

张慧,李忠勤,牟建新,等.近50年新疆天山奎屯河流域冰川变化及其对水资源的影响[J].地理科学,2017,37(11):1771-1777.[Zhang Hui, Li Zhongqin, Mu Jianxin et al. Impact of the Glacier Change on Water Resources in the Kuytun River Basin, Tianshan Mountains During Recent 50 Years. Scientia Geographica Sinica, 2017, 37 (11): 1771-1777.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2017.11.020

近50年新疆天山奎屯河流域冰川变化 及其对水资源的影响

张慧^{1,2},李忠勤¹,牟建新³,何海迪³

(1. 中国科学院西北生态环境资源研究院冰冻圈科学国家重点实验室/天山冰川观测试验站, 甘肃 兰州 730000;

2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 西北师范大学地理与环境科学学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要:基于地形图、遥感影像、气象与水文资料,对气候变化背景下奎屯河流域近50 a冰川变化及其对水资源的影响进行了研究。结果表明:1964~2015年该流域冰川面积减小了约65.4 km²,冰储量亏损了约4.39 km³,且2000年后冰川消融与退缩加快。消融期内正积温增大带来的冰川物质支出(消融)高于源自年内降水的冰川物质收入(积累)是造成该流域冰川消融与退缩的主要原因。1964~2010年该流域径流年际变化总体呈上升趋势,1993年后径流增加趋势显著,且周期性丰枯变化发生了改变。52 a间该流域冰储量亏损引发的水资源损失量达39.5×10⁸ m³,年均亏损量约占多年平均径流量的12%,且20世纪80年代后冰川融水在径流中所占比重增大。

关键词:奎屯河流域;冰川退缩;气候变化;径流变化;冰川融水

中图分类号:P343.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-0690(2017)11-1771-07

冰川是新疆水资源的重要组成部分^[1,2],冰川融水约占全疆多年平均地表水资源的25%以上^[2],是影响区域社会经济及可持续发展的重要因素^[3]。作为“天然固态水库”的冰川,以固态形式贮存降水,以融水形式参与河川径流,并对多年河川径流起调节与维稳作用^[4]。冰川是气候变化的产物,对气候变化反应敏感^[5]。受气候变化影响,近50 a新疆大部分冰川处于退缩状态^[2],冰川加速消融使得冰川融水增多,冰量持续亏损,对下游河流的水量、水文时刻及变化性等水文特征产生不同程度的影响^[4,6]。此外消融期内冰川融水急剧增多使得冰川洪水、冰湖溃决洪水等自然灾害发生频次增多,强度增大,严重危害当地居民的生命财产与生产生活^[7]。因此,亟待开展相关的监测与研究。

奎屯河下游流经奎-独-乌金三角区域(乌苏市、奎屯市与独山子区),该区为天山北坡经济带的重要组成部分,北疆重要的交通枢纽、工业基地、大型灌溉农业区,对天山北坡经济带发展起到了重要的推动作用^[8]。然而随着社会发展,人

口增多,耕地面积扩大,水资源开发利用强度不断增大,使得下游水资源供需矛盾加剧,生态环境恶化。面对资源性缺水与突出的水供需矛盾,加强对该流域水资源,尤其是河源区冰川的监测与研究具有迫切而现实的意义。

对于该流域的气候、径流、冰川变化及其相互影响,前人已开展相关研究^[9-13],但由于侧重点不同或资料所限,仍有待深入探讨。因此本研究以地形图、遥感影像、气象与水文资料为基础,对该流域近50 a冰川、气候及径流变化特征进行了分析,以探讨气候变暖背景下冰川加速消融对该流域水资源的影响。

1 研究区概况

奎屯河流域地处天山中部,位于天山支脉依连哈比尔尕山北坡,准噶尔盆地的西南边缘,西距乌鲁木齐市约220 km。流域总面积约4 000 km²,介于83°30'~85°08'E,43°30'~45°00'N之间,干流全长约220 km^[9](图1)。研究所选取的奎屯河流域为

收稿日期:2016-11-08;修订日期:2017-05-11

基金项目:国家自然科学基金项目(41471058)资助。[Foundation: National Natural Science Foundation of China(41471058).]

作者简介:张慧(1989-),男,内蒙古巴彦淖尔人,博士研究生,主要从事冰川变化与物质平衡研究。E-mail: zhanghui126@126.com

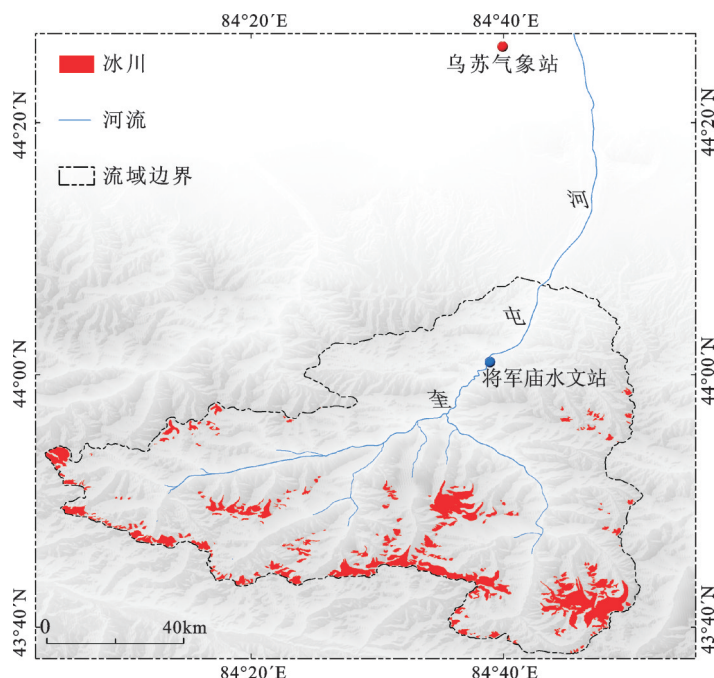


图1 研究区位置

Fig.1 Location of the study area

奎屯河水系下的最大子流域,径流量约占整个流域多年平均径流量的50%^[12],集水面积达1 945 km²,多年平均径流量为 $6.70 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

奎屯河属降水与冰雪融水混合补给型河流,径流年内分配不均,75.1%集中在6~9月,且季节差异显著^[9]。该流域深居大陆内部,大陆性气候特征显著,冬寒夏热,降水主要集中于夏季。冰川编目资料显示^[10],281条冰川发育于该流域,面积达147 km²,储量为7.57 km³。最大的冰川面积为7.6 km²,平均冰川面积为0.65 km²。冰川类型多样,悬冰川数量众多,山谷冰川分布较广,平均冰川面积较小。

2 数据与方法

2.1 数据源

本研究选用的地形图数据摄于1964年,调绘于1967年,比例尺为1:5万,等高距为20 m。经电子扫描后获取其栅格图像,并借助GIS软件进行几何精校正,校正均方根误差在1个像元左右。Landsat影像数据来自于USGS(U.S. Geological Survey, <http://www.usgs.gov>)数据共享平台,共4景(表1)。

数字高程模型为SRTM(Shuttle Radar Topography Mission),源于中国科学院计算机网络信息中心国际科学数据镜像网站(<http://datamirror.csdb.cn>),

表1 遥感影像信息

Table 1 Information of remote sensing images

ID	接收年份	传感器	分辨率 (m)	轨道号
LE71440302000220SGS00	2000年	ETM+	30	144/30
LE71450302000179EDC00	2000年	ETM+	30	145/30
LE71440302015197NPA00	2015年	ETM+	30	144/30
LC81450302015196LGN00	2015年	OLI/TIRS	30	145/30

由美国太空总署和国防部国家测绘局联合测量。该数据为修订版V4.1版本,分辨率为90 m,绝对高程精度和绝对平面精度分别为 $\pm 16 \text{ m}$ 与 $\pm 20 \text{ m}$ 。

由于山区气象资料缺乏,故选用乌苏气象站的气温数据反映流域气温变化,同时利用山区将军庙水文站的降水数据反映流域降水变化。乌苏气象站的气温资料源于中国气象数据网(<http://cdc.cma.gov.cn>)。山区降水与径流资料均由将军庙水文站提供,该站为干流上的首个水文站,集水面积大,能较好地反映该流域多年径流变化。

2.2 方法

1) 冰川边界提取。以1:5万的地形图为参考对遥感影像进行了几何校正,误差控制在1个像元

以内。为了更好的区分雪斑与冰川,对遥感影像进行锐化与增强处理,在GIS软件中采用目视解译的方法对冰川边界进行勾勒。为提高识别精度,对于表碛发育的冰川区采用DEM叠加影像的方法,并结合冰川学知识与野外经验,完成冰川边界的识别与矢量化。

研究表明传感器和图像配准误差是影响冰川边界提取精度的主要因素^[14,15],冰川面积提取误差由如下公式计算获取:

$$U_A = 2\lambda \sqrt{\lambda^2 + \varepsilon^2} \quad (1)$$

式中, U_A 为面积提取误差; λ 为影像分辨率; ε 为配准误差。计算得出,单条冰川面积提取误差为 $\pm 0.0025 \text{ km}^2$ 。

采用已有经验公式估算流域冰川厚度与储量^[16],悬冰川选用公式(2),其余类型冰川采用公式(3):

$$H = 34.4A^{0.45} \quad (2)$$

$$H = -11.32 + 53.21A^{0.3} \quad (3)$$

式中: H 为冰川平均厚度; A 为冰川面积。冰川储量由公式(4)求得:

$$V = \sum_{i=1}^n H_i A_i / 1000 \quad (4)$$

式中: V 为流域冰川总储量(km^3); H_i 为单条冰川平均厚度(m); A_i 为单条冰川面积(km^2); i 为流域冰川总条数。

2) 气象与水文资料的趋势分析与突变性检验。采用一元线性回归法与MK(Mann Kendall)法对气温与降水变化进行了趋势分析与突变性检验,为保证结果准确性,利用滑动T检验和Yamamoto法对突变点进行了真伪验证。利用一元线性回归趋势法与差积曲线法反映径流的多年变化趋势,并利用Morlet小波变换法分析径流在多时间尺度下的周期变化。

3 结果

3.1 冰川面积与储量变化

1964~2015年奎屯河流域冰川总面积由200.5 km^2 减至135.1 km^2 ,减少了约65.4 km^2 ,面积变化率为-32.6%;冰川条数由293条减至262条,减少了31条;平均冰川面积由0.68 km^2 减小为0.49 km^2 。其中1964~2000年该流域冰川面积减少了约44.5 km^2 ,年均面积变化率为-0.6%;2000~2015年该流域冰川面积减少了约20.9 km^2 ,年均面积变化率为-0.8%(图2)。

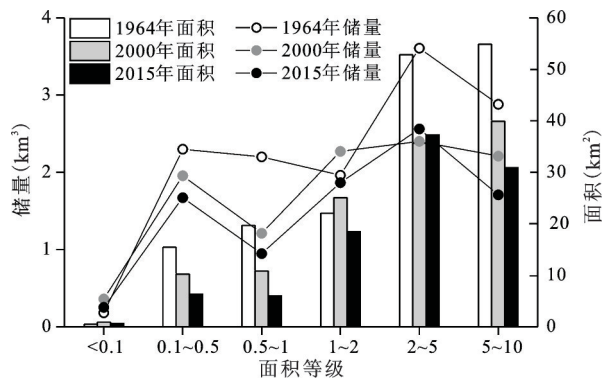


图2 1964~2015年奎屯河流域冰川面积与储量变化
Fig.2 Variation of glacial area and volume in the Kuytun River Basin during 1964-2015

1964~2015年奎屯河流域冰川储量共减少了约4.39 km^3 ,年均亏损约0.086 km^3 ,亏损比例达39.8%。1964~2000年该流域冰川储量亏损了约2.85 km^3 ,年均亏损率为0.72%;2000~2015年该流域冰川储量亏损了约1.54 km^3 ,年均亏损率为1.3%。结果表明,该流域冰川面积与储量总体呈减小与亏损态势,且2000年后冰川消融与退缩加快。

3.2 流域气候变化

1964~2015年该流域年均气温总体呈上升趋势,且增温显著,倾向率达0.39 $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ (图3)。该流域四季气温变化也均表现出上升趋势,其中冬季增温最显著(0.54 $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$),其次是春季(0.43 $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)与秋季(0.45 $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$),夏季(0.17 $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)最低。MK突变性检验结果表明,在0.01显著性检验水平之下,气温突变点出现于1988年,1988年之后增温趋势更为显著。

1960~2009年该流域降水整体呈小幅下降趋势,多年平均降水量为212.5 mm(图3)。四季中仅有夏季降水呈增加趋势(1.8 mm/10a),冬季(-0.23 mm/10a)、春季(-2.1 mm/10a)与秋季(-0.35 mm/10a)均呈下降趋势。夏季降水量最多,占年降水量的55%;其次是春季与秋季,分别占年降水量的27%和13%;冬季最少,仅占年降水量的5%。MK突变性检验结果表明,在0.01显著性检验水平之下,降水未发生突变。

3.3 径流变化

1964~2010年该流域径流年际变化总体呈上升趋势,上升倾向率为0.13 $\times 10^8 \text{ m}^3/10\text{a}$,年均径流

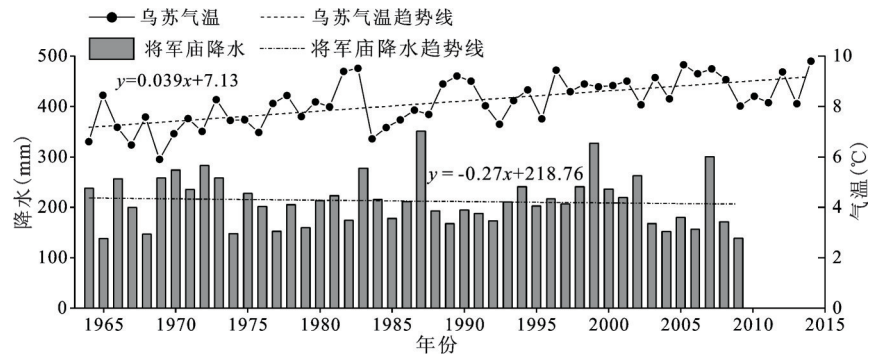


图3 奎屯河流域气温(1964~2015年)和降水(1964~2009年)变化

Fig.3 Variation of temperature(1964~2015) and precipitation(1964~2009) in the Kuytun River Basin

量为 $6.54 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。差积曲线向下时,表示径流减少,反之表示增加。差积曲线反映出该流域径流变化大体上经历了2个阶段:1964~1993年径流总体呈下降趋势,但存在明显的阶段性波动;1994~2010年径流表现出显著的上升趋势(图4)。

小波分析结果表明,1993年前该流域径流演变过程中存在3~15 a左右的周期性丰枯震荡,但1993年后周期性丰枯变化发生了改变,并于1995~2000年出现了研究时段内的最大丰水期(图5)。MK突变性检验结果表明,在0.01显著性

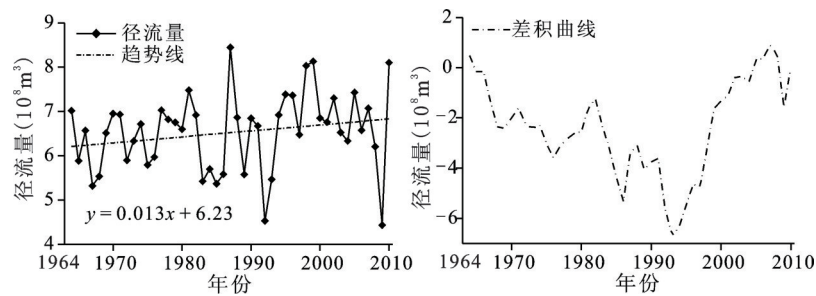


图4 奎屯河流域年径流及差积曲线变化

Fig.4 Variation of annual runoff and accumulated difference curve in the Kuytun River Basin

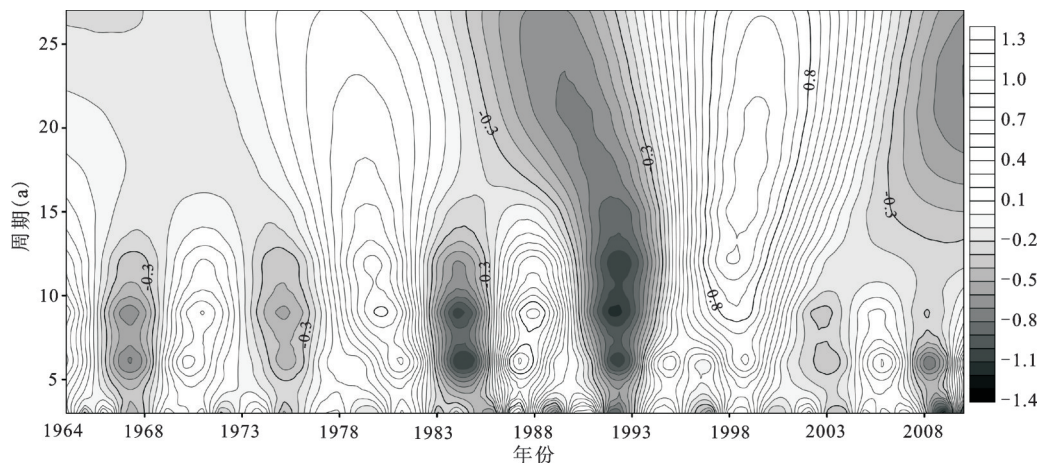


图5 奎屯河流域年径流小波系数

Fig.5 Wavelet coefficient of annual runoff in the Kuytun River Basin

检验水平之下,径流未发生突变。

4 冰川变化对水资源的影响

作为“固体水库”的冰川,首先自身能以固态的形式储存一定数量的水资源,其次冰川融水是河川径流的重要来源之一,且对径流的季节、年际或年代变化具有调节作用。因此冰川变化对水资源的影响主要体现在2个方面:一是冰川储量盈亏引起的净冰川资源变化;二是冰川进退引发的末端产流面积增减,进而对冰川径流变化产生影响^[17]。此处冰川径流是指水文年内在冰川积累区与消融期区内的冰川融水径流,不包括裸露山坡和当年降落在冰川上的夏季降水径流^[17,18]。

研究期内该流域冰川储量减少了约4.39 km³,折合水当量为39.5×10⁸m³,年均减少0.76×10⁸m³,约占多年平均径流量的12%。1964~2000年该流域冰川储量减少了约2.85 km³,折合水当量约25.7×10⁸m³,年均亏损约0.69×10⁸m³,约占多年平均径流量的11%。2000~2015年该流域冰川储量减少了约1.54 km³,折合水当量为13.9×10⁸m³,年均减少0.87×10⁸m³,约占多年平均径流量的13%。期间该流域冰川覆盖度减小了3.4%。

5 讨论

冰川消融取决于气温的高低,积累取决于降水的多寡,二者组合共同决定了冰川的发育与演化^[17]。冰川退缩是冰川对过去与当下气候变化的综合响应^[19],冰川年内积累与降水呈正相关,而消融期内正积温是影响冰川消融的关键因素^[20]。

1964~2009年该流域消融期(5月初至8月末)内气温呈上升趋势(0.2℃/10a),正积温显著增大,而年降水却呈现出小幅下降趋势。分析表明,消融期内正积温增大带来的物质支出(消融)高于源自年内降水的物质收入(积累)是造成该流域冰川加速消融与退缩的主要原因。受气候变暖影响,2000年后该流域冰川消融与退缩加快,径流也于1993年后呈现出显著的上升趋势,且周期性丰枯变化发生了改变。20世纪80年代后冰川融水径流增多,在径流中所占比重上升^[9],使得径流在降水小幅下降的情况下,仍表现出上升趋势,表明该流域冰川对径流具有调节与维稳作用。

冰川对径流的影响随着流域冰川覆盖度的升高而增大^[21],因此若冰川持续退缩,当物质平衡线

高度超出冰川海拔上界时,冰川末端的产流面积会随冰川面积的缩减而逐步减小,同时冰川融水也会随冰川储量的亏损而逐步减少,直至消失。因此,在未来预估的升温情景下,冰川径流将经历由多到少的过程。

6 结论

1) 1964~2015年奎屯河流域冰川面积减少了约65.4 km²,面积变化率为-32.6%;冰川总储量共减少了约4.39 km³,亏损比例达39.8%。期间该流域冰川面积与储量总体呈减小与亏损态势,且2000年后冰川消融与退缩加快。消融期内正积温增大带来的冰川物质支出(消融)高于源自年内降水的冰川物质收入(积累)是造成该流域冰川消融与退缩的主要原因。

2) 1964~2010年该流域径流年际变化总体呈上升趋势,1993年后径流增加趋势显著,且周期性丰枯变化发生了改变。期间该流域冰储量亏损造成的水资源亏损量约为39.5×10⁸m³,年均亏损量约占多年平均径流量的12%,且20世纪80年代后冰川融水在径流中所占比重上升。因此在气候变暖背景下,加强各流域冰川的监测与研究能够为下游地区水资源评估、调配及可持续利用提供较好的决策价值。

参考文献(References):

- [1] 胡汝骥,姜逢清,王亚俊.新疆雪冰水资源的环境评估[J].干旱区研究,2003,20(3):187-191. [Hu Ruji, Jiang Fengqing, Wang Yajun. Assessment on the glacial water resources in Xinjiang, China. Arid Zone Research, 2003, 20(3): 187-191.]
- [2] 李忠勤,李开明,王林.新疆冰川近期变化及其对水资源的影响研究[J].第四纪研究,2010,30(1):96-106. [Li Zhongqin, Li Kaiming, Wang Lin. Study on recent glacier changes and their impact on water resources in Xinjiang, North Western China. Quaternary Sciences, 2010, 30(1): 96-106.]
- [3] 沈永平,苏宏超,王国亚,等.新疆冰川积雪对气候变化的响(I):水文效应[J].冰川冻土,2013,35(3):513-527. [Shen Yongping, Su Hongchao, Wang Guoya et al. The responses of glaciers and snow cover to climate change in Xinjiang (I): hydrological effects. Journal of Glaciology and Geocryology, 2013, 35(3): 513-527.]
- [4] 李治国,姚檀栋,田立德.国内外冰川变化对水资源影响研究进展[J].自然资源学报,2008,23(1):1-8. [Li Zhiguo, Yao Tandong, Tian Lide. Progress in the research on impact of glacial change on water resources. Journal of Natural Resources, 2008, 23(1): 1-8.]

- [5] 段建平, 王丽丽, 任贾文, 等. 近百年来中国冰川变化及其对气候变化的敏感性研究进展[J]. 地理科学进展, 2009, 28(2): 231-237. [Duan Jianping, Wang Lili, Ren Jiawen et al. Progress in glacier variations in China and its sensitivity to climatic change during the past century. Progress in Geography, 2009, 28(2): 231-237.]
- [6] 陈亚宁, 徐长春, 杨余辉, 等. 新疆水文水资源变化及对区域气候变化的响应[J]. 地理学报, 2009, 64(11): 1331-1341. [Chen Yaning, Xu Changchun, Yang Yuhui et al. Hydrology and water resources variation and its responses to regional climate change in Xinjiang. Acta Geographica Sinica, 2009, 64(11): 1331-1341.]
- [7] 沈永平, 苏宏超, 王国亚, 等. 新疆冰川积雪对气候变化的响应(II): 灾害效应[J]. 冰川冻土, 2013, 35(6): 1355-1370. [Shen Yongping, Su Hongchao, Wang Guoya et al. The responses of glaciers and snow cover to climate change in Xinjiang (II): hazards effect. Journal of Glaciology and Geocryology, 2013, 35(6): 1355-1370.]
- [8] 邓铭江, 李湘权, 郑永良, 等. 奎屯河流域“金三角”地区工业及城镇化发展未来的水资源配置分析[J]. 干旱区地理, 2012, 35(4): 527-536. [Deng Mingjian, Li Xiangquan, Zheng Yongliang et al. Water resource future allocation for industry development and urbanization in Golden Triangle Zone, Kuitun River Basin. Arid Land Geography, 2012, 35(4): 527-536.]
- [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): 1186-1193. [Ayinuer·Ziyabeike, Gao Jing. Impact of climate change on the surface runoff in the Kuytun river basin on the north slope of Tianshan Mountains. Journal of Glaciology and Geocryology, 2010, 32(6): 1186-1193.]
- [10] Guo wanqin, Liu Shiyin, Yao Xiaojun et al. The Second Glacier Inventory Dataset of China (Version 1.0). Cold and Arid Regions Science Data Center at Lanzhou, 2014. Doi: 10.3972/glacier.001.2013.db
- [11] 张慧, 李忠勤, 王璞玉, 等. 天山奎屯哈希勒根 51 号冰川变化及其对气候的响应[J]. 干旱区研究, 2015, 32(1): 88-93. [Zhang Hui, Li Zhongqin Wang Puyu et al. Variation of Haxilegen No.51 glacier at the headwater of Kuytun River in TianShan Mountains and its response to climate change. Arid Zone Research, 2015, 32(1): 88-93.]
- [12] 母敏霞, 王文科, 杜东. 新疆天山北麓奎屯河流域径流变化特征研究[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(3): 50-54. [Mu Minxia, Wang Wenke, Du dong. Analysis on runoff supply and variation characteristics of Kuitun river basin on the north slope of Xinjiang Tianshan Mountains. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2007, 21(3): 50-54.]
- [13] 高文强, 马孝义, 张建兴, 等. 奎屯河出山口站径流变化趋势及其影响因子分析[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(12): 139-144. [Gao Wenqiang, Ma Xiaoyi, Zhang Jianxing et al. Characteristics and tendencies of annual runoff variations in Kuitun River and its influential factors. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2009, 23(12): 139-144.]
- [14] Hall D K, Bayr K J, Schöner W et al. Consideration of the errors inherent in mapping historical glacier positions in Austria from the ground and space (1893-2001)[J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 86(4): 566-577.
- [15] 怀保娟, 李忠勤, 孙美平, 等. 近 40a 来天山台兰河流域冰川资源变化分析[J]. 地理科学, 2014, 34(2): 229-236. [Huai Baojuan, Li Zhongqin, Sun Meiping et al. Glaciers change in the Tailan river watershed in the last 40 years. Scientia Geographica Sinica, 2014, 34(2): 229-236.]
- [16] 施雅风. 简明中国冰川目录[M]. 上海: 上海科学普及出版社, 2005. [Shi Yafeng. Concise Chinese Glacier Inventory. Shanghai: Shanghai Scientific Popularization Press, 2005.]
- [17] 刘时银, 丁永建, 张勇, 等. 塔里木河流域冰川变化及其对水资源影响[J]. 地理学报, 2006, 61(05): 482-490. [Liu Shiyin, Ding Yongjian, Zhang Yong et al. Impact of the glacial change on water resources in the Tarim River Basin. Acta Geographica Sinica, 2006, 61(05): 482-490.]
- [18] 杨针娘, 曾群柱. 冰川水文学[M]. 重庆: 重庆出版社, 2001. [Yang Zhenniang, Zeng Qunzhu. Glacier Hydrology. Chongqing: Chongqing Press, 2001.]
- [19] Marzeion B, Cogley J G, Richter K et al. Attribution of global glacier mass loss to anthropogenic and natural causes[J]. Science, 2014, 345(6199): 919-21.
- [20] 李忠勤. 天山乌鲁木齐河源 1 号冰川近期研究与应用[M]. 气象出版社, 2011. [Li Zhongqin. Progress and Application of Research on Glacier No.1 at Headwaters of Urumqi River, Tianshan, China. Beijing: China Meteorological Press, 2011.]
- [21] Kaser G, Juen I, Georges C et al. The impact of glaciers on the runoff and the reconstruction of mass balance history from hydrological data in the tropical Cordillera Blanca, Perú [J]. Journal of Hydrology, 2003, 282(1-4): 130-144.

Impact of the Glacier Change on Water Resources in the Kuytun River Basin, Tianshan Mountains During Recent 50 Years

Zhang Hui^{1,2}, Li Zhongqin¹, Mu Jianxin³, He Haidi³

(1. State Key Laboratory of Cryospheric Science/TianShan Glaciological Station, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730070, Gansu, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. College of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, Gansu, China)

Abstract: Based on topographic maps, remote sensing images, meteorological and hydrological data, glacier change and its impact on water resources are investigated in the Kuytun River Basin under the background of climatic change. Results show that glacier area decreased by 65.4 km² with a retreating rate of -32.6%, 31 glaciers disappeared, and mean glacier area reduced by 0.19 km² from 1964 to 2015. Loss of glacier volume is approximately 4.39 km³ with an annual loss rate of 0.084 km³ in 52 years. APAC(Annual percentage of area change)increases since 2000,which indicates that accelerated glacier shrinkage is observed.

Annual mean temperature in the basin exhibits a marked rising trend over the study period with a tendency rate of 0.39°C/10a. Results of MK(Mann-Kendall) mutation test indicate that mutation point of annual mean temperature occurs in 1988, and annual mean temperature increased rapidly since 1988. There is no mutation year for annual precipitation, which exhibits a slightly decreased tendency from 1964 to 2009. Present-day glacier shrinkage is a mix response to past and current climate fluctuation, and glacier ablation is highly correlated to the positive accumulated temperature over the ablation period, while accumulation is originated from the annual precipitation. The analysis shows that expenditure of glacier mass (ablation) caused by the positive accumulated temperature increase during the ablation period larger than mass income (accumulation) originated from annual precipitation is the main reason for glacier retreat.

There is a rising trend for annual runoff with a tendency rate of $0.13 \times 10^8 \text{ m}^3/10\text{a}$ from 1964 to 2010, and mean annual runoff is approximately $6.54 \times 10^8 \text{ m}^3$. Annual runoff is on the decline from 1964 to 1993, but displays an upward tendency since 1993. Results of wavelet analysis show that there exists the periodic fluctuation of 3-15 years approximately for annual runoff, which also change since 1993, and maximum wet season appears in the period of 1995-2000. Results of MK mutation test show that no mutation year is found for annual runoff in 47 years.

Net loss of water resources caused by glacier ablation is approximately $39.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ with an annual loss rate of $0.76 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$, which accounts for 12% of mean annual runoff over the study period. Affected by climatic warming, glacial meltwater increased since 1980s and its proportion in annual runoff rose. Besides, glacier coverage of the basin decreased by 3.4% in 52 years. With the ice loss gradually, the contribution of glacial meltwater to runoff would decrease step by step in the future forecasting warming scenario. Despite the importance of glacier for the local hydrological cycle, there is urgent necessity to reinforce the monitoring and study of glacier status, which could provide the better decision-making value for assessment, allocation and sustainable utilization of local water resources.

Key words: the Kuytun River Basin; glacier retreat; climatic change; runoff variation; glacial melt water