

doi: 10.13866/j.azr.2015.01.13

天山奎屯哈希勒根 51 号冰川变化及其对气候的响应^①

张 慧¹, 李忠勤², 王璞玉², 怀保娟²

(1. 西北师范大学地理与环境科学学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所 冰冻圈科学国家重点实验室/天山冰川站, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 哈希勒根 51 号冰川位于新疆奎屯市以南的天山依连哈比尔尕山北坡, 即奎屯河上游支流哈希勒根河源区。继 1998 年对冰川末端和运动速度的首次观测之后, 相继开展了多次重复测量, 完成了冰川面积测量和首次雷达厚度测量。结合冰川实测资料和已有相关研究, 对自 20 世纪 60 年代以来的变化特征进行了详细分析, 结果表明: 1964—2006 年哈希勒根 51 号冰川面积共减小了 0.123 km², 年平均退缩率约为 0.19%, 相比低于天山地区的整体水平(0.31%)。冰川末端累计退缩 84.51 m, 年平均退缩率为 2.01 m。对于冰川运动速度, 1999—2006 年整体偏低, 各流速点的年际变化较小, 且略微有下降的趋势; 7 a 间物质平衡年际变化较小, 整体表现出沿海拔高度增加而增加的趋势。1964—2010 年冰川厚度减薄了约 10 m, 年均变化率约为 0.22 m。与天山乌鲁木齐河源 1 号冰川相比, 整体消融趋势稍弱。

关键词: 冰川变化; 气候响应; 哈希勒根 51 号冰川; 奎屯河流域; 天山

自 19 世纪末小冰期结束以来, 全球气候波动性变暖, 近 40 a 尤为剧烈^[1]。气候变化引起冰川积累量和消融量的变化, 导致雪线和冰川、运动速度等一系列复杂的变化, 最终使冰川面积增减、末端前进或退缩^[2]。因此, 冰川成为气候变化的天然指示器。基于冰川的这种指示作用, 变暖所引发的冰川变化及其对气候变化的响应已成为当前研究的热点^[3]。

新疆奎屯河流域位于准噶尔盆地西部偏南地区, 属气候变化敏感区域^[4], 是天山北坡经济带的主要水源地之一。河川径流分别受降水、冰川消融和季节积雪融水的影响。其中, 冰川是该地水文循环及生态系统的重要组成部分, 冰川覆盖度及其变化对流域的水文特征有着重要影响^[5]。而哈希勒根 51 号冰川作为该区域内唯一的监测冰川, 其对奎屯河流域气候及径流变化特征的研究具有重要的指导意义。前人的研究主要集中在冰川末端、面积以及运动速度的变化上^[6-7], 缺乏对冰川消融与流域气温、降水以及径流变化之间关系的深入分析。本文结合气象数据和已有相关研究, 对哈希勒根 51 号冰川自 20 世纪 60 年代以来的冰川变化数据进行了分析, 探讨该流域冰川对气候变化的响应。

1 研究区概况及数据资料

哈希勒根 51 号冰川位于天山依连哈比尔尕山北坡, 奎屯河上游哈希勒根河源区。地理位置为 84°24'E, 43°43'N, 其形态特征属于冰斗冰川, 冰川朝向 NE, 最高海拔 4 000 m, 冰舌末端高度 3 400 m, 雪线高度 3 610 m, 冰川面积 1.48 km², 平均厚度为 49 m, 最大长度 1.7 km, 储量 0.072 5 km³。冰面较为平整、洁白, 裂隙不甚发育^[7]。

该流域降水主要受西风影响。多年平均气温 6.7℃, 降水量 215.9 mm, 而且降水多集中于 6—8 月, 占全年降水量的 60% 以上。流域内径流主要以雪冰融水和雨水补给为主, 年内分配极不均匀, 主要集中于 6—9 月, 年际变化相对稳定, 多年实测径流呈微弱增加趋势^[8]。

自 1998 年对冰川运动、冰川物质平衡和冰川末端变化的观测之后, 又进行了多次重复测量, 并在 2000 年和 2006 年对该冰川进行了测量制图^[7]。2010 年利用探地雷达(GPR)进行了冰川厚度测量。具体的观测项目及资料序列如表 1。此外, 由于该流域缺乏长时间序列的山区气象资料, 研究采用将

① 收稿日期: 2013-12-13; 修订日期: 2014-02-26

基金项目: 国家自然科学基金(1141001040, 41101066, 41301069); 国家重点实验室自主项目(SKLCS-ZZ-2012-01-01); 国家自然科学基金创新研究群体项目(41121001)资助

作者简介: 张慧(1989-), 男, 硕士, 研究方向为冰川变化。E-mail: zhanghui126@126.com

通讯作者: 李忠勤。E-mail: lizq@lzb.ac.cn

表 1 哈希勒根 51 号冰川观测项目和资料时间序列

Tab. 1 Observation items and data time series of Haxilegen No. 51 Glacier

项 目	物质平衡	表面运动速度	冰舌末端变化	冰川面积	冰川厚度
资料时间序列(年)	1999—2006	1999—2006	1999—2006	1964, 2000, 2006	2010

军庙水文站的降水和径流资料及乌苏气象站的气象观测资料,以反映流域气候的变化趋势。

2 流域气候变化背景

由图 1 所示,近 40 a 奎屯河流域气温整体呈上升趋势,且增温显著。乌苏气象站 1960—2006 年气温以 $0.37\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 的速率显著增暖,远高于我国近 40 a 平均 $0.04\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 的增温速率^[9]。其中,1966—1982 年波动变化较小,无明显增温趋势;1982—1983 年增温显著,出现峰值,其后迎来了一个短暂的低谷;1992—2006 年升温显著,增温速率达到 $0.75\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$,约为 1960—2006 年的 2 倍^[9]。

该流域降水变化整体呈上升趋势,但增幅并不显著(图 2)。年际变化方面,47 a 中,有 25 a 的年降水量低于多年平均水平,而且在 2000 年后上升幅度有所放缓。从 2003 年降水就已出现明显减少,除个别年份降至多年平均值以下,年降水量减少 15%~35%^[10]。季节方面,月际分布不均匀,主要集中在夏季,并伴有暴雨天气。径流多年变化趋势总体上与降水相似,由于气候变暖,奎屯河出口将军庙水文站 1959—2009 年径流量的多年变化总体以 $0.266\text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 速率增加,由于有雪冰融水的补给,47 a 中年径流量仅有 19 a 低于平均水平^[10]。年内变化,月际分布极不均匀、季节变化明

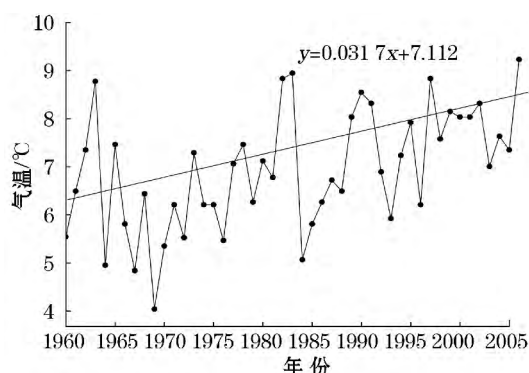


图 1 乌苏气象站年平均气温变化

Fig. 1 Variation of annual mean air temperatures at Ussu Meteorological Station

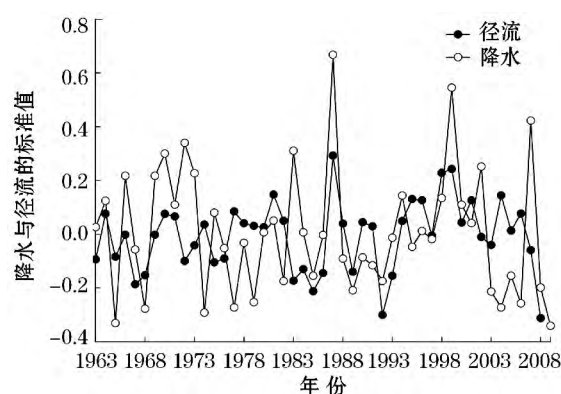


图 2 1963—2009 年奎屯河将军庙站降水、径流量变化过程

Fig. 2 Variations of precipitation and runoff from 1963 to 2009 at Jiangjunmiao Meteorological Station

显,6—9 月径流量占到全年径流量的 75.1%。总体来看,气温、降水、径流变化趋势相似,气温高,降水量偏多的年份,径流量也相对较丰,反之则偏枯。流域气候有向暖湿化转型的趋势^[9-10]。

3 冰川变化

3.1 冰川面积和末端变化

根据 1964 年 9 月的航空摄影像片和 1972 年绘制出版的 1:50 000 航空摄影测量地形图,进行两者校对和量算,获得了哈希勒根 51 号冰川 1964 年的冰川面积数据^[7]。1981 年进行哈希勒根 51 号冰川考察时,发现该冰川处于稳定状态^[11]。2000 年和 2006 年通过摄影和 GPS 测量方法获取当年的面积数据。分析发现,2000 年的冰川面积比 1964 年减少了 0.083 km^2 ,年均面积变化率 (APAC) 约为 0.23%;2006 年的测量面积比 2000 年的测量面积减少了 0.04 km^2 ,APAC 为 0.48%,与 1964—2000 年相比,几乎占到了 50%。可见,冰川面积在加速缩减。42 a 间,哈希勒根 51 号冰川面积共减小了 0.123 km^2 ,APAC 约为 0.19%,低于天山地区 0.31%^[12] 的平均水平。

冰川末端变化的测量是通过 GPS 测定的控制观测点 (M1、M2、M3),进行重复距离测量法而获取的(图 3)。从 1964—2006 年哈希勒根 51 号冰川累计退缩 84.51 m,平均退缩率约为 $2.01\text{ m} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

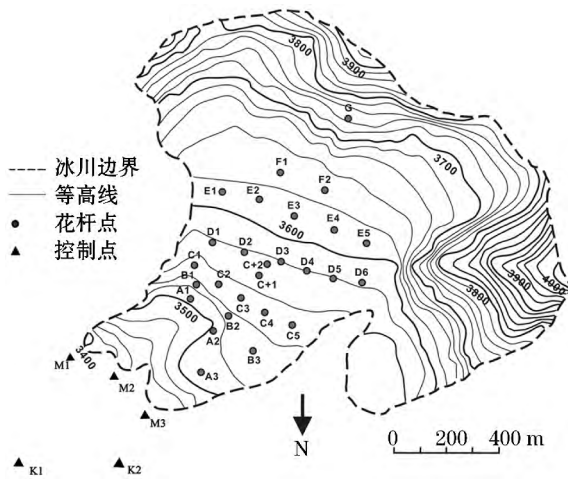


图3 哈希勒根 51 号冰川观测网示意图

Fig. 3 Observation network of the Haxilegen No. 51 Glacier

1964—1999 年该冰川末端仅退缩了 49 m, 平均退缩量为 $1.4 \text{ m} \cdot \text{a}^{-1}$, 说明在这期间, 该冰川末端变化不大, 处于相对稳定状态⁽⁷⁾。但从 1999 年开始, 末端退缩明显加快, 年平均退缩量达到了 5.09 m, 较前者增加了约 1.5 倍。分析发现, 这种变化态势与 20 世纪以来流域的气候变化特征密切相关。20 世纪 60 年代末到 80 年代初, 气温与降水量都在波动中上升, 但整体上增幅较小; 70 年代末到 80 年代初, 温度又趋于上升, 至 90 年代后气温迅速上升, 降水量的变化已经远远不能比拟气温升高带来的影响, 冰川末端急剧退缩, 冰川面积加速缩减, 呈现出加速消融的态势。

3.2 厚度变化

2010 年采用加拿大 SSI 公司的 pulse EKKO-PRO 100A 增强型探地雷达, 对哈希勒根 51 号冰川海拔 3 600 m 以下的冰舌进行了首次雷达厚度测量。在测量过程中选用中心频率为 100 MHz 的天线, 测量方式采取剖面法, 即在保持接收/发射天线合理间距时, 同步移动测量, 天线和测量点间距均为 4 m, 相对误差约为 1.18%, 在冰川学精度要求范围内⁽¹³⁾。最终得出, 冰川平均厚度约为 39 m, 最大厚度为 79 m, 较 1964 年的冰川厚度(49 m)薄了 10 m, 年均变化率为 0.22 m。说明近年来山地冰川以“变薄退缩”的基本模式响应气候变暖的事实, 以及冰川厚度对气候变化的敏感性。

3.3 物质平衡

冰川消融是利用布设在冰面上的测杆进行观测获得, 冰川积累则通过花杆观测和雪坑雪层剖面法获得, 测杆分布如图 3 所示。根据各测点观测资料,

分别计算出各单点的物质平衡值, 然后以等值线法或等高线法计算出该冰川的物质平衡值(图 4)。1999—2006 年哈希勒根 51 号冰川的单点物质平衡年际变化较小, 整体表现出沿海拔高度升高而增加的良好趋势; 同排花杆平均物质平衡随海拔升高而升高, 升高梯度变化不大, 比较适合利用等高线法计算物质平衡。据统计, 6 a 该冰川单点年物质平衡值介于 $1\,173 \sim -3\,513 \text{ mm} \cdot \text{weq}$ 。若不计入 2003 年则为 $868.4 \sim -2\,691 \text{ mm} \cdot \text{weq}$ 。2002—2003 年数据波动较大, 很可能观测时人为因素造成数据质量较低。

从 2000—2003 年的数据看, 平衡线范围在 3 605 ~ 3 690 m。但 2003 年物质平衡分布状况和其他 3 a 有明显不同, 可能观测结果有问题; 若以 2000—2002 年数据来看, ELA(零平衡线海拔)在 3 660 ~ 3 690 m(图 5)。冰川物质平衡的波动会引

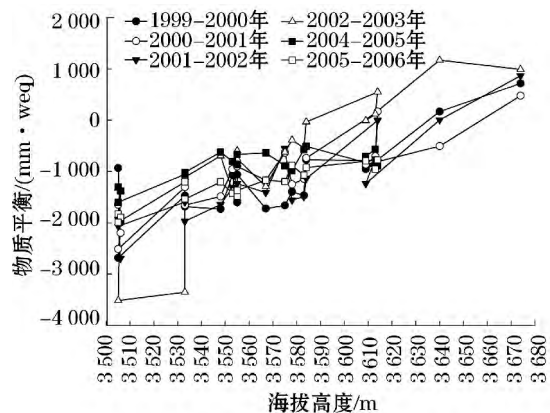


图4 奎屯哈希勒根 51 号冰川单点物质平衡的变化

Fig. 4 Variations of single mass balance at Haxilegen No. 51 Glacier

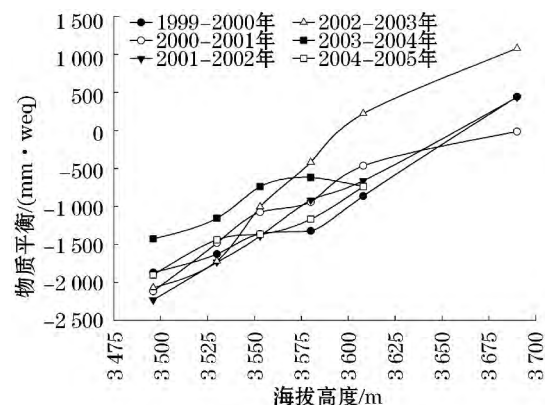


图5 奎屯哈希勒根 51 号冰川物质平衡随海拔高度的变化

Fig. 5 Variations of mass balance with altitude at Haxilegen No. 51 Glacier

起零平衡线高度的变化。物质平衡的波动越小, 零平衡线的变幅越小, 依此可预测, 2005—2006 年的 ELA 很有可能在 1000 m 左右。究其原因, 首先与该流域的气候变化密切相关。由图 2 可知, 2000 年后流域降水量上升幅度有所放缓, 且 2003—2006 年出现明显减少。降水量的减少意味着冰川积累量的减少, 无疑会对物质平衡变化有所影响。其次, 该冰川的积累区面积较大, 冰川补给条件较好, 以致冰川稳定度较好, 物质平衡的年际变化较小。再者, 该冰川表面洁白、平整, 表面污化度较低, 裂隙发育较少, 对太阳辐射的反照率较高。众所周知, 冰川消融的热量主要来源于太阳辐射及冰川与大气之间的交换热^[14]。在冰川物质平衡中, 净辐射量是冰川消融的重要能量源, 冰川上小区域范围内反照率的变化也会引起相对差异较大的冰川消融量^[15]。

3.4 运动速度

冰川运动速度是利用布设在冰川外围的基本控制点 (K1 和 K2), 对冰面上已有测杆 (A~F) 进行重复前方交会法, 以坐标法计算出各流速点单位时间

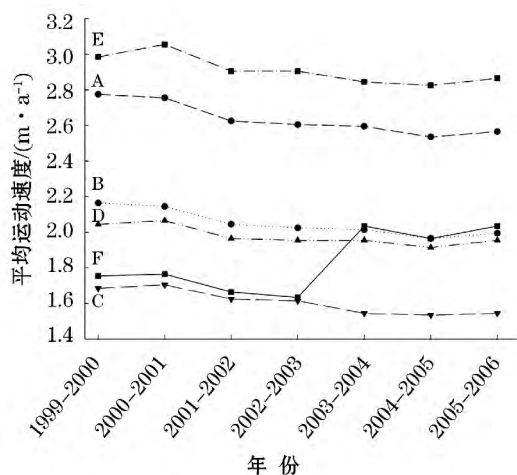


图 6 哈希勒根 51 号冰川平均运动速度

Fig. 6 Averaged glacial surface velocity with time at Haxilegen No. 51 Glacier

内的空间位移, 从而获得各点的运动速度 (图 3)。

由图 6 可知, 奎屯河哈希勒根 51 号冰川表面运动速度整体偏低, 各流速点 (A~F) 的年际变化较小, 且略微有下降的趋势; 冰川表面最大流速点仍保持在 E 点, 最大运动速度在 $3.0 \text{ m} \cdot \text{a}^{-1}$ 上下波动^[6]。据井哲帆等^[16]的研究, 冰川规模与冰川运动速度有明显关系。冰川物质平衡积累量减小, 冰川厚度的持续减薄, 造成了冰川纵向应力的变小, 最终导致冰体运动速度减弱。冰川厚度持续减薄是速度改变的原因, 冰川规模的不同是速度差异的主要影响因素。

4 与乌鲁木齐河源 1 号冰川变化的比较

近 50 a 来, 中国天山冰川的变化因气候环境、地理位置、冰川规模和冰川形态等因素, 存在明显的区域差异性与阶段性^[17]。为进一步研究哈希勒根 51 号冰川变化特征, 将其与天山乌鲁木齐河源 1 号冰川进行了比较 (表 2), 结果表明: 哈希勒根 51 号冰川消融相对较慢, 整体趋势稍弱于 1 号冰川。

气温决定冰川的消融, 降水量决定冰川的积累, 它们的组合共同决定着冰川的性质、发育和演化^[18]。1958—2004 年, 1 号冰川年平均气温升高 $0.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ($0.017 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{a}^{-1}$)。降水方面, 1958—2004 年, 平均降水量增加 86 mm ($1.9 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$) 或 19.3% , 其中 1996—2004 年增量占到 17.4% ^[18]。而哈希勒根 51 号冰川 1960—2006 年气温以 $0.37 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 的速率显著增暖; 降水以 $3.3 \text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 的速率增加, 整体呈微弱增加趋势, 但 2000 年后上升幅度有所放缓, 且于 2003—2006 年出现明显减少。对比发现, 降水量增加趋缓是 51 号冰川消融相对较慢的一个重要原因。

冰川类型、规模、形态特征等因素也对冰川消融

表 2 近几十年乌鲁木齐河源 1 号冰川与哈希勒根 51 号冰川变化比较

Tab. 2 Comparison between the No. 1 Glacier at the headwater of the Urumqi River and Haxilegen No. 51 Glacier at the headwater of Kuytun River in recent decades

冰川名称	冰川末端变化		冰川运动速度		冰川面积		冰川厚度		资料来源
	时间段	年均/m	时间段	年均/m	时间段	年均/ km^2	时间段	年均减薄/m	
乌鲁木齐河源 1 号冰川	1959—1993	-4.5	1999—2007	4.8 (东支)	1962—2008	-0.06	1981—2006	0.15	(18)
	1993—2006	-3.5 (东支) -6.3 (西支)		6.1 (西支)					
奎屯哈希勒根 51 号冰川	1964—1999	-1.4	1999—2006	2.1	1964—2006	-0.03	1964—2010	0.22	本研究
	1999—2006	-5.09							

强度造成一定影响⁽¹⁹⁾。首先,哈希勒根 51 号冰川和乌鲁木齐 1 号冰川在冰川类型上分属冰斗冰川和山谷冰川,气候变化对不同类冰川的影响程度和表现形式是不同的。其次,冰川规模与冰川运动速度的变化关系明显,规模大的冰川运动速度值大,规模小的冰川运动速度值小。冰川厚度持续减薄是速度改变的原因,冰川规模的不同是速度差异的主要因素⁽¹⁶⁾。再者,从冰川的形态来看,哈希勒根 51 号冰川的积累区面积较大以及冰面反照率较高,以致冰川的稳定性较好。然而,冰川消融特性差异是多种因素共同作用的结果⁽²⁰⁾,且其变化幅度不仅与上述因素有关,还与冰川地形条件、所处地理位置等关系密切⁽²¹⁾。

5 结论

(1) 1964—2006 年,冰川累计退缩 84.51 m,平均退缩率约为 $2.01 \text{ m} \cdot \text{a}^{-1}$,冰川面积相应减小了约 0.123 km^2 ,年均减少 0.03 km^2 ;1999—2006 年冰川表面平均运动速度为 $2.1 \text{ m} \cdot \text{a}^{-1}$,年际变化较小,且略呈下降趋势;物质平衡年际变化也较小,整体上呈现出沿海拔高度上升而增加的趋势。1964—2010 年冰川薄了 10 m,平均厚度约为 39 m,最大厚度为 79 m,年均变化率约为 0.22 m 。尽管冰川对气候响应在时间上存在滞后性,监测结果仍较好地反映了近 40 多年来流域的气候变化。此外,随着流域气候向暖湿化转型,若降水量无明显增加,冰川仍将处于加速消融的状态;反之,则有所减缓。

(2) 与乌鲁木齐河源 1 号冰川相比,哈希勒根 51 号冰川整体消融相对较慢。两者变化幅度之间的差异不仅与气候变化有关,还与冰川类型、规模、形态特征、冰下地形、所处地理位置等多个因素关系密切。

参考文献(References):

- (1) IPCC. Climate Change: Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on climate IPCC, WGI (M). Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- (2) 秦大河,陈宜瑜,李学勇,等. 中国气候与环境演变(上卷): 气候与环境的演变及预测 (M). 北京: 科学出版社, 2005: 109 – 110. (Qin Dahe, Chen Yiyu, Li Xueyong, et al. Assessment of Climate and Environment Changes in China (I): Climate and Environment Changes in China and Their Projection (M). Beijing: Sciences Press, 2005: 109 – 110.)
- (3) 任炳辉. 我国现代冰川变化及其与气候变化的关系 [J]. 冰川冻土, 1988, 10(3): 244 – 249. (Ren Binghui. Existing glacier fluctuation and its relation to the climatological changes in China [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1988, 10(3): 244 – 249.)
- (4) 徐素宁,杨景春,李有利. 近 50 a 来玛纳斯河流量变化及对气候变化的响应 (J). 地理与地理信息科学, 2004, 20(6): 65 – 68. (Xu Suning, Yang Jingchun, Li Youli. Fluctuations of discharge rate of Manas River and its response to climatic changes during the recently 50 years (J). Geography and Geo-Information Science, 2004, 20(6): 65 – 68.)
- (5) Fountain A G, Tangborn W V. The effect of glacier on stream flow variations (J). Water Resources Research, 1985, 21(4): 579 – 586.
- (6) 焦克勤,井哲帆,成鹏,等. 天山奎屯河哈希勒根 51 号冰川变化监测结果分析 (J). 干旱区地理, 2009, 32(5): 733 – 738. (Jiao Keqin, Jin Zhefan, Cheng Peng, et al. Monitoring results on the No. 51 at Haxilegen in the Kuytun River Basin, Tianshan Mountains (J). Arid Land Geography, 2009, 32(5): 733 – 738.)
- (7) 井哲帆,叶柏生,焦克勤,等. 天山奎屯河哈希勒根 51 号冰川表面运动特征分析 (J). 冰川冻土, 2002, 24(5): 563 – 566. (Jing Zhefan, Ye Baisheng, Jiao Keqin, et al. Surface velocity on the Glacier No. 51 at Haxilegen of the Kuytun River, Tianshan Mountains (J). Journal of Glaciology and Geocryology, 2002, 24(5): 563 – 566.)
- (8) 王林. 天山奎屯河流域近 40 年来冰川特征研究 (D). 兰州: 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 2001: 24 – 46. (Wang Lin. Research on Glacial Change Features in Kuytun River in Tianshan in the Recent 40 a (D). Lanzhou: Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, 2010: 24 – 46.)
- (9) 阿依努尔·孜牙别克,高婧. 气候变化对天山北坡奎屯河高山区地表径流的影响 [J]. 冰川冻土, 2010, 32(6): 186 – 193. (Ayinuer Ziyabeike, Gao Jing. Impact of climate change on the surface runoff in the Kuytun River Basin on the North Slope of Tianshan Mountains (J). Journal of Glaciology and Geocryology, 2010, 32(6): 186 – 193.)
- (10) 井立军,高婧,井立红,等. 奎屯河流域气候变化与径流量的关系 (J). 沙漠与绿洲气象, 2008, 2(6): 41 – 46. (Jing Lijun, Gao Jing, Jing Lihong, et al. Relation between climatic change and runoff in Kuytun River Basin (J). Desert and Oasis Meteorology, 2008, 2(6): 41 – 46.)
- (11) 中国冰川目录 III. 天山山区(西北部准噶尔内流区) (M). 北京: 科学出版社, 1987: 1 – 201. (Glacier Inventory of China III. Tianshan Mountains (Interior Drainage Area of Dzungaria Basin in northwest) (M). Beijing: Science Press, 1987: 1 – 201.)
- (12) 王圣杰,张明军,李忠勤,等. 近 50 年来中国天山冰川面积变化对气候的响应 [J]. 地理学报, 2011, 66(1): 38 – 46. (Wang Shengjie, Zhang Mingjun, Li Zhongqin, et al. Response of glacier area variation to climate change in Chinese Tianshan Mountains in the past 50 years (J). Acta Geographica Sinica, 2011, 66(1): 38 – 46.)
- (13) 孙波,何茂兵,张鹏,等. 天山 1 号冰川厚度和冰下地形探测与冰储量分析 (J). 极地研究, 2003, 15(1): 35 – 44. (Sun Bo, He Maobing, Zhang Peng, et al. Determination of ice thickness, subice

- topography and ice volume at Glacier No. 1 in the Tianshan, China, by ground penetrating radar (J). Chinese Journal of Polar Research, 2003, 15(1): 35–44.)
- (14) 施雅风, 谢自楚. 中国现代冰川的基本特征 (J). 地理学报, 1964, 30(3): 183–208. (Shi Yafeng, Xie Zichu. The characteristics of existing glaciers in China (J). Acta Geographica Sinica, 1964, 30(3): 183–208.)
- (15) Konzelmann T, Braithwaite R J. Variations of ablation, albedo and energy balance at the margin of the greenland icesheet, Kronprins Christian Land, Eastern North Greenland (J). Journal of Glaciology, 1995, 41(137): 174–182.
- (16) 井哲帆, 周在明, 刘力. 中国冰川运动速度研究进展 (J). 冰川冻土, 2010, 32(4): 749–754. (Jing Zhefan, Zhou Zaiming, Liu Li. Progress of research on glacier velocities in China (J). Journal of Glaciology and Geocryology, 2010, 32(4): 749–754.)
- (17) 李珊珊, 张明军, 李忠勤, 等. 1960—2006 年中国天山现代冰川末端变化特征 (J). 干旱区研究, 2013, 30(2): 379–383. (Li Shanshan, Zhang Mingjun, Li Zhongqin, et al. Variation of glacier terminuses in the Tianshan Mountains, China, during the period of 1960–2009 (J). Arid Zone Research, 2013, 30(2): 379–383.)
- (18) 李忠勤, 沈永平, 王飞腾, 等. 冰川消融对气候变化的响应: 以乌鲁木齐河源 1 号冰川为例 (J). 冰川冻土, 2007, 29(3): 333–342. (Li Zhongqin, Shen Yongping, Wang Feiteng, et al. Response of glacier melting to climate change: Take Urumqi Glacier No. 1 as an example (J). Journal of Glaciology and Geocryology, 2007, 29(3): 333–342.)
- (19) Evans I S. Local aspect asymmetry of mountain glaciation: A global survey of consistency of favoured directions for glacier numbers and altitudes (J). Geomorphology, 2006, 73: 166–184.
- (20) 王璞玉, 李忠勤, 曹敏, 等. 近 45 年来托木尔峰青冰滩 72 号冰川变化特征 (J). 地理科学, 2010, 30(6): 962–967. (Wang Puyu, Li Zhongqin, Cao Min, et al. Variation of Qingbingtan Glacier No. 72 in Mt. Tuomuer region during past 45 years (J). Scientia Geographica Sinica, 2010, 30(6): 962–967.)
- (21) 许君利, 张世强, 上官冬辉. 30 a 来长江源区冰川变化遥感监测 (J). 干旱区研究, 2013, 30(5): 919–926. (Xu Junli, Zhang Shiqiang, Shanguan Donghui. Glacier change in headwaters of the Yangtze River in recent three decades (J). Arid Zone Research, 2013, 30(5): 919–926.)

Variation of Haxilegen No. 51 Glacier at the Headwater of Kuytun River in Tianshan Mountains and Its Response to Climate Change

ZHANG Hui¹, LI Zhong-qin², WANG Pu-yu², HUAI Bao-juan²

(1. College of Geography and Environment Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, Gansu, China;

2. State Key Laboratory of Cryospheric Sciences/Tianshan Glaciological Station, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, Gansu, China)

Abstract: The Haxilegen No. 51 Glacier is located on the northern slope of Eren Habirga Mountains in the Tianshan Mountains, the headwater of the Haxilegen River which is a tributary at the upper reaches of the Kuytun River. In order to measure and research the change of the Haxilegen No. 51 Glacier, we established 26 rods on the glacier in August 1999, with 2 control points around the glacier and 3 control points in the glacier terminus for measuring the change. The changes in the glacial terminus and glacial surface velocity from 1999 to 2006 were measured by using GPS and traditional technique. The results reveal that the glacial area has reduced by 0.123 km² during 1964–2006, by 0.083 km² and 0.040 km² during the periods of 1964–2000 and 2000–2006, respectively. That is, the reduction of glacial area became more and more marked, and the annual percentage of area changes (APAC) for the glacier was 0.19%, lower than an average of other glacier's areas in the Tianshan Mountains. The glacier terminus has retreated for about 84.51 m, and the average annual shrinkage was 2.01 m. The surface velocity of the glacier in 1999–2006 was slower. The mass balance of the glacier increased with the rise of the elevation, but the inter-annual variation was smaller during 7 years. During the period of 1964–2010, the thickness of Haxilegen No. 51 Glacier thinned by about 10 m, with an average annual rate of 0.22 m. Comparison between the No. 1 Glacier at the headwater of the Urumqi River and Haxilegen No. 51 Glacier at the headwater of Kuytun River in recent decades showed that the tendency of Haxilegen No. 51 Glacier melt was weaker as a whole.

Key words: glacial variation; response to climate change; Haxilegen No. 51 Glacier; Kuytun River Basin; Tianshan Mountains