

青藏高原全新世气候环境变化的 冰川、冰缘和湖泊沉积记录*

李世杰^{①②} 陈 炜^② 姜永见^② 金传芳^②
李翠翠^① 罗荣琴^① 王晓丹^①

(^①中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002;

^②中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室, 南京 210008)

摘要 全新世是地球历史上最新的一个间冰期, 历时已有一万余年。期间, 伴随着气候与环境的快速变化, 人类文明也呈现出快速的演化, 当前全球气候变暖导致人类生存环境的急剧变化已引起全球各国政府和科学家的广泛而深刻的关注和研究。然而, 全新世期间曾多次出现气候波动阶段, 对全新世这一间冰期气候与环境变化过程和机制的研究就有着十分重要的意义, 可为现代气候变暖及其影响提供科学借鉴。地处中低纬度的青藏高原这一高耸的巨大地块, 堪称“地球第三极”, 是一个集冰川、多年冻土、湖泊同时共存的特殊区域, 受人类活动直接影响较弱, 其冰川进退变化、多年冻土形成与消融、湖泊扩张与萎缩的变化过程则敏感地记录着气候与环境的自然变化。在多年对青藏高原冰川、冰缘和湖泊沉积与地貌的考察研究资料基础上, 把冰川进退、冰缘地貌的发育和湖泊连续沉积的记录进行综合分析、相互对比印证, 指出青藏高原全新世间冰期气候与环境变化的不稳定性, 期间明显存在着千年和百年的波动变化, 在距今 8000~8500 年、6000~5500 年、4000~4500 年左右、3000~2000 年左右以及 600~100 年都存在明显的冷期。因此, 在青藏高原, 全新世气候存在着较大幅度的波动, 从冰川前进幅度所需零平衡线下降值和多年冻土下界下降幅度来大致估算, 温度的波动幅度至少也在 3.5~5.0℃左右, 甚至更大。

主题词 全新世 气候波动 冰进事件 冰缘地貌 湖泊沉积记录 青藏高原

中图分类号 P534.632, X141 **文献标识码** A

近些年来对晚第四纪的全球气候变化研究, 着重强调对于高分辨率记录的气候事件的研究^[1-5], 如新仙女木事件(Younger Dryas)及晚冰期气候波动事件^[6,7]、Henrich 事件^[8]等, 探讨气候事件的变速、变幅和持续时间, 揭示这些事件的发生机制及原因^[9-11]。全新世属于地球历史上最近 1 万年的间冰期, 但气候也存在着千年、百年尺度的显著变化, 如中全新世的温暖湿润气候(大暖期)^[12]以及之后发生的新冰期、小冰期等。这种全新世气候不稳定性是区域性的还是全球性的? 其驱动因素与机制如何? 都在不断地探讨之中^[13-16]。施雅风先生生前曾组织对中国全新世大暖期开展研究并出版专著^[17]。通过全球性或不同区域的对比研究, 有助于加深理解全新世气候环境变化的特点, 加深理解人类活动对气候系统的影响不断增强的条件下, 全球气候变化的自然变率。青藏高原被称“地球第三

极”, 受人类活动直接影响较弱, 特别是在青藏高原这一特殊地域同时并存的冰川、冰缘和湖泊, 其沉积和地貌过程可为研究全新世高分辨率气候与环境变化历史提供可靠的证据。综合总结多年来在青藏高原对冰川沉积、冰缘沉积和湖泊沉积对气候环境变化的记录, 可以看出青藏高原这一特殊地域全新世气候与环境变化的特征, 以此来纪念恩师施雅风先生逝世一周年。

1 冰川沉积记录

青藏高原西北部西昆仑山南坡的崇测冰川和克里雅冰川沉积地貌的实地考察、采样和冰川沉积物¹⁴C测年, 获得区域冰川变化的堆积地貌如图 1 和图 2^[18]。青藏高原东北部巴颜喀拉山的年保玉则山北坡的希门错沟冰川沉积地貌考察和¹⁴C测年分析, 得到其冰川变化堆积地貌如图 3^[19]。

第一作者简介: 李世杰 男 56 岁 研究员 第四纪环境与全球变化专业 E-mail: lishijie@vip.gyig.ac.cn

* 中国科学院战略性科技先导专项项目(批准号: XD0A5120300)和中国科学院创新工程重要方向性项目(批准号: KZCX2-YW-338)资助
2011-12-12 收稿, 2011-12-29 收修改稿

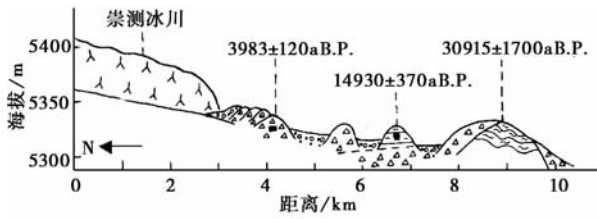


图1 西昆仑山崇测冰川前的沉积地貌图示^[18]

Fig.1 The profile of sedimentary geomorphology in front of Chongce Glacier on the south slope of West Kunlun Mountains

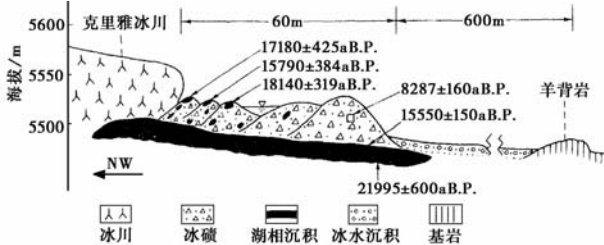


图2 西昆仑山克里雅冰川前的沉积地层及年代^[18]

Fig.2 The profile of sediments and their ages in front of Keliya Glacier in West Kunlun Mountains

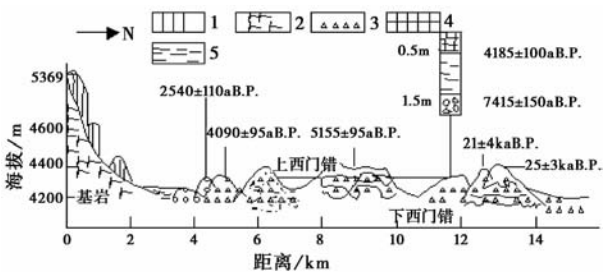


图3 年保玉则山北坡希门错沟冰川变化剖面^[19]

- 1. 现代冰川(modern glacier) 2. 基岩(bedrock)
- 3. 冰碛(moraine) 4. 泥炭(peat) 5. 湖相粘土(lacustrine clay)

Fig.3 The profile of glacial sediments and ¹⁴C datings in the Ximenco Lake valley on the north slope of Nianbaoyuze Mountain, northeastern Tibetan Plateau

在青藏高原西北部干旱地区的西昆仑山南坡崇测冰川外围(图1),最外侧第一道冰碛垄距冰川末端约7km,其下伏湖相沉积¹⁴C测年为30915±1700a.B.P.,证明该冰碛为末次盛冰期之产物;第二道冰碛垄距现代冰舌末端3.5km,呈弧形断续分布在崇测冰舌外围,其年代为14930±370a.B.P.;距现代冰舌1.2km处,紧邻小冰期冰碛之外有两列冰碛垄,正前方终碛已被侵蚀,而侧面保存完好,其¹⁴C测年分别为3983±120a.B.P.和3522±117a.B.P.;在崇测冰帽南缘200m处的终碛¹⁴C年代为2720±85a.B.P.,这些均为新冰期的产物^[18]。而在西昆仑山的克里雅山口,古里雅平顶冰川有一支下伸的冰舌(称为克里雅冰川)(图2),其外侧分布有一高15~20m的终碛垄,下伏灰色湖相沉积物顶部¹⁴C年代为15550±150a.B.P.,而冰碛垄中所采样品¹⁴C测年为8287±160a.B.P.^[18]。此外,在祁连山敦德平顶冰川北侧下伸的一条冰舌外围也发现了这次冰进留下的终碛,其¹⁴C年代为8455±265a.B.P.^[18]。

在青藏高原东北部年保玉则山地全新世以来冰川进退变化的地貌遗迹保存最为完整(图3)^[19]。该山地最高峰海拔5369m,在末次冰盛期发育成为冰帽冰川,全新世期间蜕变成山谷冰川,目前成为悬冰川。在下希门错流水出口处的一道冰川终碛垄的年代为21±4ka.B.P.,其外侧终碛垄的年代为25±3ka.B.P.;在内侧靠湖的终碛垄上探坑采样,1.5m深处湖相沉积¹⁴C测年为7415±150a.B.P.,顶部0.5m处¹⁴C测年为4185±100a.B.P.,上、下希门错之间的终碛垄年代为5155±95a.B.P.,4090±95a.B.P.和2540±110a.B.P.^[19]。

综上所述,青藏高原不同地点全新世期间冰进发生的时间如表1。

表1 青藏高原全新世冰进序列

Table 1 Glacial advancing sequences during Holocene on the Qinghai-Xizang Plateau

冰进阶段	冰进序列	¹⁴ C年代/a.B.P.	典型冰积地层	资料来源
全新世早期冷期	1	8287±160	克里雅冰川和敦德冰川	李世杰和焦克勤 ^[18]
		8455±265		
新冰期	2	3983±120	崇测冰川和希门错冰川	李世杰和焦克勤 ^[18]
		4090±95		
	3	3522±117	西昆仑山崇测冰川	李世杰和焦克勤 ^[18]
	4	2980±150 ~ 2720±85	察隅阿扎冰川和西昆仑山崇测冰川	郑本兴和李吉均 ^[20]
	5	1920±110	易贡若果冰川	郑本兴和李吉均 ^[20]
	6	940±50	贡嘎山海螺沟冰川	李吉均等 ^[21]
小冰期		16~19世纪	西部山地冰川普遍存在	

2 冰缘地貌记录

冰缘地貌可指示多年冻土发育的状况。青藏高原高海拔多年冻土下界在青藏高原北缘目前分布大致是在海拔 4100 ~ 4200m, 其年平均温度大致在 -3℃左右, 特别是在青藏高原东北部最为明显。在末次盛冰期, 青藏高原东北部的多年冻土下界比今可降低 1200 ~ 1500m; 李世杰等^[19]在青藏公路纳赤台(海拔 3500m 左右)附近考察, 见河流阶地地层中末次盛冰期形成的冰楔和冻融褶皱地貌。在海拔为 3000m 左右的若尔盖盆地, 全新世河湖相沉积地层中发现许多冻融褶皱以及冰楔假型冰缘地貌现象(图 4)^[19]。在 RH-IV 剖面中, 测年为 2440±95a.B.P 的湖相沉积层下的冻融褶皱冰缘现象应是之后形成的; 在 DC 剖面 and RH-I 剖面中 1.5m 深度下的冻融褶皱层应是在距今 6900 年之后的冷期形成的; 在距今 14770 年沉积的湖相层下形成的冻融褶皱则可能对应于新仙女木冷期; 杂希塘沟口剖面(图 5)^[19]测年为距今 8860 年沉积层下的冻融褶皱(第 2 层)应是在此层沉积之后的冷期形成的产物, 可能对应于距今 8000 ~ 8500 年间的冷期, 此时多年冻土的下界已下降到若尔盖盆地, 比今降低 700 ~ 800m; 之下第 3 层较厚的冻融褶皱层则可能是 Younger Dryas 冷期的产物。

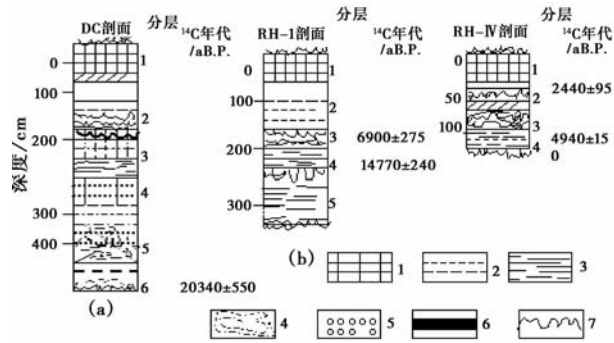


图 4 若尔盖盆地中的几个天然剖面图示^[19]

- 1. 泥炭(peat) 2. 粉砂(silt) 3. 粘土(clay) 4. 冻融扰动层(frozen-thaw disturbed layer)
- 5. 小砾石(small gravel layer) 6. 植物残体(plant remains) 7. 冻融褶皱层(freeze thaw folds layer)

Fig. 4 The involution geomorphology in some sediment sections in Zoigê Basin, northeastern Tibetan Plateau

RH-1 剖面(图 4b)的下褶皱层与杂希塘沟口剖面(图 5)中的褶皱层的时代代表了 11000a.B.P. 左右的 Younger Dryas 寒冷事件, 这与若尔盖泥炭研究结果相吻合^[22-24]。DC 剖面(图 4a)中的褶皱层与 RH-1 剖面的上褶皱形成时代介于 5000 ~

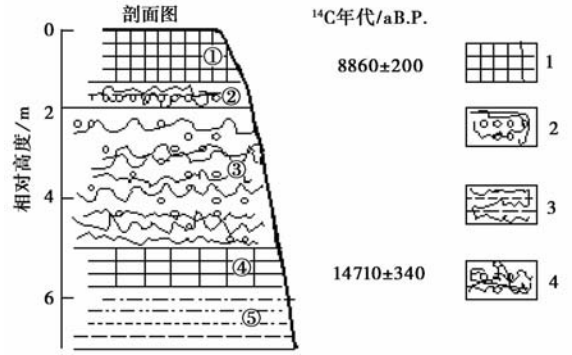


图 5 若尔盖盆地杂希塘沟口剖面^[19]

- 1. 泥炭(peat) 2. 冻融褶皱砾石层(frozen-thaw disturbed gravel layer)
 - 3. 冻融褶皱粉砂层(frozen-thaw disturbed silt layer) 4. 冻融褶皱含砾粉砂层(frozen-thaw disturbed silt with gravel layer)
- Fig. 5 Involution phenomena in sediment section of Zaxitang Valley in Zoigê Basin, northeastern Tibetan Plateau

6000a.B.P. 之间。RH-IV 剖面(图 4c)中形成的两层褶皱层, 根据上下层位 ¹⁴C 测年资料, 分别代表了 4000a.B.P. 和 2000a.B.P. 左右的寒冷事件。

从上面的分析可以得出若尔盖地区的全新世主要冷期为: 1) Younger Dryas 冷期; 2) 8860±200a.B.P. 之后的冷期; 3) 5000 ~ 6000a.B.P. 期间的冷期; 4) 4000a.B.P. 左右的冷期; 5) 2000a.B.P. 左右的冷期。

3 湖泊沉积记录

Liu 等^[25]对青海湖 16000 年来湖泊沉积物的孢粉研究揭示了 8.2kaB.P. 和 5.0kaB.P. 前后的两次冷事件。

图 6 为青藏高原可可西里地区苟鲁错湖底沉积

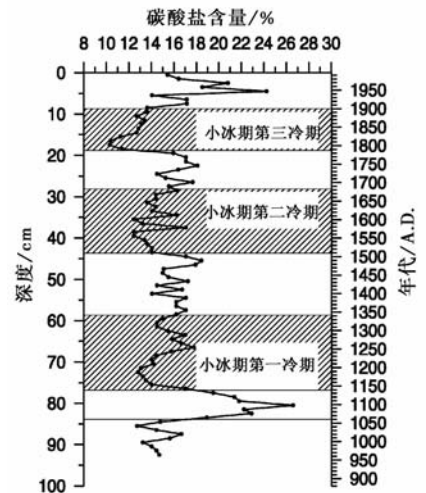


图 6 青藏高原苟鲁错湖泊沉积千年碳酸盐含量(百分数)变化曲线^[26]

Fig. 6 Millennia fluctuations of carbonate content in the sediment of Goulucuo Lake on the Tibetan Plateau

表 2 近千年的气候冷暖变化记录对比

Table 2 The records comparison of climatic cold-warm fluctuations during the last 1000 years

古里雅冰芯记录 ^[27]		苟鲁错湖底沉积记录 ^[26]		小冰期气候序列 ^[28]	祁连山树轮 ^[29]
冷期时段/年	持续时间/年	冷湿时段/年	持续时间/年	冷期时段/年	冷期时段/年
1101 ~ 1200	100	1140 ~ 1250	110	1100's ~ 1150's	
		1290 ~ 1340	50	1300's ~ 1390's	
1451 ~ 1500	50	1440 ~ 1480	40	1450's ~ 1510's	1428 ~ 1537
		1510 ~ 1580	70	1560's ~ 1690's	
1601 ~ 1690	90	1590 ~ 1610	20		
		1620 ~ 1680	60		1622 ~ 1740
		1710 ~ 1740	30		
1791 ~ 1880	90	1790 ~ 1900	110	1790's ~ 1890's	1797 ~ 1870
暖期时段/年	持续时间/年	温(暖)干时段/年	持续时间/年		
901 ~ 1100	200	1060 ~ 1140(盛期)	90		
1201 ~ 1450	250	1240 ~ 1290	50		
		1340 ~ 1440	100		
1501 ~ 1600	100	1480 ~ 1510	30		
1691 ~ 1790	100	1680 ~ 1710	30		
		1740 ~ 1780	40		
1881 ~ 1990	110	1900 ~ 1998	98		

岩芯碳酸盐含量变化。其敏感地记录了近 1000 年来特别是小冰期的气候变化^[26], 显示出与青藏高原冰芯记录具有较好的一致性。将苟鲁错湖底沉积岩芯碳酸盐含量变化记录与姚檀栋等^[27]的古里雅冰芯记录、王绍武等^[28]建立的中国小冰期气候以及祁连山树轮气候记录^[29]相对比(表 2)可以看出, 碳酸盐含量为低值段时都对应寒冷的时期, 高值段则对应温暖时期, 即近千年尺度上青藏高原可可西里地区气候变化主要为温(暖)干和冷湿的组合模式。

青藏高原中部封闭湖泊兹格塘错全新世的湖泊沉积岩芯分析结果表明(图 7), 兹格塘错湖泊沉积岩芯的碳酸盐含量在全新世期间出现多次突然降低的时期^[30]。

8.3 ~ 7.7 cal. kaB. P. 时期, 兹格塘错沉积物碳酸盐含量出现一个显著的低值。许多研究结果表明在 8.2 cal. kaB. P. 左右出现全球低温事件^[11, 25, 31, 32], 这是全新世早期的一个明显寒冷时期, 在青藏高原高山地区也发现该时期的冰川前进现象^[18, 33]。

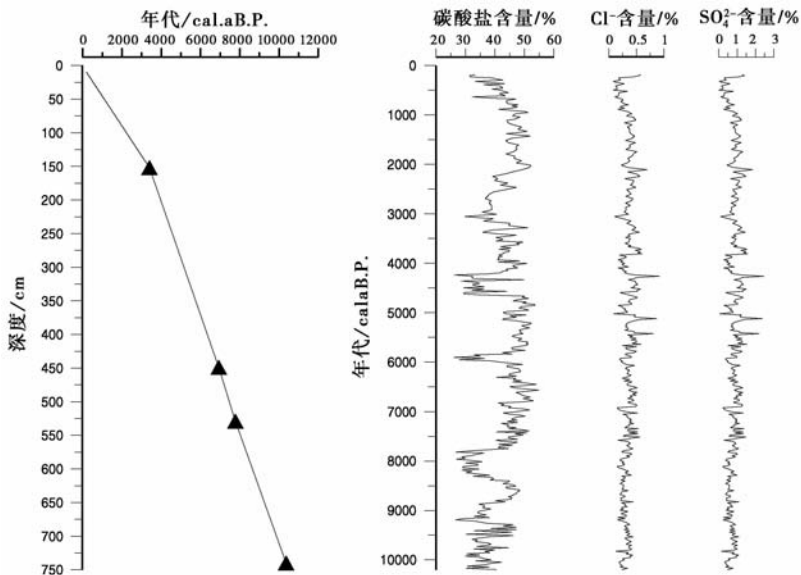
图 7 兹格塘错全新世沉积岩芯碳酸盐含量变化分析结果^[30]

Fig. 7 Changes of carbonate content during the Holocene period in the sediment core from Zigetang Lake on the Tibetan Plateau

在 6.0 ~ 5.6 cal. kaB. P. 期间碳酸盐含量又出现了明显降低,这是在 7.7 ~ 4.7 cal. kaB. P. 期间碳酸盐含量一直处于较高水平上的一个突然变化。

4.7 ~ 4.2 cal. kaB. P. 期间兹格塘错沉积岩芯中的碳酸盐含量再次显著降低,青藏高原湖泊沉积记录 4kaB. P. 前后气候开始强烈波动,并向冷干方向发展,出现所谓的新冰期颤动。

到了 0.6 ~ 0.2 cal. kaB. P. 期间,碳酸盐含量逐渐波动下降,这与小冰期冷期相对应。

以上可以看出,青藏高原腹地全新世气候变化的几个典型的“寒冷事件”与 ZGT02 岩芯碳酸盐含量低值阶段相对应。

4 讨论与结论

综上所述,青藏高原冰川、冰缘和湖泊沉积记录了高原全新世气候变化的不稳定性,存在数次明显的降温事件。

全新世早期气候冷波动,其时间大致在 8.0 ~ 8.5kaB. P.。西昆仑山和巴颜喀拉山地区出现冰川前进,西昆仑山克里雅冰川冰进的 ^{14}C 时间大致是 $8287 \pm 160 \text{aB. P.}$; 祁连山敦德冰川的冰进 ^{14}C 时间大致是 $8455 \pm 265 \text{aB. P.}$ 。前文所述的若尔盖盆地沉积地层中发育的冰缘地貌现象指示出在这一冷期多年冻土下界比今下降了 700 ~ 800m; 兹格塘错湖泊沉积中也明显记录了该次冷期的存在。

在全新世中期大暖期中,距今 5 ~ 6ka 还存在一次降温事件,在唐古拉山地区冰川沉积的冰碛垄年代测定发现有该次冷期冰进的记录; 若尔盖盆地沉积 DC 剖面中的褶皱层和 RH-1 剖面的上冻融褶皱形成时代介于 5000 ~ 6000aB. P. 之间,代表了全新世高温期中的降温事件。Denton^[34] 称 5.8 ~ 4.9kaB. P. 为第二次新冰期,冷锋出现在 5.3kaB. P 左右,南北半球各山地冰川均出现冰川前进。

距今 4000 年左右冷期,在西昆仑山崇测冰川冰进留下的冰碛垄 ^{14}C 年代为 $3983 \pm 120 \text{aB. P.}$; 乌鲁木齐河源新冰期的一系列冰碛 ^{14}C 年为 $4080 \pm 150 \text{aB. P.}$; 年保玉则山北坡上、下希门错之间其中一列终碛垄的年代为 $4090 \pm 95 \text{aB. P.}$; 在若尔盖盆地河湖相沉积地层中又再次发生多年冻土,形成冻融褶皱层,当时多年冻土下界也比今下降 700 ~ 800m; 兹格塘错湖泊沉积也同样明显记录了这次冷期。据若尔盖气象站记录,现代多年平均温度为 3°C , 现代多年冻土下界附近的年平均温度为 -3°C 左右(土质不同有所差异),因此保守估计若尔盖盆地当时年平均温度

也应在 $-2 \sim -3^\circ\text{C}$ 左右。

距今 3000 ~ 2000 年期间,气候的冷暖波动较为频繁。西昆仑山崇测冰川在这段时间里发生的冰进留下冰碛垄的时代大致是 $2720 \pm 85 \text{aB. P.}$; 年保玉则山希门错沟的冰进时间大致是 $2540 \pm 110 \text{aB. P.}$; 西藏察隅阿扎冰川前进留下的冰碛垄时代大致是 $2980 \pm 150 \text{aBP}$; 若尔盖盆地在此期间再次经历了多年冻土的发育过程,形成冻融褶皱层,显示出多年冻土下界也比今日下降 700m 左右。高原中部兹格塘错湖泊沉积中的碳酸盐含量再次出现了低值时期。

16 ~ 19 世纪的小冰期在我国西部山地冰川普遍存在,冰川末端基本上都有 3 次不同程度前进留下的 3 道终碛垄。高原腹地可可西里的苟鲁错湖泊沉积记录的近千年碳酸盐含量变化明显记录到 3 次低值时期,分别与小冰期 3 次冷期相对应。

综上所述,在全新世这一间冰期,青藏高原的气候仍存在着较大幅度的波动,从冰川前进幅度所需零平衡线下降值和多年冻土下界下降幅度来大致估算,期间温度的下降幅度至少也在 $3.5 \sim 5.0^\circ\text{C}$ 左右,甚至更大。

致谢 真诚感谢审稿专家对文章提出的富有建设性的修改意见。

参考文献 (References)

- 1 Kutzbach J E. Monsoon climate of the Early Holocene: Climate experiment with the Earth's orbital parameters for 9000 years ago. *Science*, 1981, **214**: 59 ~ 61
- 2 Lister G S, Kelts K, Chen K *et al.* Lake Qinghai, China: Closed-basin lake levels and the oxygen isotope record for ostracoda since the Latest Pleistocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1991, **84**(1 ~ 4): 141 ~ 162
- 3 Schelske C L, Hodell D A. Recent changes in productivity and climate of Lake Ontario detected by isotopic analyses of sediments. *Limnology and Oceanography*, 1991, **36**(5): 961 ~ 975
- 4 Yu Xuefeng, Zhou Weijian, Franzen L G *et al.* High-resolution peat records for Holocene monsoon history in the eastern Tibetan Plateau. *Science in China (Series D)*, 2006, **49**(6): 615 ~ 621
- 5 Dansgaard W, Johnsen S J, Clausen H B *et al.* Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record. *Nature*, 1993, **364**: 218 ~ 220
- 6 Gasse F, Arnold M, Fontes J C *et al.* A 13,000-year climate record from western Tibet. *Nature*, 1991, **353**: 742 ~ 745
- 7 Hodell D A, Brenner M, Kanfoush S L *et al.* Paleoclimate of south western China for the past 50,000 yr inferred from lake sediment records. *Quaternary Research*, 1999, **52**(3): 369 ~ 380
- 8 Heinrich H. Origin and consequences of cyclic ice rafting in the North East Atlantic Ocean during the past 130,000 years. *Quaternary Research*, 1988, **29**(2): 142 ~ 152
- 9 Clemens S, Prell W, Murray D *et al.* Forcing mechanisms of the

- Indian Ocean monsoon. *Nature*, 1991, **353**: 720 ~ 725
- 10 Overpeck J, Anderson D, Trumbore S *et al.* The south west Indian monsoon over the last 18000 years. *Climate Dynamics*, 1996, **12**(3): 213 ~ 225
- 11 Richard B A, Anna M D. The 8k event: Cause and consequence of a major Holocene abrupt climate change. *Quaternary Science Reviews*, 2005, **24**(10 ~ 11): 1123 ~ 1149
- 12 施雅风, 孔昭宸, 王苏民等. 中国全新世大暖期的气候波动与重要事件. *中国科学(B辑)*, 1992, **22**(12): 1300 ~ 1308
Shi Yafeng, Kong Zhaochen, Wang Sumin *et al.* The important climatic fluctuations and events in China during the Holocene Megathermal. *Science in China*(Series B), 1992, **22**(12): 1300 ~ 1308
- 13 An Z S, Porter S C, Kutzbach J E *et al.* Asynchronous Holocene optimum of the East Asian monsoon. *Quaternary Science Reviews*, 2000, **19**(8): 743 ~ 762
- 14 Hong Y T, Hong B, Lin Q H *et al.* Correlation between Indian Ocean summer monsoon and North Atlantic climate during the Holocene. *Earth and Planetary Science Letter*, 2003, **211**(3 ~ 4): 371 ~ 380
- 15 Carolyn A D, Edwards R L, Cheng H *et al.* A high-resolution, absolute-dated Holocene and deglacial Asian monsoon record from Dongge Cave, China. *Earth and Planetary Science Letter*, 2005, **233**(1 ~ 2): 71 ~ 86
- 16 Gupta A K, Anderson D M, Overpeck J T. Abrupt changes in the Asian southwest monsoon during the Holocene and their links to the North Atlantic Ocean. *Nature*, 2003, **421**: 354 ~ 357
- 17 施雅风, 孔昭宸编. 中国全新世大暖期气候与环境. 北京: 海洋出版社, 1992. 1 ~ 212
Shi Yafeng, Kong Zhaochen eds. *The Climates and Environments of Holocene Megathermal in China*. Beijing: China Ocean Press, 1992. 1 ~ 212
- 18 李世杰, 焦克勤. 3 万年来西昆仑山南坡的冰川变化. *冰川冻土*, 1990, **12**(4): 311 ~ 318
Li Shijie, Jiao Keqin. Glacier variations on the south slope of West Kunlun Mountains since 30000 years. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1990, **12**(4): 311 ~ 318
- 19 李世杰, 施雅风, 王苏民. 若尔盖盆地 3 万年来气候与环境变化的地质记录. 见: 青藏项目专家委员会编. 青藏高原形成演化、环境变迁与生态系统研究(1994). 北京: 科学出版社, 1995. 227 ~ 235
Li Shijie, Shi Yafeng, Wang Sumin. Geological records of the climate and environmental changes in Zoigê Basin since 30kaB.P. In: *The Expert Committee on the Qing-Zang Program ed. Study on the Formation and Evolution of the Qinghai-Xizang Plateau, Environmental Change and Ecological Annual Academic* (1994). Beijing: Science Press, 1995. 227 ~ 235
- 20 郑本兴, 李吉均. 青藏高原的第四纪冰期. 见: 1980 年青藏高原学术会议文集. 北京: 科学出版社, 1981. 1631 ~ 1640
Zheng Benxing, Li Jijun. Quaternary glaciations on the Qinghai-Xizang Plateau. In: *Proceedings of International Conference on the Qinghai-Xizang Plateau Research* (1980). Beijing: Science Press, 1981. 1631 ~ 1640
- 21 李吉均等. 贡嘎山冰川考察. 见: 横断山考察专辑(一). 昆明: 云南人民出版社, 1983. 140 ~ 153
Li Jijun *et al.* ed. Glacier expedition in the Gongga Mountains. In: *Special Issue of Hengduan Mountains Scientific Expedition* (I). Kunming: Yunnan People's Publishing House, 1983. 140 ~ 153
- 22 Xu H, Hong Y, Lin Q *et al.* Temperature responses to quasi-100-yr solar variability during the past 6000 years based on $\delta^{18}\text{O}$ of peat cellulose in Hongyuan, eastern Qinghai-Tibet Plateau, China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2006, **230**(1 ~ 2): 155 ~ 164
- 23 Zheng Y, Zhou W, Meyers P A *et al.* Lipid biomarkers in the Zoigê-Hongyuan peat deposit: Indicators of Holocene climate changes in West China. *Organic Geochemistry*, 2007, **38**(11): 1927 ~ 1940
- 24 Wang Fubao, Han Huiyou, Yan Ge. Paleovegetation and paleoclimate evolution sequence since 30ka in north-eastern Tibetan Plateau. *Science in China* (Series D), 1996, **26**(2): 111 ~ 117
- 25 Liu Xingqi, Shen Ji, Wang Sumin *et al.* A 16000-year pollen record of Qinghai Lake and its paleoclimate and paleoenvironment. *Chinese Science Bulletin*, 2002, **47**(22): 1931 ~ 1936
- 26 李世杰, 王小天, 夏威岚等. 青藏高原鲁鲁错湖泊沉积记录的小冰期气候变化. *第四纪研究*, 2004, **24**(5): 578 ~ 584
Li Shijie, Wang Xiaotian, Xia Weilan *et al.* The Little Ice Age climate fluctuations derived from lake sediments of Goulucuo, Qinghai-Xizang Plateau. *Quaternary Sciences*, 2004, **24**(5): 578 ~ 584
- 27 姚檀栋, 谢自楚, 武筱玲. 敦德冰芯中的小冰期气候记录. *中国科学(B辑)*, 1990, **20**(11): 1196 ~ 1201
Yao Tandong, Xie Zichu, Wu Xiaoling. Climatic change since Little Ice Age recorded by Dunde Ice Cap. *Science in China* (Series B), 1990, **20**(11): 1196 ~ 1201
- 28 王绍武, 叶瑾琳, 龚道溢. 中国小冰期的气候. *第四纪研究*, 1998, (1): 54 ~ 64
Wang Shaowu, Ye Jinlin, Gong Daoyi. Climate in China during the Little Ice Age. *Quaternary Sciences*, 1998, (1): 54 ~ 64
- 29 张先恭, 赵 溱, 徐瑞珍. 祁连山圆柏年轮与我国气候变化趋势. 见: 中央气象局气象科学研究所编. 全国气候变化学术讨论会论文集(1978年). 北京: 科学出版社, 1981. 26 ~ 35
Zhang Xiangong, Zhao Qin, Xu Ruizhen. Cypress tree-ring record from Qilian Shan and climatic change trend in China. In: *Weather and Climate Institute of Chinese Academy of Meteorological Science ed. Proceedings of National Climate Change Symposium of China in 1978*. Beijing: Science Press, 1981. 26 ~ 35
- 30 李世杰, Bernd Wünnemann, 夏威岚等. 青藏高原兹格塘错沉积记录的全新世水位变化事件及其原因初步研究. *地学前缘*, 2009, **16**(6): 162 ~ 167
Li Shijie, Bernd Wünnemann, Xia Weilan *et al.* A preliminary study of the Holocene lake level changes and their causes derived from the sediment record of Zigetang Lake, Tibetan Plateau. *Earth Science Frontiers*, 2009, **16**(6): 162 ~ 167
- 31 Shinya Yamamoto, Kimitaka Kawamura, Osamu Seki *et al.* Paleoenvironmental significance of compound-specific $\delta^{13}\text{C}$ variations in *n*-alkanes in the Hongyuan peat sequence from South West China over the last 13ka. *Organic Geochemistry*, 2010, **41**(5): 491 ~ 497
- 32 李世杰, 李树德. 青海可可西里地区第四纪冰川与环境演化. *冰川冻土*, 1992, **14**(4): 316 ~ 324
Li Shijie, Li Shude. Quaternary glacial and environmental changes in the region of Hoh Xil, Qinghai Province. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1992, **14**(4): 316 ~ 324
- 33 王绍武. 全新世北大西洋冷事件: 年代学和气候影响. *第四纪研究*, 2009, **29**(6): 1146 ~ 1153
Wang Shaowu. Holocene cold events in the North Atlantic: Chronology and climatic impact. *Quaternary Sciences*, 2009, **29**(6): 1146 ~ 1153
- 34 Denton G H. Holocen climatic variations—Their pattern and possible cause. *Quaternary Research*, 1973, **3**(2): 155 ~ 205

GEOLOGICAL RECORDS FOR HOLOCENE CLIMATIC AND ENVIRONMENTAL CHANGES DERIVED FROM GLACIAL, PERIGLACIAL AND LAKE SEDIMENTS ON QINGHAI-TIBETAN PLATEAU

Li Shijie^{①②} Chen Wei^② Jiang Yongjian^② Jin Chuanfang^②
Li Cuicui^① Luo Rongqin^① Wang Xiaodan^①

(^①State Key Laboratory for Environment Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002;

^②State Key Laboratory for Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008)

Abstract

Holocene is called as an epoch of interglacial with a time period of about 10000 years. With strong climate fluctuations during this epoch, human civilization has emerged and dramatically advanced. However, climate warming at present day has drawn all governments and scientists concerns over the world to pay great attention to this situation. IPCC has published several versions of evaluation about climate warming and its impact on human society. However, climate fluctuated frequently in tens-year, century or millenary cycles during Holocene period. Therefore, processes and mechanics of climate fluctuation during the Holocene period are basic scientific problems which needs to be well understood for predicting and modeling climate changes and its impact in the future. As glaciers, permafrost and lakes existed simultaneously, Qinghai-Tibetan Plateau is a very sensitive place for natural climate changes due to rare human activities on the Plateau, which is called as the third pole of the earth despite its low and middle latitude. Based on lot of data about glacier advances and retreats, periglacial geomorphological phenomena and lake sediment records on the Qinghai-Tibetan Plateau, the evidence of Holocene climate fluctuations has been summarized. It is revealed that the climate and environment on the Qinghai-Tibetan Plateau in Holocene was unstable and experienced several warm-cold fluctuations. Several cold periods in Holocene, *e. g.* around 8000 ~ 8500aB. P., 6000 ~ 5500aB. P., 4000 ~ 4500aB. P., 3000 ~ 2000aB. P. and 600 ~ 100aB. P. (Little Ice Age), have been revealed. The lower limit of permafrost on the northeastern margin of the Plateau declined about 700 ~ 800m in these cold periods except of Little Ice Age, which means the annual mean air temperature would be dropped about 3.5 ~ 5.0°C even more.

Key words Holocene, climate fluctuations, glacier advancing events, periglacial geomorphology, lake sediment record, Qinghai-Tibetan Plateau.