

藏北伦坡拉盆地丁青组哺乳动物化石对时代和古高度的指示

邓涛^①, 王世骥^①, 颀光普^②, 李强^①, 侯素宽^①, 孙博阳^{①③}

① 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 脊椎动物进化系统学重点实验室, 北京 100044;

② 甘肃省博物馆, 兰州 730050;

③ 中国科学院研究生院, 北京 100049

E-mail: dengtao@ivpp.ac.cn

2011-04-15 收稿, 2011-07-26 接受

中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-Q09)、国家重点基础研究发展计划(2012CB821906)和国家自然科学基金重点项目(40730210)资助

摘要 藏北班戈县论波日地点丁青组上部所含的犀科肱骨远端是在伦坡拉盆地新生代沉积中发现的第一件哺乳动物化石. 论波日肱骨标本远端滑车内髁自内向外逐渐收缩, 内髁内侧边缘不突起, 内上髁发达, 强烈向后伸展, 与内髁关节面之间以沟相隔, 符合犀科的特点. 内髁下宽上窄, 内侧副韧带窝相当浅, 内侧韧带结节非常微弱, 内髁上缘的内侧部分与其上的骨面平滑过渡, 没有明显的界线, 与近无角犀(*Plesiaceratherium*)一致. 对比结果显示, 论波日标本在大小和形态上最接近于山东临朐山旺动物群中的 *P. gracile*, 从而判断其时代为早中新世晚期(山旺期), 年龄约 18~16 Ma. 伦坡拉盆地犀科化石的发现, 表明丁青组上部已进入新近纪, 恢复的古生态环境经早中新世的古气温校正后指示当时其地的古海拔高度接近 3000 m.

关键词

青藏高原
伦坡拉盆地
古高度
中新世
丁青组
犀科

犀科是犀类中的一支, 其典型特征是门齿中仅有上第一门齿和下第二门齿构成一对剪切组合. 犀科在中新世达到其地质历史的多样性高峰, 曾广泛分布于欧亚大陆、北美和非洲^[1]. 犀科为草食性动物, 多数生活于热带或温带地区, 只有少数或个别种, 如披毛犀(*Coelodonta* 属)生活于寒冷地区^[2]. 犀科化石不仅是具有严格时代意义的新生代重要标准化石, 同时对于动物群的生态环境具有关键指示作用.

伦坡拉盆地位于西藏北部的班戈县和双湖特区交界线南北两侧, 平均海拔约 4700 m, 是藏北新生代地层甚为发育的地区. 伦坡拉盆地的新生界总厚度达 4000 m 以上, 由下部的牛堡组和上部的丁青组组成. 该套沉积属于第三纪是没有争议的, 但具体到在“世”或“统”一级的归属却存在不同的观点^[3-6]. 此前判断时代的古生物依据主要是孢粉和介形虫, 缺乏在新生代地层划分对比中有严格约束意义的哺乳动

物化石. 对伦坡拉盆地古高度的判断也有很大差别, 最低的估计认为丁青组时期的海拔高度仅有 1000 m 左右^[7], 而最高的推算则认为这个时期已达 4500 m^[8]. 我们近两年(2009和2010年)在伦坡拉盆地开展了广泛深入的地质学调查和脊椎动物化石考察, 在丁青组原有鱼类化石报道^[9]的基础上发现了更多的层位和材料. 尤为重要的是, 在丁青组中还发现了对时代确定和古高度判断有重要意义的犀科化石, 本文就是对伦坡拉盆地中发现的哺乳动物化石的研究和讨论.

1 区域地质背景

伦坡拉盆地是在燕山期褶皱基底上发育的新生代陆相盆地, 其形成和演化与班公错-怒江大断裂的活动方式有关. 由于该断裂的相对右旋扭动运动, 导致本区在北北东-南南西方向产生拉张应力, 从而形

英文版见: Deng T, Wang S Q, Xie G P, et al. A mammalian fossil from the Dingqing Formation in the Lunpola Basin, northern Tibet, and its relevance to age and paleo-altimetry. Chinese Sci Bull, 2011, 56, doi: 10.1007/s11434-011-4773-8

成走滑拉张型盆地^[10].

伦坡拉盆地呈长条形,东起东巧附近,西至色林错北多加岭一带,东西长约 200 km,南北宽约 15~20 km,面积超过 4000 km². 丁青组和牛堡组的组名由青海石油普查大队 1957 年命名的丁青层和牛堡层演变而来. 丁青组广泛分布于伦坡拉盆地中东部,为一套绿灰色泥页岩夹砂岩和油页岩,厚度 300~1100 m,产有丰富的动植物化石,包括介形虫、腹足类、昆虫、鱼类和孢粉化石. 牛堡组在盆地内均有分布,为一套红色碎屑岩夹灰绿色泥岩和砂岩,厚 700~950 m,所含化石相对较少,但也有介形虫、孢粉和轮藻等^[6].

1955 年首先发现并确定了伦坡拉盆地的第三系,当时将其划分为 3 层^[11]. 1975 年对伦坡拉盆地地层的划分是第一次正式有古生物化石依据,细分为 4 个组,即迪欧组、牛堡组、丁青组和伦坡拉组,其时代分别为始新世、渐新世、中新世和上新世^[3]. 1982 年根据介形虫化石,将牛堡组划归始新世,丁青组划归渐新世,将迪欧组并入牛堡组,伦坡拉组并入丁青组^[4]. 此后,丁青组的上段被划归上新世、中段划归中新世、下段划归渐新世晚期,牛堡组被划归始新世-渐新世^[6]. 最近完成的青藏高原地质填图认为牛堡组自下而上含 4 个介形虫组合: *Limnocythere-Eucypris* 组合、*Limnocythere-Cypris-Cyprinotus* 组合、*Limnocythere-Cypris-Eucypris-Candona* 组合和 *Cypinotus-Candona* 组合,时代为始新世^[12]; 丁青组自下而上含 2 个介形虫组合: *Austrocypris-Cyprinotus-Pelocypris* 组合和 *Ilyocypris-Limnocythere* 组合^[13],其时代为渐新世^[14].

论波日地点位于伦坡拉盆地中心位置(图 1),在构造上属于纳卡错-东卡错中间陆块. 该构造单元是夹在班公错-怒江结合带南北带之间的一个刚性陆块,区内主要由中生代侏罗纪接奴群及早白垩世去申拉组构成,上覆丁青组. 构造以断裂为主,平行班公错-怒江结合带南带发育,多期叠加,具继承活化性,现主要表现为顺时针右旋剪切^[12].

本次实测的论波日丁青组剖面总厚 989.5 m,其中第 1~4 层厚 109.4 m,为灰色厚层-巨厚层状页岩与薄层状灰岩互层,夹灰色含油质页岩、土黄色页岩和浅褐色薄层状粉砂质泥灰岩,中部富含植物和昆虫化石;第 5~9 层厚 583.7 m,为灰色页岩与褐灰色纸状油页岩互层,含保存精美的鱼、昆虫和植物化石,夹褐黄色薄层菱铁矿;第 10~18 层厚 209.3 m,为褐灰色巨厚层纸状油页岩与巨厚层灰色页岩互层,上

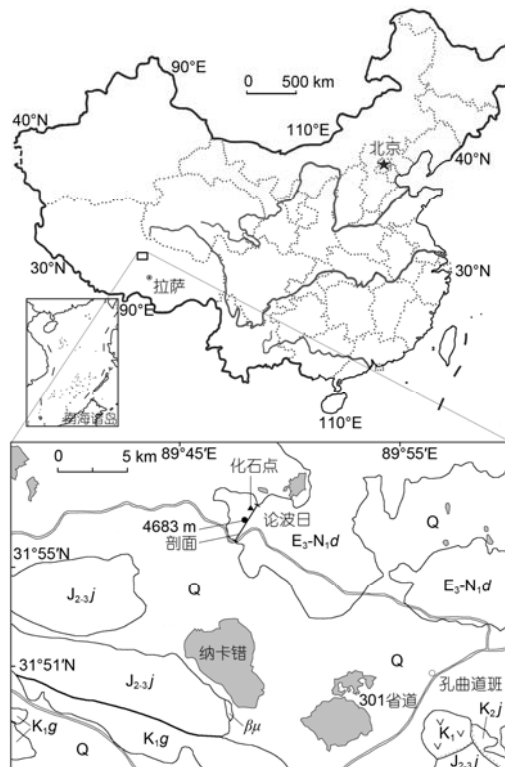


图 1 伦坡拉盆地论波日附近地质简图和化石点位置
 J_{2-3j}, 中-上侏罗统接奴群; K₁, 下白垩统火山岩; K_{1g}, 下白垩统桂牙组; K_{2j}, 上白垩统竟柱山组; E₃-N_{1d}, 渐新统-中新统丁青组; Q, 第四系; βμ, 辉绿岩脉. 据文献[12]改绘

部夹红棕色和灰色、浅黄色块状泥岩,其中含瓣鳃类、鱼类和哺乳类化石,下部夹棕色薄层状粉砂质泥岩和薄层凝灰质砂岩;第 19~28 层厚 87.1 m,为灰色薄层泥岩、泥灰岩与灰色薄层页岩互层,夹褐灰色纸状油页岩和浅黄色薄层泥灰岩(图 2). 本文报道的哺乳动物化石即产自论波日剖面第 17 层的红棕色块状泥岩中,为犀科动物的左肱骨远端. 该化石地点于论波日山北侧(图 3),地理坐标为 31°57'27.6"N, 89°47'55.7"E,海拔 4624 m,还含有大量分散的鱼类骨骼化石,蚌类化石常见.

2 系统描述

哺乳动物纲 Mammalia Linnaeus, 1758

奇蹄目 Perissodactyla Owen, 1848

犀科 Rhinocerotidae Owen, 1845

无角犀亚科 Aceratheriinae Dollo, 1885

近无角犀属 *Plesiaceratherium* Young, 1937

近无角犀未定种 *Plesiaceratherium* sp.

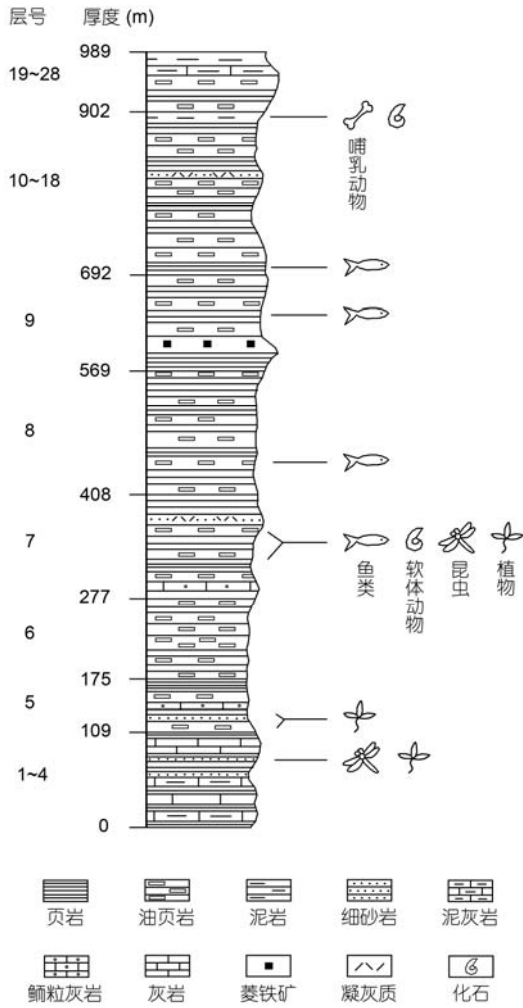


图 2 论波日剖面柱状图

(i) 材料. 化石为左肱骨远端的内侧, 保留内髁和内上髁残部(图4), 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所化石编号 IVPP V 18082. 标本石化坚硬, 表面黄褐色, 带有黑色斑纹, 破裂面可见化石内部为

黑色. 由于草根植物碱的腐蚀, 局部可见白色根系印痕, 与在西藏比如县布隆盆地发现的哺乳动物化石保存状况类似^[15].

(ii) 描述. 肱骨远端滑车内髁呈自内向外逐渐收缩的锥形体, 其滑车面没有二次分隔, 与桡骨的关节窝和尺骨的半月切迹形成关节(图 4(a3)). 自前面看, 内髁下宽上窄, 即上部向骨干中线倾斜; 内髁上缘的内侧部分与其上的骨面平滑过渡, 未形成突起的嵴形(图 4(a2)). 自内面看, 内上髁的残余部分显示其相当发达, 内上髁下缘明显高出内髁内面, 内上髁下缘前端插入内髁内面下部, 这样, 在内上髁前端与内髁后端的交接处形成一条近水平的沟; 内髁内面边缘有 7 mm 宽的新月形粗糙面, 两端分别尖灭于内髁的上、下端; 内髁内面中下部有一些圆形小坑, 最大直径 1 mm, 为滋养孔的开口; 内侧副韧带窝相当浅, 边界不清, 与骨面逐渐过渡, 窝内有一自前上方向后下方倾斜的细嵴, 长度 12 mm, 与内髁上、下端连线重合, 副韧带窝的中心位于这条连线的中点; 内侧副韧带结节位于副韧带窝上方, 突起程度非常微弱, 中央也有一条细嵴, 其方向与副韧带窝内的细嵴大致平行, 长度相当; 副韧带结节后方为垂向的宽浅凹陷, 它分隔副韧带结节与内上髁内面附着指浅屈肌的结节(图 4(a1)). 从远端面看, 内髁不向后延伸, 末端不到内上髁前后向中线(图 4(a3)). 内髁最大直径为 67.5 mm.

(iii) 比较. 论波日标本与偶蹄类不同, 偶蹄类肱骨远端滑车内髁的中间部分不低于内侧, 即自内向外不收缩, 或收缩很弱, 甚至略膨大, 例如牛科动物的滑车内髁中部直径就大于内缘直径^[16].

奇蹄类中, 马的肱骨远端滑车内髁自内向外开始前后径保持不变甚至略膨大, 至接近髁间沟才突



图 3 论波日化石地点

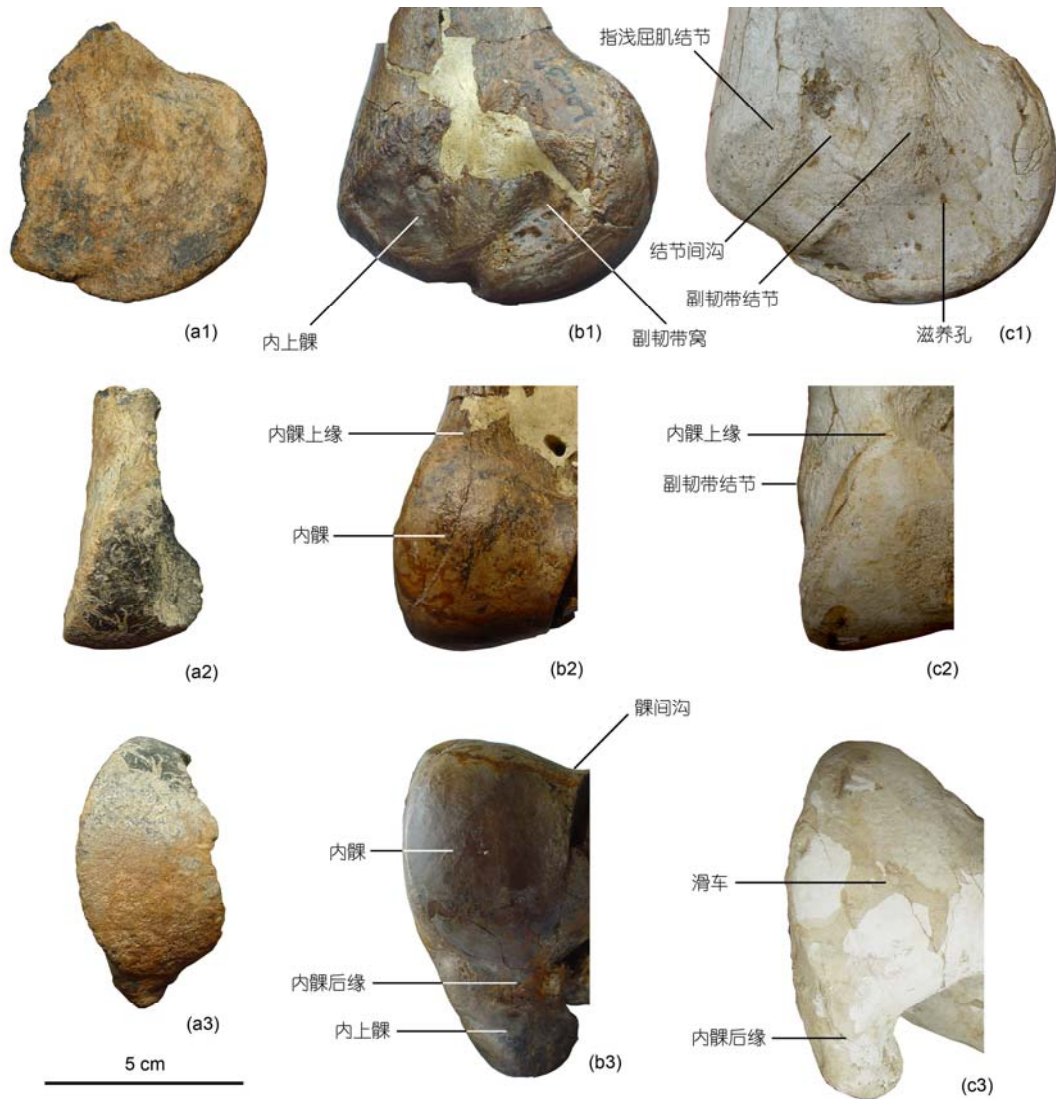


图4 论波日标本与纤细近无角犀和维氏大唇犀肱骨远端的对比

(a) *Plesiaceratherium* sp., V 18082, 西藏班戈论波日; (b) *Plesiaceratherium gracile*, RV 37065, 山东临朐山旺; (c) *Chilotherium wimani*, HMV 0449, 甘肃广河后山. 1, 内面视; 2, 前面视; 3, 远端视

然变小, 内髌上还有一条中沟^[17]; 獬的内髌内面整体呈一个凸面, 内上髌非常发达, 其横向厚度巨大, 前后向长度与内髌的接近; 爪兽的内髌自内向外的收缩不对称, 其内缘前部有一个小的关节面, 内上髌横向宽, 但前后向短^[18,19]; 雷兽的内上髌底缘强烈上升, 与内髌底缘之间有相当大的距离, 一些种类的内髌内缘前部呈显著的凹陷^[20,21]. 犀牛肱骨的远端滑车内髌呈自内向外逐渐收缩的较对称的锥形体, 其上没有二次分隔的沟或嵴^[16], 论波日标本的形态特点与犀类一致.

犀超科是奇蹄目中物种多样性和生态分异度最

高的类群, 通常分为3个科, 即跑犀科(*Hyracodontidae*)、两栖犀科(*Amyndontidae*)和犀科(*Rhinocerotidae*)^[22].

以不等门齿犀(*Imequincisoria* sp.)^[23]为例, 跑犀肱骨远端滑车内髌的内侧面边缘形成突起的新月形宽嵴; 内上髌向后和向下伸展弱; 内侧的骨面凹凸不平, 内侧韧带窝和结节显著, 位于内髌上、下端连线的上方; 内上髌下缘与内髌下缘连续过渡, 从内侧面看无明显界线; 分隔副韧带结节和指浅屈肌结节的凹陷相当宽大. 曾经归入跑犀科的巨犀也表现出相同的特点, 如沙拉木伦始巨犀(*Juxia sharamurensis*)的肱骨^[24].

以原巨两栖犀(*Gigantamynodon promisus*)^[25]为例,两栖犀肱骨远端的内上髁不发达,并以非常陡的角度斜向后上方,从内面看,其下缘与内髁下缘逐渐过渡;小而深的副韧带窝紧靠在高耸的三角锥形副韧带结节之下,位于内髁上、下端连线之上;内髁内侧面的新月形嵴突起相当高;附着指浅屈肌的结节呈突起的嵴状延伸至内面后缘。

犀科动物肱骨的内髁内侧面边缘不突起,内上髁发达,强烈向后伸展,与内髁关节面之间以沟相隔。显然,论波日标本属于犀科。对比犀科内的各属种,论波日标本与山东临朐早中新世晚期山旺动物群中的细近无角犀(*Plesiaceratherium gracile*)的肱骨远端(图4(b))几乎完全相同,前述论波日肱骨远端的特征在细近无角犀的IVPP RV 37065标本上都能见到,如内髁上部向骨干中线倾斜,其上缘与骨面平滑过渡;内上髁下缘明显高出内髁内面,其前端插入内髁内面下部,在交接处形成一条近水平的沟;内髁内面的新月形面显著,滋养孔丰富;内侧副韧带窝边界不清,副韧带结节突起微弱;副韧带结节与指浅屈肌结节之间的凹陷宽浅;内髁不向后延伸。*P. gracile* 肱骨(IVPP RV 37065)的内髁直径为67 mm,也与论波日标本(67.5 mm)一致。微小的差别在于细近无角犀的副韧带窝比论波日标本显著,前者的内髁内面边缘更光滑(图4(b1))。有鉴于此,我们将论波日标本确定为近无角犀的未定种(*Plesiaceratherium* sp.)。

在犀科内,与论波日标本在大小上相似,同为中等体型的种类还有不少,但在形态上都可以区分。以维氏大唇犀(*Chilotherium wimani*)为例:从内面看,其肱骨远端内上髁底缘强烈向后上方倾斜,前缘未伸达滑车内髁后部,二者之间未形成切迹或沟;副韧带结节相当突出,但副韧带窝不明显(图4(c1))。从前面看,内髁上缘明显高出骨面,形成一条突起的嵴(图4(c2))。从远端面看,内髁强烈向后延伸,末端大大超过内上髁的前后向中线(图4(c3))^[26]。

对于可生活于高寒地带的披毛犀(*Coelodonta* 属),其肱骨远端与论波日标本区别明显。首先它们的大小相差悬殊,较小的泥河湾披毛犀(*C. nihowanensis*)的远端滑车内髁直径就达98 mm^[27],晚更新世披毛犀(*C. antiquitatis*)的内髁直径更达到119 mm^[28],远大于论波日标本的67.5 mm。其次在形态上,披毛犀肱骨远端内面的副韧带窝不明显,副韧带结节和指浅屈肌结节都相当发达,二者接近甚至愈合;内上髁

底缘远高于内髁底缘,之间有近20 mm的距离^[28,29]。

3 时代讨论

近无角犀(*Plesiaceratherium*)是依据在山东临朐山旺早中新世地层中发现的一些零星的颊齿和肢骨而确立的一个属,细近无角犀(*P. gracile*)为其属型种^[30]。后来在山旺又发现了许多近无角犀的材料,包括不少保存精美的骨架以及完整的头骨、许多颊齿和肢骨,对近无角犀有了较全面的认识^[31,32]。近无角犀是中型或大型的原始无角犀,肢骨细长。在中国,近无角犀此前仅发现于2个地点,即山东省临朐县山旺和河北省磁县九龙口^[33]。近无角犀的另一个分布地区在欧洲,化石地点有5个,分别是德国的Sandelzhausen(MN 5)和Voggersberg(MN 5),法国的Pont du Manne(MN4),葡萄牙的Charneca de Lumiar(MN 4)和西班牙的Can Julia(MN 4)^[1]。

中国含近无角犀的山旺和九龙口动物群的时代被确定在早中新世晚期的山旺期,欧洲含近无角犀的化石地点属于MN 4-5,也处于早中新世晚期的Orleanian期^[1],与中国的分布时代相当。

由于山旺地区所在的临朐凹陷的中生代、新生代地层为一套火山岩-沉积岩系,所以历年来做过大量同位素年龄测定,与化石的时代相当吻合的数据显示富含化石的硅藻土的形成时代为18.85~14.11 Ma^[34]或18.05±0.55 Ma^[35],样品采自山旺组之下,因此山旺动物群的时代约为18 Ma^[36]。九龙口动物群的产出地点没有进行绝对年龄测定的岩石和剖面条件,但包含了几种山旺动物群的成员,如近无角犀和古鹿(*Palaeomeryx*),但也有时代略晚的中鬣狗(*Percrocuta*)^[33],因此其时代应处于山旺期末期,年龄约16 Ma。欧洲含近无角犀的5个地点在时代上属于哺乳动物分期的MN 4或5带,而MN 4-5的年龄为18~15 Ma^[37]。显然,近无角犀在其欧亚大陆分布区的各地点时代都非常接近,处在早中新世晚期。

根据在伦坡拉盆地论波日地点发现的近无角犀化石,显示丁青组上部地层已进入中新世。丁青组的介形虫化石原来被笼统地认为具渐新世属性^[4,13,14],但实际上不同层段所含化石的时代意义并不相同。与近无角犀化石层位接近的丁青组上段产有介形虫*Heterocypris formalis*, *H. subsinuatus*, *Candoniella albicans*, *Ilyocypris errabundis*, *I. dunschanensis* 和 *Limnocythere cinctura* 等^[4,38],其中的*L. cinctura*发现

于江苏盐城组^[39],其时代与早中新世的山旺组相当^[40]; *I. dunschanensis* 仅分布于新近纪; *C. albicans* 和 *I. errabundis* 从古近纪到新近纪都有分布^[38]. 综合对比的结果,丁青组上段的介形虫组合具有早中新世特点. 鉴于丁青组下部还有巨厚的油页岩和细碎屑沉积,与介形虫化石相结合,新证据支持整个丁青组属于渐新世-中新世的观点^[6].

4 古高度判断

近无角犀化石大量出现在山东临朐的山旺动物群中,与三角原古鹿(*Palaeomeryx tricornis*)和柯氏柄杯鹿(*Lagomeryx colberti*)共同成为动物群中个体数量占优势的种属. 除了丰富的哺乳动物化石,山旺地点还含有鱼类、两栖类、爬行类、鸟类、昆虫、大植物、孢粉和藻类等化石,因此可以比较准确地恢复近无角犀的生活环境. 山旺的哺乳动物化石主要为森林边缘和沼泽区域生活的类型,尤其是原古鹿、柄杯鹿和多样的松鼠(*Tamiops asiaticus*, *Sciurus lii*, *Oriensciurus linguensis*, *Plesiosciurus aff. sinensis*)^[41]等,而草原生活的类型十分贫乏,说明当时的生态环境是亚热带或暖温带森林型. 从山旺盆地所含的植物群组合看,其中不少是亚热带常绿或落叶的阔叶植物,也显示温暖而湿润的气候^[31,42]. 临朐山旺所在的山东半岛中部海拔不超过 1000 m,山旺动物群的生态环境指示早中新世时期的海拔应与现代相差不大. 近无角犀在欧洲的分布地区也处于低海拔地区(<1000 m),早中新世的生态环境在 18~16.5 Ma 期间存在温暖湿润的气候^[43]. 由此可以看出,近无角犀是一种生活于亚热带或暖温带森林丰富地区的喜温暖湿润型动物.

伦坡拉盆地的丁青组已有详细的孢粉分析结果^[3],显示下段为榆粉属-柳粉属组合,近两年的野外调查中在丁青组也发现了柳树的叶化石,与孢粉资料吻合;中段被子植物花粉超过裸子植物花粉,占总数 55%~73%,被子植物种类繁多,北温带的落叶阔叶树种占据了优势地位,其中以栎属、柳属、胡桃属为最多,是构成当时森林的主要树种,针叶树种以松属、云杉属、冷杉属较多,居次要地位,草本植物开始有了进一步的发展;上段被子植物花粉在组合中占了绝对优势,达 88%~91%,裸子植物花粉较少,柳属花粉急速增加,和栎并列为本组合的优势种,漆树花粉也有很大数量,其他的木本植物包括胡桃、桦

木、朴、木兰、槭、榛、山核桃和枫杨等. 丁青组的孢粉组合与山东临朐山旺组的组合接近,反映了当时温暖湿润的温带气候^[3]. 从沉积特征来看,丁青组暗色沉积物发育,指示当时的气候环境偏潮湿^[44,45]. 因此,早中新世时期近无角犀在伦坡拉盆地具有与其在山东和西欧相似的温暖湿润生存环境.

如前所述,对伦坡拉盆地丁青组沉积时期古高度的判断也有很大差别,从 1000 m 左右^[7]到 4500 m^[8]. 如果直接对比,近无角犀在山东和西欧分布区的海拔高度支持伦坡拉盆地当时的高度约 1000 m 的估计. 然而,更合理的判断实际上是要根据亚热带或暖温带森林环境在早中新世全球气候背景下的分布上限来确定.

青藏高原南缘的喜马拉雅山南坡动植物分布呈现明显的垂直变化,常绿阔叶林带的分布上限为海拔 2500 m,气候温暖湿润,年降雨量达 2000 mm 左右,其中生活的动物不但种类繁多,而且数量丰富^[46]. 含近无角犀的山旺动物群以及伦坡拉近无角犀的生存环境从动植物的特点看,都类似于这样的常绿阔叶林带.

在全球气候背景上,近无角犀生活于 17.8 Ma 的 Mi-1b 和 16 Ma 的 Mi-2 两个变冷事件之间^[47],但温度水平仍然高于现代^[48],根据氧同位素计算的温度约比现代高 4^[49]. 植物垂直带谱的分布与气温直接相关,由于气温直减率为 0.6 °C/100 m^[50],因此 4 °C 的温度升高可使带谱界线上升约 670 m,即早中新世时适合近无角犀生活的常绿阔叶林带最高可分布于 3170 m 的海拔高度.

现代青藏高原南侧包括尼泊尔在内的南亚地区仍然有犀科动物分布,印度犀(*Rhinoceros unicornis*)就生活于喜马拉雅山脚的森林和高草地带. 在现生犀牛中,苏门答腊犀(*Dicerorhinus sumatrensis*)由于身体被毛,因此可以生活于海拔较高的热带雨林环境中,达到 1000~1500 m^[51]. 爪哇犀(*Rhinoceros sondaicus*)最高的分布记录是 2000 m^[52]. 这些现代犀牛的生态适宜范围可作为解释近无角犀分布空间的参考,通过早中新世比现代高 4^[49]条件下由气温直减率^[50]产生的 670 m 高差校正,据此推测近无角犀在伦坡拉盆地的生活环境上限接近海拔 3000 m.

5 结论

藏北伦坡拉盆地新生代沉积物的时代长期存在

争议,主要是缺乏时代意义比较精确的化石.在班戈县论波日地点丁青组上部发现的犀科肱骨远端化石,是伦坡拉盆地新生代沉积中发现的第一件哺乳动物化石,经详细的形态观察和对比,表明其内踝下宽上窄,内侧副韧带窝相当浅,内侧韧带结节非常微弱,内踝上缘的内缘部分与其上的骨面平滑过渡,没有明显的界线,被鉴定为犀科的近无角犀(*Plesiaceratherium* sp.).

近无角犀此前仅发现于华东和西欧,两地的含化石地层皆属于早中新世晚期.在山东临朐山旺盆

地的同位素测年结果表明近无角犀生活于18~16 Ma,因此含近无角犀化石的丁青组上段沉积应为早中新世晚期,整个丁青组则涵盖渐新世-中新世沉积.

丁青组的植被类型也与山旺动物群一致,生活于其中的近无角犀是一种亚热带或暖温带森林丰富地区的喜温暖湿润型动物.根据现代喜马拉雅高山植被垂直分带与早中新世全球气候的对比校正,丁青组时代伦坡拉盆地的最高海拔不超过3170 m,在考虑犀类生态环境要求的条件下,经早中新世的古气温校正后,更可能的古海拔高度接近3000 m.

致谢 感谢中国科学院青藏高原研究所的丁林研究员,中国科学院地质与地球物理研究所的孙继敏和刘青松研究员,中国科学院古脊椎动物与古人类研究所的赵敏、吴飞翔、王宁博士以及时福桥和吴胜利在野外考察中的大力支持与协作.

参考文献

- 1 Heissig K. Family Rhinocerotidae. In: Rössner G E, Heissig K, eds. The Miocene Land Mammals of Europe. München: Verlag Dr. Friedrich Pfeil, 1999. 175–188
- 2 Kahlke R D. The History of the Origin, Evolution and Dispersal of the Late Pleistocene *Mammuthus-Coelodonta* Faunal Complex in Eurasia (Large Mammals). Rapid City: Fenske Companies, 1999
- 3 王开发, 杨蕉文, 李哲, 等. 根据孢粉组合推论西藏伦坡拉盆地第三纪地层时代及其古地理. 地质科学, 1975, 4: 366–374
- 4 夏位国. 西藏班戈县伦坡拉盆地伦坡拉群时代及其介形类组合. 青藏高原地质文集, 1982, 4: 149–159
- 5 夏位国. 西藏班戈县伦坡拉盆地伦坡拉群的轮藻化石. 中国地质科学院成都地质矿产研究所所刊, 1986, 7: 61–67
- 6 夏金宝. 藏北班戈县及其邻近地区的新生界. 青藏高原地质文集, 1983, 6: 243–254
- 7 马孝达. 西藏中部若干地层问题讨论. 地质通报, 2003, 22: 695–698
- 8 Rowley D B, Currie B C. Palaeo-altimetry of the Late Eocene to Miocene Lunpola Basin, central Tibet. Nature, 2006, 439: 677–681
- 9 武云飞, 陈宜瑜. 西藏北部新第三纪的鲤科鱼类化石. 古脊椎动物学报, 1980, 18: 15–20
- 10 雷清亮, 付孝悦, 卢亚平. 伦坡拉第三纪陆相盆地油气地质特征分析. 地球科学, 1996, 21: 168–173
- 11 李璞. 西藏东部地质的初步认识. 科学通报, 1955, 7: 62–71
- 12 曲永贵, 王永胜, 段建祥, 等. 中华人民共和国区域地质调查报告, 多巴区幅. 武汉: 中国地质大学出版社, 2011
- 13 西藏自治区地质矿产局. 西藏自治区岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997
- 14 张克信, 王国灿, 季军良, 等. 青藏高原古近纪-新近纪地层分区与序列及其对隆升的响应. 中国科学: 地球科学, 2010, 40: 1632–1654
- 15 郑绍华. 西藏比如布隆盆地三趾马动物群. 见: 中国科学院青藏高原综合科学考察队, 编. 西藏古生物, 第一分册. 北京: 科学出版社, 1980. 33–47
- 16 Gromova B, 著. 刘后一, 译. 哺乳动物大型管状骨检索表. 北京: 科学出版社, 1961
- 17 Sission S, Grossman J D. The Anatomy of the Domestic Animals, Fourth Edition. Philadelphia: W B Saunders Company, 1953
- 18 Coombs M C. Reevaluation of Early Miocene North American *Moropus* (Perissodactyla, Chalicotheriidae, Schizotheriinae). Bull Carnegie Mus Nat Hist, 1978, 4: 1–62
- 19 Coombs M C. *Tylocephalonyx*, a new genus of North American dome-skulled chalicotheres (Mammalia, Perissodactyla). Bull Amer Mus Nat Hist, 1979, 164: 1–64
- 20 Osborn H F. The Titanotheres of Ancient Wyoming, Dakota, and Nebraska. Washington: US Geological Survey, 1929
- 21 王伴月. 内蒙古蒙古鼻雷兽的骨骼形态和系统分类. 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所甲种专刊, 1982, 16: 1–75
- 22 Prothero D R, Schoch R M. Classification of the Perissodactyla. In: Prothero D R, Schoch R M, eds. The Evolution of Perissodactyls. New York: Oxford University Press, 1989. 530–537
- 23 王景文. 河南桐柏地区柯氏犀类新材料. 古脊椎动物学报, 1976, 14: 104–111

- 24 邱占祥, 王伴月. 中国古生物志: 中国的巨犀化石. 北京: 科学出版社, 2007, 29: 1–396
- 25 徐余瑄. 内蒙的两栖犀科化石. 古脊椎动物学报, 1966, 10: 123–190
- 26 Deng T. Limb bones of *Chilotherium wimani* (Perissodactyla, Rhinocerotidae) from the Late Miocene of the Linxia Basin in Gansu, China. *Vert Palasiat*, 2002, 40: 305–316
- 27 Deng T. Comparison between the woolly rhino's forelimbs from Longdan, northwestern China and Tologoi, Transbaikalian region. *Quat Int*, 2008, 179: 196–207
- 28 徐余瑄, 周本雄, 李玉清. 东北第四纪哺乳动物化石志, 犀科. 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所甲种专刊, 1959, 3: 45–49
- 29 Borsuk-Bialynicka M. Studies on the Pleistocene rhinoceros *Coelodonta antiquitatis* (Blumenbach). *Palaeont Pol*, 1973, 29: 1–94
- 30 Young C C. On a Miocene mammalian fauna from Shantung. *Bull Geol Soc China*, 1937, 17: 209–238
- 31 阎德发. 关于近无角犀(*Plesiaceratherium*)的形态和分类. 古脊椎动物学报, 1983, 21: 134–143
- 32 Yan D F, Heissig K. Revision and autopodial morphology of the Chinese-European rhinocerotid genus *Plesiaceratherium* Young, 1937. *Zitteliana*, 1986, 14: 81–109
- 33 陈冠芳, 吴文裕. 河北磁县九路口中新世哺乳动物. 古脊椎动物学报, 1976, 14: 6–15
- 34 金隆裕. 郟庐断裂中段新生代火山岩的 K-Ar 年龄值和分期. 地质论评, 1985, 31: 309–315
- 35 陈道公, 彭子成. 山东新生代火山岩 K-Ar 年龄和 Pb-Sr 同位素特征. 地球化学, 1985, 4: 293–303
- 36 邓涛, 王伟铭, 岳乐平. 中国新近系山旺阶建阶研究新进展. 古脊椎动物学报, 2003, 41: 314–323
- 37 Steininger F F. Chronostratigraphy, geochronology and biochronology of the Miocene “European Land Mammal Mega-Zones” (ELMMZ) and the Miocene “Mammal-Zones (MN-Zones)”. In: Rössner G E, Heissig K, eds. *The Miocene Land Mammals of Europe*. München: Verlag Dr. Friedrich Pfeil, 1999. 9–24
- 38 侯祐堂, 勾韵娴, 陈德琼. 中国的介形类化石. 第一卷. Cypridacea 和 Darwinulidacea. 北京: 科学出版社, 2002
- 39 侯祐堂, 勾韵娴. 中国的介形类化石. 第二卷. Cytheracea 和 Cytherellidae. 北京: 科学出版社, 2007
- 40 郑家坚, 何希贤, 刘淑文, 等. 中国地层典. 第三系. 北京: 地质出版社, 1999
- 41 Qiu Z D, Yan C L. New sciurids from the Miocene Shanwang Formation, Linqu, Shandong. *Vert Palasiat*, 2005, 43: 194–207
- 42 陶君蓉, 孙博, 杨洪. 山旺组的植物大化石. 见: 孙博, 编. 山旺植物化石. 济南: 山东科学技术出版社, 1999. 13–89
- 43 Böhme M. The Miocene Climatic Optimum: Evidence from ectothermic vertebrates of Central Europe. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol*, 2003, 195: 389–401
- 44 马立祥, 张二华, 鞠俊成, 等. 西藏伦坡拉盆地第三系沉积体系域基本特征. 地球科学, 1996, 21: 174–178
- 45 杜佰伟, 谭富文, 陈明. 西藏伦坡拉盆地沉积特征分析及油气地质分析. 沉积与特提斯地质, 2004, 24: 46–54
- 46 钱燕文, 冯祚建, 马莱龄. 珠穆朗玛峰地区鸟类和哺乳类的区系调查. 见: 中国科学院西藏科学考察队, 编. 珠穆朗玛峰地区科学考察报告, 1966–1968, 生物与高山生理. 北京: 科学出版社, 1974. 1–23
- 47 汪品先, 赵泉鸿, 翦知潜, 等. 南海三千万年的深海记录. 科学通报, 2003, 48: 2206–2215
- 48 Zachos J, Pagani M, Sloan L, et al. Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to Present. *Science*, 2001, 292: 686–693
- 49 Pekar S F, DeConto R M. High-resolution ice-volume estimates for the Early Miocene: Evidence for a dynamic ice sheet in Antarctica. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol*, 2006, 231: 101–109
- 50 王襄平, 张玲, 方精云. 中国高山林线的分布高度与气候的关系. 地理学报, 2004, 59: 871–879
- 51 Groves C P, Kurt F. *Dicerorhinus sumatrensis*. *Mammal Spec*, 1972, 21: 1–6
- 52 Foose T J, van Strien N. Asian Rhinos: Status Survey and Conservation Action Plan. Gland: IUCN, 1997