

东亚季风影响区末次冰期冰川作用的控制性因素

张威, 刘锐, 刘亮

(辽宁师范大学城市与环境学院, 辽宁 大连 116029)

摘要:东亚季风气候控制下的山地与岛屿冰期历史、冰川规模及其分布规律对深入探讨中国第四纪冰川的发生机制以及全球变化具有重要的科学意义。最新的绝对年代结果显示, 中国东部及东亚沿海岛屿山地(包括中国台湾岛, 日本本州岛、北海道, 朝鲜盖马高原, 俄罗斯远东山地等)的冰期启动与消亡时间存在显著差异, 但均严格控制在末次冰期范围之内, 相当于深海氧同位素阶段(MIS)4至2, 冰川的发育规模在末次冰期早中期(MIS3/4)大于末次冰盛期(MIS2)。对研究区各山地和岛屿末次冰期冰川发育的基本特点进行比较后, 明确了影响东亚季风影响区冰川作用的主要控制性因素有: 气候因素、构造因素、纬度因素和海陆位置等, 它们控制着末次冰期冰川的发生、分布与期次。在此控制性因素影响下, 东亚低海拔山地不会出现比末次冰期更早的冰川作用。

关键词:东亚季风; 冰进; 构造; 控制性因素

1 引言

近年来, 以青藏高原及其边缘山地为依托, 地貌与第四纪工作者对中国第四纪冰川的发生、发展、分布及其相应的机制形成了比较系统的认识(李吉均等, 2004; 易朝路等, 2005; Liu et al, 2006; 赵井东等, 2011; 张威等, 2012; 朱大运等, 2013), 从新的理论视角提出, 中低纬度的第四纪冰川有可能是气候与构造耦合作用的结果(施雅风等, 1995, 1999; 李吉均, 1999; 崔之久等, 2011; 张威, 董应巍等, 2013)。在中国西部第四纪冰川研究逐步深入的同时(郑本兴, 2000; 周尚哲等, 2001; 王杰等, 2005; 许刘兵等, 2005; Yang et al, 2006; 赵井东等, 2007), 中国东部及其东亚沿海一带的第四纪冰川发育规律研究也取得了长足进展。一方面, 揭示出与中国西部乃至其他地区不同的特点(李吉均, 1992; 崔之久等, 2003), 如东亚沿海区的山地和岛屿第四纪冰川作用的冰期启动晚; 末次冰期中早期(MIS3/4)大于盛晚期(LGM/MIS2); 冰川依赖于季风冬雨(雪)型降水等(崔之久等, 2000; Cui et al, 2002;

Shi, 2002; Ono et al, 2004; 张威等, 2009); 另一方面, 对于中国东部低海拔山地第四纪冰川作用也提出了相应的看法和新证据(韩同林等, 1999; 徐兴永等, 2005; 吕洪波等, 2006; 景才瑞等, 2010; 朱银奎, 2014), 如提出了不同于中国西部自然梯度型的低海拔山地第四纪冰川发育模式——寒潮入侵型(赵松龄, 2010); 第四纪冰川的发生时间也可能大大提前, 冰川的发生不仅仅局限于末次冰期(Chen et al, 2014)。上述研究进展促使地貌与第四纪工作者认真审视这些新成果, 在地貌与气候上开展了一系列相关研究, 主要集中在对中国东部低海拔山地第四纪冰川是否存在的地貌证据解释(施雅风, 2010; 王为等, 2011); 是否适合冰川发育的气候环境分析(施雅风, 2011; 赵井东等, 2013); 冰川平衡线高度是否超过当时的山体等方面(刘耕年等, 2011; 苏珍等, 2014; 张威, 刘蓓蓓等, 2014)。这些研究推动了中国东部第四纪冰川向前发展, 然而, 对于第四纪冰川发育的年代学以及影响冰川发育的控制性因素尚缺乏综合研究。本文以中国东部季风山地冰川年代学研究成果为依托, 将相同季风系统控制下的

收稿日期: 2015-01; 修订日期: 2015-03。

基金项目: 国家自然科学基金项目(41271093, 41230743, 40971010)。

作者简介: 张威(1969-), 男, 吉林松原人, 教授, 博导, 主要从事环境与灾害地貌研究, E-mail: zhangweilnu@163.com。

引用格式: 张威, 刘锐, 刘亮. 2015. 东亚季风影响区末次冰期冰川作用的控制性因素[J]. 地理科学进展, 34(7): 871-882. [Zhang W, Liu R, Liu L. 2015. Control factors on glaciation during the last glacial period in the East Asia monsoon area[J]. Progress in Geography, 34(7): 871-882.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2015.07.009

俄罗斯远东、朝鲜、日本北海道、日本本州山地冰进时序进行对比,分析各地冰期的启动时间和规模以及差异性,并探讨研究区冰川发育的影响因素,以此达到进一步认识中国东部和整个东亚地区第四纪冰川冰期发生特点与环境差异。

2 研究区地理概况

研究区位于亚洲东部,东亚季风系统控制下所影响的最大范围区(图1),降水类型主要以冬雨型和过渡型为主的季风区(Shi, 2002; 崔之久等, 2003; Zhang et al, 2006),包括中国东部、朝鲜半岛、俄罗斯远东、日本列岛等地区(不包括东亚季风与西南季风共同作用区)。自西向东依次为:贺兰山、太白山、长白山、朝鲜盖马高原(Kaema)、俄罗斯远东山地、日本山地、中国台湾山地。其中贺兰山位于季风区与非季风区分界线的最西端,平均海拔1600~3200 m,主峰敖包疙瘩海拔3556 m,年均降水量430 mm,年均气温 -0.8°C (耿侃等, 1990)。东侧秦岭主脊太白山是中国南北分界及大陆东部第一高峰,平均海拔3400~3700 m,主峰拔仙台海拔3767 m,年

均降水量750 mm以上,年均气温 -2°C (谢又予, 1986)。中国东北最高的长白山,平均海拔1500~2300 m,中国一侧的白云峰海拔2691 m,年均降水量1340 mm,年均气温 -7.3°C (张纯哲等, 2007)。位于长白山脉南侧,被称为朝鲜“屋顶”的盖马高原,平均海拔1000~1200 m,最高峰冠帽峰(Hat)海拔2541 m,年均降水量1500 mm,年均气温 $8\sim 12^{\circ}\text{C}$ (金哲等, 2014)。俄罗斯远东山地平均海拔1500~2000 m,最高点扬阿林山(Yam-Alin)海拔2505 m,年均降水量400~900 mm。隔临日本海相望的日本山地,平均海拔多在2500 m以上,在本州中部形成相连的高峰,最高峰海拔达3776 m。日本年均降水量1818 mm,年均气温 $10\sim 16^{\circ}\text{C}$ (关伟, 1988)。中国台湾山地平均海拔3500 m,最高峰玉山海拔3950 m。中国台湾年均降水量2500 mm,年均气温 $24\sim 30^{\circ}\text{C}$ (郭恩华等, 1997)。

3 东亚季风控制下典型山地的冰进时序

3.1 中国东部山地冰期

近年来,随着对中国东部各山地冰碛物绝对年

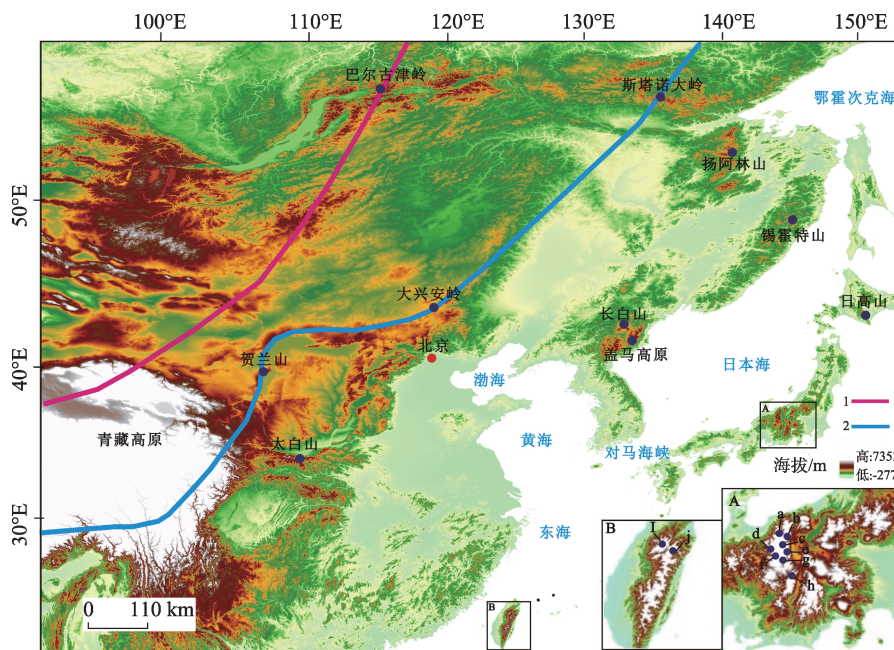


图1 研究区山地冰川发育位置DEM图(降水界限依据Shi, 2002略改;1:现代季风降水界限;2:末次冰期季风降水界限;a:白马岳;b:立山;c:水晶岳;d:黑部五郎岳;e:鹿岛枪岳;f:弓折岳;g:穗高岳;h:木曾驹岳;i:雪山;j:南湖大山;k:玉山)

Fig.1 Location of the glaciated mountains in the East Asia monsoon area, DEM (precipitation adapted form Shi, 2002; 1: Modern monsoon precipitation boundary; 2: The last glacial period monsoon precipitation boundary; a: Shirouma Lake; b: Tateyama; c: Suisho Lake; d: Kurobego Lake; e: Kashima-yari Lake; f: Yumio Lake; g: Hotaka Lake; h: Kisokoma Lake; i: Xue Shan; j: Nanhuda Shan; k: Yu Shan)

代的测定,在确切的第四纪冰川发育山地中,冰期系列进一步明确(崔之久等, 2011; 施雅风, 2011; 张威, 刘蓓蓓等, 2013)。

3.1.1 贺兰山

经实地考察与光释光(OSL)年代数据对比,确认贺兰山存在新冰期(3.4 ± 0.3 ka)、晚冰期(12.0 ± 1.1 ka)、末次冰盛期(~ 18 ka)和末次冰期中期(43.2 ± 4.0 ka)四次冰进,分别对应深海氧同位素 MIS1、MIS2、MIS3b 阶段(Zhang et al, 2012)。

3.1.2 太白山

不同学者对太白山第四纪冰川的启动时间、地貌分布分歧较大,对冰期划分上也有多次冰期、四次冰期、两次冰期、一次冰期两个阶段等不同看法(田泽生, 1981; 王桂增, 1984; 齐矗华等, 1985; 马秋华等, 1988),相对地貌法推断的结论差异较大。德国学者 Rost(1994)曾最先测得黑河谷地上游三清池以下的内侧碛垄年代 19 ± 2.1 ka,时代对应末次冰盛期。最近,张威,刘亮等(2014)采用最新宇宙成因核素测年方法(TCN)对三爷海、二爷海冰坎基岩进行了 ^{10}Be 测定,结果为 $18.62 \pm 1.08 \sim 16.87 \pm 0.95$ ka、 $16.88 \pm 1.08 \sim 15.07 \pm 0.92$ ka,还原了末次冰盛期(LGM)以来冰川退缩过程,结合野外考察与前人成果,依据地貌法推测二爷海槽谷的三套侧碛垄应为末次冰期内不同阶段的产物,推测可能存在更早的玉皇冰期(MIS3)。

3.1.3 长白山

长白山在 2000 m 以上保存确切的第四纪冰川地貌,显示多次冰进作用,但对冰期历史和冰期具体划分很长时间内认识不清,主要是由于外力侵蚀和火山活动影响了对冰碛物的年代测定。通过对火山口周围冰碛物的光释光 OSL、 ^{14}C 年代测定,并结合冰川发育与火山活动相互关系及 K-Ar、TIMS、ESR 等年代结果,确定长白山两次冰期历史,即晚冰期(11.3 ± 1.2 ka)的气象站冰进和末次冰盛期(20.0 ± 2.1 ka)的黑风口冰进(Zhang et al, 2008)。

3.1.4 中国台湾山地

目前,已查明中国台湾山地第四纪冰川分布范围主要集中在雪山、南湖大山、合欢山、玉山、三叉山嘉明湖、向阳山、秀姑坪等地区。中国台湾学者根据各山地冰川消融过程划分出“直接消融型”和“后退偏转型”两种冰川类型(何立德等, 2010)。崔之久等(1999)运用 TL 法对中国台湾雪山地区的冰川沉积物进行年代测定,并结合冰蚀地貌划分出雪

山冰阶(10.68 ± 0.84 ka)、水源冰阶(18.26 ± 1.52 ka)和山庄冰阶(44.25 ± 3.72 ka)。而后,中外学者(Hebenstreit et al, 2003, 2006, 2011; Siame et al, 2007; 何立德等, 2012)多次运用 ^{10}Be 、OSL 等测年技术对玉山、南湖大山、雪山等地的冰川沉积物和漂砾进行测定,结果处于 $3.3 \pm 1.1 \sim 55 \pm 4$ ka 之间,测年结果支持了先前对中国台湾山地冰期系列的划分结果(崔之久等, 2000; Ono et al, 2005)。

3.2 朝鲜冰期

位于长白山南麓朝鲜境内的盖马高原,主峰冠帽峰和其他高峰同样也存在多次冰川作用遗迹,据鹿野忠雄(1937)实地考察,发现海拔 1900 m 以上东坡和北坡分布着大小 14 个冰斗群。据推测,盖马高原末次雪线在 2000 m 左右(施雅风等, 2006),目前对朝鲜境内山地冰川深入研究还是空白,根据地貌并结合周边山地推测,盖马高原最早冰期启动时间不早于末次冰期。

3.3 俄罗斯远东冰期

俄罗斯远东地处亚寒带、寒带地区,气候有利于冰川发育,Astakhov(2004)研究表明,西伯利亚地区末次冰期间曾出现大范围冰盖,冰盖启动时间明显早于北半球其他冰盖,中西伯利亚的新地(Novayazemlya)冰盖在 40-50 ka 达到最大(Gillespie et al, 1995; Brigham-Grette et al, 2003),受其影响,末次冰期期间受寒冷季风控制下山地冰川曾大范围发育(施雅风等, 1989),俄国学者据此命名出一套对应末次冰期的孜良卡(Zyryan)冰期系列:中早期为孜良卡冰期,晚期为萨尔顿(Sartan)冰期(李吉均, 1992)。在俄罗斯远东季风系统控制下的锡霍特(Sichote)山、扬阿林林(Yam-Alin)、斯塔诺夫岭(Stanovoy)(外兴安岭)和敏感区的贝加尔山地(Baygal),都有末次冰川作用遗迹报道(李吉均, 1992)。近年来,在贝加尔山地的巴尔古津岭(Barguzinsky)经测年得到晚冰期(10-13 ka)、末次冰盛期(18-22 ka)、末次冰期中期(34-39 ka)的年代数据(Osipov, 2004),分别对应 MIS1、MIS2、MIS3b,而在斯塔诺夫岭以北的上扬斯克(Verkhoyansk)亚极地地区,光释光年代结果为 135 ± 9 ka(Stauch et al, 2007),对应倒二冰期(MIS6),这显示了季风区完全不同于亚极地型山地冰川的发育模式,即冰川发育在末次冰期之内,早中期(> MIS3b)受冰盖活动影响,山地冰进量最大,中期暖期(MIS3c)之后气温逐渐升高,冰川规模逐渐缩小。

3.4 日本山地的冰期

日本山地冰川分布于北海道日高山和本州阿尔卑斯山地区,两个地区的冰期划分具有一定差异,并采用不同的冰期命名系列(图2)。

3.4.1 北海道

位于北海道东南侧的日高山(Hidaka),在1400~1500 m保存古冰川遗迹,在户笃别岳(Tottabetsu)和幌尻岳(Poroshiri)周边还形成叠套式冰斗群,通过日高山冰碛物的两套不整合关系命名为户笃别冰期和幌尻冰期,分别对应玉木冰期和里斯冰期(橋本誠二等,1955)。而后,日本学者在此基础上利用火山灰层序对北海道冰期进行地层学重建,以支笏湖(Shikotsu)冰碛物测得 40 ± 5 ka为基准命名为幌尻冰期,末次冰盛期(LGM)对应户笃别冰期的划分形式被广泛接受(柳田誠,1994)。但也有学者依据冰碛地貌推测,爱西曼岳(Esaoman)范围内可能存在更早冰进,据此命名出属于“倒二”冰期的爱西曼冰期,利用TL、U系等测年方法测得112~115 ka的年代数据(Machida et al, 2004)。近年来,随着对北海道冰期研究逐步深入,学者在日高山附近,利用AMS和OSL测年得出对应LGM(19~21 ka、18~24 ka)的两组年代数据,并未发现末次冰期中早期和小冰期冰碛物,验证了前人对户笃别冰期的判断(岩崎正吾等,2000; Kondoa et al, 2007);并确认幌尻冰期对应末次冰期中期(MIS3b),而对MIS5e/6阶段

的爱西曼冰期普遍表示怀疑。与本州山地冰期发育的特点不同,末次中期(MIS3b)、末次冰盛期(LGM)、晚冰期三次冰期作用历史得到广泛认可。

3.4.2 本州阿尔卑斯山

英国学者20世纪初最早提出日本中部存在第四纪冰川作用的论证,日本学者(山崎直方,1902; 長田敏明,2011)通过论证,肯定了日本山地存在古冰川发育。日本阿尔卑斯山(Japanese Alps)古冰川地貌主要分布在本州岛中部的北阿尔卑斯山(飞驒山)、中阿尔卑斯山(木曾山)和南阿尔卑斯山(赤石山)三条山脉,日本学者依据最新测年手段对中部各山岳命名出不同的冰期系列,以北阿尔卑斯山最高峰穗高岳末次冰期晚期(MIS2)、中期(MIS3b)和早期(MIS4)为代表,命名为唐泽(Karasawa)、岩取(Iwato)、横尾(Yokoo)三次冰期系列,并指出末次中早期(MIS3/4)的冰川发育规模大于之后的末次冰盛期(Ono, 1984; Ono et al, 1997, 2004)。但也有一些学者提出了反对观点,他们认为日本本州山体高度和充足水汽足可以促使“倒二”冰期的冰川发育,认为鹿岛枪岳(Kashima-yari)和白马岳(Shirouma)存在大谷原(Otanihara)冰期(MIS6)和吉原(Yoshiwara)冰期(MIS5/6) (Ehlers et al, 2011)两次早于末次冰期的冰川作用,虽然有学者依据火山灰层序和U系等测年法,在北阿尔卑斯鹿岛枪岳和白马岳测得120~130 ka的年代数据(Machida et al, 2004),但多数学

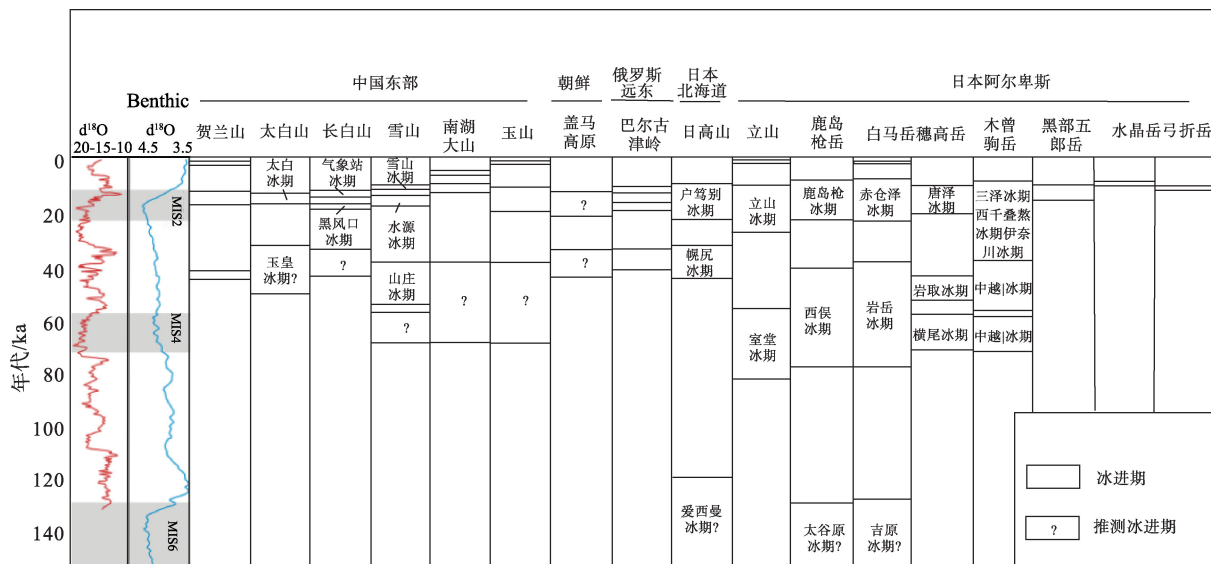


图2 研究区各山地冰期系列对比(鹿野忠雄, 1937; 長谷川裕彦, 1992; 青木賢人, 1994; 崔之久等, 1999; 岩崎正吾等, 2000; Aoki, 2003; Osipov, 2004; Ono et al, 2005; Zhang et al, 2008, 2012; Ehlers et al, 2011; 张威, 刘亮等, 2014)

Fig. 2 Timing of mountain glaciers of the study area (Kano, 1937; Hasegawa, 1992; Aoki, 1994; Cui et al, 1999; Iwasaki et al, 2000; Aoki, 2003; Osipov, 2004; Ono et al, 2005; Zhang et al, 2008, 2012; Ehlers et al, 2011; Zhang, Liu et al, 2014)

者还是对此表示怀疑。

4 各个山地的冰川作用启动时间与冰川发育规模

已有的绝对年代结果显示(图2),各山地冰进期虽大致控制于几次寒冷降温事件内,冰川作用的启动时间也大至限定在末次冰期范围内,这与早期研究者应用相对地貌/地层法所确定的冰期系列完全可以呼应(李吉均, 1992)。但是如果从末次冰期冰川进退的阶段来看,各地的冰进时序却并不完全一致。如在所涉猎的存在第四纪冰川作用的山地中,日本本州山地冰期早于其他地区,包含末次冰期早(MIS4)、中(MIS3)、晚(MIS2)和全新世冰期的几个阶段,超过2900 m以上的立山、鹿岛枪岳、白马岳、穗高岳和木曾驹岳都发现了末次冰期早期(MIS4)冰进,甚至有推测更早 MIS5/6 阶段冰进的观点(Machida et al, 2004; Ono et al, 2004; Ehlers et al, 2011),在晚冰期之后又有数次小冰期冰进,冰川完全消融时间也最迟。相比日本山地,纬度较高的俄罗斯远东山地海拔低,冰期启动时间与西伯利亚冰盖最盛期相当,晚于南部的日本山地,最早冰进记录在末次冰期中期(MIS3),而后的 LGM 以及晚冰期也都有出现。中国台湾山地目前最早年代数据为 55 ± 4 ka, 对应末次冰期中期(MIS3b), 末次冰期晚期(MIS2)、晚冰期等冰进阶段十分明显,最新发现的南湖大山 3.3 ± 1.1 ka 全新世冰进记录说明中国台湾山地冰川消退时间也相对较晚,这与日本山地是一致,体现了东部岛弧山地特殊性。在中国东部山地中,贺兰山最早的冰进记录在 43.2 ± 4.0 ka 左右,而更东侧的太白山和长白山却并未发现,通过与相同内陆的俄罗斯远东对比来看,这应该是中国东部季风区最早的冰期启动时间,在东部各山地中均有 LGM 时期的冰进记录,而小冰期记录只在贺兰山存在,这与东侧同纬度的日本本州山地的晚冰期冰川发育相呼应,但贺兰山海拔却高出近 500 m,而东侧的太白山和长白山却并未发育。由于朝鲜山地缺少年代数据,对冰期认识有限,但依据降水推测雪线较长白山更低,根据西北侧长白山和东侧北海道日高山推测盖马高原冰期启动时间不会早于末次冰期中期,精确划分还有待于进一步研究。处于东亚季风影响之下的各个山地,末次冰期各个时段的冰川规模都表现出渐次减小的规律(图3)。

5 影响东亚季风区冰川发育的主要因素

5.1 季风气候的控制

进入第四纪以后,青藏高原的隆起使得欧亚大陆腹地地区大陆度和季风系统强度增加。强大的启动器作用使得东亚地区形成了世界上独特而强大的季风环流系统(李吉均等, 1998; 施雅风等, 1998), 青藏高原的强烈隆起使得西风环流被迫分南北支绕流,高原自身的高原环流“冷源”作用使得南北支绕流差异,南支西风稳定补给亚洲东部冬季降水,北支西风形成蒙古—西伯利亚高压,为东亚冬季风主要风源地。末次冰期之时,在强大的气旋系统控制下,亚洲东部地区成为冬季风水汽输送通道,为中国东部、俄罗斯远东、朝鲜、日本以及中国台湾降水提供足够的水汽来源;末次冰期时季风发生多次周期性变动,冬、夏季风的交替变更对东部地区古环境影响颇深(安芷生等, 2000; Ono et al, 2004; 黄荣辉等, 2008)。研究表明,东亚季风区末次冰期的冰川作用规模是中早期(MIS3/4)大于末次冰期盛晚期(LGM/MIS2) (李吉均, 1992; 张威等, 2009),这就是季风周期性变动的结果。在末次冰期中早期,东亚季风影响区的冬季风强度不大,但是降水却相对丰富,因此冰川的发育规模比末次盛晚期大;在 LGM 时段,虽然气温较早中期有大幅度的下降,但气候十分干燥,不利于冰川发育。各学者研究发现:中国台湾近海古生物大量灭绝(黄奇瑜等, 2012),日本古植物群落的变迁研究指示出末次冰盛期时段降水量只有现代 30%~50%(塚田松

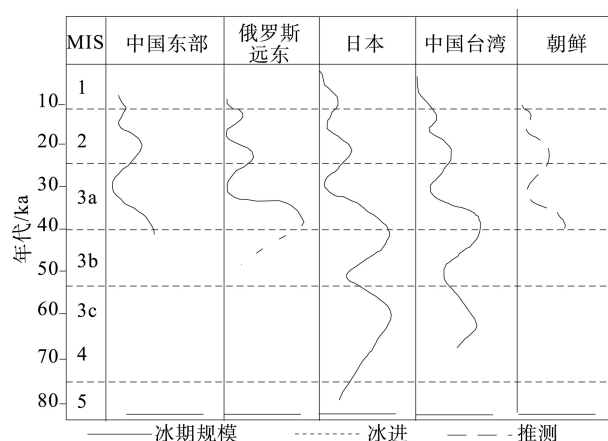


图3 东亚季风区各国冰期/冰量规模

Fig. 3 Glacier extent during the last glacial cycle in the East Asia monsoon area

雄, 1984); 东亚大量湖泊缺少水位记录, 黄土沉积加强(廖梦娜等, 2014), 日本海及鄂霍次克海面降低, 对马海峡封闭, 大陆架裸露, 气候条件强力制约着冰川发育(Ono, 1984; Ono et al, 1997)。在俄罗斯远东、中国东部、中国台湾等山地冰进记录上均体现出此特性, 体现了季风的波动变化对山地冰川发育的深刻影响。

5.2 构造运动的影响

如果说季风波动影响冰川的发育规模, 那么构造运动很可能就是决定冰期历史的重要原因。研究表明, 亚洲中部地区山地冰川的启动时间早, 最早的冰期启动时间可追溯到昆仑冰期(0.6-1.1 Ma)(崔之久等, 1998)。与研究区纬度相近的中国西部, 已知最老的冰川作用时间是中梁赣冰期(400-500 ka)(周尚哲等, 2001), 而与之相比, 亚洲东部冰期启动时间相差甚远。李吉均(1992)在研究东亚季风区的末次冰期冰川作用特点时发现, 一方面东亚近海山地首次出现末次冰期的冰川作用, 说明冰川作用在加强; 另一方面, 在中国西部有多次冰川作用的地方, 冰川的规模却在逐步缩小, 说明冰川作用在减弱; 这一现象表面上看起来矛盾, 实际上是在同一原因的支配之下, 即构造在其中扮演了重要角色。合理的解释是, 东亚沿海山地及其岛屿只有在末次冰期时才接近或达到现代的高度, 是强烈构造运动支配的结果(崔之久等, 2003)。而西部山地是由于青藏高原边缘山体的快速隆升导致高原内部变干, 高度效应抑制了气候效应, 使得冰川的发育规模反而不及早期的冰川规模。因此, 如果单纯从气候上解释其对冰川的控制作用, 就无法合理地说明中国东西部冰期历史的巨大差异。研究也发现, 在各山地中, 最早冰进记录发现于日本阿尔卑斯山和中国台湾山地; 从冰川最后退缩时段来看, 这两个地方也是最晚, 其主要原因是同属岛弧隆升强烈构造带上, 山体抬升量巨大所致。以中国台湾山地为例, 山体平均抬升速率高达 5 mm/a, 如按冰川启动最早时间 50 ka 计算, 抬升量可达 250 m 左右, 这个高度对冰川发生与否具有决定性意义(张威等, 2008)。相形之下, 日本北海道山地公认冰进记录中缺少末次早期记录的原因也可能是因为构造作用, 处于纬度较高的北海道山地最高为 2052 m, 明显低于纬度较低的本州山地最高的 3776 m 和中国台湾山地的 3950 m, 虽然日本山地、中国台湾山地均处于火山岛弧活动构造带上, 但末次冰期时火山

活动对于山体隆升的影响较小, 因此主要是因为构造抬升不足(山体高度不够)导致冰期启动时间晚。同样, 本州阿尔卑斯一些山地也未发现末次冰期中早期(MIS3/4)记录原因也大多如此。在季风区大陆上, 情况也类似, 如贺兰山和巴尔古津岭发现有末次冰期中期(MIS3b)记录, 在末次冰期中期(MIS3b)阶段冰进时山体高度就已达雪线; 俄罗斯的巴尔古津岭海拔(2436 m)虽然不高, 是由于较高纬度和近冷源地所致。

5.3 纬度位置的制约

从纬度因素来看, 地球上各纬度接受太阳辐射量存在差异, 呈赤道向两极地区递减变化。所以, 低纬度地区气温高, 冰川发育的海拔高度亦高; 中高纬度地区接受太阳辐射量小, 在不考虑其他因素的情况下, 冰川发育海拔高度低。山地冰川的物质平衡线是指在一个平衡年内, 物质的积累和消融正好相等的位置连线(鞠远江等, 2004)。据施雅风等的(1989)测算, 最南端中国台湾末次冰期平均雪线在 3500 m 左右; 张威等(2009)和 Ono 等(2004)推算, 日本本州南阿尔卑斯山(赤石山)雪线高度为 2800 m, 中阿尔卑斯山(木曾山)雪线高度为 2700 m, 北阿尔卑斯山(飞驒山)雪线高度 2500~2600 m, 长白山冰盛期雪线高度为 2230 m, 日本北海道日高山冰盛期雪线高度大致 1500~1600 m, 俄罗斯远东的锡霍特山雪线为 1500 m, 扬阿林山晚更新世雪线在 1300 m(施雅风等, 1989)。雪线高度呈整体自南向北递减的趋势(图 4), 这一规律充分说明了纬度因素可以控制冰川雪线的高度, 进而制约了冰川的发育状况。

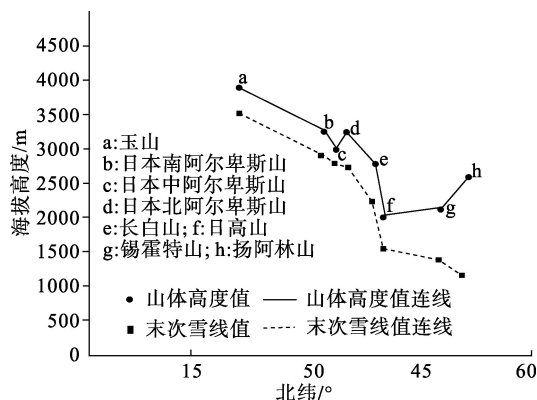


图4 东亚季风区沿海末次冰期山地雪线高度随纬度降低图

Fig. 4 Snowline depression in the mountains along the Pacific Ocean in the East Asia monsoon area during the last glacial period

5.4 海陆位置的制约

在其他因素控制的同时,因距水汽源地远近不同,季风系统内也会出现不同区域分异,使得各山地冰川发育规模具有差异性。施雅风总结了季风降水和冰川发育的关系,指出依赖季风水汽补给的海洋性暖冰川的特性,自东部沿海海洋性冰川逐渐向内陆大陆性冰川过渡(Shi, 2002)。崔之久等(2003)划分了降水与季节分配关系,根据降水季节分配划分出3个亚区,指出了自东部沿海冬雨(雪)型降水向西部夏季降水型过渡的现象。东亚季风区介于第二、第三区域内,以海洋性冰川为主,自东侧日本、中国台湾山地向西至贺兰山降水类型由冬雨型逐渐转向夏雨型为主,冰川类型也由海洋性向大陆性逐渐过渡,对冰川发育环境而言也越来越受制约(崔之久等, 2000)。通过对比季风区北部相近纬度内日高山、锡霍特山、盖马高原、长白山和大兴安岭雪线高度变化值可以看出,雪线高度从日本北海道晚更新世雪线高度 1500 m 向内陆逐渐升高到 2000 m 以上。同为 2000 m 米以上山地,北海道日高山向西只跨了 20 个经度到达大兴安岭内陆地区就已无冰川发育(图 5),其原因是大兴安岭地处内陆季风区与非季风区分界线上,与其东侧各山地相比冬寒夏暖,降水集中于夏季;北侧俄罗斯远东山地阻挡了鄂霍次克海气流;东侧长白山和盖马高原又阻挡了日本海气流,来自海洋气流因山层层层阻挡而难以到达,加之山体抬升高度低,使得末次冰期期间均在雪线以下,始终处于冰缘发育环境中,难以有冰川作用发育;而日本中部高山现代还存在“婴孩型”冰川说法(施雅风, 2003),这不得不说水热条件的差异所导致的巨大区域差异性。

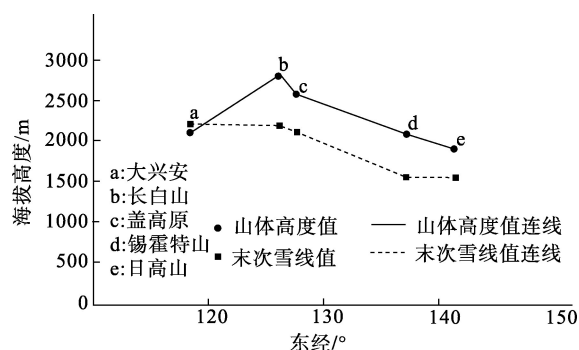


图5 季风区北部末次冰期山地雪线高度随经度降低图
Fig.5 Snowline depression in the mountains of the North East Asia monsoon area during the last glacial period

6 结论与讨论

从以上的分析可以看出,影响东亚季风区冰川发育的主要因素是季风的周期性变动、构造因素、纬度因素以及海陆位置。在这些因素的作用下,形成了东亚季风影响区末次冰期冰川作用的时间演替与空间分异。

从分析结果来看,各个山体的冰期启动时间均处于末次冰期的时间范围内,最早的冰川作用时间是日本本州中部的阿尔卑斯山(MIS4)。因此,这一规律是气候、构造、纬度、海陆位置等综合作用的结果。

近年来,中国东部山地是否存在第四纪冰川作用的研究再度出现热潮。一些学者从地貌学、沉积学、年代学等方面均提出了新证据,低海拔型山地是否存在第四纪冰川作用一度难以解释,而东亚季风区山地冰川发育的基本规律对深入分析中国东部低海拔山地是否存在第四纪冰川作用具有一定的参考价值。以湖南大围山为例,ESR 测年方法测得的年代结果均早于 200 ka,最老的冰川作用时代为 425 ka,大体相当于中国西部的中梁赣冰期,这一结果与东亚季风区各山地年代结果相差巨大,显然不合理。因此,对于冰期划定总体要符合东亚季风区冰川作用基本规律,采用的年代手段和相对地貌判别要与区域大环境相结合。

参考文献(References)

- 安芷生, 刘晓东. 2000. 东亚季风气候的历史与变率[J]. 科学通报, 45(3): 238-249. [An Z S, Liu X D. 2000. Dongya jifeng qihou de lishi yu bianlv[J]. Chinese Science Bulletin, 45(3): 238-249.]
- 崔之久, 陈艺鑫, 张威, 等. 2011. 中国第四纪冰期历史、特征及成因探讨[J]. 第四纪研究, 31(5): 749-764. [Cui Z J, Chen Y X, Zhang W, et al. 2011. Research history, glacial chronology and origins of Quaternary glaciations in China [J]. Quaternary Sciences, 31(5): 749-764.]
- 崔之久, 伍永秋, 刘耕年, 等. 1998. 关于“昆仑—黄河运动”[J]. 中国科学: 地球科学, 28(1): 53-59. [Cui Z J, Wu Y Q, Liu G N, et al. 1998. Guanyu "Kunlun-Huanghe yundong"[J]. Science in China: Earth Science, 28(1): 53-59.]
- 崔之久, 杨健夫, 刘耕年, 等. 1999. 中国台湾高山第四纪冰川之确证[J]. 科学通报, 44(20): 2220-2224. [Cui Z J, Yang J F, Liu G N, et al. 1999. Zhongguo Taiwan gaoshan disiji bingchuan zhi quezheng[J]. Chinese Science Bulletin, 44(20): 2220-2224.]

- 崔之久, 杨健夫, 刘耕年, 等. 2000. 季风的发展与冰川的消失: 从台湾高山末次冰期冰川发育特征说起[J]. 冰川冻土, 22(1): 7-14. [Cui Z J, Yang J F, Liu G N, et al. 2000. Monsoon development and glacier disappearance- from the point of view of glacier revolution features during last glaciation in Xueshan, Taiwan[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 22(1): 7-14.]
- 崔之久, 张威. 2003. 末次冰期冰川规模与冰川"异时"、"同时"问题的讨论[J]. 冰川冻土, 25(5): 510-516. [Cui Z J, Zhang W. 2003. Discussion about the glacier extent and advance/retreat asynchrony during the last glaciation[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 25(5): 510-516.]
- 耿侃, 杨志荣. 1990. 贺兰山气候特征与气候地貌[J]. 烟台师范学院学报: 自然科学版, 6(2): 49-56. [Geng K, Yang Z R. 1990. Climatic characteristics and climatic landforms in Helan Mountain[J]. Yantai Teachers' College Journal: Natural Science Edition, 6(2): 49-56.]
- 关伟. 1988. 日本气候的特征及其评价[J]. 辽宁师范大学学报: 自然科学版, (1): 61-67. [Guan W. 1988. The characteristics of the Japanese climate and its evaluation[J]. Journal of Liaoning Normal University: Natural Science Edition, (1): 61-67.]
- 郭恩华, 陈海平. 1997. 季风与地形对台湾降水的影响[J]. 热带地理, 17(1): 23-29. [Guo E H, Chen H P. 1997. The effects of monsoons and landform on rainfall in Taiwan[J]. Tropical Geography, 17(1): 23-29.]
- 韩同林, 劳雄, 郭克毅. 1999. 河北、内蒙古中低山区发现罕见的冰臼群[J]. 地质论评, 45(5): 456-462. [Han T L, Lao X, Guo K Y. 1999. Rare moulin swarms discovered in the medium-low mountains areas in Hebei and Inner Mongolia[J]. Geological Review, 45(5): 456-462.]
- 何立德, 陈淑桦, 齐士峥. 2010. 台湾第四纪高山冰川后退模式[J]. 台湾地理学报, (59): 19-38. [He L D, Chen S H, Qi S Z. 2010. Taiwan's Quaternary mountain glacier retreat models[J]. Journal of Geographical Science (Taiwan), (59): 19-38.]
- 何立德, 刘睿纭. 2012. 初探南湖大山第四纪冰川漂砾风化面强度与暴露年代之关系[J]. 台湾地理学报, (67): 31-47. [He L D, Liu R H. 2012. The relationships between weathered rock surface hardness and exposure dates of Quaternary erratic boulders in Nanhudashan of Taiwan [J]. Journal of Geographical Science (Taiwan), (67): 31-47.]
- 黄奇瑜, 闫义, 赵泉鸿, 等. 2012. 台湾新生代层序: 反映南海张裂, 层序和古海洋变化机制[J]. 科学通报, 57(20): 1842-1862. [Huang Q Y, Yan Y, Zhao Q H, et al. 2012. Cenozoic stratigraphy of Taiwan: look into rifting, stratigraphy and paleoceanography of South China Sea[J]. Chinese Science Bulletin, 57(20): 1842-1862.]
- 黄荣辉, 顾雷, 陈际龙, 等. 2008. 东亚季风系统的时空变化及其对我国气候异常影响的最近研究进展[J]. 大气科学, 32(4): 691-719. [Huang R H, Gu L, Chen J L, et al. 2008. Recent progresses in studies of the temporal - spatial variations of the East Asian Monsoon System and their impacts on climate anomalies in China[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 32(4): 691-719.]
- 金哲, 倪相. 2014. 朝鲜冰雹的气候特征分析[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 51(3): 437-443. [Jin Z, Ni X. 2014. Climatology of hail in North Korea[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 51(3): 437-443.]
- 景才瑞, 揭毅, 景高了. 2010. 论中国第四纪冰川研究的历史[J]. 华中师范大学学报: 自然科学版, 44(2): 330-336. [Jing C R, Jie Y, Jing G L. 2010. On the history of China Quaternary glaciation research[J]. Journal of Huazhong Normal University: Natural Science Edition, 44(2): 330-336.]
- 鞠远江, 刘耕年, 张晓咏, 等. 2004. 山地冰川物质平衡线与气候[J]. 地理科学进展, 23(3): 43-49. [Ju Y J, Liu G N, Zhang X Y, et al. 2004. High mountain glaciers' ELAO and climate[J]. Progress in Geography, 23(3): 43-49.]
- 李吉均. 1992. 季风亚洲末次冰期的古冰川遗迹[J]. 第四纪研究, 12(4): 332-340. [Li J J. 1992. Glacial relics of monsoonal Asia in the last glaciation[J]. Quaternary Sciences, 12(4): 332-340.]
- 李吉均. 1999. 青藏高原的地貌演化与亚洲季风[J]. 海洋地质与第四纪地质, 19(1): 1-11. [Li J J. 1999. Studies on the geomorphological evolution of the Qinghai- Xizang (Tibetan) Plateau and Asian monsoon[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 19(1): 1-11.]
- 李吉均, 方小敏. 1998. 青藏高原隆起与环境变化研究[J]. 科学通报, 43(15): 1569-1574. [Li J J, Fang X M. 1998. Qingzang gaoyuan longqi yu huanjing bianhua yanjiu[J]. Chinese Science Bulletin, 43(15): 1569-1574.]
- 李吉均, 舒强, 周尚哲, 等. 2004. 中国第四纪冰川研究的回顾与展望[J]. 冰川冻土, 26(3): 235-243. [Li J J, Shu Q, Zhou S Z, et al. 2004. Review and prospects of quaternary glaciation research in China[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 26(3): 235-243.]
- 廖梦娜, 于革. 2014. 3万年来亚洲降水与大气环流变化重建和模拟综述[J]. 地理科学进展, 33(6): 807-814. [Liao M N, Yu G. 2014. Reconstruction and simulations for precipitation and atmospheric circulation over the past 30000 years in Asia[J]. Progress in Geography, 33(6): 807-814.]
- 刘耕年, Li Y K, 陈艺鑫, 等. 2011. 喜马拉雅山佩枯岗日冰川地貌的年代学、平衡线高度和气候研究[J]. 冰川冻土, 33(5): 959-970. [Liu G N, Li Y K, Chen Y X, et al. 2011.

- Glacial landform chronology and environment reconstruction of Peiku Gangri, Himalayas[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 33(5): 959-970.]
- 吕洪波, 任晓辉, 杨超. 2006. 赤峰等地第四纪大陆冰川的地貌证据[J]. *地质论评*, 52(3): 379-385. [Lü H B, Ren X H, Yang C. 2006. Landform evidences of Quaternary continental glaciation in Chifeng and the vicinity areas, north of China[J]. *Geological Review*, 52(3): 379-385.]
- 马秋华, 何元庆. 1988. 太白山第四纪冰碛物特征与冰期[J]. *冰川冻土*, 10(1): 66-75. [Ma Q H, He Y Q. 1988. Moraine features and ice ages of the Quaternary in the Taibai Mountain[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 10(1): 66-75.]
- 齐矗华, 甘枝茂, 惠振德, 等. 1985. 太白山及其邻近地区冰川地貌的基本特征[J]. *陕西师范大学学报*, (4): 53-70. [Qi C H, Gan Z M, Hui Z D, et al. 1985. Basic characteristics of the glacial landforms on mount TAI-BAI and its near areas[J]. *Journal of Shaanxi Teachers University*, (4): 53-70.]
- 施雅风. 2003. 对崔之久、张威《末次冰期冰川规模与冰川"异时"、"同时"问题的讨论》一文的商榷[J]. *冰川冻土*, 25(5): 517. [Shi Y F. 2003. Discuss about Cui Zhijiu, Zhang Wei. Discussion about the glacier extent and advance/retreat asynchrony during the Last Glaciation[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 25(5): 517.]
- 施雅风. 2010. 韩同林的"冰臼论"是对花岗岩类岩石"负球状风化"的误解[J]. *地质论评*, 56(3): 349-354. [Shi Y F. 2010. Comments on the moulin argument provided by Mr. Han Tonglin, a misunderstanding of granite negative spheroidal weathering[J]. *Geological Review*, 56(3): 349-354.]
- 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[J]. *地质论评*, 57(1): 44-49. [Shi Y F. 2011. Is it really possible for glacier to develop on the mountains which below 2500m asl in the eastern China[J]. *Geological Review*, 57(1): 44-49.]
- 施雅风, 崔之久, 李吉均, 等. 1989. 中国东部第四纪冰川与环境问题[M]. 北京: 科学出版社: 130-132. [Shi Y F, Cui Z J, Li J J, et al. 1989. The problems of Quaternary glacier and environment in East China[M]. Beijing, China: Science Press: 130-132.]
- 施雅风, 崔之久, 苏珍. 2006. 中国第四纪冰川与环境变化[M]. 石家庄: 河北科学技术出版社: 572-574. [Shi Y F, Cui Z J, Su Z, et al. 2006. Quaternary glaciations and environmental variations in China[M]. Shijiazhuang, China: Hebei Science and Publishing House Press: 572-574.]
- 施雅风, 李吉均, 李炳元, 等. 1999. 晚新生代青藏高原的隆升与东亚环境变化[J]. *地理学报*, 54(1): 10-20. [Shi Y F, Li J J, Li B Y, et al. 1999. Uplift of the Qinghai-Xizang (Tibetan) Plateau and east Asia environmental change during late Cenozoic[J]. *Acta Geographica Sinica*, 54(1): 10-20.]
- 施雅风, 汤懋苍, 马玉贞. 1998. 青藏高原二期隆升与亚洲季风孕育关系探讨[J]. *中国科学: 地球科学*, 28(3): 263-271. [Shi Y F, Tang M C, Ma Y Z. 1998. Qingzang gaoyuan erqi longsheng yu Yazhou jifeng yunyu guanxi tantao [J]. *Science in China: Earth Sciences*, 28(3): 263-271.]
- 施雅风, 郑本兴, 李世杰, 等. 1995. 青藏高原中东部最大冰期时代高度与气候环境探讨[J]. *冰川冻土*, 17(2): 97-112. [Shi Y F, Zheng B X, Li S J, et al. 1995. Studies on altitude and climatic environment in the middle and east parts of Tibetan Plateau during Quaternary maximum glaciation[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 17(2): 97-112.]
- 苏珍, 赵井东, 郑本兴. 2014. 中国现代冰川平衡线分布特征与末次冰期平衡线下降值研究[J]. *冰川冻土*, 36(1): 9-19. [Su Z, Zhao J D, Zheng B X. 2014. Distribution and features of the glaciers' ELAs and the decrease of ELAs during the last glaciation in China[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 36(1): 9-19.]
- 田泽生. 1981. 太白山第四纪冰川遗迹的探讨[J]. *西北大学学报*, (3): 59-69[J]. [Tian Z S. 1981. A study about the traces of Quaternary glaciation of Mount Taibai in Shaanxi Province[J]. *Journal of Northwest University*, (3): 59-69.]
- 王桂增. 1984. 东秦岭第四纪冰川概要[J]. *陕西地质*, 2(2): 47-62. [Wang G Z. 1984. A sketch of Quaternary glaciation in eastern Qinling[J]. *Geology of Shaanxi*, 2(2): 47-62.]
- 王杰, 周尚哲, 许刘兵. 2005. "8.2 ka BP冷事件"的研究现状展望[J]. *冰川冻土*, 27(4): 520-527. [Wang J, Zhou S Z, Xu L B. 2005. Progress of research on "8.2 ka BP cold event"[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 27(4): 520-527.]
- 王为, 周尚哲, 李炳元, 等. 2011. 崂山冰臼之质疑[J]. *第四纪研究*, 31(5): 917-932. [Wang W, Zhou S Z, Li B Y, et al. 2011. Queries about the glacial potholes of Mountain Laoshan, China[J]. *Quaternary Sciences*, 31(5): 917-932.]
- 谢又予. 1986. 太白山冰缘地貌的初步研究[J]. *地理科学*, 6(2): 183-190. [Xie Y Y. 1986. A preliminary study on periglacial landforms of the Taibaishan[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 6(2): 183-190.]
- 许刘兵, 周尚哲, 王杰. 2005. 沙鲁里山更新世冰川作用及西南季风波动对末次冰期冰川作用的影响[J]. *第四纪研究*, 25(5): 620-629. [Xu L B, Zhou S Z, Wang J. 2005. Pleistocene glaciations in the Shalulishan and the influ-

- ences of south West Monsoon on the glaciations during the Last Glacial Period[J]. *Quaternary Sciences*, 25(5): 620-629.]
- 徐兴永, 肖尚斌, 李萍. 2005. 崂山古冰川遗迹的地质证据[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 29(4): 5-9. [Xu X Y, Xiao S B, Li P. 2005. Geologic proof on paleo-glaciation remains in Laoshan Mountain[J]. *Journal of the University of Petroleum, China*, 29(4): 5-9.]
- 易朝路, 崔之久, 熊黑钢. 2005. 中国第四纪冰期数值年表初步划分[J]. 第四纪研究, 25(5): 609-619. [Yi C L, Cui Z J, Xiong H G. 2005. Numerical periods of Quaternary glaciations in China[J]. *Quaternary Sciences*, 25(5): 609-619.]
- 张纯哲, 南万洙, 太松花, 等. 2007. 长白山天池气象条件的分析[J]. 延边大学农学学报, 29(1): 33-36. [Zhang C Z, Nan W Z, Tai S H, et al. 2007. Analysis of meteorological conditions of Tianchi in Changbai Mountain[J]. *Journal of Agricultural Science Yanbian University*, 29(1): 33-36.]
- 张威, 董应巍, 于治龙, 等. 2013. 气候和地貌对晚第四纪冰川发育差异性的影响[J]. 地理学报, 68(7): 909-920. [Zhang W, Dong Y W, Yu Z L, et al. 2013. Discussion of the difference of the timing and extent of glaciers in the late Quaternary controlled by the westerly and East Asia monsoon as well as tectonic movement[J]. *Acta Geographica Sinica*, 68(7): 909-920.]
- 张威, 李媛媛, 冯骥, 等. 2012. 青藏高原东缘山地古冰川沉积物磁化率特点及其影响因素分析[J]. 地理科学进展, 31(11): 1415-1425. [Zhang W, Li Y Y, Feng J, et al. 2012. Magnetic susceptibility of glacial deposits and the impacting factors in the eastern bordering mountains of the Tibetan Plateau[J]. *Progress in Geography*, 31(11): 1415-1425.]
- 张威, 刘蓓蓓, 崔之久, 等. 2013. 中国第四纪冰川作用与深海氧同位素阶段的对比和厘定[J]. 地理研究, 32(4): 628-637. [Zhang W, Liu B B, Cui Z J, et al. 2013. Division of glaciation and correlation between the Quaternary glaciation in China and the marine isotope stage[J]. *Geographical Research*, 32(4): 628-637.]
- 张威, 刘蓓蓓, 崔之久, 等. 2014. 中国典型山地冰川平衡线的影响因素分析[J]. 地理学报, 69(7): 958-968. [Zhang W, Liu B B, Cui Z J, et al. 2014. Theoretical glacial equilibrium line altitudes and their influencing factors in the typical mountains of China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 69(7): 958-968.]
- 张威, 刘亮, 刘啸, 等. 2014. 秦岭"太白冰期"冰坎宇宙成因核素¹⁰Be定年[J]. 科学通报, 59(31): 3086-3094. [Zhang W, Liu L, Liu X, et al. 2014. Cosmogenic nuclide ¹⁰Be dating of the glacial threshold of the "Taibai glaciation" in the Qinling Mountain range[J]. *Chinese Science Bulletin*, 59(31): 3086-3094.]
- 张威, 闫玲, 崔之久, 等. 2008. 长白山现代理论雪线和古雪线高度[J]. 第四纪研究, 28(4): 739-745. [Zhang W, Yan L, Cui Z J, et al. 2008. Present and late pleistocene equilibrium line altitudes in Changbai Shan, Northeast China[J]. *Quaternary Sciences*, 28(4): 739-745.]
- 张威, 闫玲, 崔之久, 等. 2009. 东亚沿海山地末次冰期冰川与环境[J]. 地理学报, 64(1): 33-42. [Zhang W, Yan L, Cui Z J, et al. 2009. Glacial environment during the Last Glacial cycle in the mountains of East Asia[J]. *Acta Geographica Sinica*, 64(1): 33-42.]
- 赵井东, 施雅风, 王杰. 2011. 中国第四纪冰川演化序列与MIS对比研究的新进展[J]. 地理学报, 66(7): 867-884. [Zhao J D, Shi Y F, Wang J. 2011. Comparison between Quaternary glaciations in China and the Marine Oxygen Isotope Stage (MIS): an improved schema[J]. *Acta Geographica Sinica*, 66(7): 867-884.]
- 赵井东, 王杰, 殷秀峰. 2013. 中国第四纪冰川研究的现状与争议: 兼记首届"中国第四纪冰川与环境变化"研讨会[J]. 冰川冻土, 35(1): 119-125. [Zhao J D, Wang J, Yin X F. 2013. Quaternary glaciations research in China: current status and controversy[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 35(1): 119-125.]
- 赵井东, 周尚哲, 刘时银, 等. 2007. 中国西部山岳冰川MIS3b冰进的初步探讨[J]. 冰川冻土, 29(2): 233-241. [Zhao J D, Zhou S Z, Liu S Y, et al. 2007. A preliminary study of the glacier advance in MIS3b in the western regions of China[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 29(2): 233-241.]
- 赵松龄. 2010. 中国东部低海拔型古冰川遗迹[M]. 北京: 海洋出版社: 14-19. [Zhao S L. 2010. Glacial remains of lower altitude mountains in the Eastern China[M]. Beijing, China: China Ocean Press: 14-19.]
- 郑本兴. 2000. 云南玉龙雪山第四纪冰期与冰川演化模式[J]. 冰川冻土, 22(1): 53-61. [Zheng B X. 2000. Quaternary glaciation and glacier evolution in the Yulong Mount, Yunnan[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 22(1): 53-61.]
- 周尚哲, 易朝路, 施雅风, 等. 2001. 中国西部MIS₁₂冰期研究[J]. 地质力学学报, 7(4): 321-327. [Zhou S Z, Yi C L, Shi Y F, et al. 2001. Study on the ice age MIS₁₂ in Western China[J]. *Journal of Geomechanics*, 7(4): 321-327.]
- 朱大运, 王建力. 2013. 青藏高原冰芯重建古气候研究进展分析[J]. 地理科学进展, 32(10): 1535-1544. [Zhu D Y, Wang J L. 2013. Progress in palaeoclimate research on the Tibet Plateau based on ice core records[J]. *Progress in Geography*, 32(10): 1535-1544.]

- 朱银奎. 2014. 崂山花岗岩山脊壶穴的特征及成因探讨[J]. 地质论评, 60(2): 397-408. [Zhu Y K. 2014. Characteristics and origin of granite hilltop potholes in mount Laoshan[J]. Geological Review, 60(2): 397-408.]
- Aoki T. 2003. Younger Dryas glacial advances in Japan dated with in situ produced cosmogenic radionuclides[J]. The Japanese Geomorphological Union, 24(1): 27-39.
- Astakhov V. 2004. Middle Pleistocene glaciations of the Russian North[J]. Quaternary Science Reviews, 23(11-13): 1285-1311.
- Brigham-Grette J, Gualtieri L M, Glushkova O Y, et al. 2003. Chlorine-36 and ^{14}C chronology support a limited last glacial maximum across central chukotka, northeastern Siberia, and no Beringian ice sheet[J]. Quaternary Research, 59(3): 386-398.
- Chen A D, Tian M Z, Zhao Z Z. et al. 2014. Macroscopic and microscopic evidence of Quaternary glacial features and ESR dating in the Daweishan Mountain area, Hunan, eastern China[J]. Quaternary International, 333: 62-68.
- Cui Z J, Yang J F, Liu G N, et al. 2002. The Quaternary glaciation of Shesan Mountain in Taiwan and glacial classification in monsoon areas[J]. Quaternary International, 97-98: 147-153.
- Ehlers J, Gibbard P L, Hughes P D. 2011. Quaternary glaciations extent and chronology[M]. Amsterdam, Holland: Elsevier: 217-223.
- Gillespie A, Molnar P. 1995. Asynchronous maximum advances of mountain and continental glaciers[J]. Reviews of Geography, 33(3): 311-364.
- Hebenstreit R, Böse M. 2003. Geomorphological evidence for a Late Pleistocene glaciation in the high mountains of Taiwan dated with age estimates by optically stimulated luminescence(OSL) [J]. Zeitschrift für Geomorphologie Supplementband, 130: 31-49.
- Hebenstreit R, Böse M, Murray A. 2006. Late Pleistocene and early Holocene glaciations in Taiwanese mountains[J]. Quaternary International, 147(1): 76-88.
- Hebenstreit R, Ivy-Ochs S, Kubik P W, et al. 2011. Lateglacial and early Holocene surface exposure ages of glacial boulders in the Taiwanese High Mountain Range[J]. Quaternary Science Reviews, 30(3-4): 298-311.
- Kondoa R, Tsukamoto S, Tachibana H, et al. 2007. Age of glacial and periglacial landforms in northern Hokkaido, Japan, using OSL dating of fine grain quartz[J]. Quaternary Geochronology, 2(1-4): 260-265.
- Liu G N, Zhang X Y, Cui Z J, et al. 2006. A review of glacial sequences of the Kunlun Pass, northern Tibetan Plateau [J]. Quaternary International, 154-155: 63-72.
- Machida H, Arai F. 2004. Atlas of tephra in and around Japan (rev. ed.)[M]. Tokyo: University of Tokyo Press: 336.
- Ono Y. 1984. Last glacial paleoclimate reconstructed from glacial and periglacial landforms in Japan[J]. Geographical Review of Japan (Series B), 57(1): 87-100.
- Ono Y, Aoki T, Hasengawa H, et al. 2005. Mountain glaciation in Japan and Taiwan at the global Last Glacial Maximum [J]. Quaternary International, 138-139: 79-92.
- Ono Y, Naruse T. 1997. Snowline elevation and eolian dust flux in the Japanese islands during isotope stages 2 and 4 [J]. Quaternary International, 37: 45-54.
- Ono Y, Shulmeister J, Lehmkuhl F, et al. 2004. Timings and causes of glacial advances across the PEP- II Transect (East-Asia to Antarctica) during the last glaciation cycle [J]. Quaternary International, 118-119: 55-68.
- Osipov E Y. 2004. Equilibrium-line altitudes on reconstructed LGM glaciers of the northwest Barguzinsky Ridge, Northern Baikal, Russia[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 209(1-4): 219 - 226.
- Rost K T. 1994. Paleoclimatic field studies in and along the Qinling Shan (Central China)[J]. GeoJournal, 34(1): 107-120.
- Shi Y F. 2002. Characteristics of late Quaternary monsoonal glaciation on the Tibetan Plateau and in East Asia[J]. Quaternary International, 97-98: 79-91.
- Siame L, Chu H T, Carcaillet J, et al. 2007. Glacial retreat history of Nanhuta Shan (north-east Taiwan) from preserved glacial features: the cosmic ray exposure perspective[J]. Quaternary Science Reviews, 26(17-18): 2185-2200.
- Stauch G, Lehmkuhl F, Frechen M. 2007. Luminescence chronology from the Verkhoysk Mountains (north-eastern Siberia)[J]. Quaternary Geochronology, 2(1-4): 255-259.
- Yang J Q, Zhang W, Cui Z J, et al. 2006. Late Pleistocene glaciation of the Diancang and Gongwang Mountains, south-east margin of the Tibetan Plateau[J]. Quaternary International, 154-155: 52-62.
- Zhang W, Cui Z J, Li Y H. 2006. Review of the timing and extent of glaciers during the last glacial cycle in the bordering mountains of Tibet and in East Asia[J]. Quaternary International, 154-155: 32-43.
- Zhang W, He M Y, Li Y H, et al. 2012. Quaternary glacier development and the relationship between the climate change and tectonic uplift in the Helan Mountain[J]. Chinese Science Bulletin, 57(34): 4491-4504.
- Zhang W, Niu Y B, Yan L, et al. 2008. Late Pleistocene glaciation of the Changbai Mountains in Northeastern China[J]. Chinese Science Bulletin, 53(17): 2672-2684.
- 長谷川裕彦. 1992. 北アルプス西南部, 打込谷の氷河地形

- と氷河前進期[J]. 地理学評論, 65A(4): 320-338. [Hasegawa H. 1992. Glacial and periglacial landforms around Mt. Kasaga-take, northern Japanese Alps[J]. Geographical Review of Japan, 65A(4): 320-338.]
- 長田敏明. 2011. 我が国の氷河論争の2つの系譜[J]. 地学教育と科学運動, 66: 80-87. [Osada T. 2011. Woguo bingchuan zhenglun de liangzhong xipu[J]. The Association for the Geological Collaboration in Japan, 66: 80-87.]
- 柳田誠. 1994. 支笏降下軽石 1(Spfa-1)の年代資料[J]. 第四紀研究, 33(3): 205-207. [Yanagida M. 1994. Zhihu jiangxia huoshanhu (Spfa-1) de niandai ziliao[J]. Quaternary Sciences of Japan, 33(3): 205-207.]
- 鹿野忠雄. 1937. 朝鮮東北部山地の氷河地形匯就二つ[J]. 地理学評論, 13: 1126-1145. [Kano T. 1937. Chaoxian dongbeibu shandi de bingchuan dimao huizong zhier[J]. Geographical Review of Japan, 13: 1126-1145.]
- 橋本誠二, 熊野純男. 1955. 北部日高山脈の氷蝕地形[J]. 地質学雑誌, 61: 208-217. [Hashimoto S, Kumano S. 1955. Zur Gletschertopographie im Hidaka-Gebirge, Hokkaido, Japan[J]. The Geological society of Japan, 61: 208-217.]
- 青木賢人. 1994. モレレン構成礫の風化皮膜の厚さから推定した中央アルプス北部における氷河前進期[J]. 地理学評論, 67A(9): 601-618. [Aoki T. 1994. Chronological study of glacial advances based on the weathering-rind thickness of morainic gravels in the northern part of the central Japan Alps[J]. Geographical Review of Japan, 67 A (9): 601-618.]
- 山崎直方. 1902. 日本に於ける氷河遺跡の発見[J]. 地質学雑誌, 9: 352-353. [Naomasa Y. 1902. Gguanyu Riben bingchuan yiji de faxian[J]. The Geological Society of Japan, 9: 352-353.]
- 岩崎正吾, 平川一臣, 澤柿教伸. 2000. 日高山脈エサオマン トツタベツ川流域における第四紀後期の氷河作用とその編年[J]. 地学雑誌, 109(1): 37-55. [Iwasaki S, Hirakawa K, Sawagaki T, et al. 2000. Late Quaternary glaciation in the Esaoman-Tottabetsu Valley, Hidaka Range, Hokkaido, Japan[J]. Journal of Geography, 109(1): 37-55.]
- 塚田松雄. 1984. 日本列島における約2万年前の植生図[J]. 日生態会誌, 34(2): 203-208. [Tsukada M. 1984. A vegetation map in the Japanese archipelago approximately 20000 years B. P. [J]. The Ecological Society of Japan, 34 (2): 203-208.]

Control factors on glaciation during the last glacial period in the East Asia monsoon area

ZHANG Wei, LIU Rui, LIU Liang

(College of Urban and Environmental Sciences, Liaoning Normal University, Dalian 116029, Liaoning, China)

Abstract: Research on the timing, extent, and distribution of the late Quaternary glaciation in the East Asia monsoon area is very important for the discussion on the mechanism of the glacier development and global climate change. New absolute ages indicate that there were clear difference of the glacial advancement and retreat in and along the mountains and islands in East Asia, including on the Taiwan Island, in Japan, Hokkaido, Kaema Highlands, and Russian. However, the glacial history was strictly constrained by the last glacial cycle (LGC) corresponding to marine isotope stage (MIS) 4 and the glacial extent during the early stage of the LGC was larger than that of the late stage. Through comparing the characteristics of the glacial action in these mountains and islands, we confirmed the main influencing factors on the glacial development in the study area. The results show that climate, tectonic uplift, latitude, and the location away from the sea affected the onset of glaciation and glacier distribution and sequence in the East Asia monsoon area. According to these conclusions, it is not possible that glaciers advanced earlier than the LGC in the lower altitude mountains of East China.

Key words: East Asian monsoon; glacier advance; structure; control factor