

天山天格尔第二峰地区全新世中后期 冰川变化的初步研究

陈 吉 阳

(中国科学院兰州冰川冻土研究所)

内 容 提 要

本区冰川在全新世总的后退过程中有四次前进,发生在距今5700年、4100年、2800年前及403—74年之间,以第一次规模最大和时间最长。小冰期包括了距今403年、208年和74年前的三个冰进阶段,以第二次冰进最盛。温度变幅为2.5℃。地衣测量是一种适宜的测年手段。

我国对全新世冰川变化的研究始于本世纪六十年代^[1,2],并在区域冰碛的调查及年代测定等方面有较大进展^[3]。我国西部各主要山地普遍发现了“新冰期”和小冰期遗迹。其中,天山乌鲁木齐河源是工作做得最多的地区之一,施雅风教授和杨怀仁教授等在六十年代初就在这里考察过,认为小冰期发生在16—19世纪^[1,2]。之后不少学者都调查过这里的冰川历史^[3-6],积累了大量资料。

在前人工作基础上,作者等于1983年夏和1984年6月在天山天格尔第二峰附近较大区域中详细调查了全新世冰碛地层,在冰碛年代测定方面作了新的探索,并对全新世中晚期的冰川和气候变化有了一些认识,本文是这次工作的初步总结。

一、全新世冰碛层在本区的分布

乌鲁木齐河源的全新世冰碛层可分为四组。以气象站到1号冰川间的区域为例,从老到新为山北组冰碛层Ⅰ(气象站冰碛垄)、山北组冰碛层Ⅱ、山北组冰碛层Ⅲ(山北道班岩坎冰碛垄)和小冰期冰碛层,分别以符号H₁、H₂、H₃及H₄表示。

气象站冰碛垄的部分侧碛及终碛位于气象站附近,终碛宽300—400m,高出谷底40—50m,距1号冰川约2km,主要由漂砾、砾石和砂粘土组成,岩石以片岩、片麻岩及花岗闪长岩为主,表面有钙华沉淀。该冰碛垄属融出相终碛,是冰川稳定时由各种融

本文于1986年9月23日收到修改稿。

出过程形成的。

山北组冰碛垄Ⅱ(照片1)在气象站冰碛垄内侧,规模较小,终碛宽约80m,高出谷底10—15m,组成物与气象站冰碛类似,属遗置相终碛。在它的形成过程中,冰川长期处于低的正平衡,使冰川缓慢前进或者稳定,之后冰舌减薄后退或时有停顿。

山北道班岩坎冰碛垄的终碛(照片1)在2号冰川小冰期冰碛垄东侧250—300m处,宽100—150m,高出谷底10—15m,侧碛沿岩坎边缘伸展,属遗置相。

北坡小冰期冰碛垄(H_4)在现代冰川前方约700m范围内,且多含冰核,冰核冰碛以乌鲁木齐河源6号冰川的较典型。小冰期冰碛垄一般包括三列,由外向内依次为第一列(H^1_4)、第二列(H^2_4)及第三列(H^3_4)。乌鲁木齐河源1号冰川小冰期三列终碛的脊部分别距现代冰川约530m、460m及250m, H^2_4 冰碛垄部分推覆于 H^1_4 冰碛垄之上,外坡角35—38°,内坡角25—30°,亦为推挤相终碛。

布拉特沟中全新世冰碛层保存不很完整,其中以布拉特沟1号冰川的小冰期冰碛比较清楚: H^1_4 终碛末端海拔3630m,属推挤相; H^2_4 终碛高出 H^1_4 终碛5—8m,部分超覆后者,含冰核且规模较大。 H^3_4 终碛与 H^2_4 终碛的界线不清晰,呈丘状起伏,含冰核,属遗置相。

南坡地区全新世冰碛层与北坡的相比规模较小,且受后期破坏严重,这里不再详述。

因此,天格尔第二峰南北坡地区至少有四组全新世冰碛地层。所讨论的几个区域中,无论是冰碛垄的形态、规模,还是层位关系,皆以乌鲁木齐河源的较有代表性。

二、冰碛地层年代的确定

1. 相对年代的确定

通常用于确定冰碛地层的相对年代参数有:冰碛的极端岩块大小,粒径组成,岩性构成,风化及稳定程度,冰碛地层表面的土壤和植被等。它们的形式差别很大,然而实质上都与消逝的时间长短之间有某种函数关系。这些参数中以冰碛地层表面的土壤厚度和地衣大小等最易取得。

各种沉积物上的土壤发育及土层厚度与发育时间长短及环境条件有较密切的关系。Harden等指出土壤剖面指数可用于计算土壤的年龄^[7],这些指数正是由土壤剖面参数如厚度、分层及色泽等计算得到的。表1资料表明:天格尔峰地区 H_1 、 H_2 及 H_3 冰碛地层上的土壤厚度(包括土层深)分别为30—40、20—30cm及13—17cm,表面植物覆盖率较高。 H_4 冰碛上一般无土壤,植物稀少。根据这些资料,我们初步确定了全新世冰碛的新老关系。

表 1 全新世冰碛表面的地衣、土壤及植被

Table 1 Lichens, soil and vegetation on the surfaces of Holocene moraines

冰 碛	乌 鲁 木 齐 河 源				布 拉 特 沟				南 坡 地 区			
	地衣直径 (mm)		土壤厚度 (cm)	植被覆 盖(%)	地衣直径 (mm)		土壤厚度 (cm)	植被覆 盖(%)	地衣直径 (mm)		土壤厚度 (cm)	植被覆 盖(%)
	Rg.	Xe.			Rg.	Xe.			Rg.	Xe.		
H ₁	—	—	36—38	>75	—	—	30—34	>70	—	—	40	65—70
H ₂	138	—	25—30	60—65	139	—	20—25	60	—	—	21—27	60
H ₃	95	—	15—17	50	96	—	13—15	40—45	94	—	13—14	50—55
H ₄ ¹	25	115	—	<10	24	118	—	<10	22	113	—	<10
H ₄ ²	8	72	—	—	—	74	—	—	—	76	—	—
H ₄ ³	—	45	—	—	—	44	—	—	—	47	—	—

注: 表中Rg.为地图衣, Xe.为红石黄衣。

2. 绝对年代的确定

只有确定了冰碛地层的绝对年代之后, 才能准确地阐明冰川变化历史。全新世沉积物绝对年龄的测定方法很多, 如¹⁴C、树木年轮、历史记载、地衣测量等。然而在高山及寒冷地区, 缺少历史记录并且很少有树木生长, ¹⁴C测年样品采集困难, 全新世中晚期以来的冰碛和其他沉积物绝对年龄的测定方法以地衣测量更为有用。

地衣测量自五十年代提出后^[8], 已被广泛用于高山及寒冷地区沉积物的测年。地衣测量的大致程序是: 在待测年区选择样方, 踏勘出样方中的最大测年地衣。样方中最大测年地衣的最大内切圆直径为“D”值, 所有样方的D值的平均值代表了相应沉积物的最小年龄。D-年代关系曲线叫地衣的生长曲线, 每100年D的增量叫地衣的生长速率。地衣在初期生长较快, 生长速率依指数形式增加, 叫高速生长期或高速期; 在中晚期地衣生长较慢, 生长速率趋于稳定, 叫线性生长期或线性期。一般要求测年地衣的生长速率较小, 生存期长且分布范围较广。目前用于测年的地衣有35种之多, 用得较多的是地图衣属的地图衣(*Rhizocarpon geographicum* (L.) DC) (照片2)、高山地图衣(*R. alpicola*)、红石黄衣(*Xanthoria elegans* (Link.) Th. Fr.) (照片3)及*Alectoria minuscula*等^[9]。壳状地衣的生长型低, 生存期长, 测年范围也宽, 地图衣测年范围可达5000年或更宽。相反, 生长较快的叶、枝状地衣测年范围则较短。*A. minuscula*可测定距今约500年的沉积物^[10]。

地图衣为壳状地衣, 主要生长在高山或寒冷地区的石英质或酸性岩石上, 较少生长在中性和基性岩石上。地衣体柠檬黄或硫磺色, 有黑色下地衣体围绕, 分裂成小区划或直网状, 髓层淡白色, 遇碘变蓝紫色; 子囊盘圆形黑色, 上部遇氢氧化钾变红紫色。地图衣从温带直到两极都有分布^[11]。红石黄衣为鳞壳状, 地衣体中央为壳状, 周边稍裂

开,正圆形,一般为橙红或橙黄色,在隐蔽(潮湿)地方带黄或绿色。遇氢氧化钾变紫色。它也是一个世界种地衣。

天山中部地图衣在海拔2500m以上地区皆有生长,红石黄衣则在海拔900m以上范围广泛分布。各种沉积物只要稳定,其上一般都有地衣生长。

本区小冰期冰碛物上的地衣不多。乌鲁木齐河源1号冰川小冰期第一列终碛垄上地图衣的 D 值为24—25mm,第二、三列上则很少见到地图衣,仅在第二列侧碛上有 D 约8mm的地图衣;然而这三列终碛上都生长红石黄衣, D 值分别为约115mm、72mm及45mm。第三列终碛与冰舌间也有红石黄衣,与1962年地形图对比,发现红石黄衣始现线在1962年东支冰舌下方平均约33m处。我们推测:小冰期冰碛上地衣较少,一是因为冰碛物还未彻底稳定(含有冰核等),二是地衣对基物岩性有所选择。另外,地衣在基物从冰下曝露出或稳定后着生其上还需要一些时间(植入前期),植入前期在不同地区和对不同地衣是有差别的。按1962—1984年间1号冰川的平均后退速率计算,乌鲁木齐河源地区红石黄衣的植入前期约为30年。

建立地衣生长曲线必须获得地衣所在基物的年龄。本区年代已知的基物很少,直接建立地衣生长曲线比较困难。我们根据后峡基地的地衣测量资料间接推算冰川区的红石黄衣生长曲线,这种推算的依据是地衣生长的环境条件(主要是降水及气温等)随海拔高度的有规律变化。后峡基地最早的基体建于1957年,其上红石黄衣的直径约为40mm(照片4)。依据这里墓碑年代及地衣测年资料,获得了红石黄衣的生长曲线(图1)。这是红石黄衣在高速期的生长曲线。据现有资料^[12]估算,地衣高速期时间(如地图衣为100—500年)仅为线性期的1/10,而线性期的生长速率仅是高速期生长速率的1/5。据R. E. Beschel的研究^[13],红石黄衣的高速期为几十年。依据乌鲁木齐河源红石黄衣的分布、地衣始现线离冰舌的距离和冰川多年平均后退速率等资料,作者推测红石黄衣的高速期约为50年。图1表明后峡红石黄衣在高速期的生长速率约144mm/100年。按科罗拉多的圣胡安山地的资料计算^[14],红石黄衣生长速率随高度增加的递减率约为2mm/100年·100m。由此估算天山站3700m地区红石黄衣在高速期的生长速率为约110mm/100年,在线性期的约为22mm/100年。因此得到冰川区的红石黄衣生长曲线(图1)。

计入前述地衣植入前期年数,则由图1及红石黄衣测量资料得知:乌鲁木齐河源1号冰川小冰期三列冰碛垄年龄的距今年数分别为约74年、208年及403年。再考虑到冰川变化滞后于气候变化的年数,形成上述三列冰碛垄的气候寒冷阶段分别结束于距今约91、225年及距今420年。这些年代资料与已故竺可桢先生指出的我国历史上小冰期几次寒冷气候^[15]出现的时代基本一致,说明地衣测量的推断是合理的。

地图衣的测年资料列在表2中,据地图衣测量及表2资料得到地图衣的生长曲线(图2),它是我们测定全新世中晚期冰碛及其他沉积物年龄的重要依据之一。山北道班岩坎冰碛垄上地图衣的 D 值约为95mm,图2表明其形成于距今约2800年前。本区大量石冰川堆积上的地图衣 D 值为90—95mm,推测其形成或者稳定于距今约2700—2800年前。

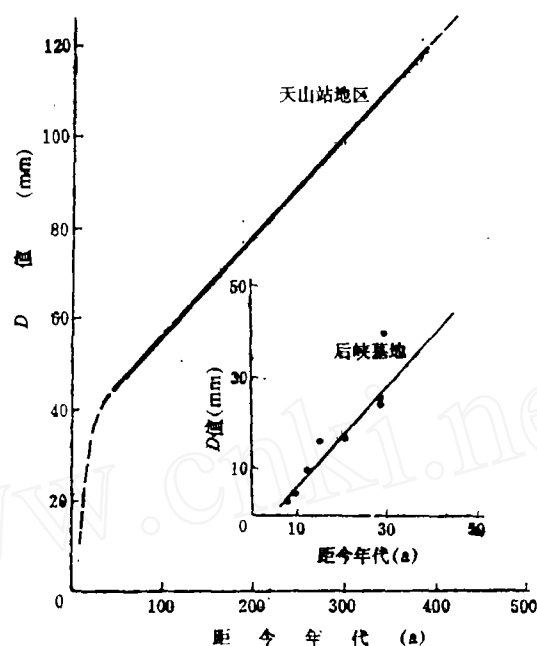


图 1 红石黄衣的生长曲线

Fig. 2 The growth curve of *Xanthoria elegans* (Link.) Th. Fr.

表 2 乌鲁木齐河源部分地图衣测年资料 (距今年代)

Table 2 Part lichenmetric data of *Rhizocarpon geographicum* (L. DC) in the headwater of Urumqi River (vrs. B.P.)

冰 碛	地 图 衣 D (mm)	地图衣生长时期	冰 碛 年 龄
1 号冰川的 H_4^2 终碛	8	58	208 (公元 1776 年)
1 号冰川的 H_4^1 终碛	25	253	403 (公元 1581 年)
H_2 终碛	138	4100	4080 ± 150

我们在气象站冰碛垄及山北组冰碛垄Ⅱ上沿开挖公路的人工剖面在表面下约 2 m 处采集了风化冰碛物中的细粒物质。据兰州大学 ^{14}C 室测定, 这两列冰碛垄的年龄分别为距今约 5680 ± 150 年及距今约 4080 ± 150 年前。郑本兴先生等在山北组冰碛垄Ⅱ上采集的钙膜的 ^{14}C 年龄为距今 3949 ± 141 年^[3]。这些年代分别是相应冰碛的最小年龄。另外, 北坡望峰道班附近的末次冰期冰碛物的 ^{14}C 年代为距今约 14920 ± 750 年, 其表面上的黄土层年代约为距今约 9170 ± 400 年^[5]。

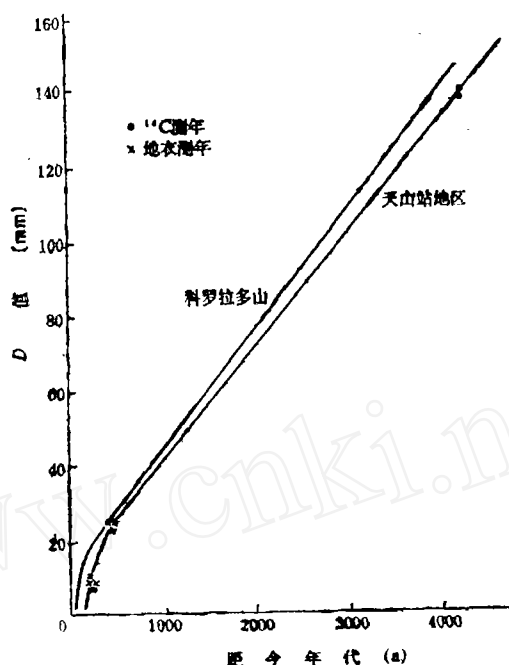


图2 天山站地区地图衣的生长曲线

Fig.3 The growth curve of *Rhizocarpon geographicum* (L.) DC in the regions near Tianshan Station

三、结 语

天格尔第二峰地区的冰川在全新世总的后退过程中,至少有过四次重要的前进,分别发生在距今约5700、4100、2800年前及距今403—74年间。千年尺度的冰川变化可能存在2300—3000年的周期性变化模式,其中包含了延续时间较长的冰退阶段和短暂的冰进阶段。

全新世本区的四次冰川前进以第一次冰进延续时间较长,第二次冰进比较短暂,第三次冰进十分广泛。第四次冰进即小冰期中包含了三次冰进阶段,分别发生在距今约403年前、208年前及约74年前,其中第二冰进阶段延续时间长而且强烈,第三次冰进阶段仅是相对的稳定,或者缓慢的前进。本世纪50年代以来冰川一直在退缩。地衣测量得到的最大红石黄衣等直径线图(图3)比较详实地记录了乌鲁木齐河源1号冰川小冰期以来的阶段性后退变化过程。结合地形图等高线等资料,从该图还可大致估算冰厚及冰量的变化。

末次冰期寒冷气候结束(距今10000—9500年)后,气候总的趋势是变暖,变暖过程中至少发生过四次冷的波动。全新世中四次寒冷期结束时间的距今年数分别为约5700

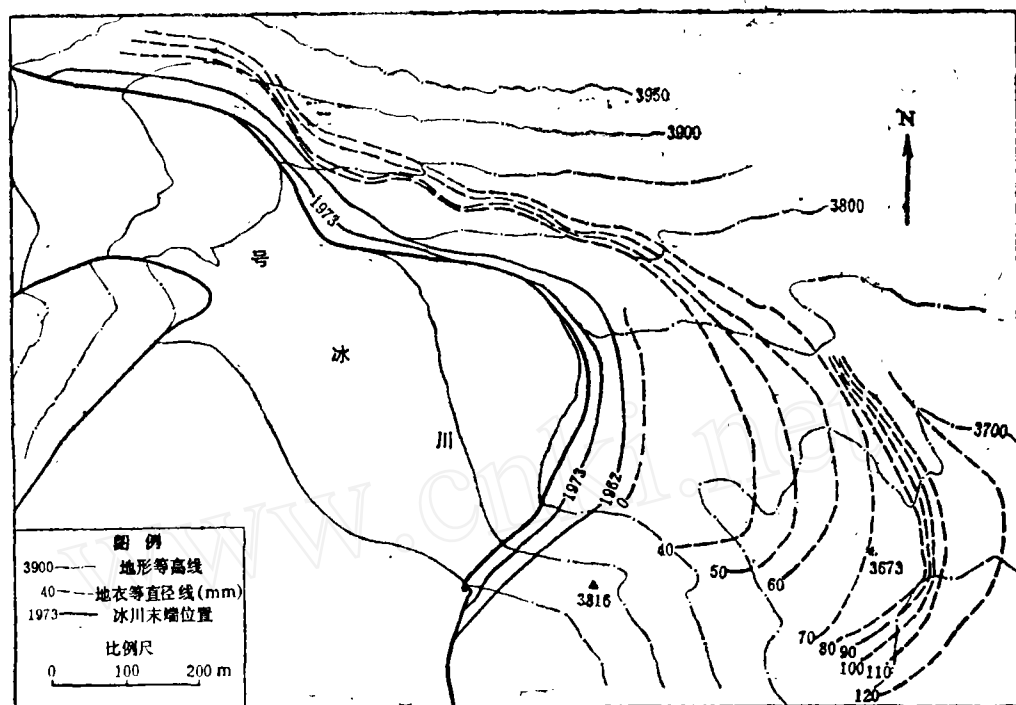


图3 最大红石黄衣等直径线图

Fig.3 The map of the diameter-isopleth of the maximum *Xanthoria elegans* (Link.) Th. Fr.

年、4100年、2800年及约91年。小冰期中以距今约225年前(公元1761年前)的寒冷阶段最长,降温也最剧烈。

冰碛物的测年工作表明:冰碛地层表面的土壤及植被资料对确定冰碛相对年代有较大意义。另外,地衣测量是适用于高山及寒冷地区全新世中后期沉积物测年的一种方法。地图衣在天山分布于约2500m地区,对距今约4500年以来的沉积物测年较有用。红石黄衣分布更广泛,适用于距今约500年来的沉积物测年。

致谢:本文是在施雅风和张祥松指导下完成的;吴金陵等参加了地衣测量工作,徐齐治等分析 ^{14}C 样品,在此表示感谢。

参考文献

- [1] 施雅风、苏珍, 1964, 天山乌鲁木齐河源冰川的形态特征与历史演变, 天山乌鲁木齐河源冰川与水文研究, 科学出版社, 83—87页。
- [2] 杨怀仁等, 1965, 乌鲁木齐河上游第四纪与冰后期的气候波动, 地理学报, 31卷3期, 194—211页。
- [3] 郑本兴等, 1983, 天山博格达峰地区与乌鲁木齐河源新冰期的冰川变化, 冰川冻土, 5卷3期, 133—142页。
- [4] 秦大河等, 1984, 天山乌鲁木齐河源地区主玉木冰期以来的冰川变化和冰川特征及发育环境的研究, 冰川冻土, 6卷3期, 51—62页。
- [5] 王增泰, 1931, 天山乌鲁木齐河源的古冰川, 冰川冻土, 3卷增刊, 55—63页。
- [6] 张祥松等, 1933, 天山乌鲁木齐河源1号冰川的进退变化及其与气候变化的若干关系, 冰川冻土, 6卷4期,

1—12页。

- [7] Harden, J.W., and Taylor, E.M., 1983, A quantitative comparison of soil development in four climatic regimes, *Quaternary Research*, Vol.20, No.3, PP.342—360.
- [8] Beschel, R.E., 1950, Lichens as a measure of the age of recent moraines, *Arctic and Alpine Research*, Vol.5, No.4, PP.303-309. (1973) .
- [9] Lock, W.W., Andrews, J.T. and Webber, P.J., 1979, A manual for lichenometry, British Geomorphological Research Group, *Technical Bulletin*, No.26, 47pp.
- [10] Calkin, P.E. and Ellis, J.M., 1980, A lichenometric dating curve and its application to Holocene glacier studies in the Central Brooks Range, Alaska, *Arctic and Alpine Research*, Vol.12, No.13, pp. 254—264.
- [11] 吉村庸, 1977, 原生日本地衣植物图鉴, 保育社出版, 394页。
- [12] Webber, P. J. and Andrews, J. T. , 1973, Lichenometry: a commentary, *Arctic and Alpine Research*, Vol. 5, No. 4, pp. 295—302.
- [13] Beschel, R. E. , 1981, Botany and some remarks on the history of vegetation and glacierization. in Mueller, F. ed., Jacobsen-McGill Arctic Research Expedition to Axel Heiberg Island, Preliminary Report 1959—1960, McGill University, Montreal, pp. 179—199.
- [14] Carrara, P. A. and Andrews, J. T. , 1978, Problems and applications of Lichenometry to geomorphic studies, San Juan Mountains, Colorado, *Arctic and Alpine Research*, Vol.5, No.4, pp. 373—384.
- [15] 竺可桢, 1973, 中国近5000年来气候变迁的初步研究, 中国科学, 16卷2期。

Preliminary Research on the Mid-and Late-Holocene Glacial Fluctuations in Tianger Peak II Regions, Tianshan Mountains

Chen Jiyang

(Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Chinese Academy of Sciences)

Abstract

The author investigated the Holocene moraines at the headwater of the Urumqi River, and in the Bulate Valley on the northern slope near Tianger Peak II (4486 m), the Tianshan Mountains, and those on its southern slope. The glaciogeomorphological maps with a large scale have been drawn and the ages of the moraines determined by ^{14}C dating, the lichenometric dating, etc. The primary conclusions are as follows:

1. During the general retreating processes in the Holocene, the glaciers in these regions experienced at least four periods of glacial advance which occurred about 5700 yrs. B. P., 4100 yrs. B. P., 2800 yrs. B. P. and 403—74 yrs. B. P. respectively with the first advance most extensive and lasting the longest. The Little Ice Age include three stages of glacial advance which occurred about 403 yrs. B. P., 208 yrs. B. P. and 74 yrs. B. P. respectively with the second advance most extensive. In addition, for the glacial fluctuations with the thousand-year scale during the Holocene, there might exist a 2300–3000-year cycle during which there was a longer period of glacial retreat and a brief period of glacial advance.

2. The cold climate of the last ice-age ended about 10000–9500 yrs. B. P. and the average temperature during this cold period was about 4°C lower than the present. There are at least four cold periods during the Holocene, which ended about 5700 yrs. B. P., 4100 yrs. B. P., 2800 yrs. B. P. and 420–91 yrs. B. P. respectively. The temperature of these cold periods are 1.5°C , 1.25°C , 0.9°C and 0.65°C lower than the present respectively. Between these cold periods were the warm ones. The amplitude of temperature changes during the Holocene is about 2.5°C .

3. It is proved by dating the moraines that the data of soil and vegetation on the moraines (Table 1) are significant for relative-age dating, investigation and correlation of the moraines in large regions and that lichenometry is one of the methods suitable for dating the mid-and late-Holocene deposits in high mountainous and cold regions. *Rhizocarpon geographicum* (L.) DC and *Xanthoria elegans* (Link.) Th. Fr. may be used for dating the deposits within the ranges of 4500 yrs. and 500 yrs. respectively.

图 版 说 明

照片 1 乌鲁木齐河源 2 号冰川左侧的石冰川(R), H₂、H₃及H₄分别为山北组冰碛垄Ⅰ、山北道班岩坎冰碛垄及 2 号冰川的小冰期冰碛垄一部分

照片 2 岩坡砾石上的地图衣 (*Rhizocarpon geographicum* (L.) DC), 还可看到地衣间相互镶嵌生长的情况, 它们不宜用于测年

照片 3 乌鲁木齐河源 1 号冰川小冰期第一列终碛垄上的红石黄衣 (*Xanthoria elegans* (Link.) Th. Fr.), 其基物是花岗岩麻岩

照片 4 乌鲁木齐河后峡基地的红石黄衣, 它们的基物是 1957 年修造的水泥基体表面, 它们稍带有黄绿色是因为这里处在水分条件较好的阴坡

Plate Captions

Photo 1 Rock glacier (R) on the left side of Glacier No. 2 in the headwater of Urumqi River. H₂, H₃ and H₄ are part of the second group of Shanbei Moraines, Shanbeidaoban Rock-stepp Moraines and the Little Ice Age Moraines of Glacier No. 2 respectively.

Photo 2 *Rhizocarpon geographicum* (L.) DC on the boulder on rock slope. The setting growth-situations of lichens of each other could be seen. These lichens are not suitable for dating.

Photo 3 *Xanthoria elegans* (Link.) Th. Fr. on the cement surfaces of Houxia Graveside built in 1957. These lichens are yellow-greenish because it is here on the shady slope with relatively good moisture conditions.

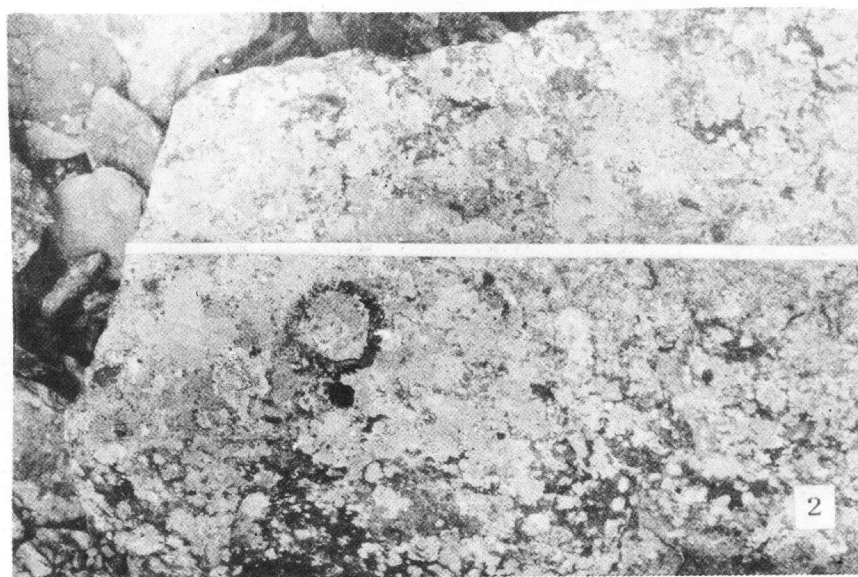
Photo 4 *Xanthoria elegans* (Link.) Th. Fr. on the first set of the Little Ice Age moraines (of Glacier No. 1 in the headwater of Urumqi River. It is growing on the boulder of gneiss.

陈吉阳: 天山天格尔第二峰地区全新世中后期冰川变化的初步研究

Chen Jiyang: Preliminary Research on the Mid- and Late-Holocene Glacial
Fluctuations in Tianger Peak II Regions, Tianshan Mountains

图版 I

Plate I



陈吉阳：天山天格尔第二峰地区全新世中后期冰川变化的初步研究

Chen Jiyang: Preliminary Research on the Mid- and Late-Holocene Glacial
Fluctuations in Tianger Peak II Regions, Tianshan Mountains

图版 II

Plate II

