

贡嘎山近 40 年冰川对气候变化的响应

李霞, 杨太保, 田洪阵, 冀琴

(兰州大学 资源环境学院 冰川与生态地理研究所, 兰州 730000)

摘 要:以 Landsat 影像为依据,通过遥感图像计算机辅助分类和目视解译等方法提取了贡嘎山区 1974 年、1990 年、2000 年、2010 年冰川边界,并分析贡嘎山区近 40 a 来的冰川变化。结果表明:1974—2010 年贡嘎山区冰川面积减小了 30.20 km²,占 1974 年冰川面积的 11.86%;冰川分布的平均海拔升高了 44 m。结合气象资料分析认为,升温是研究区近年来冰川加速退缩的主要原因,预计贡嘎山区冰川的退缩速率会进一步加快。

关键词:冰川变化;气候响应;季风海洋性冰川;贡嘎山

中图分类号:P343.6

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2013)06-0125-05

Response of Glacier in Gongga Mountain to Climate Change during the Last 40 Years

LI Xia, YANG Tai-bao, TIAN Hong-zhen, JI Qin

(*Institution of Glaciology and Ecogeography,*

College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The maritime type glaciers in Gongga Mountain are very sensitive to climate change. Landsat TM, MSS and ETM+ data were used to extract the glacier outlines in 1974, 1990, 2000, and 2010. And it was concluded that the glacial area decreased 30.20 km² (11.86%) and the glacial altitude increased 44 m in the mountain from 1974 to 2010. The main reason for glacial retreat was temperature rise. It is estimated that the glacier retreat rate will accelerate.

Key words: glacier change; climate response; maritime glaciers; Gongga Mountain

冰川是冰冻圈的重要组成部分之一,是水循环过程的关键环节,是气候变化的放大器和指示器。近年来随着全球气候变暖,大多数山地冰川处于退缩状态。季风海洋性冰川由于其积累量大、消融量大、冰温高、底部滑动明显、运动较快等特点,对气候变化反应敏感,退缩更为剧烈,已有研究推测中国季风海洋性冰川面积到 2100 年将减少 75%^[1-3]。冰川的退缩对径流过程、水资源利用、生态环境演化、海平面上升等产生了显著影响^[4-5]。研究海洋性冰川变化与气候变化的响应关系,可为我国海洋型冰川区水资源管理、山区灾害防治、资源开发等提供参考^[6-8]。

中国的季风海洋性冰川主要分布在青藏高原东南部。横断山脉是仅次于西藏东南部的我国第二大季风海洋性冰川分布地区,是我国现代冰川分布的最南和最东部^[1]。贡嘎山是横断山区地势最高、冰川面积最大的地区。文献调研显示,对贡嘎山地区现代冰

川的研究,主要是通过实地考察、研究海螺沟等规模较大的冰川变化情况^[9-11],基于遥感影像建立长时间序列冰川面积的研究很少。现今随着遥感技术的发展,陆地卫星遥感影像和数字高程模型已被证实可以有效地提取冰川范围并监测冰川面积变化和高程变化^[12]。本文利用 Landsat 影像与 30 m 分辨率的 ASTER GDEM,参考冰川编目,分析 1974—2010 年间该区冰川变化的趋势与气候变化的响应关系。

1 研究数据与处理

1.1 研究区概况

贡嘎山(29°20′—30°20′N, 101°30′—102°15′E)位于大雪山的中南段(图 1),主峰海拔 7 514 m,是青藏高原东部最高大的山体,山势陡峭,谷底幽深,有利于冰雪存储,是横断山现代冰川发育最好的地区。南、北坡分别有田湾河和折多河、东坡为磨西河,其中

收稿日期:2013-04-10

修回日期:2013-05-02

资助项目:国家自然科学基金项目(41271024)

作者简介:李霞(1990—),女,甘肃天水人,硕士,研究方向:GIS 应用与气候变化。E-mail: xiazhidazhelixia@163.com

通信作者:杨太保(1962—),男,山西运城人,教授,博士生导师,研究方向:综合自然地理学、冰冻圈地理学、第四纪地质学。E-mail: yangtb@lzu.edu.cn

田湾河与磨西河均流入大渡河。2010 年环绕主峰发育有现代冰川 76 条,冰川面积 224.45 km²,平均海拔高度为 5 309 m,80% 的冰川分布在海拔 4 621~5 985 m 之间的区域。单条最大冰川海螺沟冰川的面积为 24.82 km²,冰舌伸至海拔 2 969 m 的林带内。

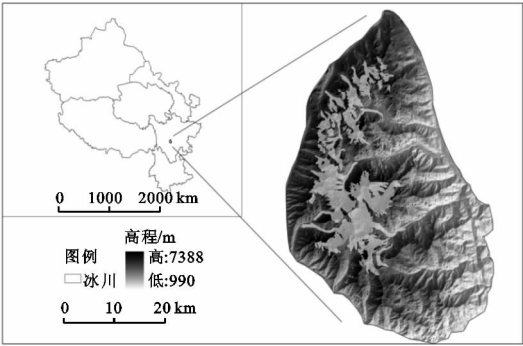


图 1 研究区地理位置及 2010 年冰川分布

1.2 研究数据

- (1) 1966 年中国冰川编目数据。
- (2) 尽量选取云覆盖量少、暖季的 Landsat MSS/TM/ETM+ 影像,来自美国地质调查局影像数据库中心 (<http://glovis.usgs.gov>)、国际科学数据服务平台 (<http://datamirror.csdb.cn>) (表 1)。

表 1 遥感影像数据列表

影像获取日期	传感器	条带号	云量/%	其它影像说明
1974/01/04	MSS	141/39	0	无
1975/10/04	MSS	140/39	10	无
1989/01/02	TM	131/39	0	无
1990/07/08	TM	131/39	28	贡嘎山无云
2001/08/15	ETM+	131/39	7	无
2002/01/06	ETM+	131/39	1	同张国梁 ^[13] 所用影像
2010/08/08	ETM+	131/39	33	贡嘎山无云,去条带
2009/02/18	TM	131/39	9	贡嘎山无云

- (3) 30 m 分辨率的数字高程模型 ASTER GDEM,来自国际科学数据服务平台 (<http://datamirror.csdb.cn>)。

- (4) 研究区气象数据由中国气象科学数据共享服务网提供 (<http://cdc.cma.gov.cn>)。气象台站的选择是以贡嘎山边界向外 150 km 缓冲区内的 8 个气象台站。除去年代序列较短和海拔不足 2 000 m 的台站后,保留未搬迁过的 4 个基本站:道孚(30°59'N,101°07'E,海拔 2 957.2 m)、康定(30°03'N,101°58'E,海拔 2 615.7 m)、峨眉山(29°31'N,103°20'E,海拔 3 047.4 m)、九龙(29°00'N,101°30'E,海拔 2 987.3 m)。4 个气象台站散布在贡嘎山四周,可以较全面地反映贡嘎山气象状况。

1.3 冰川提取

研究区气候和地形复杂,难以获取质量较好的遥

感影像。冰川区上部的云、雪、阴影、冰碛物等是影响人工解译精度的重要因素。为了提高解译精度,进行以下处理:

- (1) 对影像数据进行几何纠正,并选取多幅质量较好的,不同时相的影像对比提取冰川边界。
- (2) 比值阈值法提取冰川边界。采用红色波段与中红外波段的比值分类(TM3/TM5),以避免阴影区产生的误差。
- (3) 参考 Google 地图的高分辨率影像,在比值分类的基础上,结合光谱特征与冰面形态目视解译修正冰川边界。

所选影像中,2002 年的影像数据与张国梁等的研究^[13]一致,张国梁等经过野外实地考察与 GPS 实地测量验证了冰川边界的精确性。本文基于同一幅影像的提取精度与张国梁等的误差在 1% 以内,说明本文提取的冰川边界精度较高。

2 结果与分析

2.1 冰川变化

2.1.1 冰川面积变化情况 对 1974—2010 年研究区冰川面积进行分析(表 2),可以看出,贡嘎山地区冰川总面积在不断减小,近 40 a 共减小了 30.20 km²,占 1974 年冰川面积的 11.86%,但研究区 3 个时段退缩速率有所不同,2000—2010 年退缩幅度最大,1989—2001 年退缩幅度最小。

表 2 1974—2010 年贡嘎山区冰川面积变化

年份	面积/km ²	年变化率/ (km ² ·a ⁻¹)	绝对变化/km ²
1974	254.65	—	—
1989	238.46	-1.08	-16.19
2001	234.42	-0.34	-4.03
2010	224.45	-1.11	-9.98

注:表中年变化率与绝对变化是上一个时段冰川面积与当前时段冰川面积之差,故 1974 年无年变化率与绝对变化率。

2.1.2 不同坡向的冰川变化 贡嘎山区冰川主要分布在东、西坡,且东、西坡冰川在条数、规模和退缩速率上均有明显差异(图 2):冰川条数分别为 25 条和 40 条;冰川的平均面积分别为 4.04 km² 和 2.45 km²;1974—2010 年退缩面积分别为 11.36 km² 和 14.79 km²;退缩速率分别为 11.2% 和 15.1%。东、西坡冰川退缩速率不同,除了冰川自身规模差异外,主要是受降水量的影响:东坡处于东南季风的迎风坡,潮湿多雨;西坡主要受西南季风和高空西风的影响,携带水汽较少^[14]。

2.1.3 冰川的高程变化 利用 30 m 分辨率的 AS-

TER GDEM 数据,基于 ArcGIS 9.3 空间分析,生成贡嘎山区冰川高程与坡度数据。基于 ArcGIS 统计工具得到:贡嘎山区的冰川分布海拔为 2 969~7 148 m。1974—2010 年冰川区平均海拔高度由 5 265 m 变为 5 309 m,40 a 升高了 44 m;80% 的冰川消融发生在海拔 5 410 m 以下的区域。贡嘎山区的冰川分布在坡度 0°~60°之间,其中 80% 的冰川分布在坡度 14.9°~40.7°的范围内。

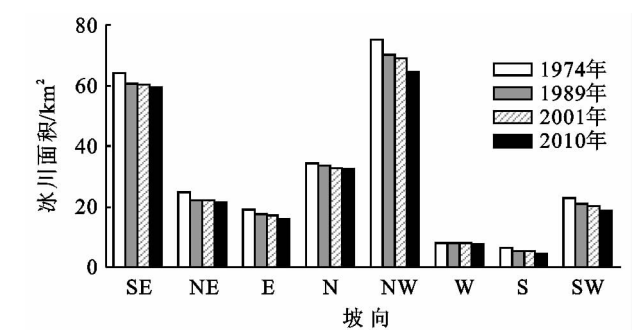


图 2 1974—2010 年贡嘎山区不同坡向冰川面积变化情况

2.1.4 不同规模的冰川面积变化 对冰川规模进行统计分析得到:贡嘎山区 2010 年冰川面积小于 1 km² 的冰川数量为总数的 51.3%,但面积仅占冰川总面积的 7.5%;大于 10 km² 的冰川所占面积最大,占冰川总面积的 46.8%。

1974—2010 年贡嘎山冰川条数由 74 条变为 76 条。在这期间冰川条数变化较大的有:小于 0.5 km² 的冰川条数由 12 条增加为 24 条;0.5 km²~1 km² 的冰川条数由 21 条减小为 15 条,但这两个规模的冰川平均面积都没有发生变化。冰川面积变化较大的有:大于 10 km² 的冰川条数由 6 条变为 5 条,冰川面积由 132 km² 减少到 105 km²;但冰川平均面积由 18.85 km² 变为 21.02 km² (图 3)。研究发现冰川条数增多与冰川平均面积增大均由于冰川的退缩,大规模的冰川解体形成多条小规模冰川导致的。

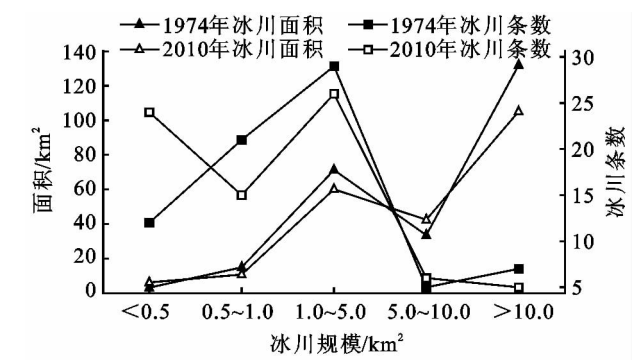


图 3 1974—2010 年贡嘎山区不同规模等级的冰川面积变化与条数变化

由于冰川的正反馈作用与冰川间的正反馈作用,冰川达到稳定所需的时间随冰川规模的增大而变

长^[15]。因此,研究区内大量的小冰川使得该冰川对气候变化的响应敏感。

2.2 贡嘎山气候变化分析

冰川变化对气候变化的响应具有滞后性。本区冰川纬度较低、面积较小,属于季风海洋性冰川,滞后时间一般不超过 10 a^[10]。选取道孚、康定、峨眉山、九龙 4 个气象台站 1958—2009 年的气温和降水数据,以提取冰川的影像年份为界划分 4 个气象数据区间(1958—1973 年、1973—1989 年、1989—2000 年、2000—2009 年),分别分析各区间温度与降水的变化(图 4)。

(1) 温度的年际变化。近 50 a,研究区温度呈增加趋势。道孚、康定、峨眉山、九龙 4 个台站气温升高速率分别为 0.127℃/10 a,0.118℃/10 a,0.175℃/10 a 和 0.164℃/10 a。分阶段来看:1958—1973 年属于缓慢升温期;1973—1989 年升温趋势不明显,部分台站出现 50 a 来气温的最低值;1989—2000 年与 2000—2009 年有较快的升温趋势。

(2) 降水量的年际变化。近 50 a,研究区降水量整体上有缓慢增加趋势。道孚、康定、峨眉山、九龙 4 个台站降水量的变化速率分别为 6.478 mm/10 a,17.285 mm/10 a,−100.768 mm/10 a 和 12.157 mm/10 a。分阶段来看:1958—1973 年属于缓慢减少期;1973—1989 年处于缓慢增加期;1989—2000 年康定站有缓慢增加的趋势,峨眉山站有减少趋势,其余站点变化趋势不明显;2000—2009 年也有较快的减少趋势。

3 冰川变化的原因分析

影响冰川变化的主要因素有太阳辐射、地形、气温、降水、冰川规模、云量、风、冰碛物等。气候因素对冰川的退缩起最主要的作用。其中,气温和降水是冰川发育的两个重要控制性因素:温度决定消融,降水决定积累^[16]。

研究发现冰川面积变化与前一阶段的气温和降水组合有很好的响应关系:1958—1973 年缓慢升温与降水量减少,对应于 1973—1989 年冰川退缩率为 1.08 km²/a,是 3 个阶段中退缩较快的;1973—1989 年升温趋势不明显(出现温度较低值)与降水量增加,对应于 1989—2000 年冰川退缩速率为 0.34 km²/a,是 3 个阶段中退缩最慢的;1989—2000 年较快升温趋势与降水量变化趋势不明显,对应于 2000—2010 年冰川退缩速率为 1.11 km²/a,是 3 个阶段中退缩最快的。

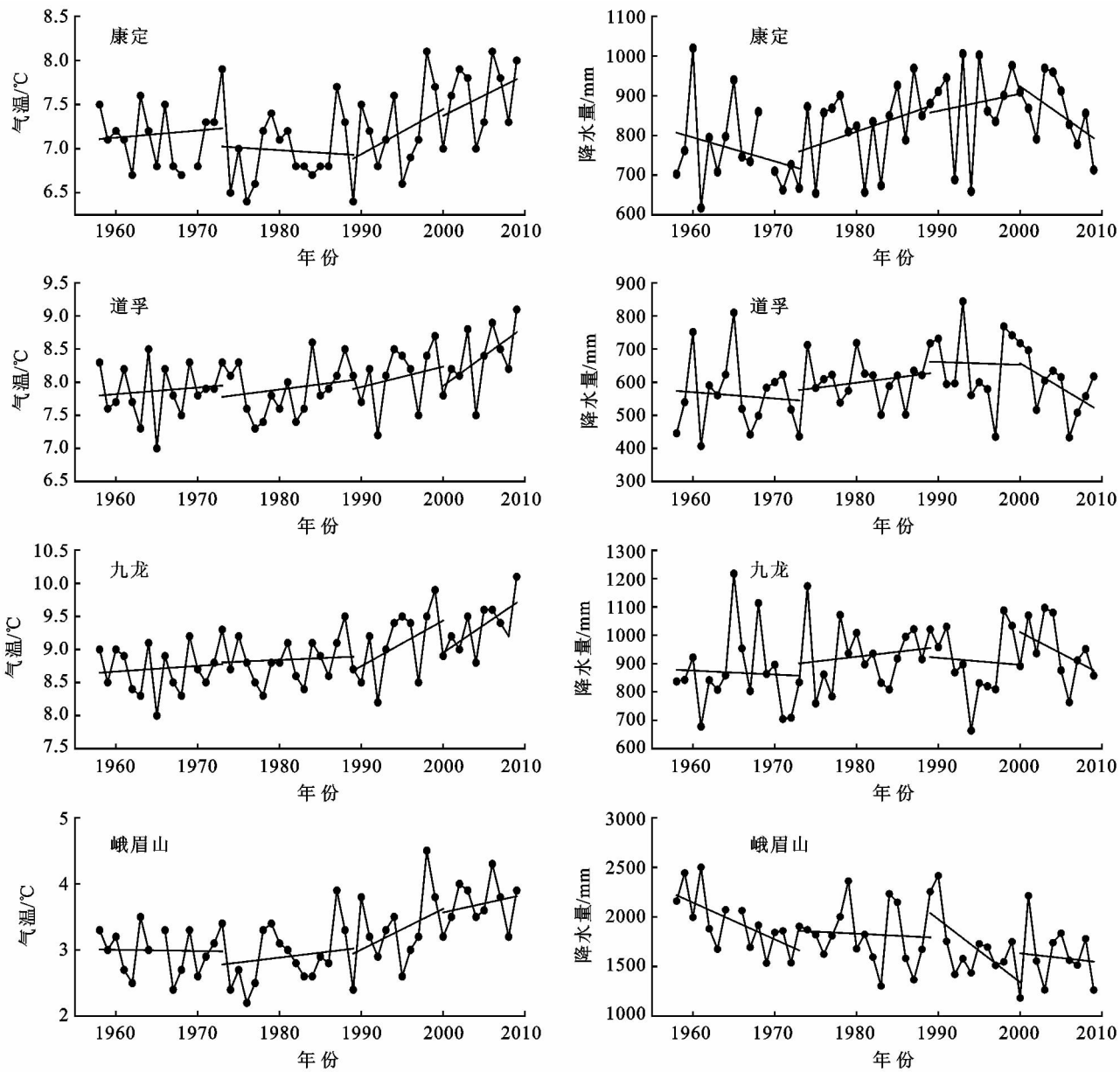


图 4 贡嘎山区 1958—2009 年气温与降水年际变化

气候因素影响冰川退缩的分析表明:不同类型冰川对气候变化敏感性差异很大。对于本地区的海洋性冰川而言,降水相对丰富,冰川对气温变化反应更敏感^[17];其次,贡嘎山地区冰川属于夏季补给类型冰川,降水主要集中在暖季,5—10 月的降水占全年降水的 75%~90%,是冰川的主要积累期也是主要消融期^[14],而升温意味着消融增加、降水中的雨/雪比例增大,冰川处于负物质平衡状态的可能性也会增大;最后,从上述气温和降水与冰川变化的组合上可以看出,升温一直是影响研究区冰川退缩加剧的根本原因,短时段内(1973—1989 年)降水量的增加不足以抵消温度升高带来的影响。

冰川在持续高温情景下对气候的响应比低温情景更敏感。持续高温有利于冰川热量积聚及冰温纵向递变,进而影响冰川运动及消融。反之,低温情景

下,冰—气热量交换缓慢,积聚引起冰川变化所需热量的过程时间延长,冰川形态特征对于气候变化的响应时间随之增长^[18]。这也是横断山地区冰川在中国已有冰川面积监测中,退缩速率快的原因^[19]。研究区规模大的冰川退缩率较小,可能是由于本区大规模冰川处于退缩初期,表面消融较大、厚度减薄,而面积变化不大而导致的。随着冰川自适应机制反馈力不足以消减外界变化导致的退缩,这些表面形态变化就进一步摧毁冰川的整体性,加大外力影响的强度和深度,最终会加速冰川退缩^[20]。并且,本区冰川末端多有冰碛物覆盖,已有手段监测不出来冰川前端的那些已经没有冰川补给的覆盖有冰碛物的死冰,因而在气候条件保持稳定的情况下冰川面积很可能发生加速退缩。加之 2000—2009 年的较快升温速率和降水量

的较快减少速率,可以推测冰川消融速率会进一步加快,且超过以往任何时期。

4 结论

参考冰川编目数据、DEM、Google 地图,基于多期遥感数据和气象资料,利用遥感和地理信息系统技术,对贡嘎山区冰川变化进行了研究,得出如下结论:

贡嘎山区冰川面积在不断减小,总体面积减小了 30.96 km^2 。3 个研究时段退缩速率有所不同,1989—2001 年左右退缩速率最慢,2000—2010 年退缩速率最快,自 2000 年以来进入加速退缩期。

冰川主要分布在东、西坡。东坡冰川规模较西坡有优势,而西坡冰川数量较东坡有优势,主要由于降雨量的影响导致东坡退缩速率慢于西坡。

冰川区平均海拔高度在 1974—2010 年升高了 44 m,80% 的冰川消融发生在海拔 5 410 m 以下的区域。

面积小于 1 km^2 的冰川数量最多,占总条数的 51.3%,规模大于 10 km^2 的冰川所占面积最大,为总面积的 46.8%。小规模冰川变化速率快。

升温是影响研究区冰川退缩加剧的根本原因,推测下一阶段冰川的消融速率会快于以往任何时期。

5 存在的主要问题及展望

遥感和地理信息系统技术在冰川变化研究中发挥了很大的优势,但也存在一定的局限性。由于研究区气候和地形复杂,难以获取到质量较好的遥感影像。影像分辨率也会使较小冰川的进退状态难以确定;其次,解译者的经验也会影像提取精度。但随着遥感和地理信息系统技术的不断发展与完善,其他代用资料会更多地应用于冰川变化研究之中^[21]。

冰川的退缩与前进是气候变化的强力佐证。鉴于季风海洋性冰川对全球气候的影响及其对气候变化的敏感性,研究冰川变化与气候变化之间的关系,可以对冰川的可能变化做出预测。地面长期观测和遥感持续监测冰川变化研究意义重大,但研究区气候数据缺乏,如果可以更精确地比较分析各坡向气候变化,将有助于更全面地把握研究区气候变化的趋势与特征。

参考文献:

- [1] 李吉均,苏珍. 横断山冰川[M]. 北京:科学出版社,1996: 1-20.
- [2] 何元庆,章典. 气候变暖是玉龙雪山冰川退缩的主要原因[J]. 冰川冻土,2004,26(2):230-231.
- [3] 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.
- [4] 谢自楚,冯清华,王欣,等. 中国冰川系统变化趋势预测

研究[J]. 水土保持研究,2005,12(5):77-82.

- [5] 施雅风. 2050 年前气候变暖冰川萎缩对水资源影响情景预估[J]. 冰川冻土,2001,23(4):333-341.
- [6] 李宗省,何元庆,温煜华,等. 我国典型海洋型冰川区高海拔区输出水量变化对气候变暖的响应[J]. 地球科学:中国地质大学学报,2010,35(1):43-50.
- [7] 郭国和,程尊兰,吴国雄,等. 川藏公路南线典型冰湖及其溃决危险性评价[J]. 水土保持研究,2009,16(2):50-55.
- [8] 胡桂胜,陈宁生,邓虎. 基于 GIS 的西藏林芝地区泥石流易发与危险区分析[J]. 水土保持研究,2012,19(3):195-199.
- [9] Liu Q, Liu S, Zhang Y, et al. Recent shrinkage and hydrological response of Hailuoguo glacier, a monsoon temperate glacier, a monsoon temperate glacier on the east slope of Mount Gongga, China[J]. Journal of Glaciology,2010,56(196):215-224.
- [10] Li Z, He Y, Pu T, et al. Changes of climate, glaciers and run off in China's monsoonal temperature glacial region during the last several decades[J]. Quaternary International,2010,218(1/2):13-28.
- [11] Zhang Y, Fujita K, Liu S, et al. Multidecadal ice-velocity and elevation changes of a monsoonal maritime glacier: Hailuoguo glacier, China[J]. Journal of Glaciology,2010,56(195):65-74.
- [12] 鲁安新,姚檀栋,刘时银,等. 青藏高原各拉丹冬地区冰川变化的遥感监测[J]. 冰川冻土,2002,24(5):559-562.
- [13] 张国梁,潘保田,王杰,等. 基于遥感和 GPS 的贡嘎山地区 1966—2008 年现代冰川变化研究[J]. 冰川冻土,2010,32(3):454-460.
- [14] 李宗盛,何元庆,王世金,等. 1900—2007 年横断山区部分海洋型冰川变化[J]. 地理学报,2009,64(11):1319-1330.
- [15] Porter S C. Pattern and forcing of Northern Hemisphere glacier variations during the last millennium[J]. Quaternary Research,1986,26(1):27-48.
- [16] 田洪阵,杨太保,刘沁萍. 近 40 年来冷龙岭地区冰川退缩和气候变化的关系[J]. 水土保持研究,2012,19(5):34-38.
- [17] Zhang Y, 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):1-11.
- [18] 杜文涛,秦翔,刘宇硕,等. 1985—2005 年祁连山老虎沟 12 号冰川变化研究特征[J]. 冰川冻土,2008,30(3):373-379.
- [19] 李治国. 山地冰川变化监测研究综述[J]. 国土与自然资源研究,2012(2):94-96.
- [20] 施雅风. 2050 年前气候变暖冰川萎缩对水资源影响情景预估[J]. 冰川冻土,2001,23(4):333-341.
- [21] 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.