

近30年阿尼玛卿山冰川与气候变化关系研究

王凯, 杨太保, 何毅, 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:以阿尼玛卿山的冰川为研究对象,选取1992年、2001年、2010年3个时段的TM、ETM+影像,利用RS、GIS技术提取了阿尼玛卿山冰川边界,并结合距研究区较近的3个气象站点1960—2010年年降水量、年平均气温数据,对近20 a阿尼玛卿山地区冰川与气候变化关系进行了研究。结果表明:近20 a来,阿尼玛卿山冰川既有退缩也有前进,但整体呈退缩趋势。1992—2010年冰川面积从109.21 km²减少到99.34 km²,退缩了9.04%;1992—2001年年均退缩速率为0.71 km²/a,而2001—2010年年均退缩速率为0.38 km²/a,表明近10 a退缩速率减慢。气象数据表明,气温大幅度上升,降水量小幅度增加。温度升高是阿尼玛卿山冰川退缩的主要原因。

关键词:阿尼玛卿山; RS; GIS; 冰川面积变化; 气候变化

中图分类号:P467; P343.6

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)03-0300-04

Research for Glaciers and Climate Change of Anyê Maqên Mountain Nearly 30 Years

WANG Kai, YANG Taibao, HE Yi, JI Qin

(Institute of Glaciology and Ecogeography, College of Earth and Environmental Science, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: In order to analyze the variations of glacier in Anyê Maqên Mountain, RS and GIS technology were used to extract the boundary. Landsat TM and ETM+ images of the years of 1992, 2001, 2010 were chosen and used. Combining mean annual precipitation and temperature data over the period from 1960 to 2010 from three meteorological stations near the study area, the research about the relationship between the variation of glacier and climate change over the past 20 years was conducted. The results suggest that Anyê Maqên Mountain glacier cover was at the dynamic change status. However, the glacier cover showed a overall trend of retreat over the past 20 years. Glacier cover reduced from 109.21 km² to 99.34 km² during the period from 1992 to 2010 by 9.04% at a rate of 0.71 km² per year. During 2001—2010 glacier cover had a retreat rate of 0.38 km² per year, which indicated that the glacier retreat rate decreased. Meteorological data shows that there is an obvious increase of temperature, but the precipitation slightly increase, revealing that temperature increase is the vital cause of glacier retreat in Anyê Maqên Mountain.

Keywords: Anyê Maqên Mountains; RS; GIS; glacier change; climate change

冰川是气候的产物,其产生、发育和变化主要受到气候条件的制约,而山岳冰川较之大陆冰川对气候变化具有更大的敏感性。在深居内陆腹地的干旱地区,每年释放大量的冰川融水、雪融水补给河流,从而形成了人类不可或缺的平原绿洲^[1-2]。所以,冰川补给为主的河川径流的年际变化,短时间内的径流量的增减,取决于气候特征值的变化幅度以及持续时间,但长时间主要是受冰川融水调节。运用遥感技术监测冰川的年际变化,可以发现冰川变化特征和本身的波动规律,从而从根本上认识冰川波动与气候变化的相互关系^[3-11]。

阿尼玛卿山位于青藏高原东部边缘,是黄河源区重要冰川作用区。阿尼玛卿山的冰川消融对于黄河源水系的径流量等有着不可忽略的作用,为了加强西部地区水资源管理和防治自然灾害,应加强该地区冰川监测与研究^[12-14]。

1 研究区概况

阿尼玛卿山(34°20′—35°N, 99°10′—100°E)又称玛积雪山或玛卿岗日,位于青海省果洛州玛沁县西北部,是中国对外开放的十大山峰之一。山脉呈西北—东南走向,山势巍峨磅礴,山体由砂岩、石灰岩及花岗岩

岩构成,由 13 座山峰组成。平均海拔 5 900 m 以上,最高的一座叫“玛沁保木拉”山峰呈锯齿重叠形,由于地势高峻,因而气候多变,冰峰雄峙,具有黄河流域最长最大的冰川。该区气候明显受到东亚季风的影响。夏季降水占全年降水量的 56%~62%,山体西侧的降水少于东部。估计该区雪线附近年平均气温为-9.4℃,夏季平均温度为 2.2℃^[15]。

2 数据与方法

2.1 数据收集

本文所需的数据主要包括:(1) 遥感数据。主要来自于 Landsat 系列的影像数据,来源于美国地质调查局网站(<http://glovis.usgs.gov/>)和美国马里兰大学网站(<http://glcf.umd.edu/data/landsat/>),影像时间的选取基本保持 10 a 的间隔,同时,为了减少积雪和云量的干扰,基本选取夏季获取的少云或者无云的影像,因此本文选取了 1992 年、2001 年、2010 年的 3 期影像;(2) 气象数据。本文所用的气象数据均来源于中国气象科学数据共享网站。由于研究区内无气象站点,选取研究区周围 120 km 范围内的达日、玛多、兴海 3 个气象站点的年均气温和年均降水数据。

2.2 数据处理与精度评价

利用影像提取冰川边界,前人已经试验了多种方法,本文运用比值阈值法结合目视解译的方法。Landsat TM 和 Landsat ETM+影像包含 7 个波段,可以利用比值阈值法。相对于人工解译,比值阈值法是一种稳定和省时的方法,能够区分积雪和阴影中的冰^[16]。并且 TM3/TM5 在处理阴影和阴影处的残骸覆盖物比 TM4/TM5 更具有优越性^[17]。具体流程:(1) 计算机自动分类。先使用 ENVI 软件把同一景数据不同波段的数据合成一个文件,然后用合成的影像计算 TM3/TM5。得出比值影像后,再利用决策树进行分类。通过多次试验,阈值设为 2.3 提取冰川的边界最好,得到初步结果;(2) 在计算机自动分类的基础上,将冰川数据转换成 shape 格式,再在 ArcGIS 中将其转换成 Albers 等积投影;(3) 结合中国冰川目录Ⅶ——青藏高原内陆水系^[18]的冰川编目数据以及 Google Earth,绘出阿尼玛卿山的山脊线,利用拓扑裁剪工具对冰川区多边形进行裁切。最后,利用量算工具进行多边形面积的计算。

据有关评估显示^[19],人工解译是目前提取冰川信息最为精确的方法。运用更高分辨率影像人工提取冰川面积验证 Landsat 影像的精度是应用较广泛的方法^[20]。通过对 Spot 影像人工提取的冰川面积和 TM 影像得到的面积对比,误差小于 1%。本文中运用此

种方法,下载 2010 年 8 月 Google Earth 14 级影像(分辨率为 9.5 m)进行验证,发现误差为±1.8%。

2.3 气象数据的处理

以达日、玛多、兴海 3 个气象站点 1960—2010 年的温度、降水数据为研究对象,并对其进行线性拟合,得到气候变化特征。

3 结果与分析

3.1 面积变化

1992—2010 年研究区冰川面积变化如表 1 所示,阿尼玛卿山冰川既有退缩也有前进,但总体呈退缩趋势,1992—2010 年冰川面积从 109.21 km² 减少到 99.34 km²,退缩了 9.04%;1992—2001 年退缩速率为 0.71 km²/a,而 2001—2010 年退缩速率为 0.38 km²/a;表明近 10 a 退缩速率减慢。

表 1 不同年份冰川变化

年份	面积/km ²	面积变化/km ²	面积退缩比例/%
1992	109.21		
2001	102.80	-6.41	5.87
2010	99.34	-3.46	3.37

3.2 不同坡向的冰川面积变化

以阿尼玛卿山山脊线为准,阿尼玛卿山冰川主要分布在东坡和西坡。东坡和西坡在 1992—2010 年冰川面积分别退缩到了 5.61、4.26 km²,退缩比例分别为 10.11%、7.93%(表 2)。阿尼玛卿山冰川虽然分布具有整体性,但是东坡的退缩比例大于西坡,这可能与地形因素和不同坡向控制的温度条件有关。

表 2 1992—2010 年阿尼玛卿山东西坡冰川变化

时间	东坡		西坡	
	冰川 面积/km ²	退缩 比例/%	冰川 面积/km ²	退缩 比例/%
1992	55.48		53.73	
1992—2001	51.73	6.76	51.07	4.95
2001—2010	49.87	3.60	49.47	3.13
1992—2010		10.11		7.93

3.3 气候变化特征

根据气象资料,对研究区周边的 3 个气象站点近 50 a 来的气温变化和降水变化特征进行分析。

3.3.1 年平均气温变化特征 从线性趋势线可以看出(图 1),1960—2010 年达日、玛多、兴海 3 个气象站的年平均气温均呈持续上升趋势,且拟合系数 R 较高;分析结果表明,近 50 a 达日、玛多、兴海平均气温分别上升了 1.4、1.4、1.7℃。对 3 个站年平均气温进行均值计算,得出 1960—2010 年的变化趋势,以便与研究区冰川变化进行对比研究。

3.3.2 降水量特征分析 1960—2010 年,达日、玛

多、兴海 3 个气象站的降水量相对较高,但波动变化大,总体呈微弱增加趋势。近 50 a 来,达日、玛多、兴

海的年平均降水量分别为 550.85,316.75,362.06 mm(图 2)。

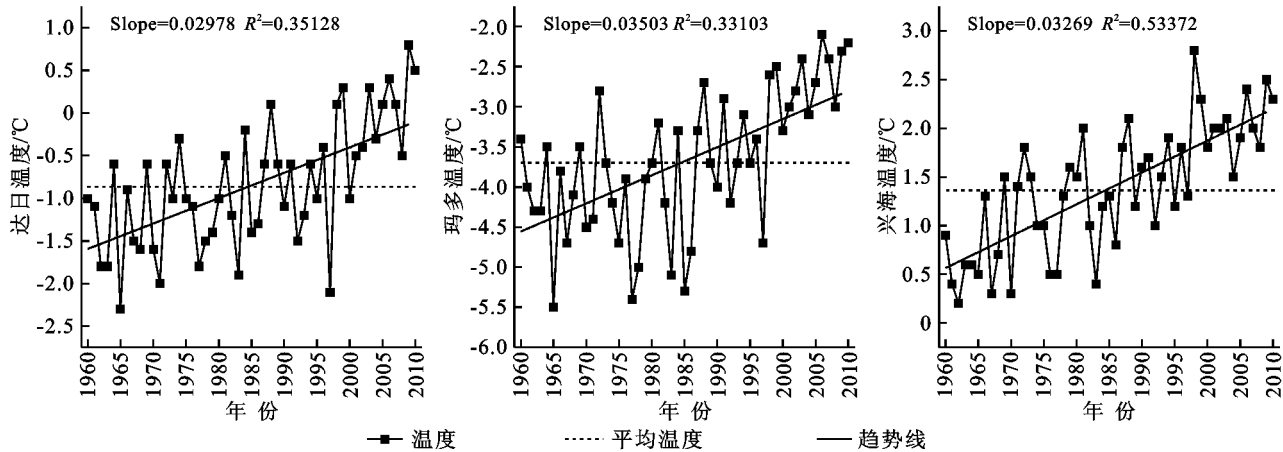


图 1 1960—2010 年不同气象站平均气温变化

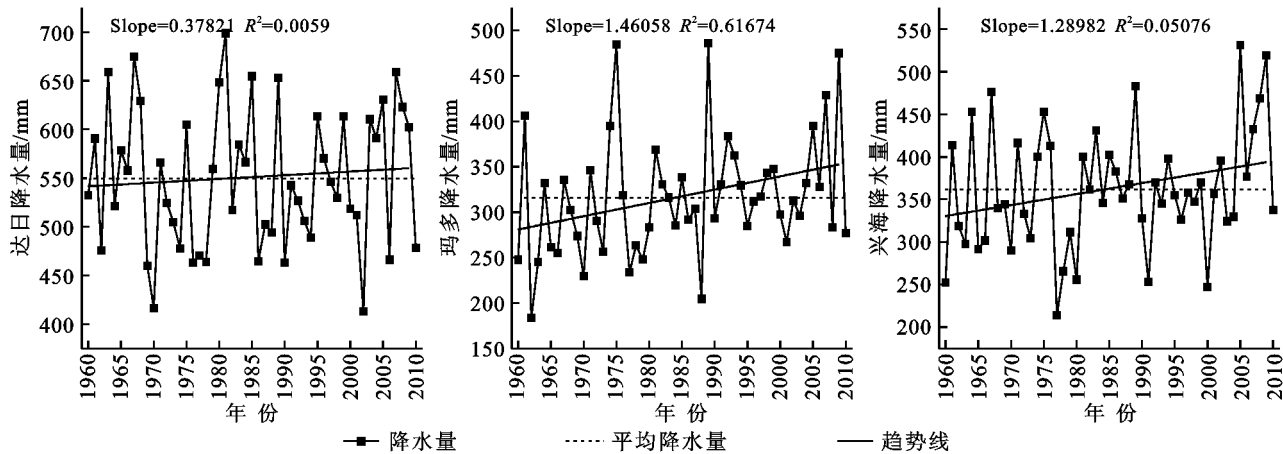


图 2 1960—2010 年不同气象站平均降水量变化

4 讨论

4.1 冰川变化与气候变化的关系

气象要素中,气温和降水与冰川进退变化的关系最为密切,决定冰川积累的主要因素是冰川区的降水量,影响冰川消融的主要因素是冰川区的温度^[21]。根据刘时银等^[15]的研究,阿尼玛卿山区冰川在末次冰期、小冰期、1966 年的冰川面积分别为 391.6,147.8,125.5 km²。本研究中,1992—2010 年冰川面积从 109.21 km² 减少到 99.34 km²,退缩了 9.04%,1992—2001 年退缩比例为 5.87%,而 2001—2010 年退缩比例为 3.37%。通过对研究区周边的 3 个气象站 1960—2010 年气温和降水数据求平均值后的年均温度和年降水量进行统计(图 3)。1960—2010 年研究区气温呈持续升高的趋势,1990—2000 年,2001—2010 年年均温较 1960—1989 年分别升高了 0.49,1.51℃,2001—2010 年年均温较 1990—2000 年升高了 1.02℃。降水量在波动中呈微弱上升趋势,1990—2001 年年降水量比 1960—1989 年增加 19.65 mm,2001—2010 年

年降水量较 1990—2000 年增加 42.21 mm。

分析研究区 1990—2000 年,2001—2010 年两个时期温度和降水数据可知:后一时期年均温度和降水量均大于前一时期。温度升高导致冰川的消融,而降水增加有利于冰川的积累,该区域温度处于升温趋势,降水量的变化趋势不是很明显,但该研究区降水量丰富,年平均降水量已经超过了维持物质平衡线所达到的降水量区间,原则上已经可以补偿冰川的退缩。然而,阿尼玛卿山冰川还是处于持续退缩的状态,说明即使降水增多,也不会阻止温度上升引起的冰川消融,因此研究区冰川变化对气温波动较敏感,气温升高是研究区冰川处于持续退缩的主要原因。

有研究认为太阳黑子的活动周期与地球全球气候之间具有重要关联,气候变化也存在 11 a 左右的周期性^[22]。本文通过对近 30 a 冰川面积的变化进行分析没有发现明显的周期性,而且冰川处于持续退缩状态;研究区的气象数据分析也是建立在较小尺度范围内的特征分析,周期性不明显。

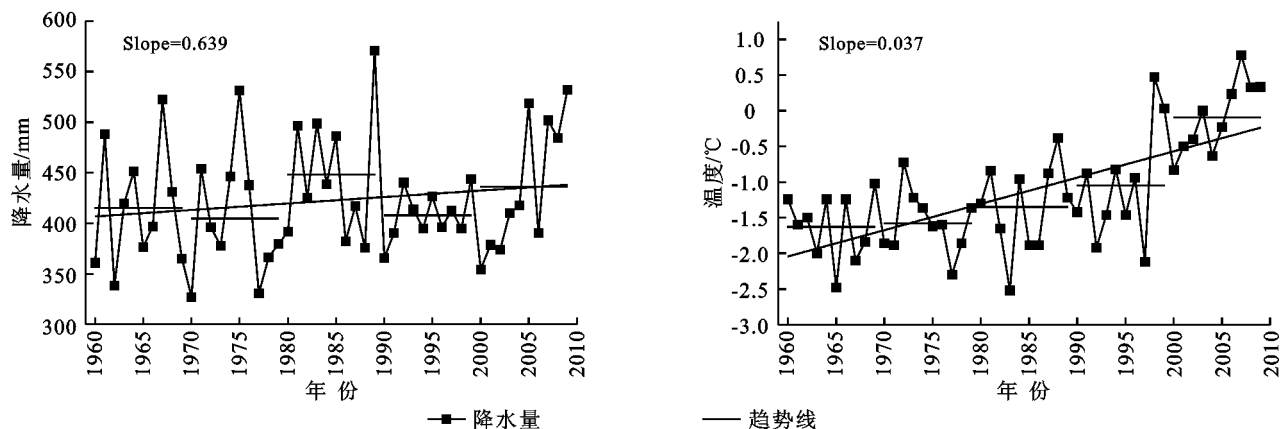


图3 1960—2010年研究区年均温度和年降水量

另外,本研究中,1992—2010年冰川面积从109.21 km²减少到99.34 km²,退缩了9.04%,1992—2001年年均退缩速率为0.71 km²/a,而2001—2010年年均退缩速率为0.38 km²/a,可见,近10 a研究区的冰川退缩速率减慢。其原因可能有两点:一是研究区近10 a的降水量增加,增加了冰川的积累量;二是研究区内的小规模冰川已在之前年份基本消失,所剩较大规模冰川对气候因子等其他因素的敏感性相对较弱。

4.2 地形因素对冰川退缩的影响

阿尼玛卿山冰川东西坡冰川退缩速率差距大,主要原因可能是东坡地形比较险峻,最大垂直高差为1 800 m,主要分布为山谷冰川,规模较大,雪线高度为4 950~5 000 m^[23],而冰舌末端高度为4 500~4 550 m,使得消融区积累的冰川厚度不大;而西坡地形相对平缓,最大高差为1 500 m,冰川规模较小且平缓的冰川可能接受更多的冰雪补给。进而也可以说明在气候变化时,东坡冰川更容易受到影响。

5 结论

(1) 阿尼玛卿山冰川在近20 a内,冰川面积退缩了9.87 km²,退缩比例为9.04%,研究区冰川总体呈退缩趋势。另外,根据IPCC关于21世纪气温将持续快速上升的预测,本研究区的冰川将处于持续退缩之中。

(2) 研究区的温度变化趋势和全球气温变化大环境趋势一致,处于升温趋势,该区的降水量丰富且在波动中呈增长趋势,而阿尼玛卿山区的冰川仍处于退缩状态,说明降水量的增加不足以平衡升温带来的冰川消融,从中可以推断阿尼玛卿山冰川退缩的气候影响因子中,气温起主导作用。

(3) 阿尼玛卿山存在一定的坡向差异,东坡的退缩速率大于西坡。根据研究区地貌及冰舌高度的比较,冰舌下伸海拔低、高差大,冰川面积退缩速率大;冰舌海拔高、高差小,冰川面积退缩速率小。

参考文献:

- [1] 施雅风,沈永平,李栋梁,等. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J]. 第四纪研究,2003,23(2):152-164.
- [2] 施雅风,沈永平,胡汝骥. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨[J]. 冰川冻土,2002,24(3):219-226.
- [3] 姚永慧,励惠国,张百平. 近30年来天山托木尔峰东侧分水岭处冰川变化[J]. 干旱区地理,2009,32(6):828-833.
- [4] 蓝永超,沈永平,吴素芬,等. 近50 a来新疆天山南北坡典型流域冰川与冰川水资源的变化[J]. 干旱区资源与环境,2007,21(11):1-8.
- [5] 上官冬辉,刘时银,丁永建,等. 玉龙喀什河源区32年来冰川变化遥感监测[J]. 地理学报,2004,59(6):855-862.
- [6] 张世强,卢健,刘时银. 利用TM高光谱图像提取青藏高原喀喇昆仑山区现代冰川边界[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2001,26(5):435-440.
- [7] 田洪阵,杨太保,刘沁萍. 近40 a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.
- [8] 何毅,杨太保,杜鹃,等. 基于GIS和RS的中亚阿拉套山脉近22 a来冰川变化[J]. 水土保持研究,2013(6):130-134.
- [9] 蔡迪花,马金辉,年雁云,等. 慕士塔格峰冰川变化遥感研究[J]. 兰州大学学报:自然科学版,2006,42(1):13-17.
- [10] 张祥松,孙作哲,张金华,等. 天山乌鲁木齐河源1号冰川的变化及其与气候变化的若干关系[J]. 冰川冻土,1984(4):1-12.
- [11] 王圣杰,张明军,李忠勤,等. 近50 a来中国天山冰川面积变化对气候的响应[J]. 地理学报,2011(1):38-46.
- [12] 叶庆华,陈锋,姚檀栋,等. 近30 a来喜马拉雅山脉西段纳木那尼峰地区冰川变化的遥感监测研究[J]. 冰川冻土,2007,11(4):511-520.
- [13] 张华伟,鲁安新,王丽红,等. 基于遥感的祁连山东部冷龙岭冰川变化研究[J]. 遥感技术与应用,2010,25(5):682-686.

势,而多数站点的 MDS 呈现不显著的增加趋势。总体而言,年尺度下连续无雨期的变化较微弱,这一点与内蒙古年降水量不显著的变化相一致^[15]。

(2) 内蒙古连续无雨期指数的年内分布呈现出极为明显的季节差异。连续无雨期次数(NDS)的高值主要出现在夏季月份,而连续无雨期平均日数(MDS)和最长连续无雨期日数(MLDS)的高值基本集中在冬季月份。无论是全区尺度还是单站点尺度,MK 趋势检验的结果均表明 7 月、8 月连续无雨期的变化极为明显,其中 NDS 呈显著减少趋势,而 MDS、MLDS 表现为显著增加趋势。连续无雨期的季节变化进一步佐证了内蒙古夏季干旱化的事实。内蒙古草原大部分地区植被变化受降水因子的影响较大,尤其是内蒙古中西部地区的典型草原和荒漠草原^[16]。因而夏季连续无雨期强度的增加可能给内蒙古地区的畜牧业带来极为不利的影响,这一研究结果应当引起我们的高度重视。

参考文献:

- [1] 李成,王让会,黄进. 天山北麓近 50 年气温和降水的变化特征[J]. 水土保持研究,2013,20(6):117-124.
- [2] 杨波,张勃,安美玲,等. 1961—2011 年秦巴山区极端降水事件的时空特征分析[J]. 水土保持研究,2014,21(1):110-116.
- [3] 顾欣,杨绍洪,黄大卫,等. 黔东南地区各季节极端干期日数的时空分布特征[J]. 高原气象,2012,31(2):463-469.
- [4] 王莺,王劲松,姚玉璧,等. 中国华南地区持续干期日数时空变化特征[J]. 生态环境学报,2014,23(1):86-94.
- [5] 陈昌春,张余庆,王腊春,等. 基于 RClimDex 模型的江西省极端降水时空变化研究[J]. 中国农村水利水电,2013(11):41-45.
- [6] 李庆祥,彭嘉栋,沈艳. 1900—2009 年中国均一化逐月降水数据集研制[J]. 地理学报,2012,67(3):301-311.
- [7] She D, Xia J. The spatial and temporal analysis of dry spells in the Yellow River basin, China[J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment,2013,27(1):29-42.
- [8] 李宗省,何元庆,辛惠娟,等. 我国横断山区 1960—2008 年气温和降水时空变化特征[J]. 地理学报,2010,65(5):563-579.
- [9] 徐宗学,孟翠玲,赵芳芳. 山东省近 40 a 来的气温和降水变化趋势分析[J]. 气象科学,2007,27(4):387-393.
- [10] 霍雨,王腊春,陈晓玲,等. 1950s 以来鄱阳湖流域降水变化趋势及其持续性特征[J]. 湖泊科学,2011,23(3):454-462.
- [11] 张雪艳,胡云锋,庄大方,等. 蒙古高原 NDVI 的空间格局及空间分异[J]. 地理研究,2009,28(1):10-18.
- [12] 孙建奇,敖娟. 中国冬季降水和极端降水对变暖的响应[J]. 科学通报,2013,58(8):674-679.
- [13] 吴长刚,刘鸿升,谢安. 夏季风北推和强度对我国北方夏季降水影响的年代际特征[J]. 高原气象,2006,24(5):656-665.
- [14] 李新周,马柱国,刘晓东. 中国北方干旱化年代际特征与大气环流的关系[J]. 大气科学,2006,30(2):277-284.
- [15] 包刚,吴琼,包玉海. 近 30 年内蒙古气温和降水量变化分析[J]. 内蒙古师范大学学报:自然科学版,2012,41(6):668-674.
- [16] 张清雨,吴绍洪,赵东升,等. 内蒙古草地生长季植被变化对气候因子的响应[J]. 自然资源学报,2013,28(5):754-764.

(上接第 303 页)

- [14] 杨建平,丁永建,刘时银,等. 长江黄河源区冰川变化及其对河川径流的影响[J]. 自然资源学报,2003,18(5):595-602.
- [15] 刘时银,鲁安新,姚檀栋,等. 黄河上游阿尼玛卿山区冰川波动与气候变化. 冰川冻土,2002,24(6):559-562.
- [16] 李震,孙文新,曾群柱. 综合 RS 和 GIS 方法提取青藏高原冰川变化信息:以布塔格峰为例[J]. 地理学报,1999,54(3):73-78.
- [17] 刘朝海,王宗太,蒲健辰. 冰川类型的区域分布[M]. 北京:科学出版社,2000.
- [18] 焦克勤. 中国冰川目录:Ⅶ青藏高原内陆水系[M]. 北京:科学出版社,1988.
- [19] Raup B, Racoviteanu A, Khalsa S J S, et al. The GLIMS geospatial glacier database: A new tool for studying glacier change [J]. Global and Planetary Change,2007,56(1/2):101-110.
- [20] Bolch T, Kulkarni A, Kaab A, et al. The state and fate of Himalayan glacier [J]. Science, 2012, 336(6079):310-314.
- [21] 王利平,谢自楚,刘时银,等. 1970—2000 年羌塘高原冰川变化及其预测研究[J]. 冰川冻土,2011,33(5):979-990.
- [22] 赵亮,徐影,王劲松,等. 太阳活动对近百年气候变化的影响研究进展. 气象科技进展,2011,1(4):37-48.
- [23] 王靖泰. 阿尼玛卿山气候地貌[J]. 冰川冻土,1988,10(2):161-171.