

文章编号: 1000 0240(2005)01 0074 06

# 3. 2 ka BP 以来念青唐古拉山东部 则普冰川波动与环境变化

焦克勤<sup>1</sup>, Shuji Iwata<sup>2</sup>, 姚檀栋<sup>3,4</sup>, 井哲帆<sup>1</sup>, 李忠勤<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000; 2. Institute of Geography, Tokya University, Japan;  
3. 中国科学院 青藏高原研究所, 北京 100085; 4. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所冰芯  
与寒区环境重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 基于野外考察和<sup>14</sup>C年代测定, 确定了 3. 2 ka BP 以来念青唐古拉山东部则普冰川的冰进序列. 新冰期冰进可明显分为 3 次: 即大拿[<sup>14</sup>C(3 242±101) a BP]、大拿顶[<sup>14</sup>C(1 920±110)~(1 540±85) a BP] 和白同[<sup>14</sup>C(1 056±115) a BP] 冰进. 新冰期盛时, 则普冰川比现代长 6 9 km, 面积大 17. 10 km<sup>2</sup>, 雪线降低约 157 m, 温度降低 1. 0~1. 9 °C. 小冰期可分出 2 次: 即 15 世纪或 16 世纪[<sup>14</sup>C(580±130) a BP] 和 19 世纪[<sup>14</sup>C(197±80) a BP, (190±80) a BP] 冰进. 小冰期盛时, 则普冰川比现代长 2 0 km, 面积大 11. 16 km<sup>2</sup>, 雪线降低约 100 m, 温度降低 0. 65~1. 23 °C. 现代则普冰川, 冰面表碛特别发育, 其厚度亦很大, 冰舌末端退缩难以辨认. 但冰川减薄很强烈, 边缘两侧形成 2~3 道现代侧碛, 并高出现代冰面 20~30 m. 对埋藏腐殖质土壤层和木炭碎屑经<sup>14</sup>C年代测定, 结果表明在(720±210)~(2 010±120) a BP 间, 波堆藏布流域存在砍伐森林、开垦田地和放牧的人类活动.

关键词: 3 2 ka; 则普冰川; 环境变化; 念青唐古拉山  
中图分类号: P343. 6 文献标识码: A

## 1 引言

则普冰川(50282A71)位于念青唐古拉山东段南侧帕龙藏布支流——波堆藏布河源. 由于念青唐古拉山东段正好面对雅鲁藏布江“大拐弯”西南季风湿气流北上进入高原的要道上, 地形的强迫抬升使这里成为青藏高原降水最多和最湿润的地区, 冰川区年降水量可达3 000 mm 左右. 因此, 现代海洋性冰川特别发育. 据中国冰川目录, 念青唐古拉山现代冰川条数(7 080 条)的 60% 和冰川面积(10 701 km<sup>2</sup>)的 90% 就集中于此. 20 世纪 60 年代青藏高原东南部古乡冰川泥石流调查中, 曾对上源几条冰斗冰川和悬冰川作过半定位观测, 同时对易贡藏布支流勒曲中的冰川作过踏勘. 70 年代的青藏高原综合科学考察中, 念青唐古拉山被作为重点山脉进行了考察研究. 曾先后对念青唐古拉山东段

南侧的若果冰川、珠西沟冰川和阿扎冰川等进行了半定位观测或短期调查, 并在若果和阿扎冰川区获得了几个<sup>14</sup>C测年资料, 从而建立了新冰期以来若果和阿扎冰川变化序列<sup>[1]</sup>. 在 80 年代末中日联合青藏高原冰川考察研究中, 青藏高原东南部著名的海洋性冰川——则普冰川被作为重点考察研究的对象之一. 则普冰川是波堆藏布流域最大的一条山谷冰川, 冰川长度、面积和储量分别为 19. 2 km、65. 80 km<sup>2</sup>和 13. 10 km<sup>3</sup>, 冰川上限、雪线和末端海拔分别为6 349 m、4 683 m 和3 420 m. 现代则普冰川下段长达 7. 0 km 的范围由厚度不等的表碛覆盖, 其冰舌末端伸入森林区, 在冰舌末端至支子, 常见到冰川前进毁坏森林的现象. 因此, 在不同时期的冰川沉积物中可找到埋藏的木头或朽木, 在大拿以下至许目区, 含有腐殖质土壤层和埋藏木炭碎

收稿日期: 2004 07 20; 修订日期: 2004 10 09  
基金项目: 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所创新前沿项目(2004102); 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所引进国外杰出人才  
基金项目(CACX2003101; CACX2004116); 国家自然科学基金项目(40371028); 中国科学院知识创新工程方向性项目  
(KZCX3 SW 345)资助  
作者简介: 焦克勤(1954—), 男, 甘肃会宁人, 副研究员, 1978 年毕业于兰州大学地质地理系, 主要从事冰川与环境变化研究.  
(C)1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

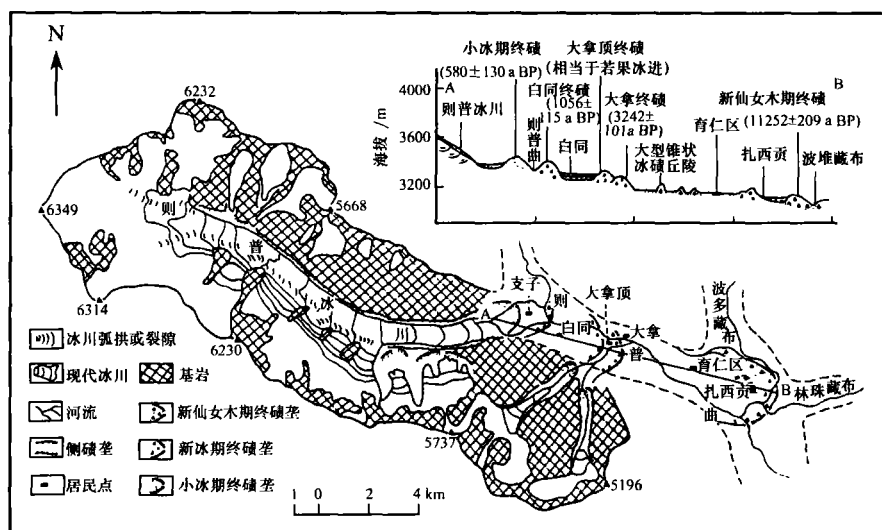


图1 新仙女木期以来则普冰川的变化

Fig. 1 A map showing the variation of the Zepu Glacier since the Younger Dryas Event

屑层到处可见. 这不仅为年代测定提供了很好的样品材料, 而且指示了冰川和人类活动的存在. 本文基于野外考察、航片判读和 $^{14}\text{C}$ 年代测定等, 探讨了 3.2 ka BP (新冰期) 以来则普冰川与气候环境变化.

## 2 不同时期冰碛与年代测定

### 2.1 新冰期

新冰期 (Neoglaciation) 是指全新世高温期 (气候最宜期) 后, 全球性气候相对寒冷和雪冰覆盖相对增大以及冰川频繁前进的时期. 但是, 不同地区新冰期的下限和冰进次数并不完全一致<sup>[1~4]</sup>. 由于各条冰川的具体情况 (如所处位置、水热条件等) 不同, 则使冰川到达最大的时间不一样, 因而并不是每一条冰川都能同时发现相同冰进证据的.

则普冰川新冰期的冰碛可明显分出 3 道, 从外到内依次为大拿、大拿顶和白同 (本文第二作者 Shuji Iwata 曾命名为大拿、白同和支子) 终碛垄 (图 1).

#### 2.1.1 大拿冰碛

在育仁区西望可看到一个高大的终碛堤横贯于则普曲槽谷. 终碛分为两道, 中间由右侧两条冰水河汇合后的一支流把大拿和大拿顶终碛隔离开来, 并成为各自独立的冰碛丘陵. 丘陵之上生长有茂密的针叶林, 其主树杆最大直径约 1 m, 用肉眼数得约 190 个年轮. 而这两道终碛看起来都很新鲜, 巨砾之间细粒物质充填不多, 显然是全新世晚期新冰期以来冰进的产物. 但是, 在大拿终碛前某些冰碛丘陵剖面上显示了较强的风化, 于育仁区一带所见相差无几. 由此判断大拿终碛可能是一个复合体,

下面压有末次冰期冰退最后阶段的产物.

大拿终碛距则普冰川末端 6.9 km, 采自冰碛表面以下 75 cm 处的灰色砂质粘土, 经 $^{14}\text{C}$ 年代测定为  $(3242 \pm 101) \text{ a BP}$ . 由此可见, 大拿冰碛为新冰期时形成毫无疑问. 因其在 大拿附近保存完好并易于辨认, 亦称为大拿冰进.

#### 2.1.2 大拿顶冰碛

大拿顶终碛十分庞大, 它不仅叠加在大拿冰碛上, 而且也叠加在末次冰期冰退最后阶段的冰碛上, 复合成规模巨大的终碛垄, 地貌特征类似于大拿冰碛. 拥有大漂砾的凹凸地形上同样生长有茂密的针叶林, 其主树杆最大直径约 90 cm, 用肉眼数约 160 个年轮.

大拿顶终碛距则普冰川末端 6.0 km, 对于此套冰碛未取得绝对年代. 但根据它所处的位置和埋藏于其表层 40.0 cm 深处的木炭碎屑 $^{14}\text{C}$ 测年 $[(950 \pm 120) \text{ a BP}]$  以及大拿和白同冰碛测年结果推断, 它很可能相当于若果冰川的若果冰进 $^{14}\text{C}[(1920 \pm 110) - (1540 \pm 85) \text{ a BP}]$ <sup>[1]</sup>. 因其在 大拿顶附近保存完好, 称为大拿顶冰进.

#### 2.1.3 白同冰碛

白同和大拿顶冰碛之间为一平坦的冰水平原 (长 2.0 km), 已开垦为耕地. 而白同终碛位于则普冰川谷沟口, 并由若干冰碛丘陵组成. 其上生长有针叶林, 主树杆最大直径约 70 cm, 约 140 个年轮.

白同终碛距则普冰川末端 3.5 km, 采自埋藏于冰碛中的朽木, 经 $^{14}\text{C}$ 绝对年龄测定为  $(1056 \pm$

120) a BP. 因其分布在白同附近, 称为白同冰进.

根据上述, 则普冰川新冰期有 3 次(大拿、大拿顶和白同)冰进记录, 即分别相当于阿扎冰川的雪当冰进  $(2\,980 \pm 150)$  a BP] 和若果冰川的若果冰进  $[(1\,920 \pm 110) \sim (1\,540 \pm 85)$  a BP]<sup>[1]</sup> 以及海螺沟冰川的海螺沟冰进  $[(940 \pm 50)$  a BP]<sup>[5]</sup>.

2.2 小冰期

小冰期(Little Ice Age, )是指 15—19 世纪全球性气候相对寒冷和雪冰覆盖相对增大的时期. 其中有 3 个较强冷期, 导致很多冰川前进, 并在现代冰川末端前形成 2~3 道明显的终碛垄. 小冰期终碛垄不仅在实地考察时易于辨认, 而且可在大比例尺航测地形图和航空像片上判读.

则普冰川小冰期的终碛垄在两处地方保存完好, 且易辨认. 一处位于则普冰川末端 2.0 km 处的支子(图 1), 另一处见于则普冰川末端以上 4.0 km 处右岸的小冰川前缘(图 1). 小冰期冰碛上生长有茂密的阔叶林, 这与新冰期冰碛上生长有针叶林是明显不同的. 而阔叶林主树杆直径一般  $< 0.5$  m, 对其中一棵 0.5 m 粗的阔叶树进行统计仅得到 50 个年轮.

小冰期终碛垄距则普冰川末端 2.0 km, 采自冰碛滑坡面上的朽木(该朽木是由冰川前进卷入的)经 <sup>14</sup>C 年龄测定为  $(580 \pm 130)$  a BP(图 2), 这意味着则普冰川小冰期最早(15 世纪或 16 世纪)的一次冰进在青藏高原首次发现.

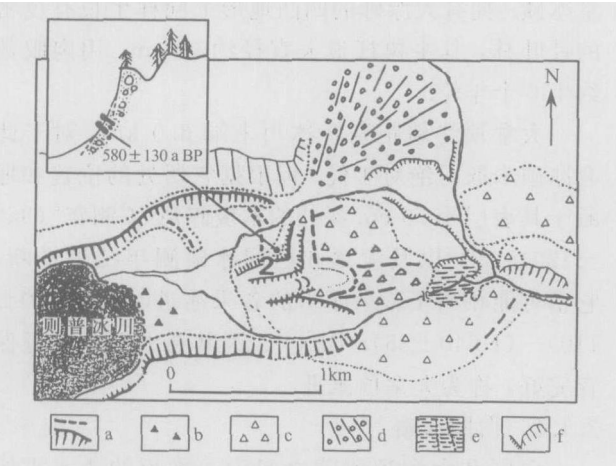


图 2 则普冰川末端、冰碛地貌和样品点  
a. 冰碛垄 b. 冰碛漂砾; c. 长有针叶林的较老冰碛;  
d. 冰水扇; e. 河流阶地地面; f. 滑动面及悬崖  
Fig. 2 A map showing the terminus, Moraines and the sampling point of the Zepu Glacier

在则普冰川右岸小冰川前缘类似于白同冰碛的上部 1.5 m 处发现了几棵枯死的针叶林, 其基部

由来自小冰川的新鲜冰碛埋藏, 由此判断枯死的针叶林可能是小冰川前进毁坏的, 对其中一棵取样经 <sup>14</sup>C 年龄测定为  $(190 \pm 80)$  a BP(图 3). 另在则普冰川前 1.5 km 处右岸, 采到冰川前进毁坏森林, 而后被夹在冰碛中的朽木, 经 <sup>14</sup>C 年龄测定为  $(197 \pm 80)$  a BP. 由此看来, 则普冰川小冰期最晚的一次冰进发生在 19 世纪, 并与泡汗里峰冰川 1818 年、坡戈冰川 1809 年、取比下马冰川 1885 年和窝果杜林冰川 1871 年冰进<sup>[5]</sup> 以及若果冰川 1822 年冰进一致<sup>[1]</sup>.

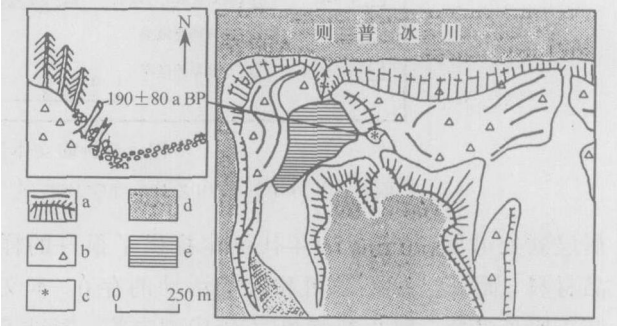


图 3 则普冰川右侧的样品物质  
a. 冰碛垄; b. 长有针叶林的较老冰碛; c. 取样位置; d. 冰川; e. 湖泊  
Fig. 3 A map showing the sampling site on the right side of the Zepu Glacier

3 不同时期的冰川变化

不同时期的冰川变化主要包括冰川长度、冰川面积、冰川雪线和冰川末端海拔等的变化.

3.1 冰川长度变化

在冰川作用下限确定的情况下, 冰川长度变化可沿着冰川主流线进行量算. 结果表明在新冰期  $[^{14}\text{C}(3\,242 \pm 101)$  a BP] 盛时, 则普冰川长度比现代长 6.9 km, 即现代冰川长度缩短了 26.4%. 小冰期  $[^{14}\text{C}(580 \pm 130)$  a BP] 盛时, 则普冰川长度比现代长 2.0 km, 即冰川长度缩短了 9.4%. 现代则普冰川下段长达 7.0 km 的范围由表碛覆盖, 其厚度亦很大. 因此, 现代冰川长度变化不仅不甚明显, 而且难以确认.

3.2 冰川面积变化

通过航空像片判读、野外实地考察和地貌填图等, 首先在大比例尺航测地形图上圈定冰川作用范围, 而后对其进行电子扫描和求积仪重复量算面积. 结果说明在新冰期盛时, 则普冰川面积比现代大  $17.10\text{ km}^2$ , 即冰川面积减小了 20.6%. 小冰期盛时, 则普冰川面积比现代大  $11.16\text{ km}^2$ , 即冰川面积减小了 14.5%. 这与帕龙藏布流域小冰期以来

不同规模(10.01~100.00 km<sup>2</sup>)冰川面积减小比例基本一致<sup>[6]</sup>. 现代则普冰川面积变化主要表现为强烈的减薄,在其左岸形成2~3道现代侧碛,最高的一道高出现代冰面20~30 m.

### 3.3 冰川雪线高度变化

对现代冰川来说,已有多种方法用来确定雪线高度位置.如直接测量法(即物质平衡法)、 $\%AAR$ 值法(积累区面积比率法)、荷费尔法和库罗斯基法等.当然直接测量法是最精确的,但对于不是定期监测的冰川或者大冰川,直接测量法是难以实现的.因此,研究者经过多种尝试认为,除直接测量法外, $AAR$ 值法对确定雪线高度位置是有效的.它不仅用于现代冰川雪线高度的确定,而且用于冰期时的古雪线高度重建.即在冰川作用范围可以恢复的情况下,用 $AAR$ 法就可以比较精确地计算出古雪线高度<sup>[7-9]</sup>.

在则普冰川以荷费尔法求出的现代雪线高度来划分积累区和消融区得出的 $AAR$ 值为0.65.这个数字和Muller et al.关于阿尔卑斯山平衡冰川的 $AAR$ 值完全一致<sup>[10]</sup>.说明则普冰川(为平衡状态的冰川)保持不偏不倚的状态,即积累区(粒雪盆)与消融区(冰舌部分)都发育比较正常,故 $AAR$ 值维持其平均值.可见 $AAR$ 值法对则普冰川不同时期雪线高度计算是有效的.

对于则普冰川3个时期冰川分布范围内的面积高度分布而言,若取 $AAR$ 值为0.65所对应的高度为雪线高度,则新冰期盛时、小冰期盛时和现代的雪线高度分别为海拔4 526 m、4 583 m和4 683 m.即新冰期盛时的雪线高度比现代低了157 m,小冰期盛时低了100 m.

### 3.4 冰川末端高度变化

冰川末端高度变化是在冰川作用下限确定的情况下,在大比例尺航测地形图上直接读取.则普冰川新冰期盛时末端海拔为3 060 m,小冰期盛时为3 340 m,现代为3 420 m.即现代冰川末端海拔比新冰期和小冰期盛时分别升高了360 m和80 m.

## 4 冰川变化所反映的气候环境变化

雪线高度变化具有指示气候变化的作用,并已成功地应用于世界各地古代和现代气候变化的研究之中<sup>[6,9,11-14]</sup>.我们用尼泊尔喜马拉雅AX010冰川(气温升高1.0℃, $\%ELA$ 上升153 m<sup>[12]</sup>)、天山乌鲁木齐河源1号冰川区(海拔3 500 m至山顶,温度梯度0.88℃·(100 m)<sup>-1</sup><sup>[14]</sup>)和1号冰川(气

温升高1.0℃, $ELA$ 上升81 m<sup>[13]</sup>)估算,则普冰川新冰期盛时的温度比现代分别低1.0℃、1.4℃和1.9℃,即变化在1.0~1.9℃之间.小冰期盛时的温度比现代分别低0.65℃、0.88℃和1.23℃,即变化在0.65~1.23℃之间.由此可见,则普冰川新冰期盛时的降温值与希夏邦马峰和珠穆朗玛峰冰川新冰期时的降温值基本一致<sup>[15]</sup>.而小冰期时的降温值与中国季风温冰川<sup>[6]</sup>和阿尼玛卿山冰川<sup>[9]</sup>小冰期时的降温值相吻合.这说明则普冰川新冰期和小冰期时温度的估算是可信的.

由于降水与高度的相关性较差,所以我们不能根据现有的资料来试图估计过去的降水量,这有待于以后进一步研究.

在大拿以下至许目区,许多地方观察到厚约10~30 cm含有腐殖质土壤层和木炭碎屑埋藏层(图4),其二者的<sup>14</sup>C年代测定在(720±210)~(2 010±120)a BP间.这些数据虽然不能给出冰碛地层的序列,但它提供了一个重要的环境变化证据.一般来说,高山地区埋藏的腐殖质土壤层常指示相对的温暖时期,即使在高山谷地中不总是指示温暖气候,但指示相对温和气候是肯定的.埋藏于土壤层中的木炭碎屑指示人类活动的证据,而不是温暖气候的结果.总而言之,在那个时候,这个地区的牧民为了开垦田地和放牧,可能加剧了森林毁坏.

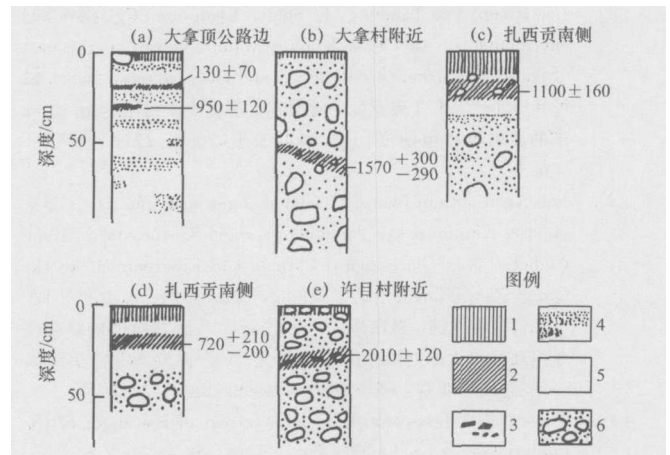


图4 则普冰川下游段埋藏土壤层剖面及其<sup>14</sup>C年代(a BP)

1. 地表腐殖质层; 2. 埋藏腐殖质土壤层; 3. 木炭碎屑;
4. 砂层; 5. 砂质粉沙层; 6. 砾石层

Fig. 4 Sections showing the buried soil layers and their radiocarbon ages (a BP) in the Zepu Glacier

## 5 结论

3.2 ka BP以来则普冰川新冰期冰进可明显分为3次,即大拿<sup>14</sup>C(3 242±101)a BP、大拿顶

(相当于若果冰进)和白同[ $^{14}\text{C}$  ( $1\,056 \pm 115$ ) a BP]冰进。新冰期盛时,则普冰川比现代长 6.9 km,面积大  $17.10\text{ km}^2$  (减少 20.6%),雪线高度降低约 157.0 m,温度降低  $1.0 \sim 1.9\text{ }^\circ\text{C}$ 。小冰期可分出 2 次:即 15 或 16 世纪[ $^{14}\text{C}$  ( $580 \pm 130$ ) a BP] 和 19 世纪[ $^{14}\text{C}$  ( $197 \pm 80$ ) a BP, ( $190 \pm 80$ ) a BP]冰进。小冰期盛时,则普冰川比现代长 2.0 km,面积大  $11.16\text{ km}^2$  (减少 14.5%),雪线高度降低约 100 m,温度降低  $0.65 \sim 1.23\text{ }^\circ\text{C}$ 。现代则普冰川下段长达 7.0 km 的范围由冰面表碛覆盖,其厚度亦很大,下覆冰川已为死冰。因此,冰舌末端退缩不甚明显或难以辨认。但冰川减薄很强烈,边缘两测形成 2~3 道现代侧碛,最高一道高出现代冰面 20~30 m。在大拿以下至许目区,对埋藏的腐殖质土壤层和木炭碎屑取样经 $^{14}\text{C}$ 年代测定,结果表明在( $720 \pm 210$ )~( $2\,010 \pm 120$ ) a BP 间,波堆藏布流域的牧民为了开垦土地和放牧,可能加剧了森林毁坏。

## 参考文献(References):

- [1] Zheng Bengxing, Li Jijun. Regional divisions of existing glaciers in Xizang region [A]. Li Jijun, Zheng Benxing, Yang Xijin, *et al.* Glaciers of Xizang (Tibet) [M]. Beijing: Science Press, 1986. 130–148. [郑本兴, 李吉均. 西藏现代冰川分区 [A]. 李吉均, 郑本兴, 杨锡金, 等. 西藏冰川 [M]. 北京: 科学出版社, 1986. 130–148.]
- [2] Jiao Keqin, Yao Tandong, Li Shijie. Evolution of glaciers and environment in the West Kunlun Mountains during the past 32 ka [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2000, **22** (3): 250–256. [焦克勤, 姚檀栋, 李世杰. 西昆仑山 32 ka 来的冰川与环境演变 [J]. 冰川冻土, 2000, **22** (3): 250–256.]
- [3] Jiao Keqin, Shuji Iwata. Glacial changes since the Last Glaciation in Kunlun pass, Tanggula pass and Southeastern Xizang (Tibet) [A]. Glaciological Climate and Environment on the Qing–Zang Plateau [C]. Beijing: Science Press, 1993. 120–129. [焦克勤, 岩田修二. 昆仑山垭口、唐古拉山垭口和藏东南地区末次冰期以来的冰川变化 [A]. 青藏高原冰川气候与环境 [C]. 北京: 科学出版社, 1993. 120–129.]
- [4] Tewari A P, Jangpangi B S. The retreat of the snout of the Pindari Glacier [J]. IASH Publ., 1962, **58**: 245–248.
- [5] Li Jijun, Song Mingkun, Qin Dahs, *et al.* Investigation of glaciers on the Gongga Shan [A]. Special Issue of Investigation on the Hengduan Mountains Vol.1 [C]. Kunming: Yunnan People's Publishing House, 1983. 140–153. [李吉均, 宋明琨, 秦大河, 等. 贡嘎山冰川考察 [A]. 横断山考察专集 (一) [C]. 昆明: 云南人民出版社, 1983. 140–153.]
- [6] Su Zhen, Shi Yafeng. Response of monsoonal temperate glaciers in China to global warming since the Little Ice Age [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2000, **22** (3): 223–229. [苏珍, 施雅风. 小冰期以来中国季风温冰川对全球变暖的响应 [J]. 冰川冻土, 2000, **22** (3): 223–229.]
- [7] Zhang Zhenshuan. Snowline fluctuation at the headwater of the Ürümqi River, Tianshan Mountains [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1981, **3** (Suppl.): 106–113. [张振栓. 天山乌鲁木齐河源的雪线变化 [J]. 冰川冻土, 1981, **3** (增刊): 106–113.]
- [8] Zhang Zhenshuan. Fluctuations of glaciers on the northwest slope of Mt. Nanjagbarwa since the Last Glaciation [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1988, **10** (2): 181–188. [张振栓. 南迦巴瓦峰西北坡末次冰期以来的冰川变化 [J]. 冰川冻土, 1988, **10** (2): 181–188.]
- [9] Liu Shiyin, Lu Anxin, Ding Yongjian, *et al.* Glacier fluctuations and the inferred climate changes in the A'Nyemaqen Mountains in the source area of the Yellow River [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2002, **24** (6): 701–707. [刘时银, 鲁安新, 丁永建, 等. 黄河上游阿尼玛卿山区冰川波动与气候变化 [J]. 冰川冻土, 2002, **24** (6): 701–707.]
- [10] Muller F, Scherler K. Some comments on the Swiss Glacier Inventory, World Glacier Inventory, IAHS AISH Publ., 1980, **126**: 135–142.
- [11] Oerlemans J, Hoogendoorn N C. Mass balance gradients and climatic change [J]. Journal of Glaciology, 1989, **35** (121): 399–405.]
- [12] Zhang Yinsheng, Fujita K, Ageta Y, *et al.* The response of glacier ELA to climate fluctuations on High Asia [J]. Bulletin of Glacier Research, 1998, **16**: 1–11.]
- [13] Liu Shiyin, Ding Yongjian, Wang Ninglian, *et al.* Mass balance Sensitivity to climate change of the Glacier No. 1 at the Ürümqi River Head, Tianshan Mts. [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1998, **20** (1): 9–13. [刘时银, 丁永建, 王宁练, 等. 天山乌鲁木齐河源 1 号冰川物质平衡对气候变化的敏感性研究 [J]. 冰川冻土, 1998, **20** (1): 9–13.]
- [14] Jiao Keqin, Jing Zhefan, Han Tianding, *et al.* Variation of the Glacier No. 1 at the headwater of the Ürümqi River in the Tianshan Mountains during the past 42 years and its trend prediction [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2004, **26** (3): 253–260. [焦克勤, 井哲帆, 韩添丁, 等. 42 年来天山乌鲁木齐河源 1 号冰川变化及趋势预测 [J]. 冰川冻土, 2004, **26** (3): 253–260.]
- [15] Zheng Benxing. Glacial variation in Holocene and the trend of existing glaciers Tibet region [A]. Li Jijun, Zheng Benxing, Yang Xijin, *et al.* Glaciers of Xizang (Tibet) [C]. Beijing: Science Press, 1986. 277–297. [郑本兴. 西藏地区全新世的冰川变化和现代冰川发展趋势 [A]. 李吉均, 郑本兴, 杨锡金, 等. 西藏冰川 [C]. 北京: 科学出版社, 1986. 277–297.]

## Variation of Zepu Glacier and Environmental Change in the Eastern Nyainqêntanglha Range since 3.2 ka BP

JIAO Ke qin<sup>1</sup>, Shuji IWATA<sup>2</sup>, YAO Tan dong<sup>3,4</sup>, JING Zhe fan<sup>1</sup>, LI Zhong qin<sup>1</sup>

(1. Cold and Arid Regions Environment and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou Gansu 730000, China;

2. Institute of Geography, Tokya University, Japan; 3. Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing

100085, China; 4. Key Laboratory of Ice Core and Cold Regions Environment, CAREERI, CAS, Lanzhou Gansu 730000, China)

**Abstract:** The advance sequence of the Zepu Glacier in the Bodoi Zangbo watershed in the Nyainqêntanglha Range during the last 3.2 ka are revealed by field investigation and <sup>14</sup>C dating data. Three advances of the glacier in the Neoglaciation can be obviously distinguished. They are Dana Glacial Advance [<sup>14</sup>C (3 242 ± 101) a BP], Danading Glacial Advance [corresponding to Ruoguo Glacial Advance, [<sup>14</sup>C (1 920 ± 110) ~ (1 540 ± 85) a BP] and Baitong Glacial Advance [<sup>14</sup>C (1 056 ± 115) a BP]. In the Dana glacial advance, the Zepu Glacier was 6.9 km longer, its area was 17.10 km<sup>2</sup> larger, and its snowline was 157.0 m lower than those at present, and air temperature was 1.0 ~ 1.9 °C lower than that at present. Two advances of the glacier in the Little Ice Age can be distinguished. They occurred in the 15th or 16th century [<sup>14</sup>C (580 ±

130) a BP] and the 19th century [<sup>14</sup>C 197 80 ~ 190 80 a BP)]. In the glacial advance in the Little Ice Age, the Zepu Glacier was 2.0 km longer, its area was 11.16 km<sup>2</sup> larger, and its snowline was about 100.0 m lower than those at present, and air temperature was 0.65 ~ 1.23 °C lower than that at present. Superglacial till develops particularly on the surface of the glacier. The glacier is still very thick, and the shrinkage of the glacier tongue is not so obvious. However, the glacier is violently thinning, and several modern flank moraines form in both sides. The <sup>14</sup>C dating data of charcoal oddments and humus buried in earth reveal that there were some human activities including deforestation, land reclamation and grazing in the Bodoi Zangbo watershed during the period from 2 000 to 700 a BP.

**Key words:** 3.2 ka BP; Zepu Glacier; climatic and environmental change; Nyainqêntanglha Range