

中国真猛犸象和披毛犀化石 ^{14}C 年代 研究新进展

赵克良^{1,2,3}, 姜海涛⁴, 王元^{1,2,3}, 同号文^{1,2,3}, 张雅平^{1,3}, 葛俊逸^{1,2,3},
周新郢^{1,2,3}, 金昌柱^{1,2,3}, 李小强^{1,2,3}

1. 中国科学院脊椎动物演化与人类起源重点实验室, 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 北京 100044; 2. 中国科学院生物演化与环境卓越创新中心, 北京 100044; 3. 中国科学院大学, 北京 100049; 4. 黑龙江省区域地质调查所, 哈尔滨 150080

摘要: 真猛犸象 (*Mammuthus primigenius*) 和披毛犀 (*Coelodonta antiquitatis*) 是北半球高纬度地区晚更新世动物群的主要成员, 其消亡的年代和原因一直是国际学术界关注的热点科学问题。本文对黑龙江青冈县英贤村最新出土的 5 个真猛犸象和 5 个披毛犀化石进行了 AMS ^{14}C 年代测定, 结果均大于 4 万年, 部分化石可能已经超出了目前 ^{14}C 的测定范围。通过整理并对比已公开发表的中国境内两种动物化石的 ^{14}C 年代学数据, 本文认为早期常规 ^{14}C 测年方法所获得的年代值需要重新考虑其准确性。埋藏地层与最新的 AMS ^{14}C 测年数据显示, 我国真猛犸象化石年代主要集中于 MIS3 阶段; 披毛犀在我国消亡的时间很可能晚于真猛犸象, 至少延续到末次冰消期。中国猛犸象-披毛犀动物群化石仍然需要开展更多的年代学研究。

关键词: 青冈县; MIS3 阶段; 末次盛冰期; 大型哺乳动物灭绝; 埋藏地层

New radiocarbon evidence on the woolly mammoth and rhinoceros in China

ZHAO Keliang^{1,2,3}, JIANG Haitao⁴, WANG Yuan^{1,2,3}, TONG Haowen^{1,2,3}, ZHANG Yaping^{1,3},
GE Junyi^{1,2,3}, ZHOU Xinying^{1,2,3}, JIN Changzhu^{1,2,3}, LI Xiaoqiang^{1,2,3}

1. Key Laboratory of Vertebrate Evolution and Human Origins of the Chinese Academy of Sciences, Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100044; 2. CAS Center for Excellence in Life and Paleoenvironment, Beijing 100044; 3. University of the Chinese Academy of Sciences Beijing, 100049;
4. Heilongjiang Province Institute of Regional Geology Survey, Harbin 150080

Abstract: The woolly mammoth (*Mammuthus Primigenius*) and the woolly rhinoceros (*Coelodonta antiquitatis*) were the dominated members of the late Pleistocene fauna in the high latitude of northern Hemisphere. The age and causes of their extinction are still controversy. In this study, five woolly mammoth and 5 woolly rhinoceros fossils unearthed recently from

收稿日期: 2020-11-06; 定稿日期: 2021-02-04

基金项目: 国家自然科学基金 (42072212); 中国科学院先导专项 (XDB26000000); 黑龙江省国土资源厅项目 ([2015]680)

作者简介: 赵克良, 副研究员, 主要从事古植被与古生态、环境考古研究。E-mail: zhaokeliang@ivpp.ac.cn

Citation: Zhao KL, Jiang HT, Wang Y, et al. New radiocarbon evidence on the woolly mammoth and rhinoceros in China[J]. Acta Anthropologica Sinica, 2022, 41(3): 551-562

Yingxiancun, Qinggang County, Heilongjiang Province were dated by AMS¹⁴C methods. The dating results were all over 40,000 years, and some fossils may have exceeded the current limit of radiocarbon dating. Based on comparing the published radiocarbon data of two animal fossils in China, we argued that the accuracy of the dating results obtained by the conventional ¹⁴C dating method should be reconsidered. The dating results of woolly mammoth fossils were mainly in MIS3, and the woolly rhinoceros survived in China until the last deglacial period. More chronology data of *Mammuthus Primigenius* and *Coelodonta antiquitatis* fossils were still needed for the research on the late Pleistocene megafauna extinction in China.

Keywords: Qinggang County; MIS 3; Last glacial maximum; Megafauna extinction; Buried strata

1 前 言

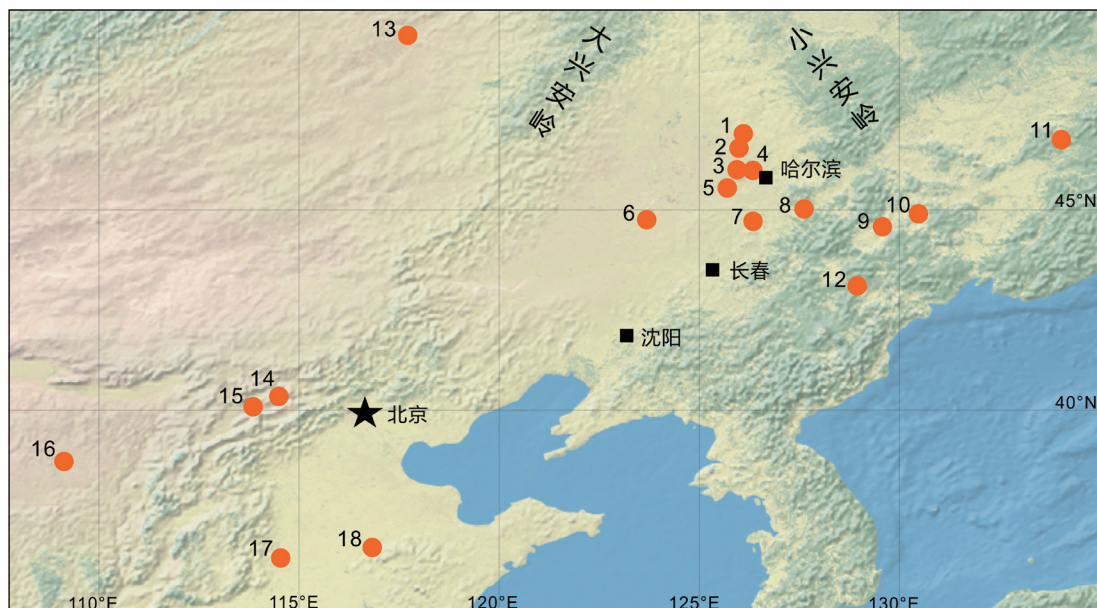
更新世晚期到全新世早期是全球陆地生态环境转变的重要时段。在此期间,许多大型陆生哺乳动物灭绝、植物群落发生结构性变化、人类生计模式也由狩猎采集逐渐过渡到农业种植。以真猛犸象、披毛犀为代表的大型哺乳动物群一度占据北半球的中高纬度地区,是更新世晚期北半球生态系统中的重要组成部分^[1]。然而,进入全新世以后,该动物群的大部分成员灭绝,如欧亚大陆灭绝的比例约为 36%,北美洲灭绝比例为 72%^[2]。

关于大型哺乳动物灭绝的原因还存在很多争议,主要的理论假说有气候环境变化、人类影响以及两者共同作用^[1,3-4]。准确的年代学数据是理解更新世晚期大型哺乳动物消亡机制的关键。基于大量的 ¹⁴C 年代数据,欧亚大陆真猛犸象、披毛犀等大型动物的消亡被认为与气候环境变化密切相关,而与人类活动影响较小^[5-8]。在北美洲地区,由于大型哺乳动物消亡和人类到达美洲大陆以及气候变化在年代上较为一致,其消亡原因的争议颇多^[9-11]。

一些研究认为,单一气候变化或人类猎杀假说难以解释晚第四纪大型哺乳动物消亡,两者在不同地域的组合是各区域不同种类哺乳动物灭绝的主要原因^[2,12]。Stuart^[1]发表研究综述指出,在准确鉴定动物遗存的基础上,建立不同区域的可靠的放射性 ¹⁴C 数据库,是认识第四纪晚期大型哺乳灭绝原因的关键所在。只有在系统、精准的年代学框架下,才可能实现哺乳动物记录与古气候以及考古学记录的准确比对。

我国东北及华北地区保存有丰富的更新世晚期动物化石,是欧亚大陆猛犸象-披毛犀动物群活动的重要区域^[13]。刘东生和黎兴国^[14]根据当时已有的化石测年记录探讨了真猛犸象在我国的生存时间、埋藏地层及其消亡的原因。Jin 和 Kawamura^[15]较为全面地梳理了我国东北地区 1996 年以前发表的真猛犸象和披毛犀化石的年代及埋藏地层记录,发现 21 kaBP 前后两种动物在东北地区广泛分布,各自灭绝于 12 kaBP 和 10 kaBP。近年来,有研究指出我国大型哺乳动物的消亡时间发生在更新世晚期,与欧亚大陆以及美洲地区的发生时间同步^[16]。由于相关的年代学研究工作较少,真猛犸象、披毛犀等动物在我国生存的时间、环境背景及消亡的过程仍然缺乏清晰的认识。

黑龙江青冈县出土有丰富的更新世晚期哺乳动物化石,代表性种类有真猛犸象、披毛犀、

图 1 中国真猛犸象和披毛犀化石 ^{14}C 测年地点Fig.1 The ^{14}C dating sites of woolly mammoth and rhinoceros fossils in China

1. 黑龙江青冈英贤村 Yingxiancun, Qinggang, Heilongjiang; 2. 黑龙江青冈红旗村 Hongqicun, Qinggang, Heilongjiang;
3. 黑龙江肇东 Zhaodong, Heilongjiang; 4. 黑龙江阎家岗 Yanjiagang, Heilongjiang; 5. 黑龙江肇源三站 Sanzhan, Zhaoyuan, Heilongjiang; 6. 吉林乾安大布苏 Dabusu, Qianan, Jilin; 7. 吉林榆树周家油坊 Zhoujiayoufang, Yushu, Jilin; 8. 黑龙江五常学田 Xuétian, Wuchang, Heilongjiang; 9. 黑龙江牡丹江 Mudanjiang, Heilongjiang; 10. 黑龙江穆棱市新兴村 Xinxingcun, Muling, Heilongjiang; 11. 黑龙江饶河小南山 Xiaonanshan, Raohe, Heilongjiang; 12. 吉林安图明月沟 Mingyuegou, Antu, Jilin; 13. 内蒙古扎赉诺尔 Zhalaينوer, Inner Mongolia; 14. 河北阳原虎头梁 Hutouliang, Yangyuan, Hebei; 15. 河北阳高许家窑 Xujiayao, Yanggao, Shanxi; 16. 内蒙古萨拉乌苏 Salawusu, Inner Mongolia; 17. 河南安阳小南海 Xiaonanhai, Anyang, Henan; 18. 山东济南 Jinan, Shandong

普氏野马 (*Equus przewalskii*)、王氏水牛 (*Bubalus wansjocki*)、东北野牛 (*Bison exiguus*)、普氏羚羊 (*Gazella przewalskyi*)、河套大角鹿 (*Megaloceros (Sinomegaceros) ordosianus*)、狼、最后斑鬣狗 (*Crocuta crocuta ultima*) 等^[17-18]。本文主要对青冈县英贤村 2015 年、2016 年出土的真猛犸象、披毛犀动物化石开展 ^{14}C 年代研究, 并通过收集、对比已发表的化石 ^{14}C 年代数据以及埋藏地层记录 (图 1), 分析了我国大型哺乳动物年代学及埋藏学的研究现状, 为认识东北亚地区更新世晚期大型哺乳动物的消亡过程与机制提供新的年代数据。

2 研究材料与方法

2.1 真猛犸象和披毛犀动物化石的 ^{14}C 年代测定

本项研究中青冈县英贤村化石点出土的真猛犸象和披毛犀化石 AMS ^{14}C (AMS-Accelerator Mass Spectrometry, 加速器质谱技术) 年代测定在牛津大学碳十四实验室和美国 Beta 实验室完成。另外, 本项研究开展过程中, 在牡丹江市穆棱市文物管理所收集到的、出土于穆棱市河西镇新兴村的真猛犸象板齿样品, 同样被送到美国 Beta 实验室进行测试。在实验室内, 骨骼或牙齿化石经盐酸-氢氧化钠-盐酸处理后, 提纯胶原蛋白用于 AMS ^{14}C 测年, 其中牛津大学碳十四实验室使用了超滤技术对提取的胶原蛋白进行过滤^[19-22]。使用

OxCal 4.3 软件 IntCal20 对测年结果进行了校正^[23]。本文校正年代用 BP cal 或 kaBP cal 表示, 未校正年代用 BP 或 kaBP 表示。

2.2 已发表 ^{14}C 数据的收集

为了与最新的测年结果进行对比, 本文收集了已经公开发表的中国境内真猛犸象和披毛犀化石直接 ^{14}C 测年的数据。自从我国在 1965 年建立 ^{14}C 实验室以来, 针对晚更新世动物群的化石, 开展了许多 ^{14}C 年代测定工作, 主要的测定方法为常规 ^{14}C 测年 (Conventional ^{14}C decay counting) 方法。测年材料大多采用的是从骨骼或牙齿材料中提取有机部分或胶原蛋白, 然后进行测试。一些地点的 ^{14}C 测年数据被多篇文献报道, 同一实验室编号的数据在不同文章报道的数值存在差异, 这可能是由于选取了不同的近似值所造成的。收集真猛犸象和披毛犀 ^{14}C 测年数据时, 采用了对测年材料类型、前处理方法以及数据校正有较为详细描述文献。一些文献同时报道了以 5568 a 和 5730 a 作为 ^{14}C 半衰期计算得出的两种测年结果, 均收集在本文中。根据国际惯例, 采用以 5568 年为 ^{14}C 半衰期计算的测年结果进行讨论, 并使用 OxCal 4.3 软件 IntCal20 曲线对测年结果进行了校正^[23]。

3 研究结果

3.1 真猛犸象化石的 ^{14}C 年代

本文对青冈县英贤村化石地点的 5 个真猛犸象样品进行了 AMS ^{14}C 测年, 测年结果均大于 4 万年。其中有两个化石 (OxA-37718, Beta-482698) 年代的测定结果分别为 >44800 BP 和 >43500 BP, 未能获得确定的年代。一个样品 (OxA-37719) 年代的测定结果为 48800 ± 3400 BP, 虽然利用 IntCal20 校正后得到年代中值为 51340 BP cal, 但已十分接近目前 ^{14}C 年代测定的上限, 校正结果有很大的不确定性。另外两个化石 (Beta-476497, Beta-482695) 获得较为确定的测年结果, 分别为 41560 ± 500 BP 和 41030 ± 460 BP, 校正后的年代为 43359-45241 BP cal 和 43131-44676 BP cal。黑龙江穆棱新兴村真猛犸象化石 (Beta-530980) 的测年结果为 > 43500 BP, 未能获得确定年代 (表 1)。

目前我国已公开发表的真猛犸象化石 (包括粪化石) 直接碳十四测年数据来自 12 个不同的地点 (表 1)。收集到的 27 个 ^{14}C 测年数据中, 有 17 个使用了 AMS 方法测定, 其余 10 个使用常规 ^{14}C 测年方法获得。其中最大年代来自吉林周家油坊, 测定结果为 51600 ± 1400 BP^[16]。最小年代来自黑龙江饶河小南山, 测定年代为 12910 ± 410 BP, 校正年代为 14055-16650 BP cal^[24]。

3.2 披毛犀化石的 ^{14}C 年代

目前已公开报道的我国境内披毛犀化石直接测定年代来自 13 个不同的地点。收集到的 22 个 ^{14}C 年代中, 有 16 个使用了 AMS 方法测年, 6 个使用常规测年方法。青冈县英贤村 5 个披毛犀化石样品的测定结果均大于 4 万年, 只有一个样品 (Beta-476496) 得到确定的年代结果为 43610 ± 630 BP, 校正后为 44882-47497 BP cal (表 2)。青冈县红旗村三个披毛犀化石样品年代有两个大于 4 万年, 另外一个样品测定年代为 16975 ± 75 BP, 校正年代为

表 1 真猛犸象化石 ^{14}C 测年数据Tab.1 The ^{14}C dating of woolly mammoth in China

化石地点 Fossil sites	编号 Lab ID	材料 materials	^{14}C 年代 Age (BP) /5730	^{14}C 年代 Age (BP) /5568	校正年代 Calibrated age (BP cal/ 2σ)	校正中值 Median age (BP cal)	文献 Ref
黑龙江青冈英贤村 Yingxiancun, Qinggang, Heilongjiang(Hei)	OxA-37718	头骨 Skull /AMS	-	>44800	-	-	本文
	OxA-37719	臼齿 Molar /AMS	-	48800±3400	47124- ? *	51340	本文
	Beta-476497	牙齿 Tooth /AMS	-	41560±500	43359-45241	44453	本文
	Beta-482695	骨头 Bone /AMS	-	41030±460	43131-44676	43997	本文
	Beta-482698	骨头 Bone /AMS	-	>43500	-	-	本文
	Beta-439349	骨头 Bone /AMS	-	>43500	-	-	[18]
黑龙江穆棱新兴村 Xinxingcun, Muling, Hei	Beta-530980	齿板 Tooth plate/AMS	-	>43500	-	-	本文
黑龙江饶河小南山 Xiaonanshan, Raohe, Hei	PV-179	骨头 Bone / 常规 Conventional method	13285±410	12910±410	14055-16650	15397	[24]
黑龙江五常学田 Xuetian, Wuchang, Hei	AECV-1405C	骨头 Bone /AMS	-	38800±3500	39423-52831*	44528	[25]
	AECV-1406C	骨头 Bone /AMS	-	40200±3500	41037-52859*	45638	[25]
	AECV-1407C	骨头 Bone /AMS	-	39600±3000	40473-52677*	44759	[25]
黑龙江牡丹江市 Mudanjiang, Hei	ZK-118-0	牙齿 Tooth/ 常规 Conventional method	21540±1000	20900±1000	23014-27345	25179	[26]
黑龙江肇源三站 Sanzhan, Zhaoyuan, Hei	ZK-425-0	骨头 Bone/ 常规 Conventional method	21200±600	20610±600	23369-26243	24823	[27]
	ETH-98609	掌骨 Metacarpal/AMS	-	38204±225	42145-42530	42339	[28]
黑龙江阎家岗 Yanjiagang, Hei	ETH-98608	肱骨 Humerus /AMS	-	41103±313	43311-44590	44123	[28]
	ETH-98610	骨头 Bone /AMS	-	> 41964	-	-	[28]
内蒙古扎赉诺尔 # Zhalainuoer, Inner Mongolia	PV-170	粪化石 Coprolites / 常规 Conventional method	33765±1700	32810±1700	34565-41638	37880	[24]
	PV-175	骨头 Bone/ 常规 Conventional method	26695±1300	25940±1300	27794-33671	30357	[24]
	Kia34350	骨头 Bone/AMS	-	43500+1000/-800	45400-48800	47100	[29]
	Beta313528	胃部残留 Stomach remains/AMS	-	>43500	-	-	[29]
吉林榆树大康家屯 Dakangjiatun, Yushu, Jilin	ZK-1193	门齿 Incisor/ 常规 Conventional method	-	38290±2000	39595-48100*	42849	[30]
吉林榆树周家油坊 Zhoujiayoufang, Yushu, Jilin	NU-138	肢骨 Limb / 常规 Conventional method	-	30810±1385	32246-39439	35571	[31]
	OxA-21001	臼齿 Molar /AMS	-	51600±1400	52063-? *	53479	[16]
	WB78-45	骨头 Bone/ 常规 Conventional method	29750±1220	28910±1220	31036-36230	33342	[32]
吉林安图明月沟 Mingyuegou, Antu, Jilin	WB78-41	肩胛骨 Scapula/ 常规 Conventional method	26560±550	25810±550	29106-31110	30098	[32]
	WB78-42	臼齿 Molar/ 常规 Conventional method	35370±1850	34370±1850	35572-42826	39353	[32]
山东济南 Jinan, Shandong	-	臼齿 Molar/AMS	-	33150±250	37019-38945	37825	[33]

注: * 表示测年样品已经接近或超出目前 ^{14}C 测年的上限, 其校正结果具有很大的不确定性。Indicates that the dating sample approach to or exceed the maximum age of ^{14}C dating, and the calibration results are uncertain. # 最近的研究将扎赉诺尔猛犸象化石 (如扎赉诺尔 III 和 ZLNE001 样本) 归为草原猛犸象 (*Mammuthus trogontherii*)^[34, 35]。The mammoth fossil samples (e.g. Zhalainuoer III and ZLNE001) from Zhalainuoer were identified as *Mammuthus trogontherii* in the latest studies^[34, 35]

表 2 披毛犀化石 ^{14}C 测年数据
Tab.2 The ^{14}C dating of woolly rhinoceros in China

化石出土地点 Fossil sites	测年材料及方法 Dating materials and methods	^{14}C 年代 Age (BP) /5730	^{14}C 年代 Age (BP) /5568	校正年代 Calibrated age (BP cal/2 σ)	校正中值 Median age (BP cal)	实验室编号 Lab ID	文献 Ref
黑龙江青冈英贤村 Yingxiancun, Qinggang, Heilongjiang (Hei)	骨头 Bone /AMS	-	>44700	-	-	OxA-37720	本文
	骨头 Bone /AMS	-	>46000	-	-	OxA-37721	本文
	牙齿 Tooth /AMS	-	43610 \pm 630	44882-47497	46018	Beta-476496	本文
	骨头 Bone /AMS	-	>43500	-	-	Beta-482696	本文
	骨头 Bone /AMS	-	>43500	-	-	Beta-482699	本文
黑龙江青冈红旗村 Hongqicun, Qinggang, Hei	骨头 Bone /AMS	-	16975 \pm 75	20322-20764	20507	AAR-11030	[12]
	骨头 Bone /AMS	-	41150 \pm 500	43139-44827	44097	OxA-20104	[12]
	骨头 Bone /AMS	-	>44000	-	-	AAR-11031	[12]
黑龙江青冈 Qinggang, Hei	骨头 Bone /AMS	-	35085 \pm 180	39763-40684	40238	-	[36]
黑龙江肇东太平乡 Taipingxiang, Zhaodong, Hei	骨头 Bone /AMS	-	39625 \pm 250	42605-43230	42899	-	[36]
黑龙江阎家岗 Yanjiagang, Hei	骨头 Bone /AMS	-	40441 \pm 579	42820-44476	43616	ETH-102509	[28]
	骨头 Bone /AMS	-	42241 \pm 721	43854-46346	44991	ETH-102511	[28]
	下颌骨 Mandible/AMS	-	42310 \pm 726	43949-46447	45024	ETH-102512	[28]
内蒙古萨拉乌苏 Salawusu, Inner Mongolia	骨头 Bone /AMS	-	37800 \pm 900	41012-43249	42165	AAR-11043	[12]
	骨头 Bone /AMS	-	42230 \pm 370	44399-45544	44899	-	[36]
吉林榆树大康家屯 Dakangjiatun, Yushu, Jilin	骨头 Bone / 常规 Conventional method	31800 \pm 910	30900 \pm 910	33604-37840	35445	WB78-46	[32]
内蒙古扎赉诺尔 Zhalainuoer, Inner Mongolia	骨头 Bone / 常规 Conventional method	27005 \pm 800	26240 \pm 800	28806-32181	30500	PV-220	[24]
吉林安图明月沟 Mingyuegou, Antu, Jilin	臼齿 Molar/ 常规 Conventional method	28720 \pm 750	27910 \pm 750	30939-34143	32248	WB78-43	[32]
吉林乾安大布苏 Dabusu, Qianan, Jilin	骨头 Bone / 常规 Conventional method	-	20530 \pm 465	23784-25804	24731	-	[37]
河北阳原虎头梁 Hutouliang, Yangyuan, Hebei	骨头 Bone / 常规 Conventional method	11000 \pm 210	10690 \pm 210	11972-13085	12614	PV-0156	[32]
河南安阳小南海 Xiaonanhai, Anyang, Henan	骨头 Bone / 常规 Conventional method	13075 \pm 220	12710 \pm 220	14203-15757	15091	ZK-0170	[32]
山西阳高许家窑 Xujiayao, Yanggao, Shanxi	骨头 Bone / 常规 Conventional method	16920 \pm 2000	16450 \pm 2000	15628-26946	20551	ZK-0670	[38]

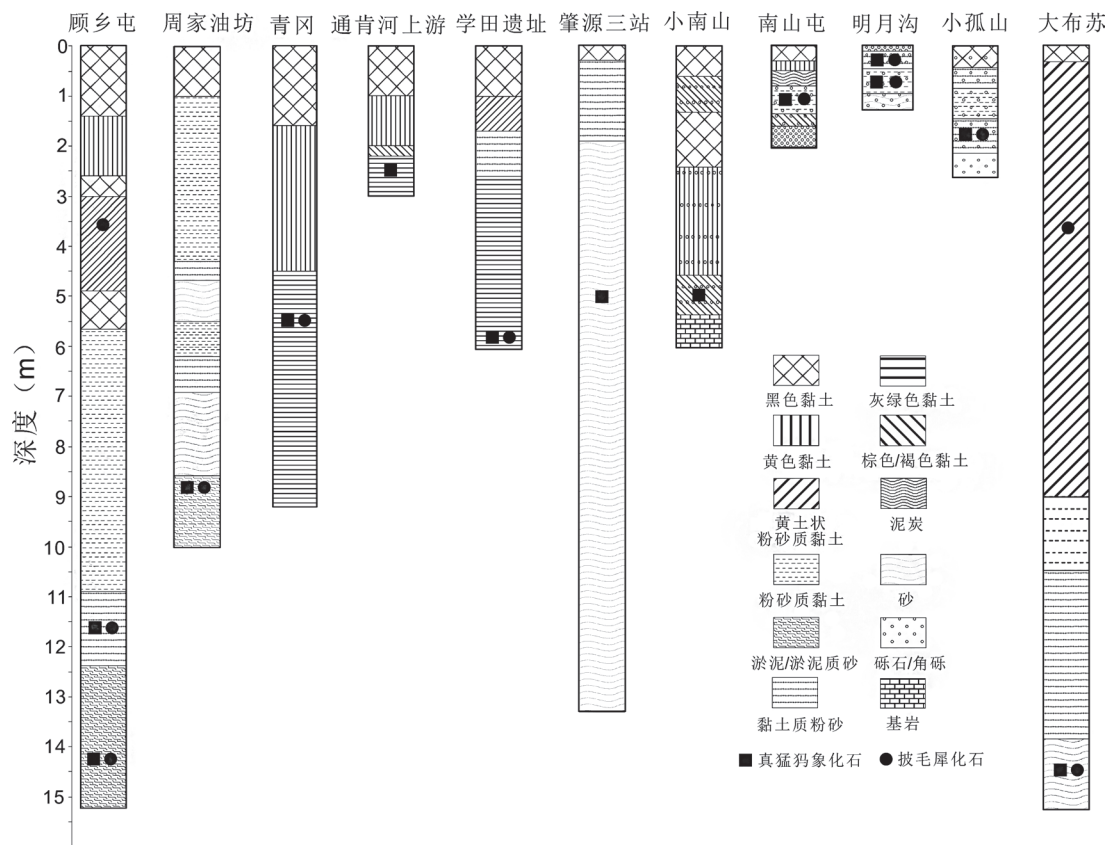


图 2 部分真猛犸象和披毛犀化石的埋藏地层 (据文献^[14,39]修改)

Fig.2 The buried strata of some woolly mammoth and reindeer fossils in China (after references^[14,39])

20332-20764 BP cal^[7,12], 处于末次盛冰期时段。最小年代化石出土于河北泥河湾虎头梁, 测年结果为 10690±210 BP, 校正年代为 11972-13085 BP cal, 与末次冰消期相对应。

3.3 真猛犸象和披毛犀化石的埋藏地层

在哈尔滨顾乡屯, 真猛犸象化石主要埋藏在淤泥质砂以及亚砂土中, 而披毛犀化石在淤泥质砂、亚砂土以及黄土状亚黏土、黄土中均有保存 (图 2)。哈尔滨荒山真猛犸象和披毛犀化石均出土于黑色淤泥中。吉林周家油坊淤泥及黄土沉积中都出土有披毛犀化石, 但年代证据显示黄土中的披毛犀化石是次生搬运而来; 乾安大布苏河湖相砂中出土真猛犸象、披毛犀等化石, 群力组黄土状粉砂质黏土中仅见披毛犀化石^[39]。吉林安图明月沟洞穴遗址真猛犸象和披毛犀化石主要出土于灰黄色亚黏土中^[40]。辽宁小孤山洞穴遗址动物化石主要埋藏于角砾、砾石夹黄褐色黏土质粉砂层, 该地层的光释光年代测定结果为 60-30 kaBP^[41,42]。

目前出土的化石证据显示, 披毛犀化石除了出现在顾乡屯组的泥质沉积中, 还出现于群力组黄土沉积中, 而真猛犸象化石只出现于顾乡屯组之中。青冈真猛犸象和披毛犀化石的出土地层为灰绿色黏土, 与之前发表的通肯河上游出土的真猛犸象化石层位一致^[43]。

4 讨 论

4.1 真猛犸象和披毛犀在中国的生存年代

真猛犸象又称长毛猛犸象,起源于距今约 70 万年的西伯利亚地区,并在距今 40 万年前后完成演化,之后扩散到整个欧亚大陆北部以及北美洲^[44-46]。在 50-12 kaBP 真猛犸象存在于整个亚洲北部,即从北极到西伯利亚南部再到中国的东北地区,大部分真猛犸象在距今 1 万年前后在欧亚大陆上消失,部分侏儒化种类在北极 Wrangel 岛存活到距今 4000 年前后^[5,6]。西伯利亚东部出土的真猛犸象化石 ^{14}C 年代大多集中于 28.6-22.5 kaBP cal,正处于末次盛冰期 (Last Glacial Maximum, LGM) 时段^[8]。年代学记录揭示在 LGM 阶段以后真猛犸象在日本列岛消亡或是向北迁徙^[47]。

我国真猛犸象化石出土点多达一百多处^[14,48],但目前报道有直接 ^{14}C 年代测定的化石地点仅有 12 处。根据目前已有的 ^{14}C 测年结果,真猛犸象至少在距今 5 万年前就已经在我国东北地区出现,且大部分测年结果集中于深海氧同位素 3 阶段 (Marine Isotope Stage 3, MIS 3) 和 LGM 阶段,其中 Heinrich 等气候冷事件,可能促进了真猛犸象在我国扩散^[49] (图 3)。这些 ^{14}C 年代测定结果有一个明显的特征是,真猛犸象化石的 AMS 测年结果校正后的中间值均大于 36 kaBP cal,而常规测年方法获得的年代校正后中值大多小于 36 kaBP cal (图 3)。

同一化石地点,AMS ^{14}C 测年和常规 ^{14}C 测年获得结果存在差异。如吉林榆树周家油坊真猛犸象化石最新 ^{14}C 结果为 51600 ± 1400 BP,而之前年代数据最大测定值为 30810 ± 1385 BP^[16,31]。同样的现象也出现在内蒙古的扎赉诺尔化石点^[24,42]。虽然这两个遗址前后两次测定的并非同一个样品,但近年来随着测年精度的提高、校正曲线的延伸以及前处理技术的改进,为我们重新认识这些更新世晚期哺乳动物群的年代提供了机遇^[51]。早期一些利用常规 ^{14}C 测年方法获得的化石年代需要重新厘定。

披毛犀起源于上新世中期的青藏高原,经不断的迁徙与演化于中更新世在西伯利亚出现,到晚更新世广泛分布于欧亚大陆北部^[6,7,52]。研究表明,披毛犀与真猛犸象最后灭绝的地点并不一致,披毛犀灭绝于欧亚边界区域,真猛犸象灭绝于北极地区;在灭绝的时间上,披毛犀大概在距今 13.9 kaBP cal 前后消失,而真猛犸象在 Wrangel 岛上生存到距今 4000 年左右^[7]。安阳小南海和泥河湾虎头梁化石测年揭示披毛犀在我国生存的年代可以达到末次冰消期。从埋藏地层上看,在东北地区顾乡屯组上部的原生黄土堆积中仍然可以发现披毛犀化石,但很难找到真猛犸象化石,这说明披毛犀在我国东北地区特别是松嫩平原消亡的时间很可能晚于真猛犸象。相对于真猛犸象而言,披毛犀的年代学研究仍然缺乏,仍需更多的年代测定结果以探索披毛犀的消亡年代及原因^[7]。

猛犸象-披毛犀动物群在我国境内灭绝的种类主要有真猛犸象、披毛犀、野牛、王氏水牛、河套大角鹿、最后斑鬣狗等,对这些灭绝的种类开展系统的年代学和地层学研究,有助于我们认识更新世晚期生态环境变化规律与特征,以及了解古人类如何适应这些变化。《中国新生代生物地层学》^[53]一书中写到东北的标本大多数无确实地点,层位也不清楚。由于缺乏系统的年代学以及埋藏地层研究,阻碍了我们对北半球更新世晚期生态系统中这一重要动物群演化及其与环境关系的认识。

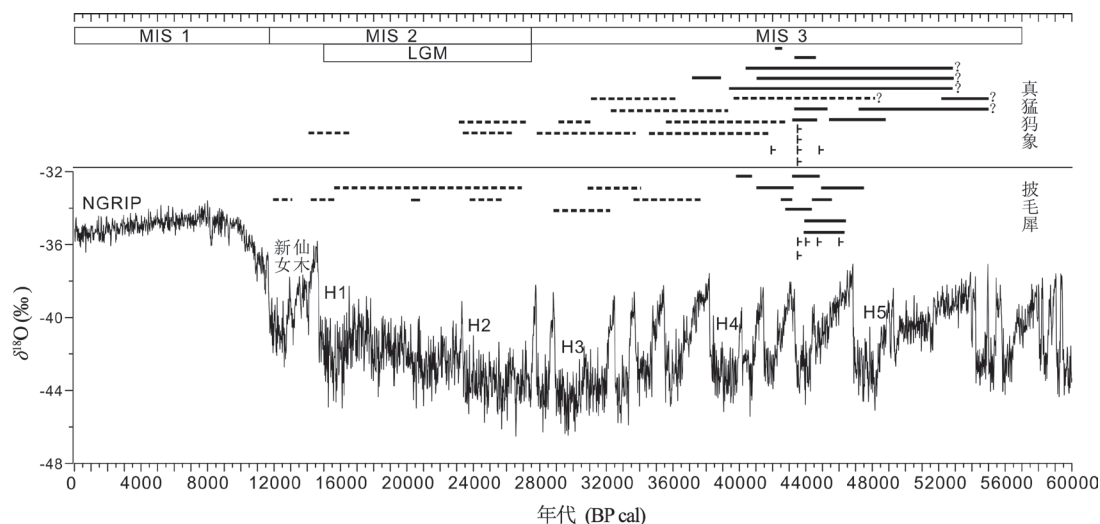


图3 中国真猛犸象和披毛犀化石 ^{14}C 测年结果与格林兰冰芯 (NGRIP) 氧同位素曲线^[50]

Fig.3 The ^{14}C dating of woolly mammoth and reindeer in China, and the $\delta^{18}\text{O}$ records from Greenland ice core (NGRIP)^[50]

注: 实线表示 AMS ^{14}C 测年方法结果, 虚线代表常规 ^{14}C 测年方法, “+”表示测定年代大于该年代, “?”号表示校正结果存在不确定性; H1-H5 表示 Heinrich 冷事件。The solid line represents the AMS ^{14}C dating results, and the dashed line represents the conventional ^{14}C dating results. “+” indicates that the dating is older than this age, and “?” marks the uncertainty dating result. H1-H5 represent Heinrich cold events.

4.2 MIS3 和 LGM 阶段真猛犸象和披毛犀在欧亚大陆的分布

本文测定的真猛犸象和披毛犀化石 ^{14}C 校正年代集中于 50-15 kaBP cal, 对应 MIS 3 阶段 (MIS 3, 59-28 kaBP cal) 和末次盛冰期 (LGM, 28-15 kaBP cal)。因此, 本文收集已经公开发表的真猛犸象和披毛犀化石直接 ^{14}C 数据, 着重考察 MIS 3 阶段和 LGM 时期真猛犸象和披毛犀在欧亚大陆的分布范围。在 MIS 3 和 LGM 阶段, 真猛犸象和披毛犀主要分布在欧洲东部和南部、西伯利亚北部、南部和东部。MIS 3 阶段我国东北地区是真猛犸象、披毛犀等动物群活动的主要地区之一 (图 4; 图 5)。

距今 4 万年之前, 真猛犸象主要分布于西伯利亚的南部和北部, 以及我国东北和日本北海道地区 (图 4)。MIS 3 时段晚期 (40-28 kaBP cal), 在欧洲东部和西部猛犸象的数量有所增加; 而在西伯利亚东部, 猛犸象数量最高值出现在 LGM 阶段 (28.6-22.5 kaBP cal)^[8]。LGM 时期, 真猛犸象有从欧亚大陆的两端向南部扩散的现象出现, 如日本列岛以及伊比利亚半岛均发现有猛犸象化石, 但是在 LGM 阶段之后真猛犸象于日本列岛消失^[47]。不同区域真猛犸象灭绝的时间与机制可能不同, 我国东北地区猛犸象消亡的时间和机制研究还需要更多的年代学与地层学证据。

距今 4 万年之前, 披毛犀主要分布在欧洲东部和西部、西伯利亚东部和南部。而在距今 40-28 kaBP cal, 披毛犀在西伯利亚南部以及欧洲东部的分布范围减小。LGM 时期, 披毛犀在欧洲东部分布范围进一步减小, 而在我国向南扩展到 40°N 以南 (图 5)。披毛犀起源于青藏高原地区^[52], 然而在更新世晚期其生存空间有没有可能扩散到青藏高原, 这个课题仍需要更多的研究。

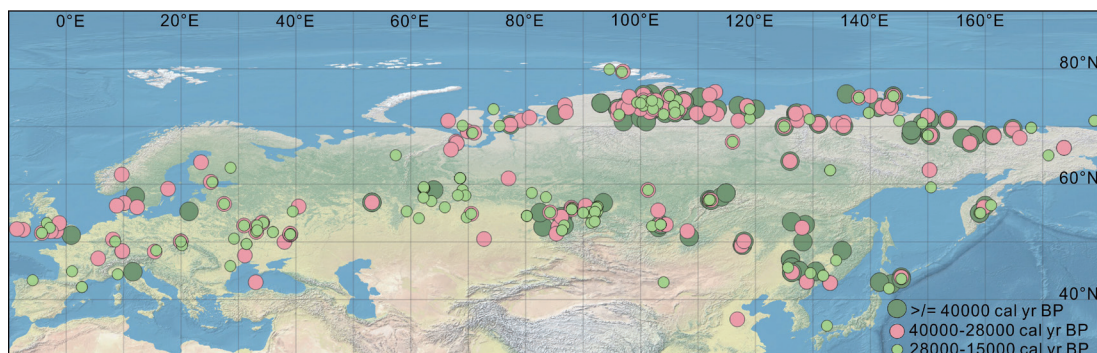


图 4 MIS 3 和 LGM 阶段真猛犸象在欧亚大陆的分布 (数据来源^[5,7,12], 本文)

Fig.4 The distribution of woolly mammoth during MIS 3 and LGM in Eurasia (Data sources^[5,7,12], this study)

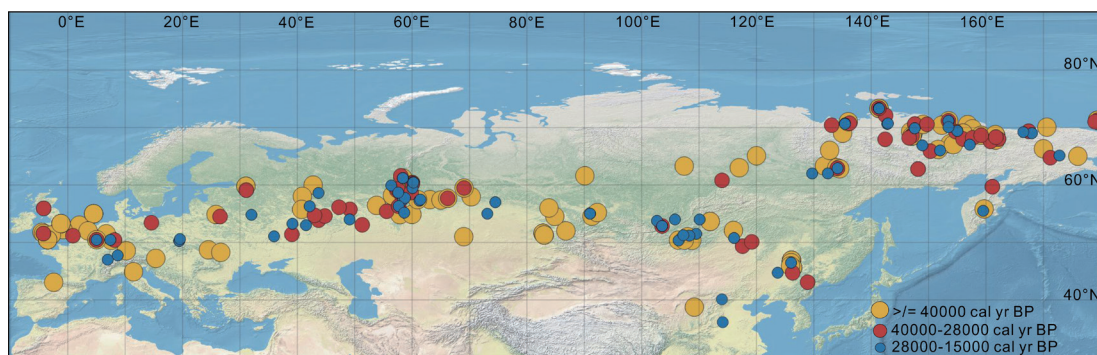


图 5 MIS 3 和 LGM 阶段披毛犀在欧亚大陆的分布 (数据来源^[5,7,12], 本文)

Fig.5 The distribution of woolly rhinoceros during MIS 3 and LGM in Eurasia (Data sources^[5,7,12], this study)

5 结 论

黑龙江青冈县英贤村出土的真猛犸象和披毛犀化石¹⁴C年代均大于4万年,有些化石年代可能已经超出目前¹⁴C年代的测定范围。已有¹⁴C测年数据显示真猛犸象至少在距今5万年前就开始在我国东北地区出现。披毛犀在中国生存的时段可能延续到末次冰消期,然而其在我国扩散的南界以及年代仍然需要深入研究。受年代数据的限制,目前仍然难以清楚认识更新世晚期猛犸象-披毛犀动物群在我国消亡的时空过程以及机制。鉴于近年来骨骼、牙齿化石前处理技术和AMS¹⁴C测年精度的提高,以及校正年表的延伸,我国境内早期利用常规¹⁴C测年方法获得的一些化石年代数据需要重新进行测定,而中国真猛犸象和披毛犀化石¹⁴C年代的研究也会随之有新的进展。

致谢: Adrian M. Lister 教授和 Katerina Douka 博士在本文撰写过程中提出建设性意见, 黑龙江省国土资源厅地质环境处, 青冈县国土资源局以及穆棱市文化广电和旅游局对本项研究工作给予了大力支持, 在此表示感谢。

参考文献

- [1] Stuart AJ. Late quaternary megafaunal extinctions on the continents: a short review[J]. *Geological Journal*, 2015, 50: 338-363
- [2] Barnosky AD, Koch PL, Robert SF, et al. Assessing the Causes of Late Pleistocene Extinctions on the Continents[J]. *Science*, 2004, 306(5693): 70-75
- [3] Cooper A, Turney C, Hughen KA, et al. Abrupt warming events drove Late Pleistocene Holarctic megafaunal turnover[J]. *Nature*, 2015, 349(6248): 602-606
- [4] Kosintsev P, Mitchell KJ, Deviese T, et al. Evolution and extinction of the giant rhinoceros *Elasmotherium sibiricum* sheds light on late Quaternary megafaunal extinctions[J]. *Nature Ecology & Evolution*, 2019, 3: 31-38
- [5] Kuzmin YV, Orlova LA. Radiocarbon chronology and environment of woolly mammoth (*Mammuthus primigenius* Blum.) in northern Asia: results and perspectives[J]. *Earth-Science Reviews*, 2004, 68(1-2): 133-169
- [6] Kuzmin YV. Extinction of the woolly mammoth (*Mammuthus primigenius*) and woolly rhinoceros (*Coelodonta antiquitatis*) in Eurasia: Review of chronological and environmental issues[J]. *Boreas*, 2009, 39(2): 247-261
- [7] Stuart AJ, Lister AM. Extinction chronology of the woolly rhinoceros *Coelodonta antiquitatis* in the context of late Quaternary megafaunal extinctions in northern Eurasia[J]. *Quaternary Science Reviews*, 2012, 51: 1-17
- [8] Puzachenko AY, Markova AK, Kosintsev PA, et al. The Eurasian mammoth distribution during the second half of the Late Pleistocene and the Holocene: Regional aspects[J]. *Quaternary International*, 2017, 445: 71-88
- [9] Lima-Ribeiro MS, Diniz-Filho JAF. American megafaunal extinctions and human arrival: Improved evaluation using a meta-analytical approach[J]. *Quaternary International*, 2013, 299: 38-52
- [10] Lima-Ribeiro MS, Diniz-Filho JAF. Insistence on narrative reviews or preference for overkill hypothesis? Re-analyses show no evidence against Lima-Ribeiro and Diniz-Filho's conclusions[J]. *Quaternary International*, 2013, 308-309: 278-281
- [11] Johnson CN, Bradshaw CJ, Cooper A, et al. Rapid megafaunal extinction following human arrival throughout the New World[J]. *Quaternary International*, 2013, (308-309): 273-277
- [12] Lorenzen ED, Nogues-Bravo D, Orlando L, et al. Species-specific responses of Late Quaternary megafauna to climate and humans[J]. *Nature*, 2011, 479: 359-364
- [13] 周本雄. 披毛犀和猛犸象的地理分布、古生态与有关的古气候问题 [J]. *古脊椎动物与古人类*, 1978, 16: 46-59
- [14] 刘东生, 黎兴国. 猛犸象在中国生存的时间及其分布上的意义 [A]. 见: 第一次全国 ^{14}C 学术会议文集 [C]. 北京: 科学出版社, 1984
- [15] Jin CZ, Kawamura Y. Late Pleistocene mammal fauna in Northeast China: Mammal fauna including woolly mammoth and woolly rhinoceros in association with Paleolithic tools[J]. *Earth Science (Chikyū Kagaku)*, 1996, 50: 315-330
- [16] Turvey ST, Tong HW, Stuart AJ, et al. Holocene survival of Late Pleistocene megafauna in China: a critical review of the evidence[J]. *Quaternary Science Reviews*, 2013, 76: 156-166
- [17] 蔡保全, 尹继才. 黑龙江青冈晚更新世哺乳动物化石 [J]. *地球学报*, 1992, 1: 131-138
- [18] 姜海涛, 赵克良, 王元, 等. 黑龙江青冈地区晚更新世猛犸象 - 披毛犀动物群生存的环境背景 [J]. *人类学学报*, 2019, 38(1): 148-156
- [19] Longin R. New method of collagen extraction for radiocarbon dating[J]. *Nature*, 1971, 230(5291): 241-242
- [20] Brown TA, Nelson DE, Vogel JS, et al. Improved collagen extraction by modified Longin method[J]. *Radiocarbon*, 1988, 30(2): 171-177
- [21] Bronk RC, Higham T, Leach P. Towards high-precision AMS: progress and limitations[J]. *Radiocarbon*, 2004, 46(1): 17-24
- [22] Brock F, Higham T, Ditchfield P, et al. Current Pretreatment Methods for AMS Radiocarbon Dating at the Oxford Radiocarbon Accelerator Unit (ORAU)[J]. *Radiocarbon*, 2010, 52(1): 103-112
- [23] Reimer PJ, Austin WEN, Bard E, et al. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0-55 kcal BP)[J]. *Radiocarbon*, 2020, 62(4): 725-757
- [24] 黎兴国, 刘光联, 许国英, 等. ^{14}C 年代测定报告 (PV)II[A]. 见: 中国第四纪研究委员会碳十四年代组 (编). 第四纪冰川与第四纪地质论文集 (第四集) [C]. 北京: 地质出版社, 1987: 16-38
- [25] Ives JW, Yang ZJ, Beaudion AB, et al. Human presence in Heilongjiang, China, along the late Pleistocene periphery of Beringia[J]. *Current Research in the Pleistocene*, 1994, 11: 156-158
- [26] 中国社会科学院考古研究所实验室. 放射性碳素测定年代报告 (五) [J]. *考古*, 1978, (4): 280-287

- [27] 中国社会科学院考古研究所实验室. 放射性碳素测定年代报告 (六) [J]. 考古, 1979, (1): 89-94
- [28] Ma J, Wang Y, Baryshnikov G, et al. The *Mammuthus-Coelodonta* Faunal Complex at its southeastern limit: A biogeochemical paleoecology investigation in Northeast Asia[J]. Quaternary International, 2020, 23
- [29] Zhang H, Chang FQ, Li HY, et al. OSL and AMS¹⁴C age of the most complete Mammoth fossil skeleton from northeastern China and its paleoclimate significance[J]. Radiocarbon, 2018, 61(1): 1-12
- [30] 仇士华, 蔡莲珍, 洗自强, 等. 14C 测定年代报告 (ZK) I[A]. 见: 中国第四纪研究委员会碳十四年代学组 (编). 第四纪冰川与第四纪地质论文集 (第四集) [C]. 北京: 地质出版社, 1987: 2-12
- [31] 刘祥, 程新民, 隋维国. 榆树县周家油坊旧石器新资料 [J]. 吉林大学学报, 1988, 2: 167-170
- [32] 中国社会科学院考古研究所 (编). 中国考古学中碳十四年代数据集 (1965-1991) [C]. 北京: 文物出版社, 1992, 21-181
- [33] Takahashi K, Wei GB, Uno H, et al. AMS ¹⁴C chronology of the world's southernmost woolly mammoth (*Mammuthus primigenius* Blum.)[J]. Quaternary Science Reviews, 2007, 26(7-8): 954-957
- [34] Larramendi A. Skeleton of a Late Pleistocene steppe mammoth (*Mammuthus trogontherii*) from Zhalaingol, Inner Mongolian Autonomous Region, China[J]. Paläontologische Zeitschrift, 2015, 89: 229-250
- [35] 魏光飏, 胡松梅, 余克服, 等. 草原猛犸象 (*Mammuthus trogontherii*) 新材料及猛犸象的起源与演化模式探讨 [J]. 中国科学: 地球科学, 2010, 40: 715-723
- [36] 袁俊霞. 我国东北及萨拉乌苏地区晚更新世披毛犀的演化及迁移 [D]. 武汉: 中国地质大学, 2013, 77
- [37] 汤卓炜, 刘赛红, 林泽蓉, 等. 吉林乾安大布苏晚更新世动物群 [J]. 古脊椎动物学报, 2003, 2: 137-146
- [38] 中国社会科学院考古研究所实验室. 放射性碳素测定年代报告 (八) [J]. 考古, 1981, 4: 363-369
- [39] 孙建中, 王雨灼. 东北大理冰期的地层 [J]. 地层学杂志, 1983, 7: 1-11
- [40] 姜鹏. 吉林安图晚更新世洞穴堆积 [J]. 古脊椎动物动物学报, 1975, 13(3): 197-198
- [41] 张镇洪, 傅仁义, 陈宝峰, 等. 辽宁海城小孤山遗址发掘简报 [J]. 人类学学报, 1985, 4(1): 70-79
- [42] Zhang JF, Huang WW, Yuan BY, et al. Optically stimulated luminescence dating of cave deposits at the Xiaogushan prehistoric site, northeastern China[J]. Journal of Human Evolution, 2010, 59: 514-524
- [43] 魏正一. 黑龙江通肯河上游猛犸象地点调查 [J]. 古脊椎动物与古人类, 1963, 7(3): 287
- [44] Lister AM, Sher A. The Origin and Evolution of the Woolly Mammoth[J]. Science, 2001, 294(5544):1094-1097
- [45] Lister AM, Andrei VS, Hans E, et al. The pattern and process of mammoth evolution in Eurasia[J]. Quaternary International, 2005, 126-128: 49-64
- [46] Kahlke R. The origin of Eurasian Mammoth Faunas (*Mammuthus-Coelodonta* Faunal Complex)[J]. Quaternary Science Reviews, 2014, 96: 32-49
- [47] Iwase A, Jun H, Masami I, et al. Timing of megafaunal extinction in the late Late Pleistocene on the Japanese Archipelago[J]. Quaternary International, 2012, 255: 114-24
- [48] Tong HW, Patou M. Mammoth and other proboscideans in China during the Late Pleistocene[J]. Deinsea, 2003, 9: 421-428
- [49] 金昌柱, 徐钦琦, 郑家坚. 中国晚更新世猛犸象 (*Mammuthus*) 扩散事件的探讨 [J]. 古脊椎动物学报, 1998, 1: 47-53
- [50] Svensson A, Andersen KK, Bigler M, et al. A 60000 year Greenland stratigraphic ice core chronology[J]. Climate of the Past, 2008, 4(1): 47-57
- [51] Douka K, Tom H. The Chronological Factor in Understanding the Middle and Upper Paleolithic of Eurasia[J]. Current Anthropology, 2017, 58: 480-90
- [52] Deng T, Wang X, Fortelius M, et al. Out of Tibet: Pliocene woolly rhino suggests high plateau origin of ice age megaherbivores[J]. Science, 2011, 333(6047): 1285-1288
- [53] 袁复礼, 杜恒俭. 中国新生代生物地层学 [M]. 北京: 地质出版社, 1984, 221