp4双叶角和柄不显著, 下内尖的长轴近乎平行于牙齿长轴。以上形态特征与此处的标本一致, 因此将其归为*Pr. pater*是合理的。

犀科 Family Rhinocerotidae Owen, 1845

无角犀亚科 Subfamily Aceratheriinae Dollo, 1885

无角犀族 Tribe Aceratheriini Dollo, 1885

山西犀属 Genus *Shansirhinus* Kretzoi, 1942

模式种 *Shansirhinus brancoi* Schlosser, 1903

林氏山西犀 *Shansirhinus ringstroemi* Kretzoi, 1942

(图3, 表4—5)

表 4　井陉地点林氏山西犀下颌骨与其他地点的比较(单位: mm)

Table 4　Measurements of the mandible of *Shansirhinus ringstroemi* from Jingxing and comparisons with related localities (mm)

属种	*S. ringstroemi*	
标本编号	23SMC-014	IVPP V 13764[a]
产地	河北井陉	甘肃临夏
1. 全长Length		460.0
2. 联合部后缘与上升支间的距离Distance between posterior borders of symphysis and ascending ramus	358.6	360.0
3. p3前的水平支高度Height of horizontal ramus in front of p3	68.6	63.0
4. p4前的水平支高度Height of horizontal ramus in front of p4	65.9	67.0
5. m1前的水平支高度Height of horizontal ramus in front of m1	77.3	70.0
6. m2前的水平支高度Height of horizontal ramus in front of m2	87.7	77.0
7. m3前的水平支高度Height of horizontal ramus in front of m3	90.5	83.0
8. m1前水平支间的距离Distance between horizontal rami in front of m1	60.7	65.0
9. m3前水平支间的距离Distance between horizontal rami in front of m3	66.5	77.0
10. 联合部长度Length of symphysis	149.2	104.0
11. 上升支前后向宽度Antero-posterior diameter of ascending ramus	136.6	134.5

注(Note): a. Deng (2005)。

表 5　井陉地点林氏山西犀下颊齿测量与相关属种的比较(单位: mm)

Table 5　Measurements of lower teeth of *Shansirhinus ringstroemi* from Jingxing and comparisons with related species (mm)

属种		*S. ringstroemi*		*S.* cf. *S. ringstroemi*	*S. brancoi* (=*R. brancoi*)
标本编号		23SMC-014	IVPP V 13764[a]	无[b]	无[c]
产地		河北井陉	甘肃临夏	云南禄丰	无
p2	L		31.0	30.9	
	W		20.5	16.6	
	H		32.0	35.9	
p3	L	37.1	39.0	38.6	
	W	29.9	26.5	19.1	
	H	24.8	34.0	16.1	
p4	L	39.9	39.0	41.1—42.3	33.0
	W	30.9	30.0	22.4—23.6	24.0
	H	29.7	43.0	20.5—46.5	37.5
m1	L	40.7	42.5	47.6	35.0
	W	32.8	29.5	23.6	25.0
	H	28.4	33.0	46.5	39.0
m2	L	47.9	41.5	44.4—45.7	38.0
	W	30.3	27.0	26.2—28.1	25.0
	H	30.3	34.0	18.9—36.0	45.0
m3	L	46.2		42.5—45.5	
	W	31.3		22.8—26.5	
	H	27.6		22.7—38.2	

注(Note): a. Deng (2005); b. 邓涛和祁国琴(2009); c. Schlosser M (1903)。L =长; W =宽; H =高。

1927　*R*. aff. *Brancoi*, Ringström, p. 15—18, pl. I, fig. 3.

1974　*Chilotherium yunnanensis* sp. nov., 汤英俊等, 63—65页, 图版I, 图3。

1982　*Chilotherium cornutum* sp. nov., 邱占祥和阎德发, 122—132页, 图版I–II; 插图1–7。

1982　*Chilotherium tianzhuensis* sp. nov., 郑绍华, 219—221页, 图版I, 图5–6, 图版II, 图1。

1987b　*Acerorhinus cornutus*, 邱占祥等, 549—551页。

2005　*Shansirhinus ringstroemi*, Deng, p. 302—309; text-figs. 3—6.

选模　PMU M 536, 上颌带完整颊齿列。采自山西榆社黄石沟, 层位可能为上中新统马会组。

鉴定特征　头骨短, 从鼻骨末梢到枕髁的长度可达515 mm。鼻骨宽短, 轻微上翘, 基部略收缩, 末梢粗糙, 指示存在一个小角。在P3/P4界线水平具有3个小而尖的眶下孔, 其中较大的一个有前导沟。鼻切迹窄, 底部在P4前部水平。前颌骨退缩, 形成两条窄的薄片, 无上门齿。眼眶位置低, 前缘

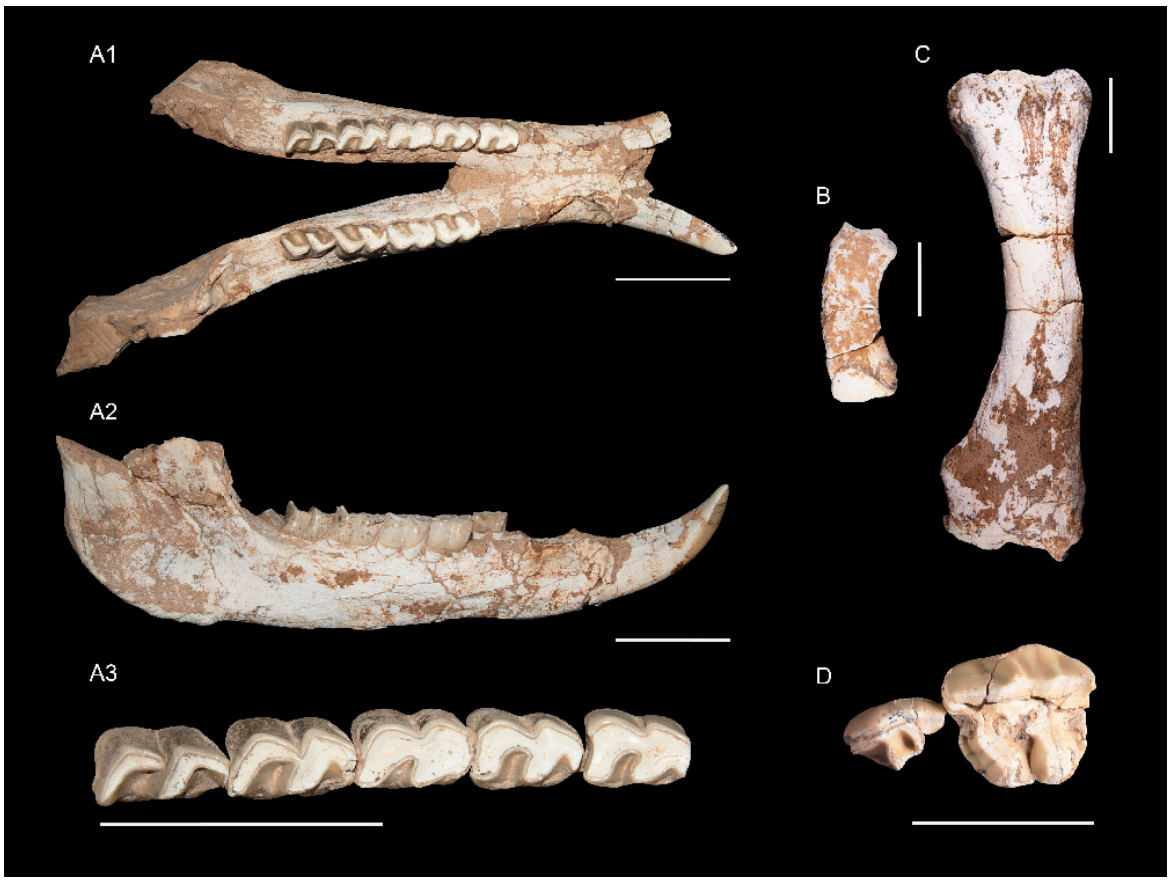

图 3 井陉三趾马动物群中犀科化石

Fig. 3 Rhinocerotidae fossils of the Jingxing *Hipparion* fauna

A. 23SMC-014, 林氏山西犀下颌骨, 冠面视(A1), 颊面视(A2), 左侧下颊齿列(A3); **B**. 23SMC-017, 真犀亚科属种未定左 McIV; **C**. 23SMC-016, 真犀亚科属种未定右桡骨; **D**. 23SMC-015, 真犀亚科属种未定右 DP1–P2。比例尺: A1–A3. 10 cm; B–D. 5 cm。

A. Mandible of *Shansirhinus ringstroemi*, occlusal view (A1), buccal view (A2), left lower cheek teeth (A3), 23SMC-014; **B**. Left McIV of Rhinocerotinae gen. et sp. indet., 23SMC-017; **C**. Right radius of Rhinocerotinae gen. et sp. indet., 23SMC-016; **D**. Right DP1–P2 of Rhinocerotinae gen. et sp. indet., 23SMC-015. Scale bars: A1–A3 = 10 cm; B–D = 5 cm.

突出, 位于M1后部水平。眶上结节粗壮而尖, 额骨眶后突微弱。颧弓位置低, 其上的眶后突微弱。颧弓前端位于M1/M2界线水平, 并与面嵴相连。面嵴粗大, 形成一个约90°的角。颧弓后部轻微扩展, 强烈向侧面倾斜。头骨侧面视顶面轻微凹陷。顶嵴粗大, 由许多小结节组成, 嵴间最小宽度约为40 mm。枕大孔窄, 三角形。关节后突强壮, 副枕突呈长的三棱锥形。鼓后突边缘粗糙, 在基部与副枕突连接, 在关节后突中点与其愈合而形成假外耳道。下颌联合部呈中等宽度的铲形, 后缘在p2/p3界线水平, 舌面具宽深的V形纵沟, 唇面具宽深的U形凹陷。颏孔窄扁, 位于p3前叶水平。水平支厚实, 上升支前倾。DP1非常小。上颊齿具丰富的釉质刺。无外齿带, 前附尖发达。前白齿内齿带连续而强壮, 并与前、后齿带贯通; 前刺发达, 与小刺共同形成强大的中凹。P2反前刺微弱, 次尖膨大成方形。P3和P4的原尖强烈收缩, 中谷封闭, 反前刺发达, 中凹内有2至3枚釉质刺。臼齿的前刺粗壮, 无小刺, 反前刺发达, 釉质刺微弱, 内齿带微弱, 原尖中度收缩, 前附尖褶中度发育。i2呈小型獠牙状, 磨蚀面朝向后内方。下颊齿的齿冠相对较高, 外沟V形(邓涛、白滨, 2024)。

记述标本 一件雄性的犀科下颌骨(23SMC-014), 保留一对下门齿, 下颊齿列保留左p3—m3和右p4—m3, 上升支缺失。

描述 下颌联合部中度侧向扩展, 从侧面看很厚, 后缘在p2、p3边界水平。联合部在p2齿槽的外侧缘最宽, 为109.0 mm, 它在距p2前缘24.0 mm

的位置最窄, 为99.7 mm。i2和p2的间隙长63.5 mm, 齿槽嵴薄而尖锐, 在p2之前向内收缩, 到达p2前缘23.9 mm的位置向外延伸至i2基部。两个i2间的间隙长度为51.3 mm。联合部的背面有一个深的V形凹陷谷, 腹面有一个宽而深的U形凹陷。颏孔位于p2正下方水平, 在水平支中央高度位置, 相当大, 椭圆形, 长23.0 mm, 宽15.0 mm, 有一个前入口。从侧面看, 水平支底缘在i2至前臼齿区平直延伸, 在臼齿区微隆, 同时在臼齿区开始明显增宽。水平支很厚, 在p4、m1边界水平为45.4 mm。下颌角圆润, 厚度为49.0 mm, 血管切迹明显。左侧上升支缺失, 右侧上升支也仅保存至距水平支底缘175.0 mm的高度; 其前缘是一宽大的曲面, 中间凹陷, 上升支内外侧表面凹陷, 使得上升支中央部分薄。

下门齿i2是一对大型獠牙(长: 50.0 mm, 宽: 28.0 mm, 高: 150.0 mm), 齿冠的断面呈刃在内上方的水滴形, 它隆起强烈并向外、向前、向上伸展, 其冠部明显向后弯曲。无i1的痕迹。

dp1不存在。根据齿槽判断左侧下前臼齿长度(p2缺失)约为112.3 mm, 下臼齿列长为144.9 mm; 右侧下臼齿列长142.0 mm。下颊齿齿冠相对较高。下颊齿尺寸从p3至m2逐渐变大, m3比m2略窄小。牙齿外壁的釉质上可见明显和密集的细纹。下前臼齿的前叶宽于后叶, 下臼齿的前、后叶宽度接近。外沟窄而深, 呈V形, 一直到基部。下三角座呈角状U形, 下前臼齿的下原脊粗大, 下臼齿的下原脊窄, 下前脊窄短甚至不存在, 下后脊直角, 下内脊向后倾斜。下后尖可见微弱收缩。前谷呈V形, 深度从p3至m3逐渐加深; 除m1的后谷呈V形, 其他下颊齿后谷均呈U形, 且下臼齿的后谷明显宽于下前臼齿。下内尖舌缘平直。外齿带和内齿带均不连续发育。

比较与讨论　井陉犀科化石的i2是一对大型獠牙, 向外上方伸出, 下颌联合部中度侧向扩展, 舌面具深入的凹陷, 这些特征与无角犀亚科Aceratheriinae一致。

山西犀*Shansirhinus*和大唇犀*Chilotherium*的下颌联合部侧向扩展, 特别是铲状的前部很突出, 在无角犀亚科中这个形态是它们所特有的(Deng, 2005)。但*Chilotherium*的下颌联合部要更宽大, 宽于p2处宽, 且宽度与长度比大于1; 两个i2之间的联合部前缘是直的; 自背面看, 联合部中凹浅, 呈U形; 水平支高, 血管切迹弱(邱占祥、阎德发, 1982; 邱占祥等, 1987b; 邓涛, 2001a, 2001b)。这与井陉犀科下颌联合部中度侧向扩展(联合部宽与p2外缘等宽), 联合部背面中凹深呈V形, 血管切迹明显等特征不同。

井陉的这件下颌骨形态特征与Schlosser (1903)建立的*Rhinoceros brancoi* (后被修订为*Shansirhinus brancoi* (Deng, 2005))相似, 它们的下三角座都是直角U形。除此之外, 它的形态尺寸也与甘肃临夏盆地的*Shansirhinus ringstromi* (Deng, 2005)以及云南禄丰的*Shansirhinus* cf. *S. ringstroemi* (邓涛、祁国琴, 2009)相似, 比如都具有獠牙状的下门齿(但可能有性别差异); 下颌联合部背面V形凹陷, 腹面U形凹陷, 且都很深; 下颊齿外沟呈窄而深的V形, 下三角座呈角状的U形, 下后尖舌侧有轻微收缩。Kretzoi (1942)指出*S. ringstromi*的齿冠高度低于*S. brancoi*, 井陉材料的数据齿冠高度明显低于*S. brancoi* (表5)。因此, 井陉的这件标本应当是*S. ringstroemi*。

真犀亚科　Subfamily Rhinocerotinae Gray, 1821

真犀亚科属种未定　Rhinocerotinae gen. et sp. indet.

(图3)

记述标本　右DP1—P2 (23SMC-015), 一件右侧桡骨(23SMC-016), 一件左侧第四掌骨(23SMC-017)。

描述　DP1: 长30.0 mm。前缘和舌侧破碎。外壁轻微波曲, 前尖肋发育微弱。原脊极细, 其唇侧的前后釉质黏合。后脊细, 前后方向逐渐加宽。原尖和次尖不收缩。中谷封闭, 不见前刺、小刺、反前刺。内齿带发育, 边缘轻微褶曲。

DP2: 长41.0 mm, 宽25.0 mm。舌侧破损。釉质较薄, 冠面近矩形, 舌侧较颊侧短。外壁褶曲较DP1强烈, 前尖肋显著, 后尖肋发育弱。原脊窄长, 原尖在冠面上不特别膨大。原尖和次尖不收缩。外脊十分宽大。后脊与原脊等宽。中谷不封闭, 前刺粗壮, 小刺发育, 形成小的中凹, 不发育反前刺。

后谷椭圆形。前齿带边缘平, 后齿带边缘锯齿状, 高度几乎与后脊齐平。

右桡骨骨体短粗, 弯曲, 骨体长305.4 mm, 近端宽89.9 mm, 远端宽102.0 mm。掌骨左Mc IV较粗壮, 骨干弯曲, 骨体长115.3 mm, 近端宽41.8 mm, 远端宽39.8 mm。

比较与讨论 在犀科中, 无角犀亚科的上颊齿唇侧发育齿带, 原尖和次尖收缩, 有时膨大, 后尖肋缺失, 反前刺发育(Deng, 2005; Lu *et al*., 2023); 与无角犀亚科相比, 真犀亚科的上颊齿高冠, 原尖和次尖不收缩或收缩明显更弱, 后尖肋发育, 外脊宽大, 上前臼齿的反前刺不发育(邓涛、陈瑜, 2015; Lu *et al*., 2023)。23SMC-015的冠面形态与真犀亚科基本吻合, 可归入其中。

无角犀亚科的肢骨相较于真犀亚科更为纤细, 比如根据临夏盆地*Chilotherium wimani*的桡骨和掌骨测量数据: 桡骨近端平均宽86.5 mm, 远端平均宽81.8 mm; Mc IV近端平均宽30.6 mm, 远端平均宽30.1 mm (Deng, 2002), 可以看出井陉犀科的材料明显更粗壮。而产自柴达木盆地的*Dicerorhinus ringstroemi*同样粗壮, 其桡骨远端宽99.0 mm (邓涛、王晓鸣, 2004)。其他无角犀亚科的大多数属种的肢骨要比大唇犀纤细(Deng, 2002), 因此井陉地点的头后骨骼材料应不属于无角犀亚科。由于材料较少, 只能将其归入真犀亚科, 具体属种难以鉴定。

3 生物地层学

*Sivalhippus platyodus*常见于山西榆社—武乡地区的马会组和高庄组, 在甘肃临夏盆地则分布于柳树组和何王家组, 时代为晚中新世保德期晚期至早上新世高庄期(邱占祥等, 1987a; Sun, 2024)。*Proboscidipparion pater*是上新世的标志性物种之一(邱占祥等, 1987a), 广泛分布于榆社盆地高庄组, 其首次出现的时代约为5.3 Ma (邓涛等, 2019), *Pr. pater*还分布在甘肃临夏、山西保德和陕西游河等地, 时代为早上新世高庄期至晚上新世麻则沟期(邱占祥等, 1987a)。*Shansirhinus ringstroemi*分布于山西榆社、甘肃临夏和天祝、云南元谋等地, 时代为保德期晚期至高庄期(Deng, 2005)。卢小康等(2015)报道过产自甘肃和政—广河地区的几件*S. ringstroemi*的头骨, 其中一件刚出生的幼年头骨(标本号HMV 0092)被其认为是该种的最早记录(晚中新世早期), 但这件标本的鉴定特征不够清晰。

从井陉三趾马动物群的物种构成来看, *Chleuastochoerus* sp.、*Schansitherium* sp.、*Gazella gaozhuangensis*以及*G.* cf. *gaudryi*等均为晚中新世保德期物种, 但奇蹄目化石组合则更倾向于早上新世高庄期。在我国北方保德—高庄期过渡时期的动物群是很少的, *Sivalhippus platyodus*—*Proboscidipparion pater*—*Shansirhinus ringstroemi*的组合可见于甘肃临夏盆地十里墩动物群(Deng *et al*., 2011)和山西榆社盆地高庄组桃阳段动物群(邓涛等, 2010a)。十里墩动物群的古地磁年龄为5.0 Ma (Sun, 2024); 高庄组桃阳段的古地磁年龄约为6.0—5.0 Ma (邓涛等, 2010a), 但*Proboscidipparion pater*是在桃阳段的最顶层(5.3 Ma)才开始出现的(邓涛等, 2010a)。

结合动物群中较多保德期物种存在的现象, 可以推测井陉三趾马物群时代为晚中新世保德期晚期至早上新世高庄期早期, 最有可能是高庄期早期, 约5.3—5.0 Ma。

4 古环境意义

细长的肢骨是奔跑能力的标志, 这在有蹄类动物的掌(跖)骨上表现得更明显(MacFadden, 1992)。根据Wolf等(2013)列出的数据, *Sivalhippus*的肢骨均十分粗壮, 是不善奔跑者; 张云翔等也明确指出*Sivalhippus platyodus*的掌(跖)骨短粗, 不同于草原型的三趾马(Zhang *et al*., 2002)。Sefve (1927)认为*Proboscidipparion*和有着相似鼻部构造的貘一样更喜欢生活在富水区, 以树叶为食。然而, 运动功能学分析表明, *Proboscidipparion*可能是善于奔跑的三趾马属, 更适应开放环境(Deng *et al*., 2012)。此外, Ma等(2023)也根据稳定同位素分析及生态形态学分析指出, *Proboscidipparion*是以C3型草食为主的动物, 生活在开阔或缺水的环境中; *S. platyodus*可能是生活在森林环境中的混合型食草动物, 主要以林地和草地中的C3型草本植物和树

叶为食。因此, 井陉三趾马的两个种应在生态位上是存在差异的。

*Shansirhinus*的牙齿高冠且强烈的磨蚀意味着它食硬草, 发达的次级褶皱及釉质褶皱很好地体现了它啃食高纤维食物的能力(Deng, 2005)。同时, 该属下颊齿呈方形轮廓的下三角座在与上颊齿接触时对食物有更高的加工效率(卢小康等, 2015)。这些可以体现该属具有加工硬草能力的特征, 指示其能适应干旱的草原环境。

晚中新世—上新世华北古动物地理东—西分异的界线被认为是在太行山或其以西一带(邓涛等, 2010b; Kaakinen *et al*., 2013), 界线以东地区为较湿润的森林草原环境, 以西地区为干燥的开阔草原环境。Kurtén (1952)提出将中国北方保德期哺乳动物群分成三种不同生态的动物群, 即以葛氏羚羊为代表的森林动物群, 以高冠羚羊为代表的草原动物群和混合动物群。通过上述对奇蹄目化石的生态类型的分析, 推测井陉三趾马动物群的生存环境属于既有森林又有草原的混合类型, 显示了一个开放的森林草原环境。

5　结　论

井陉三趾马动物群中的奇蹄目化石计有: *Sivalhippus platyodus*双叶次角形, 原尖舌侧平, 唇侧圆隆, 上颊齿褶皱复杂, 下马刺单一或双分, 下内尖强烈收缩, 后谷狭长; *Proboscidipparion pater*下臼齿明显较窄, 双叶贺风型, 下马刺微弱或不发育, 下内尖和后谷的长轴方向与牙齿长轴方向平行; *Shansirhinus ringstroemi*下颌联合部适度扩展, 下门齿呈獠牙状, 下三角座呈角状U形, 下后尖前壁可见收缩, 下内脊向后倾斜; Rhinocerotinae gen. et sp. indet.上前臼齿的原尖和次尖不收缩, 反前刺不发育, 肢骨较粗壮。

Sivalhippus platyodus—*Proboscidipparion pater*—*Shansirhinus ringstroemi*的组合指示动物群的时代为晚中新世保德期晚期至早上新世高庄期早期, 最有可能是高庄期早期, 约5.3—5.0 Ma。同时, 这一组合显示了晚新近纪时期, 太行山东麓与现代迥异的开放的森林草原环境。

致谢　河北省自然资源厅为本项工作给予了大力支持, 审稿专家们提出宝贵的修改意见, 在此致谢。

参考文献 (References)

陈少坤, 全永涛, 齐海燕, 张彤, 庞丽波, 刘傲然, 2024. 太行山东麓井陉首次发现三趾马动物群. 地质论评, 70: 2059–2064. DOI: 10.16509/j.georeview.2024.07.002

邓涛, 2001a. 陕西府谷发现的晚中新世维氏大唇犀(奇蹄目, 犀科)新材料. 古脊椎动物学报, 39: 129–138, 161–162. DOI: 10.19615/j.cnki.1000-3118.2001.02.005.

邓涛, 2001b. 维氏大唇犀(奇蹄目, 犀科)头骨的个体发育. 见: 邓涛, 王原(编). 第八届中国古脊椎动物学术年会论文集. 北京: 海洋出版社. 101–112.

邓涛, 白滨, 2024. 中国古脊椎动物志. 第三卷, 基干下孔类 哺乳类. 第八册(下) (总第二十一册下), 奇蹄目II: 犀超科. 北京: 科学出版社. 1–277.

邓涛, 陈瑜, 2015. 中国新近纪犀牛. 上海: 上海科学技术出版社. 1–156.

邓涛, 侯素宽, 王世骐, 2019. 中国新近纪综合地层和时间框架. 中国科学: 地球科学, 49: 315–329. DOI: 10.1360/N072017-00221

邓涛, 侯素宽, 王太明, 穆永清, 2010a. 中国陆相上新统高庄阶. 地层学杂志, 34: 225–240. DOI: 10.19839/j.cnki.dcxzz.2010.03.001

邓涛, 梁忠, 王世骐, 侯素宽, 李强, 2010b. 内蒙古四子王旗晚中新世哺乳动物群的发现及其古动物地理意义. 科学通报, 55: 3302–3309. DOI: 10.1360/csb2010-55-34-3302

邓涛, 祁国琴, 2009. 云南禄丰古猿化石地点的犀科化石. 古脊椎动物学报, 47: 135–152. DOI: 10.19615/j.cnki.1000-3118.2009.02.004

邓涛, 王晓鸣, 2004. 柴达木盆地新近纪犀科化石新材料. 古脊椎动物学报, 42: 216–229. DOI: 10.19615/j.cnki.1000-3118.2004.03.004

邓涛, 王晓鸣, 王世骐, 李强, 侯素宽, 2015. 中国新近纪哺乳动物群的演化与青藏高原隆升的关系. 地球科学进展, 30: 407–415. DOI: 10.1167/j.issn.1001-8166.2015.04.0407

卢小康, 陈善勤, 何文, 2015. 临夏盆地晚新近纪山西犀头骨新材料及其生存环境. 第四纪研究, 35: 539–549. DOI: 10.11928/j.issn.1001-7410.2015.03.06

祁国琴, 董为, 郑良, 赵凌霞, 高峰, 岳乐平, 张云翔, 2006. 云南元谋盆地古猿的系统位置、时代及生存环境. 科学通报, 51: 833–841. DOI: 10.1360/csb2006-51-7-833

邱占祥, 黄为龙, 郭志慧, 1987a. 中国的三趾马化石. 中国古生物志, 新丙种, 25: 1–250.

邱占祥, 王伴月, 2007. 中国的巨犀化石. 中国古生物志, 新丙种, 29号: 1–396.

邱占祥, 谢俊义, 阎德发, 1987b. 记甘肃和政新发现的大唇犀类化石——兼论中国“对鼻角犀”的性质. 中国科学: B辑: 化学 生物学 农学 医学 地学, 17: 545–552. DOI: 10.1360/zb1987-17-5-545

邱占祥, 阎德发, 1982. 山西榆社——有角大唇犀. 古脊椎动物学报, 20: 122–132.

孙博阳, 2013. 云南禄丰石灰坝地点的三趾马(*Hipparion*)化石. 古脊椎动物学报, 51: 141–161. DOI: 10.19615/j.cnki.1000-3118.

2013.02.005

汤英俊, 尤玉柱, 刘后一, 潘悦容, 1974. 云南元谋班果盆地上新世哺乳动物化石及其在地层划分上的意义. 古脊椎动物学报, 12: 60–67 .

岳乐平, 张云翔, 祁国琴, Heller F, 王建其, 杨利荣, 张睿, 2003. 云南元谋盆地含古猿化石层古地磁年龄及古生物学意义. 中国科学: D 辑: 地球科学, 33: 1069–1075. DOI: 10.1360/zd2003-33-11-1069

郑绍华, 1982. 甘肃天祝松山第二和第三地点化石及松山上新世哺乳动物群. 古脊椎动物学报, 20: 216–227.

Bernor R L, Lipscomb D, 1991. The Systematic position of "*Plesiohipparion*" aff. *huangheense* (Equidea, Hipparionini) from Gülyazi, Turkey. Mitteilungen der Bayerischen Staatssammlung für Paläontologie und Histor. Geologie, 31: 107–123.

Bernor R L, Meshida K, Sun Bo-yang, 2015. Phylogenetic signatures in the juvenile skulls and cheek teeth of Pleistocene *Proboscidipparion sinense*, China. Rivista Italiana Di Paleontologia E Stratigrafia, 121: 255–264. DOI: 10.13130/2039-4942/6516

Bernor R L, Qiu Zhan-xiang, Hayek L A C, 1990a. Systematic Revision of Chinese *Hipparion* species described by Sefve, 1927. American Museum Novitates, 2984: 1–60.

Bernor R L, Sen S, 2017. The early Pliocene *Plesiohipparion* and *Proboscidipparion* (Equidae, Hipparionini) from Çalta, Turkey (Ruscinian age, *c*. 4.0 Ma). Geodiversitas, 39: 285–314. DOI: 10.5252/g2017n2a7

Bernor R L, Tobien H, Woodburne M O. 1990b. Patterns of Old World hipparionine evolutionary diversification and biogeographic extension. *In*: Lindsay E H, Fahlbusch V, Mein P (eds.), European Neogene Mammal Chronology. New York: Plenum Press. 263–319.

Chen Shao-kun, Quan Yong-tao, Qi Hai-yan, Zhang Tong, Pang Li-bo, Liu Ao-ran, 2024. First discovery of Hipparion fauna from the east piedmont of the Taihang Mountains. Geological Review, 70: 2059–2064 (in Chinese with English abstract). DOI: 10.16509/j.georeview.2024.07.002

Deng Tao, 2001a. New materials of *Chilotherium wimani* (Perisodactyla, Rhinocerotidae) from the Late Miocene of Fugu, Shaanxi. Vertebrata Palasiatica, 39: 129–138, 161–162 (in Chinese with English abstract). DOI: 10.19615/j.cnki.1000-3118.2001.02.005

Deng Tao, 2001b. Cranial ontogenesis of *Chilotherium wimani* (Perissodactyla, Rhinocerotidae. *In*: Deng Tao, Wang Yuan (eds.), Proceedings of the Eighth Annual Meeting of the Chinese Society of Vertebrate Paleontology. Beijing: China Ocean Press. 101–112 (in Chinese).

Deng Tao, 2002. Limb bones of *Chilotherium wimani* (Perissodactyla, Rhinocerotidae) from the Late Miocene of the Linxia Basin in Gansu, China. Vertebrata Palasiatica, 40: 305–316. DOI: 10.19615/j.cnki.1000-3118.2002.04.008

Deng Tao, 2005. New cranial material of *Shansirhinus* (Rhinocerotidae, Perissodactyla) from the Lower Pliocene of the Linxia Basin in Gansu, China. Geobios, 38: 301–313. DOI: 10.1016/j.geobios.2003.12.003

Deng Tao, Bai Bin, 2024. Palaeovertebrata Sinica. Volume III, Basal Synapsids and Mammals. Fascicle 8 (2) (Serial no. 21-2), Perissodactyla II: Rhinocerotoidea. Beijing: Science Press. 1–277 (in Chinese).

Deng Tao, Chen Yu, 2015. Chinese Neogene rhinoceroses. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers. 1–156 (in Chinese).

Deng Tao, Hou Su-kuan, Shi Qin-qin, Chen Shao-kun, He Wen, Chen Shan-qin, 2011. Terrestrial Mio-Pliocene Boundary in the Linxia Basin, Gansu, China. Acta Geologica Sinica-English Edition, 85: 452–464. DOI: 10.1111/j.1755-6724.2011.00413.x

Deng Tao, Hou Su-kuan, Wang Shi-qi, 2019. Neogene integrative stratigraphy and timescale of China. Scientia Sinica: Terrae, 62: 310–323 (in Chinese with English abstract). DOI: 10.1007/s11430-017-9155-4

Deng Tao, Hou Su-kuan, Wang Tai-ming, Mu Yong-qing, 2010a. The Gaozhuangian Stage of the continental Pliocene series in China. Journal of Stratigraphy, 34: 225–240 (in Chinese with English abstract). DOI: 10.19839/j.cnki.dcxzz.2010.03.001

Deng Tao, Li Qiang, Tseng Z J, Takeuchi G T, Wang Yang, Xie Guang-pu, Wang Shi-qi, Hou Su-kuan, Wang Xiao-ming, 2012. Locomotive implication of a Pliocene three-toed horse skeleton from Tibet and its paleo-altimetry significance. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 109: 7374–7378. DOI: 10.1073/pnas.1201052109

Deng Tao, Liang Zhong, Wang Shi-qi, Hou Su-kuan, Li Qiang, 2010b. Discovery of a Late Miocene mammalian fauna from Siziwang Banner, Inner Mongolia, and its paleozoogeographical significance. Chinese Science Bulletin, 55: 3302–3309 (in Chinese). DOI: 10.1360/csb2010-55-34-3302

Deng Tao, Qi Guo-qin, 2009. Rhinocerotids (Mammalia, Perissodactyla) from *Lufengpithecus* site, Lufeng, Yunnan. Vertebrata Palasiatica, 47: 135–152 (in Chinese with English summary). DOI: 10.19615/j.cnki.1000-3118.2009.02.004

Deng Tao, Wang Xiao-ming, 2004. New material of the Neogene rhinocerotids from the Qaidam Basin in Qinghai, China. Vertebrata Palasiatica, 42: 216–229 (in Chinese with English summary). DOI: 10.19615/j.cnki.1000-3118.2004.03.004

Deng Tao, Wang Xiao-ming, Wang Shi-qi, Li Qiang, Hou Su-kuan, 2015. Evolution of the Chinese Neogene mammalian faunas and its relationship to uplift of the Tibetan Plateau. Advances in Earth Science, 30: 407–415 (in Chinese with English abstract). DOI: 10.1167/j.issn.1001-8166.2015.04.0407

Dollo L, 1885. Rhinocéros vivants et fossiles. Revue des Questions Scientifiques, 17: 293–300.

Gray J E, 1821. On the natural arrangement on vertebrose animals. London Med Repository, 15: 296–310.

Guérin C, 1980. Les rhinoceros (Mammalia, Perissodactyla) du Miocène terminal au Pléistocène supérieur en Europe occidentale: Comparaison avec les espèces actuelles. Documents du Laboratoire de Géologie de la Faculté des Sciences de Lyon. 79: 1–1182.

Kaakinen A, Passey B H, Zhang Zhao-qun, Liu Li-ping, Pesonen L J, Fortelius M, 2013. Stratigraphy and Paleoecology of the Classical Dragon Bone Localities of Baode County, Shanxi Province. *In*: Wang Xiao-ming, Flynn L J, Fortelius M (eds.), Fossil Mammals of Asia: Neogene Biostratigraphy and Chronology. New York: Columbia University Press. 203–217. DOI: 10.7312/columbia/9780231150125.003.0007

Kretzoi M, 1942. Bemerkungen zum System der nachmiozänen Nashorn-Gattungen. Földtani Közlöny, 72: 4–12.

Kurtén B, 1952. The Chinese *Hipparion* fauna: a quantitative survey with comments on the ecology of the machairodonts and hyaenids and the taxonomy of the gazelles. Societas Scientiarum Fennica. Commentationes biologicae, 13: 1–82.

Lu Xiao-kang, Chen Shan-qin, He Wen, 2015. New skulls of *Shansirhinus ringstroemi* from the Upper Neogene of the Linxia Basin, and their paleoenvironmental context. Quaternary Sciences, 35: 539–549 (in Chinese with English abstract). DOI: 10.11928/j.issn.1001-7410.2015.03.06

Lu Xiao-kang, Deng Tao, Pandolfi L, 2023. Reconstructing the phylogeny of the hornless rhinoceros Aceratheriinae. Frontiers in Ecology and Evolution, 11: 1005126. DOI: 10.3389/fevo.2023.1005126

Lydekker R, 1877. Notices of new and other vertebrates from Indian Tertiary and secondary rocks. Records of the Geological Survey of India, 10: 30–43.

Ma Jiao, Sun Bo-yang, Bocherens H, Deng Tao, 2023. Dietary niche reconstruction of Pliocene and Pleistocene Equidae from the Linxia Basin of northwestern China based on stable isotope analysis. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 614: 111416. DOI: 10.1016/j.palaeo.2023.111416

MacFadden B J, 1992. Fossil Horses: Systematics, Paleobiology, and Evolution of the Family Equidae. Cambridge: Cambridge University Press. 1–369.

Matsumoto H, 1927. On *Hipparion richthofeni* Koken. Science Reports of the Tohoku Imperial University, Series II, 10: 59–75.

Owen R, 1845. Odontograph: or a Treatise on the Comparative Anatomy of the Teeth, Their Physiological Relations, Mode of Development, and Microscopic Structure, in the Vertebrate Animals. London: Baillères. 1–655.

Owen R, 1848. Description of teeth and portions of jaws of two extinct anthracotheroid quadrupeds (*Hyopotamus vectianus* and *Hyopbovinus*) discovered by the Marchioness of Hastings in the Eocene deposits of the N. W. coast of the Isle of Wight: with an attempt to develop Cuvier's idea of the classification of pachyderms by the number of their toes. Quarterly Journal of the Geological Society London, 4: 103–141. DOI: 10.1144/GSL.JGS.1848.004.01-02.21

Qi Guo-qin, Dong Wei, Zheng Liang, Zhao Ling-xia, Gao Feng, Yue Le-ping, Zhang Yun-xiang, 2006. Taxonomy, age and environment status of the Yuanmou hominoids. Chinese Science Bulletin, 51: 833–841 (in Chinese). DOI: 10.1360/csb2006-51-7-833

Qiu Zhan-xiang, Huang Wei-long, Guo Zhi-hui, 1987a. The Chinese hipparionine fossils. Palaeontologia Sinica, New Series C, 25: 1–250 (in Chinese with English summary).

Qiu Zhan-xiang, Wang Ban-yue, 2007. Paracerathere fossils of China. Palaeontologia Sinica, New Series C, 29: 1–396 (in Chinese with English summary).

Qiu Zhan-xiang, Xie Jun-yi, Yan De-fa, 1987b. A new chilothere skull from Hezheng, Gansu, China-with special reference to the Chinese "*Diceratherium*". Science in China, Series B-Chemistry, Biological, Agricultural, Medical & Earth Sciences, 17: 545–554 (in Chinese). DOI: 10.1360/zb1987-17-5-545

Qiu Zhan-xiang, Yan De-fa, 1982. A horned *Chilotherium* skull from Yushe, Shansi. Vertebrata Palasiatica, 20: 122–132 (in Chinese with English abstract).

Quinn J H, 1955. Miocene Equidae of the Texas Gulf Coastal Plain. The University of Texas Publication, 5516: 1–102.

Ringström T, 1927. Über quartäre und jungtertiäre Rhinocerotiden aus China und der Mongolei. Palaeontologia Sinica Series C, 4: 1–21.

Schlosser M, 1903. Die fossilen Säugethiere Chinas nebst einer Odontographie der recenten Antilopen. Abhandlungen der Königlichen Bay-erischen Akademieder Wissenschaften, 22: 1–221.

Sefve I, 1927. Die Hipparionen Nord-Chinas. Palaeontologia Sinica, Series C, 4: 1–93.

Sisson S, 1953. The Anatomy of the Domestic Animals. Philadelphia: W. B. Saunders Company. 1–972.

Sun Bo-yang, 2013. The Miocene *Hipparion* (Equidae, Perissodactyla) from Shihuiba Locality, Lufeng, Yunnan. Vertebrata Palasiatica, 51: 141–161 (in Chinese with English summary). DOI: 10.19615/j.cnki.1000-3118.2013.02.005

Sun Bo-yang, 2024. Fossil Equidae in the Linxia Basin with Biostratigraphic and Paleozoogeographic Significance. Acta Geologica Sinica (English Edition), 98: 1–9. DOI: 10.1111/1755-6724.15097

Sun Bo-yang, Liu Si-zhao, Song Ya-yun, Liu Yan, Wang Shi-qi, Shi Qin-qin, Zhang Feng-jiao, Wang Yuan, 2021. *Hipparion* in Luotuo Hill, Dalian, and evolution of latest *Hipparion* in China. Quatern International, 591: 24–34. DOI: 10.1016/j.quaint.2020.10.075

Sun Bo-yang, Zhang Xiao-xiao, Liu Yan, Bernor R L, 2018. *Sivalhippus ptychodus* and *Sivalhippus platyodus* (Perissodactyla, Mammalia) from the late Miocene of China. Rivista Italiana Di Paleontologia E Stratigrafia, 124: 1–21. DOI: 10.13130/20 39-4942/9523

Tang Ying-jun, You Yu-zhu, Liu Hou-yi, Pan Yue-rong, 1974. New materials of Pliocene mammals from Banguo Basin of Yuanmou, Yunnan and their stratigraphical significance. Vertebrata Palasiatica, 12: 60–67 (in Chinese with English summary).

Wang Xiao-ming, Flynn L J, Fortelius M, 2013. Fossil Mammals of Asia: Neogene Biostratigraphy and Chronology. New York: Columbia University Press. DOI: 10.7312/wang15012

Wolf D, Bernor R L, Hussain S T, 2013. A Systematic, biostratigraphic, and paleobiogeographic reevaluation of the Siwalik hipparionine horse assemblage from the Potwar Plateau, Northern Pakistan. Palaeontographica, 300: 1–118.

Yue Le-ping, Zhang Yun-xiang, Qi Guo-qin, Heller F, Wang Jian-qi, Yang Li-rong, Zhang Rui, 2003. Paleomagnetic age and paleobiological significance of fossil layers containing apes in Yuanmou basin, Yunnan province. Science in China: Series D, 33: 1069–1075 (in Chinese). DOI: 10.1360/zd2003-33-11-1069

Zhang Yun-xiang, Yue Le-ping, Cao Hong-xia, 2002. The ecological sequence of *Hipparion* fauna in the middle reaches of the Yellow River during Neogene. Chinese Science Bulletin, 47: 79–82. DOI: 10.1360/02tb9016

Zhegallo V I, 1978. Gippariony Tsentral'noj Azii. Trudy-Sovmestnaâ Sovetsko-Mongol'skaâ paleontologičeskaâ èkspediciâ, 7: 1–152.

Zheng Shao-hua, 1982. Some Pliocene mammalian fossils from Songshan-2 and-3 (Tianzhu, Gansu) and the Songshan Fauna. Vertebrata Palasiatica, 20: 216–227 (in Chinese with English abstract).

(责任副主编: 邓　涛)