

蒙山国家地质公园拦马墙砾石堆积体暴露测年研究

张志刚^{1,2,3,4,5)}, 梅静^{1,2,3,4)}, 张梦媛^{1,2,3,4)}, 王立志⁶⁾

- 1) 南京师范大学地理科学学院, 南京, 210023;
- 2) 虚拟地理环境教育部重点实验室(南京师范大学), 南京, 210023;
- 3) 江苏省地理环境演化国家重点实验室培育建设点, 南京 210023;
- 4) 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心, 南京, 210023;
- 5) 中国科学院西北生态环境资源研究院冰冻圈国家重点实验室, 兰州, 730000;
- 6) 山东省水土保持与环境保育重点实验室, 临沂大学资源环境学院, 山东临沂, 276000

内容提要: 山东蒙山国家地质公园佛塔谷堆积了大量的巨砾,其形成原因存在着很大的争论。探讨蒙山佛塔谷砾石堆积体的形成年代有助于了解蒙山环境演化和气候变化。关于佛塔谷砾石的微地貌已有相关作者探讨,本文在前人研究的基础上从拦马墙砾石堆积体的宇生核素¹⁰Be暴露年代以及全新世以来的气候环境和人类文化等方面进行探讨。研究结果表明:① 拦马墙砾石宇生核素¹⁰Be暴露年代结果为5.0~6.0 ka BP左右,不支持先前发表的“8.2 ka BP 拦马冰期”的结论;② 全新世以来山东蒙山区域处于一个暖湿的环境下,尽管有几次降温事件,但是不足以提供形成冰川的条件。

关键词: 蒙山, 蒙山国家地质公园; 拦马墙; 宇生核素¹⁰Be暴露测年; 砾石堆积体

地貌是大气圈、水圈、岩石圈、生物圈共同作用下的产物,是自然环境最基本的组成要素,与气候、植被、土壤、水文等其它自然环境要素有着密切的联系,也是人类生活、生产、生存的载体(李炳元等, 2013;程维明等, 2017)。尽管不同的地貌类型(黄土地貌、河流地貌、风沙地貌、冰川地貌、冰缘地貌、喀斯特地貌、海岸地貌)有着独特的特征,但是由于地貌具有复杂多变的特性,同一种地貌现象的成因可能产生不同的认识。以冰川地貌为例,最早引起中国学者强烈争论的“庐山地貌”就有着冰川成因和泥石流成因的观点(Lee, 1933;施雅风, 2010, 2011),近来由王照波先生提出的山东蒙山存在第四纪冰川遗迹(末次冰盛期和全新世)引发了新一轮的争论(王照波等, 2017a, b;章雨旭, 2017;王乃昂等, 2017)。这些争论主要集中在蒙山南坡佛塔谷内拦马墙和鳄鱼口砾石堆积体和兰溪峡谷壁上的“擦痕”、“颤痕”等微地貌的形成原因是“冰川成因”还是“非冰川成因”。笔者等亦曾在王照波先生

的带领下2次考察了蒙山佛塔谷的砾石堆积体,也曾讨论了崩塌的可能性,并做了相关的宇生核素年代工作。

由于这些微地貌不具备特殊地貌成因的专属标识,有必要跳出微地貌多成因的争论,因此,本文尝试从区域气候背景探讨所谓的“冰川成因”是否合理并利用宇生核素¹⁰Be暴露测年技术测定拦马墙砾石堆积体的宇生核素暴露年代。

1 研究区的地质地貌情况

蒙山位于山东省的东南部位,呈北西西走向,绵延75 km,宽15 km,跨平邑、蒙阴、费县、沂南等县境,面积约1125 km²,主峰龟蒙顶海拔1156 m,是山东省第二高峰(曹光杰等, 2017,王照波等, 2017b)。蒙山在构造上属于鲁西台背斜,是华北地台上典型的古老沉积建造,自800 Ma起,经历了多次的海陆变迁和构造运动,形成了现在独特的地质和地貌景观(张成基和王世进, 1996;侯贵廷等, 2004)。

注:本文为国家自然科学基金资助项目(编号:41503054);中国博士后科学基金面上资助项目(编号:2015M582728);江苏省高校优势学科建设工程资助项目(编号:164320H116);山东省水土保持与环境保育重点实验室开放基金项目(编号:STKF201601)和山东省自然科学基金联合专项(编号:ZR2018LD004)的成果。

收稿日期:2018-05-30;改回日期:2018-08-17;责任编辑:章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2018.05.013

作者简介:张志刚,男,1984年生。博士、副教授。主要从事冰川地貌宇生核素年代学研究。Email: zhangzhigang840620@126.com。通讯作者:王立志,男,1980年生。教授。主要从事自然地理学研究。Email: wanglizhi@lyu.edu.cn。

蒙山地区断裂构造非常发育(图1),东部是沂沭河断裂带(郯庐断裂带山东段,新构造运动显著,是华北地区的强震活动带之一),蒙山凸起的南北两侧分别是北西—南东向的蒙山断裂、新泰—垛庄断裂,彭家岚子断裂近南北向贯穿蒙山。其中,蒙山断裂是本区的主干构造,西起方城,经公家庄、杨庄、通太庄、崖头,向东与沂沭断裂带交会,全长 120 km,北侧为太古宙片麻岩,南侧为中—新生代地层,控制着平邑—方城盆地发育。该断裂在第四纪时期活动明显,是鲁中地区 1 条显著的活动断层,也是该区地震活动需要重点评估的断裂(曹光杰等 2017;

晁洪太等,1992,1998;王鑫等,2015)。

蒙山地区地貌主要以侵蚀地貌和风化剥蚀地貌为主,岩体中发育的节理和规模不等的断层,把岩体切割成形态各异、大小不等的岩块,在长期的风化、侵蚀作用下形成了典型的花岗岩地貌景观,区内主要的地质灾害遗迹包括崩塌地质灾害遗迹和泥石流地质灾害遗迹等(储浩和武法东,2017;曹光杰等,2017)。蒙山南坡佛塔谷分布着许多巨砾,呈垄状堆积,其中以拦马墙和鳄鱼口最为典型(图2)(王照波等,2017a,b)。

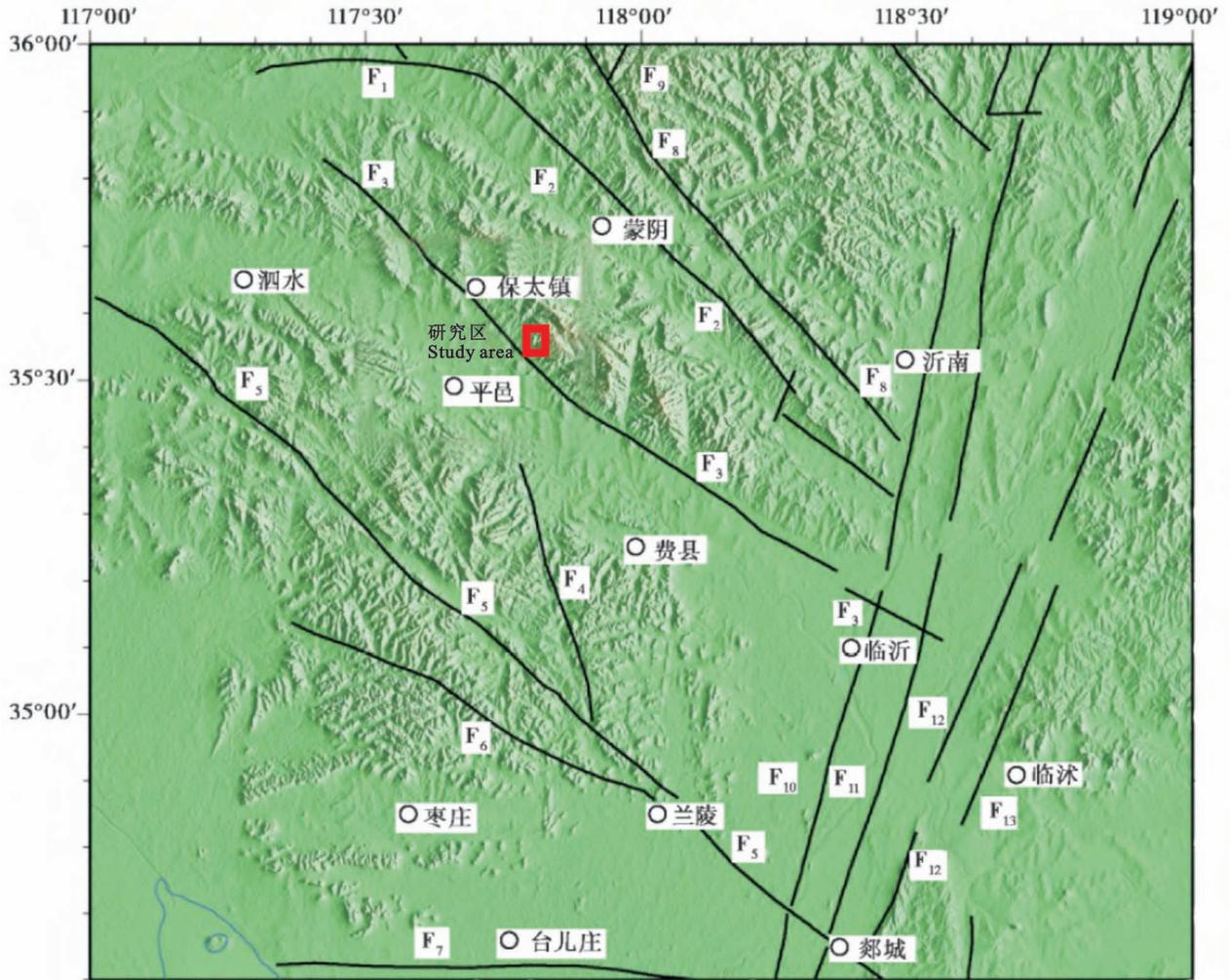


图 1 蒙山地区断裂构造分布[据邓起东(2007)、万永革等(2017) 修改]

Fig. 1 Distribution of Fault in Mengshan area [Modify after Dengqidong (2007) and Wan Yongge et al. (2017)]

- F₁—莲花山断裂; F₂—新泰—蒙阴断裂; F₃—蒙山山前断裂; F₄—铜石—甘霖断裂; F₅—苍尼断裂; F₆—嵬山—龙宝山断裂; F₇—枣庄断裂; F₈—铜冶店—孙祖断裂; F₉—上五井断裂; F₁₀—葛沟断裂; F₁₁—沂水—汤头断裂; F₁₂—安丘—莒县断裂; F₁₃—昌邑—大店断裂
- F₁—Lianhuashan fault; F₂—Xintai—Mengyin fault; F₃—Mengshan frontal fault; F₄—Tongshi—Ganlin fault; F₅—Cangni fault; F₆—Fushan—Longbaoshan fault; F₇—Zhaozhuang fault; F₈—Tongyedian—Sunzu fault; F₉—Shangwujin fault; F₁₀—Gegou fault; F₁₁—Yishui—Tangtou fault; F₁₂—Anqiu—Juxian fault; F₁₃—Cangyi—Dadian fault

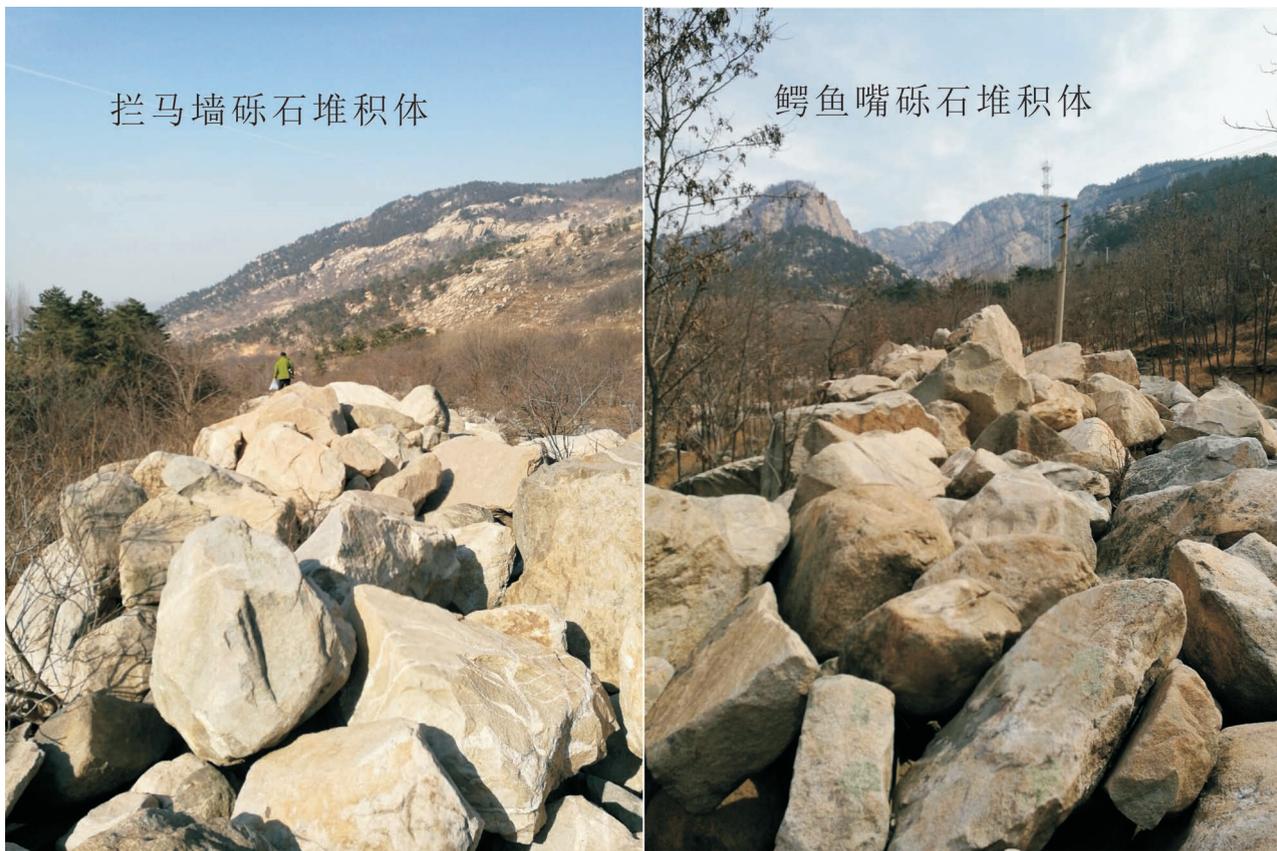


图 2 蒙山巨砾堆积地貌

Fig. 2 Boulders landform in Mengshan Mountain, Shandong

2 材料与方法

2.1 样品采集

蒙山佛塔谷分布了大量的花岗岩巨砾(其中绝

大多数砾石直径超过 1m),样品采自拦马墙砾石堆积体(图 3),选择区域内较大的砾石,在砾石顶部采集 2 cm 左右深度的样品。其中 LMQ-1 长、宽、高分别为 3.6 m、2.1 m、2.6 m,LMQ-2 长、宽、高分别为

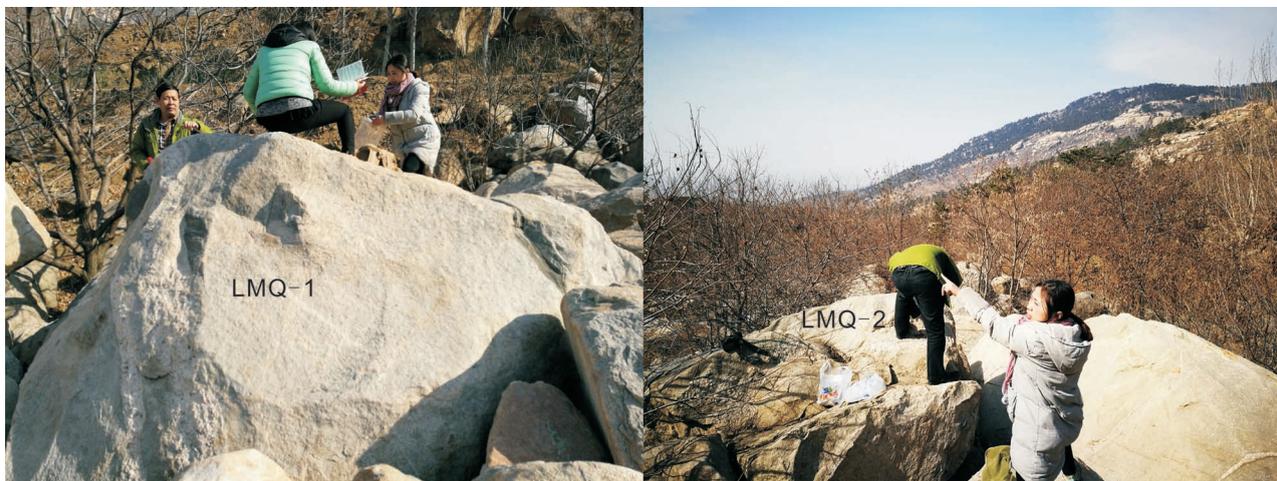


图 3 蒙山佛塔谷拦马墙宇生核素 ¹⁰Be 暴露测年样品采集

Fig. 3 Sampling for ¹⁰Be exposure dating from Lanmaqiang, Fota valley, southern slope of Mengshan Mountain

2.6 m、2.1 m、2.7 m,具体采样情况见表1。

2.2 宇生核素暴露测年

本文所采用的方法为宇生核素暴露测年技术,该技术被广泛应用到冰川地貌和其它地貌的年代学研究中,其测年原理已有许多文献介绍(Lal, 1991; Gosse and Phillips, 2001; Balco, 2011; Zhang Zhigang, 2014, 2015),本文不再详细介绍。将采集到的岩石样品粉碎,筛选出0.5~0.9mm粒径的颗粒。经过人工挑选与化学分离和纯化,挑选出纯净石英(Brown et al., 1991)。选取一定量的纯净石英,用40%的氢氟酸(HF)溶解掉30%左右的石英,目的是去除石英外层,以消除大气成因 ^{10}Be 的影响(Nishiizumi et al., 1991; Kohl and Nishiizumi, 1992)。石英去表皮后添加一定量(约0.25~0.5 mg)的 ^9Be 载体,溶解入40%的纯HF酸中,蒸干后再用HCl溶解。至少7个左右样品配备一个空白样,其化学步骤与样品完全相同,以估算实验过程中环境背景的可能影响。然后通过离子交换将元素Be和元素Al分离出来,随后在含有Be元素的溶液中加入 NH_4OH 使溶液pH值达到8左右,从而促使 $\text{Be}(\text{OH})_2$ 的沉淀,反复多次以消除B元素的影响。最后,在1000℃高温的电炉中,使 $\text{Be}(\text{OH})_2$ 氧化形成 BeO (徐孝彬等, 2003),然后制靶并进行AMS测试。样品前期处理是在南京师范大学宇生核素超净实验室完成,制靶和AMS测试是在中国科学院地球环境研究所AMS实验室完成。样品年代是通过网络在线程序(<http://hess.ess.washington.edu/>)

version 2.3版本基于核素生成速率随时间变化的计算模型进行计算,其中样品的遮蔽因子经过实测计算(LMQ-1为0.97、LMQ-2为0.99), ^{10}Be 生成速率是基于Borchers等(2016)校正后的数据。具体采样情况如表1所示,不同计算模型下的暴露年代计算结果如表2所示。

3 结果与讨论

蒙山佛塔谷砾石堆积体的成因引起了很大的争论,目前以公开发表的成果统计,归纳为“冰川成因”(赵松龄, 2010; 王照波, 2017a, b)和“非冰川成因”(地震崩塌、泥石流)(王乃昂等, 2017)。对该区砾石堆积地貌成因的探讨不仅对该区环境演化和气候变化有着重要的理论意义,更是对沂蒙山地质公园的建设发展及其将来的科普教育起着重要的现实意义。因此,本文从已有的全新世以来山东省的环境变化记录(是否可以提供冰川作用的气候背景)、和拦马墙砾石堆积体的暴露测年结果尝试为争论提供新的参考。

3.1 拦马墙砾石堆积体形成年代

在计算年代过程中,我们采用了目前已经更新后的网络计算版本,并综合了不同模型的年代计算结果,从表2可知拦马墙砾石堆积体两个大砾石的宇生核素 ^{10}Be 最小暴露年代分别为 $5.10 \pm 0.85 \sim 6.07 \pm 1.11$ ka BP和 $4.69 \pm 0.73 \sim 5.60 \pm 0.96$ ka BP,两个砾石的暴露年代非常一致。然而在暴露年代测年过程中,一些地质(地貌)过程可能对测年结果造

表1 蒙山国家地质公园拦马墙巨砾宇生核素 ^{10}Be AMS测试结果

Table 1 ^{10}Be AMS results of the Lanmaqiang boulders in the Mengshan National Geopark

样品编号	采样深度 (cm)	纬度(N)	经度(E)	海拔(m)	石英质量 (g)	$n(^{10}\text{Be})/n(^9\text{Be})$ ($\times 10^{-15}$)	AMS相对 误差(%)	宇生核素浓度 ($\times 10^4$ atoms/g)
LMQ-1	2	35°33'27"	117°49'08"	412	15.97466	25.4	14	2.41±0.33
LMQ-2	2	35°33'27"	117°49'03"	409	18.03057	26.5	12	2.24±0.28
Blank	-	-	-	-	-	2.42	37	-

表2 不同计算模型下蒙山国家地质公园拦马墙巨砾样品宇生核素 ^{10}Be 暴露年代结果

Table 2 ^{10}Be exposure ages of Lanmaqiang boulders in the Mengshan National Geopark based on different scaling scheme

不同计算模型(生产速率随时间变化)的暴露年代结果(ka BP)				
样品编号	Desilets and others (2003, 2006)	Dunai (2001)	Lifton and others (2005)	Time-dependent Lal(1991)/Stone(2000)
LMQ-1	5.99±1.10	6.07±1.11	6.04±1.09	5.10±0.85
LMQ-2	5.52±0.96	5.60±0.96	5.57±0.94	4.69±0.73

成影响(高估真实年代或者低估真实年代),这种情况在冰川地貌暴露年代测定中研究较多(Heyman et al., 2011; Applegate et al., 2010, 2012)。本文主要存在两种可能,第一,样品(巨砾)首先暴露在山顶或者山坡上,然后被搬运到拦马墙的位置(年代高估);第二,样品(巨砾)堆积在拦马墙的位置后被埋藏,然后碎屑物质被剥(侵)蚀后样品逐渐暴露出来(年代低估)。目前,尚无更多的证据排除这两种可能,只能从样品采集和测试结果来分析。在采样过程中,LMQ-1位于拦马墙的东端,LMQ-2位于拦马墙的西端,两者水平距离相差100 m左右。而两者之间的年代结果非常相近,在没有更多的年代数据的支撑下可以暂且排除砾石的先期暴露和后期埋藏的可能。因此,拦马墙巨砾的宇生核素 ^{10}Be 暴露测年结果表明拦马墙砾石堆积体大约是在5.0~6.0 ka BP左右形成,而非先前报道的拦马墙砾石下碎屑物质的OSL年代结果——8.2 ka BP(王照波, 2017b)。姑且不讨论两种测年技术的优缺点,从年代学的角度来看,宇生核素暴露年代测的是地貌体直接的暴露年代,而OSL测年测的是物质的埋藏年代,所以暴露年代更能说明拦马墙砾石堆积体的形成年代。此外,本文提供了2个 ^{10}Be 的暴露年代,且结果非常一致,相对于1个OSL测年结果更具有说服力。

3.2 山东省全新世以来的气候环境记录

全新世气候环境记录是过去全球气候变化的重要组成部分,也是孕育人类文明的重要时期。山东省是我国新石器文化重要发祥地之一,目前的文献主要研究山东省(或者部分区域)全新世环境演变与人类文化发展(卞学昌, 2004; 史恭乐等, 2008; 丁敏等, 2011; 陈栋栋等, 2011; 牛少静, 2013; 蒋晓君, 2015)。卞学昌(2004)基于钻孔的孢粉和 ^{14}C 测年数据研究认为山东省全新世气候变化有七次冷暖波动; 10 ka BP以来气候回暖,气温较现在低2~3℃; 9 ka BP出现降温事件,气温至上低于现在4℃左右; 8.5 ka BP左右出现了一次高温事件,气温高出现在1~2℃,标志着山东省全新世高温期开始,后李文化迅速发展; 7.7~8 ka BP和7~7.3 ka BP期间发生两次降温事件; 7~5.5 ka BP,气温高出现在2~3℃,北辛文化(7.5~6.3 ka BP)和大汶口文化(6.5~5 ka BP)繁荣发展; 5.5~5 ka BP山东省持续低温期,气候凉湿,但是鲁中山区文化发展,迎来了史前文化鼎盛时期—龙山文化时期; 5 ka BP以后,气候趋于温干,但是比现在仍温暖湿润; 4 ka BP左右出现降温

事件,随后气温有所回升,较现在温暖湿润; 3 ka BP以来气温逐渐变凉,降水逐渐减少; 3~2.5 ka BP和2 ka BP出现两次降温事件,中间有几次温暖期,但总体趋于温干。史恭乐等(2008)研究表明青岛地区在中全新世时期应为暖温带气候。丁敏等(2011)根据山东省中部龙山镇山城村全新世黄土—古土壤及埋藏文化层的关系,基于色度、磁化率、粒度、碳酸钙含量等气候指标揭示该区全新世气候环境呈现11.5~8.5 ka BP气候逐渐变暖,中期(8.5~3.1 ka BP)暖湿和后期(3.1 ka BP)逐渐转凉的特征,其中8.2 ka BP和5.5 ka BP的气候事件没有对文化发展产生明显的负面影响,4 ka BP的气候事件导致生态环境恶化,龙山文化被岳石文化所取代。陈栋栋等(2011)研究表明8.2 ka BP和5.5 ka BP事件均以干冷为特征,对后李文化和大汶口文化发展具有促进作用。蒋晓君(2015)对山东青州唐王地区中全新世以来的气候环境研究表明: 5.6~4.6 ka BP表现为低水位冷干气候环境; 4.6~4.0 ka BP湖面升高气候暖湿; 4.0~2.8 ka BP湖泊水面较高,气候温暖湿润; 2.8~1 ka BP气候波动明显,暖湿和干凉交替。

基于目前的文献资料,可以认为山东省全新世以来气候逐渐变暖,古文化相继繁荣发展,期间虽有气候冷暖波动,但是并没有具备触发引起冰川形成和前进的气温和降水环境。

因此,根据全新世以来山东省的气候环境记录以及对拦马墙砾石堆积体进行宇生核素 ^{10}Be 暴露测年结果可知,拦马墙砾石堆积体可能形成与5.0~6.0 ka BP左右,而不是8.2 ka BP,在该阶段大汶口文化繁荣发展,并不支持“8.2 ka BP拦马墙冰期”的结论。

4 结论与展望

基于对研究区全新世以来的气候变化情况和地质地貌、构造活动情况分析,初步得出以下两个结论:

(1)佛塔谷拦马墙砾石暴露年代结果为5.0~6.0 ka BP左右,不支持“8.2 ka BP拦马墙冰期”的结论;

(2)全新世以来山东蒙山区域处于一个暖湿的环境下,尽管有几次降温事件,但是不足以提供形成冰川的条件。

未来,可对蒙山地区全新世以来的气候环境变化详细研究并通过大量的年代学研究以及蒙山佛塔

谷阶地和下游地貌的详细调查有助于对砾石堆积地貌的成因提供相关证据。

参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)

卞学昌. 2004. 山东省全新世古气候变化序列及其与史前文化发展阶段的相关研究. 导师:张祖陆. 济南:山东师范大学硕士学位论文; 1~45.

曹光杰, 单婉婉, 苟佃达. 2017. 蒙山地质旅游资源及其开发利用. 国土与自然资源研究, (6): 77~82.

晁洪太, 崔昭文, 李家灵. 1992. 鲁中地区北西向断裂及其第四纪晚期的活动特征. 防灾减灾工程学报, (2): 1~10.

陈栋栋, 彭淑贞, 张伟, 韩军青, 丁敏. 2011. 山东全新世典型气候事件的区域响应及其对海岱文明发展的影响. 地理科学进展, 30(7): 846~852.

程维明, 周成虎, 申元村, 刘楠漪. 2017. 中国近40年来地貌学研究的回顾与展望. 地理学报, 72(5): 755~775.

储皓, 武法东. 2017. 沂蒙山地质公园旅游资源开发利用分析. 中国人口资源与环境, 27(11): 182~185.

邓起东. 2007. 中国活动构造图(1:400万). 北京:地震出版社.

丁敏, 彭淑贞, 庞奖励, 张伟, 陈栋栋, 杨洪江. 2011. 山东中部全新世环境演变与人类文化发展. 土壤通报, 42(6): 1281~1287.

侯贵廷, 李江海, 金爱文, 钱祥麟. 2004. 鲁西地块早前寒武纪构造-岩浆活动区划及演化的新认识. 高校地质学报, 10(2): 239~249.

晁洪太, 李家灵. 1998. 山东中部一条明显的北西向中强地震带. 华北地震科学, 16(2): 23~29.

蒋晓君. 2015. 山东青州唐王地区中全新世以来的环境变迁研究. 导师:程捷. 北京:中国地质大学硕士学位论文; 1~59.

李炳元, 潘保田, 程维明, 韩嘉福, 齐德利, 朱澈. 2013. 中国地貌区划新论. 地理学报, 68(3): 291~306.

牛少静. 2013. 山东沂沭河流域新石器时期古文化与环境关系. 导师:韩军青, 彭淑贞. 临汾:山西师范大学硕士学位论文; 1~63.

施雅风. 2011. 中国东部中低山地有无发育第四纪冰川的可能性?. 地质论评, 57(1): 44~49.

施雅风. 2010. 论李四光教授的庐山第四纪冰川是对泥石流流的误读. 地质论评, 56(5): 683~692.

史恭乐, 章伯乐, 冷琴, 王力, 蒋青. 2008. 青岛发现特异埋藏的全新世植物化石群. 第四纪研究, 28(4): 762~768.

万永革, 靳志同, 崔华伟, 黄骥超, 盛书中, 张珊珊, 李翠芹. 2017. 2015年12月25日山东平邑塌陷事件产生的位移场与应力场. 地震地质, 39(1): 81~91.

王乃昂, 戴霜, 张律吕, 余菡潇, 于昕冉, 田璐, 尹丽颖. 2017. 第四纪冰川遗迹的判别标准与方法问题——兼论蒙山巨砾堆积堤之成因. 冰川冻土, 39(6): 1289~1297.

王鑫, 张景发, 付萍杰, 高敏. 2015. 沂沭断裂带重力场及地壳结构特征. 地震地质, 37(3): 731~747.

王照波, 卞青, 李大鹏, 王金玉, 刘彩玲, 郭启鹏. 2017a. 山东蒙山第四纪冰川组合遗迹的发现及初步研究. 地质论评, 63(1): 134~142.

王照波, 张剑, 王江月, 张盈松, 卞青, 郭启鹏. 2017b. 山东蒙山第四纪冰川遗迹光释光测年研究及冰期划分与对比. 地质论评, 63(3): 694~702.

徐孝彬, 王建, 陈仕涛. 2003. 陆面岩石中形成的同位素¹⁰Be与²⁶Al的

试验室提取方法. 南京师大学报, 26(1): 111~115.

张成基, 王世进. 1996. 山东省侵入岩岩石谱系单位划分序列. 山东国土资源, 12(2): 92~106.

章雨旭. 2017. 山东蒙山国家地质公园存在中国东部第四纪冰川有力证据(?) [OL]. <http://blog.sciencenet.cn/home.php?mod=space&uid=2719683&do=blog&id=1054647>.

赵松龄. 2010. 中国东部低海拔型古冰川遗迹. 北京:海洋出版社; 143~152.

Applegate P J, Urban N M, Laabs B J C, Keller K, Alley R B. 2010. Modeling the statistical distributions of cosmogenic exposure dates from moraines. Geoscientific Model Development, 3(1): 297~307.

Applegate P J, Urban N M, Keller K, Lowell T V, Laabs B J C, Keller K, Alley R B. 2012. Improved moraine age interpretations through explicit matching of geomorphic process models to cosmogenic nuclide measurements from single landforms. Quaternary Research, 77(2): 293~304.

Balco G. 2011. Contributions and unrealized potential contributions of cosmogenic-nuclide exposure dating to glacier chronology, 1990~2010. Quaternary Science Reviews, 30(1~2): 3~27.

Bian Xuechang. 2004&. The study of Holocene Paleoclimate Change Sequence and Its Correlation with Prehistoric Cultural Development Stages in Shandong Province. Shandong Normal University, Master Thesis, 1~45.

Brown E T, Edmond J M, Raisbeck G M, Yiou F, Kurz M D, Brook E J. 1991. Examination of surface exposure ages of Antarctic moraines using in situ produced ¹⁰Be and ²⁶Al. Geochimica et Cosmochimica Acta, 55: 2269~2283.

Borchers B, Marrero S, Balco G, Caffee M, Goehring B, Lifron N, Nishiizumi K, Phillips F, Schaefer J, Stone J. 2016. Geological calibration of spallation production rates in the CRONUS—Earth project. Quaternary Geochronology, 31: 188~198.

Cao Guangjie, Shan Wanwan, Gou Dianda. 2017&. Development and utilization of geological tourism resources of the Mengshan Mountain in Shandong Province. Territory & Natural Resources Study, (6): 77~82.

Chao Hongtai, Cui Zhaowen, Li Jialing. 1992&. Characteristics of north-westward fractures and their late Quaternary activities in Luzhong Area. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, (2): 1~10.

Chen Dongdong, Peng Shuzhen, Zhang Wei, Han Junqing, Ding Min. 2011&. The response to Holocene climatic events of Shandong and their impacts on human activity. Progress in Geography, 30(7): 846~852.

Chen Weiming, Zhou Chenghu, Shen Yuancun, Liu Qiangyi. 2017&. Retrospect and perspective of geomorphology researches in China over the past 40 years. Acta Geographica Sinica, 72(5): 755~775.

Chu Hao, Wu Fadong. 2017&. Analysis on development and utilization of tourism resources in Mount Yimeng Geopark. China Population, Resources and environment, 27(11): 182~185.

Deng Qidong. 2007&. Structure of Activity in China (1: 4 million). Beijing: Earthquake Press.

Ding Min, Peng Shuzhen, Pang Jiangli, Zhang Wei, Chen Dongdong, Yang Hongjiang. 2011&. Holocene environmental change and its impacts on cultural development in the central region of Shandong Province. Chinese Journal of Soil Science, 42(6): 1281~1287.

Gosse J C, Phillips F M. 2001. Terrestrial in situ cosmogenic nuclides: theory and application. Quaternary Science Reviews, 20: 1475~1560.

- Heyman J, Stroeven A, Harbor J, Caffee M W. 2011. Too young or too old: evaluating cosmogenic exposure dating based on an analysis of compiled boulder exposure ages. *Earth and Planetary Science Letters*, 302(1~2): 71~80.
- Hou Guiting, Li Jianghai, Jin Aiwen, Qian Xianglin. 2004&. New comment on the early Precambrian tectono-magmatic subdivision and evolution in the western Shandong block. *Geological Journal of China Universities*, 10(2): 239~249.
- Huang Hongtai, Li Jialing. 1998&. An obvious northwest—middle seismic zone in central Shandong. *North China Earthquake Sciences*, 16(2): 23~29.
- Jiang Xiaojun. 2015&. Research on environmental changes since the Middle Holocene in Tangwang, Qingzhou, Shandong Province. China University of Geosciences Dissertation, 1~59.
- Kohl C P, Nishiizumi K. 1992. Chemical isolation of quartz for measurement of in-situ, α -produced cosmogenic nuclides. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 56(9): 3583~3587.
- Lal D. 1991. Cosmic ray labeling of erosion surfaces: in situ nuclide production rates and erosion models. *Earth and Planetary Science Letters*, 104(2~4): 424~439.
- Lee J S. 1933. Quaternary glaciations in the Yangtze valley. *Bull. Geol. Soc. China*, 13: 15~ 62.
- Li Bingyuan, Pan Baotian, Cheng Weiming, Han Jiafu, Qi Deli, Zhu Che. 2013&. Research on geomorphological regionalization of China. *Acta Geographica Sinica*, 68(3): 291~306.
- Nishiizumi K, Kohl C P, Arnold J R, Klein J, Fink D, Middleton R. 1991. Cosmic ray produced ^{10}Be and ^{26}Al in Antarctica rocks: exposure and erosion history, *Earth and Planetary Science Letters*, 104: 440~454.
- Niu Shaojing. 2013&. Relation between the Longshan Culture Archaeological Sites and Environment in Yishuhe River Basin of Shandong. Shanxi Normal University Master's Dissertation, 1~63.
- Shi Gongle, Zhang Bole, Leng Qin, Wang Li, Jiang Qing. 2008&. Discovery of a specific buried Holocene fossil plant in Quaternary. *Quaternary Research*, 28(4): 762~768.
- Shi Yafeng. 20110&. On Prof. Lee's Having Misread Debris Flow Deposits as Quaternary Glaciations in the Lushan Area, Jiangxi Province. *Geological Review*, 56(5):683~692.
- Shi Yafeng. 2011&. Is there any possibility for the development of Quaternary glaciers in the middle and low mountains in eastern China? *Geological Review*, 57(1): 44~49.
- Wan Yongge, Zhai Zhitong, Cui Huawei, Huang Yichao, Sheng Shuzhong, Zhang Shanshan, Li Cuiqin. 2017&. Displacement field and stress field caused by collapse events in Pingyi, Shandong on December 25, 2015. *Seismology and Geology*, 39(1): 81~91.
- Wang Nai'ang, Dai Shuang, Zhang Lu, Yu Jun, Yu Jun, Tian Hao, Yin Liying. 2017&. Issues on criteria and methods for discriminating Quaternary glacial relics; also on the origin of the boulder-piled levees in Mount Mengshan. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 39(6): 1289~1297.
- Wang Xin, Zhang Jingfa, Fu Pingjie, Gao Min. 2015&. Deep structures of Yishu fault zone derived from gravity data. *Seismological Geology*, 37(3): 731~747.
- Wang Zhaobo, Yan Qing, Li Dapeng, Wang Jinyu, Liu Cailing, Guo Qipeng. 2017a&. Discovery of the Quaternary glacial relics in Mount Mengshan, Shandong Province. *Geological Review*, 63(1): 134~142.
- Wang Zhaobo, Zhang Jian, Wang Jiangyue, Zhang Yingsong, Yan Qing, Guo Qipeng. 2017b&. A study on Quaternary glaciation moraines in Mount Mengshan, Shandong Province with optically stimulated luminescence (OSL) and comparison of glacial period division. *Geological Review*, 63(3): 694~702.
- Xu Xiaobin, Wang Jian, Chen Shitao. 2003&. Samples selection in terrestrial cosmogenic isotopes dating and extraction of ^{10}Be and ^{26}Al . *Journal of Nanjing Normal University*, 26(1): 111~115.
- Zhang Chengji, Wang Shijin. 1996&. Divisional sequence of intrusive rocks in Shandong Province. *Shandong Land and Resources*, 12(2): 92~106.
- Zhang Yuxu. 2017#. A strong evidence of Quaternary glacier existed in eastern China (?) in the Mengshan National Geopark, Shandong Province [OL]. <http://blog.sciencenet.cn/home.php?mod=space&uid=2719683&do=blog&id=1054647>
- Zhang Zhigang, Wang Jian, Xu Xiaobin, Bai Shibiao, Chang Zhiyang. 2015. Cosmogenic ^{10}Be and ^{26}Al chronology of the Last Glaciation of the Palaeo-Docheng ice cap, southeastern Qinghai—Tibetan Plateau. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 89(2): 575~584.
- Zhang Zhigang, Xu Xiaobin, Wang Jian, Zhao Zhijun, Bai Shibiao, Chang Zhiyang. 2014. Last deglaciation climatic fluctuation record by the Palaeo-Docheng ice cap, southeastern Qinghai—Tibetan Plateau. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 88(6): 1863~1874.
- Zhao Songling. 2010&. Low-altitude ancient glaciers in eastern China. Beijing: Ocean Publishing House: 143~152.

^{10}Be Exposure Ages of the Boulder in Lanmaqiang (Wall for Blocking Horses) , Fota Valley, Mengshan National Geopark

ZHANG Zhigang^{1,2,3,4,5)}, MEI Jing^{1,2,3,4)}, ZHANG Mengyuan^{1,2,3,4)}, WANG Lizhi⁶⁾

1) School of Geographical Sciences, Nanjing Normal University, Nanjing, 210023;

2) Key Laboratory of Virtual Geographic Environment (Nanjing Normal University), Ministry of Education, Nanjing, 210023;

3) State Key Laboratory Cultivation Base of Geographical Environment Evolution (Jiangsu Province), Nanjing, 210023;

4) Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application, Nanjing, 210023;

5) State Key Laboratory of Cryospheric Sciences, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, 730000

6) Shandong Provincial Key Laboratory of Soil Conservation and Environmental Protection, Linyi University, Linyi 276000

Abstract: There are a lot of huge boulders in the Lanmaqiang (means wall for blocking horses) , Fota (means Pagoda) Valley in the Mengshan Mountain, Mengshan National Geopark, Shandong Province. There is a big debate about the reasons for its formation. It is helpful to understand the formation of gravel deposits in the Fota Valley, Mengshan Mountain, to understand the environmental evolution and climate change in Mengshan Mountain area. The writers have discussed the micro-geomorphology of gravel in Fota Valley. This article focuses on the in situ terrestrial cosmogenic nuclide (TCN) ^{10}Be exposure dating of Lanmaqiang boulders deposits and the climate environment and human culture of Shandong Province since the Holocene . The results of the study indicate that: ① The ^{10}Be exposure ages of the Lanmaqiang boulders were about 5.0~6.0 ka BP, which does not support the conclusion of the previously published “8.2 ka BP Lanma glacial periods ”; ② since Holocene, the Mengshan Mountain area of Shandong Province was in a warm and humid environment. Despite several cooling events, it was not enough to provide the conditions for the formation of glaciers.

Keywords: Mengshan Mountain, Mengshan National Geopark; Lanmaqiang; in situ terrestrial cosmogenic nuclide (TCN) ^{10}Be exposure dating; boulders deposits

Acknowledgement: This article is a preliminary research result and this work was supported by the National Natural Science of China (No. 41503054), the General Financial Grant of the China Postdoctoral Science Foundation (No. 2015M582728), the Priority Academic Program Development of Jiangsu Higher Education Institutions (No. 164320H116), the open foundation of Shangdong Provincial Key Laboratory of Water and Soil Conservation & Environmental Protection (No. STKF201601) and Shandong Provincial natural science foundation (No. ZR2018LD004)

First author: ZHANG Zhigang, male, born in 1984, Associate Professor, mainly engaged in Terrestrial Cosmogenic Nuclides exposure dating of Quaternary glacier geomorphology. Email: zhangzhigang840620@126.com.

Corresponding author: WANG Lizhi, male, born in 1980, professor, mainly engaged in Physical Geography. Email: wanglizhi@lyu.edu.cn.

Manuscript received on:2018-05-30; Accepted on: 2018-08-17; Edited by: ZHANG Yuxu

Doi: 10.16509/j.georeview.2018.05.013