

念青唐古拉山东段八盖乡地区近 40 年 冰川与气候变化研究

冀 琴, 杨太保, 李 霞

(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:基于 1970 年航空像片和 1999 年、2011 年 ETM⁺数据,利用决策树分类和目视解译方法提取念青唐古拉山东段八盖乡地区关星冰川、麻果龙冰川、若果冰川、江普冰川和那龙冰川的冰川边界,研究了上述 5 条冰川近 40 a 进退变化及其与气候变化的关系。结果表明:1970—2011 年间,研究区 5 条冰川整体呈萎缩态势,冰川总面积减小了 216.52 km²,其中 1970—1999 年各条冰川退缩速率(面积和末端)均大于 1999—2011 年,冰川退缩具有减缓的趋势,分析研究区附近气象资料可知,降水增加是冰川减缓退缩的主要原因。近 40 a 来研究区 5 条冰川面积退缩速率和冰川末端海拔呈反相关关系,冰川面积退缩速率随冰川末端海拔升高而降低,江普冰川的末端海拔最低,为 3 179 m,其退缩速率最大为 1.75 km²/a,关星冰川末端海拔最高,为 4 276 m,其退缩速率最小为 0.38 km²/a。依据丁青站温度和降水数据,对研究区未来十几年冰川变化情况作初步预测,认为研究区冰川将处于加速退缩状态。

关键词:念青唐古拉山东段; 遥感; 冰川变化; 气候变化

中图分类号: P343.6

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2014)02-0306-05

Study on Relationship between Glacier Retreat and Climate Change in the Eastern Nyainqentanglha in the Past 40 Years

JI Qin, YANG Tai-bao, LI Xia

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

Abstract: By using the decision tree classification and visual interpretation methods, we investigated the glacier area and terminal changes over the eastern Nyainqentanglha range of Star glacier, Maguo lung glacier, Ruoguo glacier, Jiang and Putin glacier and the dragon glacier during 1970—2011, and analyzed the relationship between glacier shrinkage and climate change. The results showed that the total lost area was 216.52 km² from 1970 to 2011. The rate of retreating differed over different time intervals. The first period(1970—1999) was greater than the second period (1999—2011). The records of Dingqing meteorological stations showed a pronounced precipitation increase, which mainly caused the deceleration of the shrinking. Furthermore, the altitude played an important role in glacier retreat. The elevation of Jiang and Putin glacier was the lowest(3 179 m) with the highest retreating rate (1.75 km²/a). Star glacier was just opposite. According to the records of temperature and precipitation, the glacier retreat will be accelerated in the next ten years in this region.

Key words: eastern Nyainqentanglha; remote sensing; glacier change; climate change

冰川作为西北干旱、半干旱地区重要的淡水资源,素有“高山固体水库”之称^[1],其进退是人类面临的主要环境问题之一^[2-4],冰川在不同时空尺度上的变化势必导致以冰川融水补给为主的河流流量的丰枯

变化,从而对流域社会经济发展、生态与环境产生重要影响^[5]。在全球变暖背景下,全球冰川普遍后退^[6],冰川的变化情况及其对河流补给作用的影响,已成为一个重大问题^[7-10],青藏高原冰川面积占中国

冰川总面积的 80% 以上^[10]。念青唐古拉山又是青藏高原主要山脉之一,为青藏高原东南部最大的冰川区,通过对念青唐古拉山冰川变化分析不仅可以较好地反映青藏高原地区冰川的变化情况,同时也可作为冰川区水资源管理、山区灾害防治、资源开发等提供参考^[11-12]。对念青唐古拉山脉研究,目前多集中于西段地区^[13-17],研究的时间序列也较长,对东段部分研究较少,本文选取东段八盖乡地区冰川规模较大的关星冰川、麻果龙冰川、若果冰川、江普冰川和那龙冰川,利用 1970 年冰川编目数据和 1999 年、2011 年遥感数据,在 GIS 技术支持下,采用决策树分类和目视解译方法提取近 40 a 冰川的变化情况,结合丁青气象站气象资料分析该区冰川对气候变化的响应,并对该区未来十几年内冰川变化趋势作初步预测。

1 研究区概况

念青唐古拉山东段位于青藏高原东南部,是雅鲁藏布江与怒江的分水岭,地处雅鲁藏布江“大拐弯”西南季风暖湿气流北上进入高原的要道上,地形的强迫抬升,使这里成为青藏高原降水最多和最湿润的地区^[18],冰川区年降水达 1 000~3 000 mm,平衡线较低,夏季温度为 1~5℃,整层冰温高于-1℃^[19],海洋性冰川特别发育,占念青唐古拉山冰川总面积的 5/6。关星冰川、麻果龙冰川、若果冰川、江普冰川和那龙冰川位于东段八盖乡东北部,冰川规模较大,长度均超过 10 km。

2 数据来源与方法

2.1 数据来源

遥感影像和 DEM 数据分别来自美国地质调查局([http:// glovis. usgs. gov/](http://glovis.usgs.gov/))和中国科学数据服务平台([http:// datamirror. csdb. cn/index. jsp](http://datamirror.csdb.cn/index.jsp)),其中遥感影像采用的是 Level 1T 级数据产品,该产品经过系统辐射校正和地面控制点几何校正,并利用 DEM 数据进行了地形校正。研究区主要发育海洋型冰川,为了剔除云和季节性积雪的影响,选取夏季时段消融期末影像(表 1),对有云影响区域选多景数据对比分析,编目采用中国冰川目录Ⅺ—恒河水系^[20],其分布图来自 1970 年航空像片,反映了研究区 1970 年冰川分布情况。气象资料源于丁青站,研究区周围气象站较少,只分布有洛隆站和丁青站,洛隆站距研究区较近,但该站气象观测资料时间序列较短(1992 年开始),最终选用丁青站数据。

2.2 研究方法

2.2.1 冰川边界提取 冰川边界提取的方法包括监

督分类、非监督分类和比值阈值法^[21-23],本文选取简单有效的比值阈值法提取冰川边界,即采用 Band3/Band5,选定阈值为 2.5(多次试验),将影像分为冰川与非冰川两类,对影像进行二值化处理(大于阈值的设为 1,其余为 0),最后将其转为. shp 格式,得到冰川初步提取结果,由于研究区主要分布海洋型冰川,冰川末端有冰碛物存在,需进一步借助 Google Earth 进行目视解译,得到最终冰川边界。

表 1 遥感资料列表

获取日期	条带号	所用波段	云量	影像说明
1999-09-23	135/39	5,4,3	5%	南部有少量积雪
2011-08-23	135/39	5,4,3	34%	西南部有云
2011-08-31	135/39	5,4,3	29%	外围有云,与上一期对照

2.2.2 冰川末端变化和海拔高度提取 冰川末端变化通常用平行于冰川主流线方向的冰川末端前进(或退缩)长度来表示,主要的计算方法有主流线法、中心线法、周长法和特征点法^[24-26],特征点法利用移动拟合法寻找最短距离,计算结果相对丰富,包括冰川末端变化长度最大值、最小值和平均值,能更真实地反映冰川末端的变化^[27],我们选择该方法研究冰川末端变化,在 1970 年冰川末端上选取 60 个等间距的特征点,分别求解每一个特征点到 1999 年和 2011 年冰川末端边界的最小距离,对求解的距离计算平均值,得到冰川末端变化值。

以研究区 DEM 和各条冰川 1970 年、1999 年和 2011 年矢量边界数据为基础,在 ArcGIS 空间分析技术支持下,分别提取 5 条冰川各时段末冰川末端海拔高度,由于研究过程中只采用一套 DEM 数据,因此得到各时段末的海拔高度是一个相对值。

3 结果与分析

3.1 冰川面积变化

对研究区冰川面积解译的结果如表 2 所示,研究区冰川面积在 1970—2011 年共减少了 216.52 km²,5 条冰川在 1970—1999 年和 1999—2011 年前后两个时段均表现为减小的态势,且前一个时段面积减小的速率均大于后一个时段,冰川退缩具有减缓的趋势。

分析研究区近 40 a 各冰川面积退缩速率和冰川末端海拔关系可知,二者呈反相关关系,即冰川面积退缩速率随冰川末端海拔升高而降低,江普冰川的海拔最低,其退缩速率最大,为 1.75 km²/a,关星冰川则相反,为 0.38 km²/a。可见,研究区冰川面积退缩速率与冰川末端海拔高度具有很好的耦合性。

表 2 1970—2011 年各条冰川面积变化

冰川名称	时段	时段末面积/km ²	相对变化率/%	退缩速率/(km ² ·a ⁻¹)	时段末末端海拔/m
江普冰川	1970 年	166.04			3179
	1970—1999 年	102.09	−0.39	2.13	3583
	1999—2011 年	92.51	−0.09	0.74	3608
	1970—2011 年	92.51	−0.44	1.75	3608
那龙冰川	1970 年	119.51			3466
	1970—1999 年	59.84	−0.50	1.99	3647
	1999—2011 年	54.39	−0.09	0.42	3654
	1970—2011 年	54.39	−0.54	1.55	3654
若果冰川	1970 年	73.27			3624
	1970—1999 年	46.72	−0.36	0.88	3901
	1999—2011 年	42.26	−0.10	0.34	3924
	1970—2011 年	42.26	−0.42	0.74	3924
麻果龙冰川	1970 年	67.90			3989
	1970—1999 年	39.32	−0.42	0.95	4343
	1999—2011 年	37.09	−0.06	0.17	4376
	1970—2011 年	37.09	−0.45	0.73	4376
关星冰川	1970 年	46.78			4276
	1970—1999 年	32.08	−0.31	0.50	4306
	1999—2011 年	30.73	−0.04	0.10	4350
	1970—2011 年	30.73	−0.34	0.38	4350

3.2 冰川长度变化

利用特征点法分别对研究区 5 条冰川末端长度进行统计(表 3),从时间变化来看,5 条冰川在 1970—2011 年均表现出末端后退的现象(图 1),前一时段(1970—1999 年)冰川末端后退的速率均大于后时段(1999—2011 年),这与相同时段内冰川面积变化的规律相一致,说明冰川面积变化主要表现为冰川末端的退缩。5 条冰川中,江普冰川末端退缩速率最大,为

38.16 m/a,关星冰川末端退缩速率最小,为9.48 m/a。

表 3 1970—2011 年各条冰川末端长度变化

冰川名称	1970—1999 年末端	1970—2011 年末端
	退缩速率/(m·a ⁻¹)	退缩速率/(m·a ⁻¹)
江普冰川	51.64	38.16
那龙冰川	27.20	20.61
若果冰川	46.82	34.71
麻果龙冰川	38.09	27.12
关星冰川	10.91	9.48

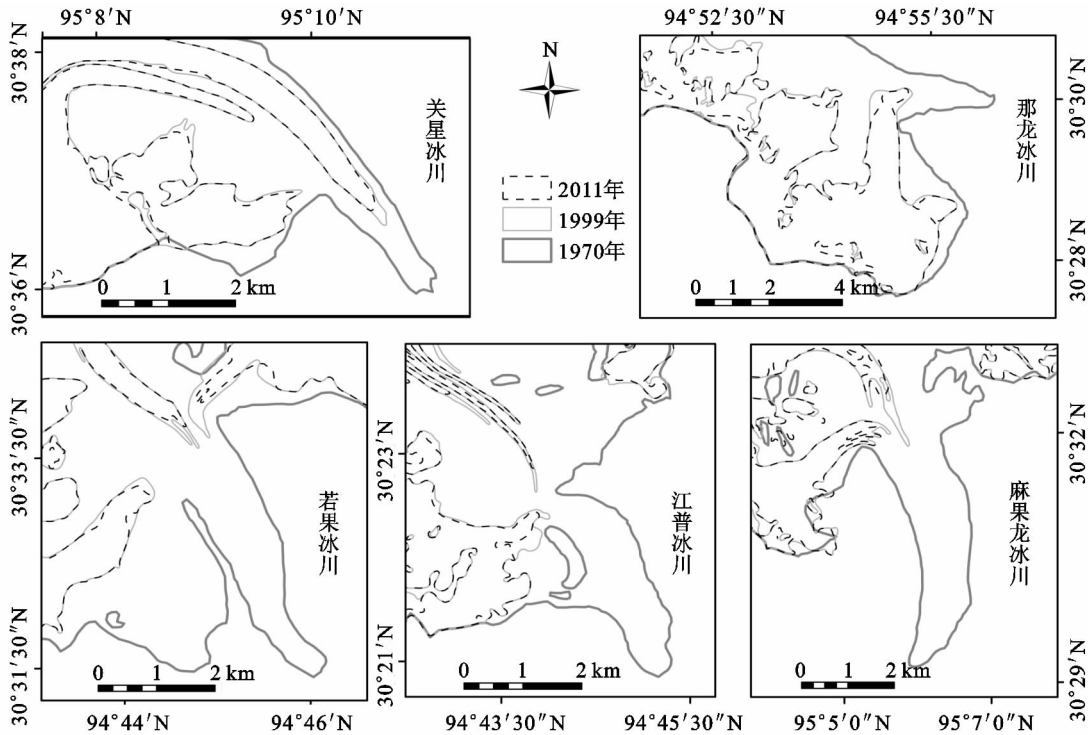


图 1 研究区 5 条冰川末端变化

3.3 冰川与气候变化关系

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^[28],冰川变化滞后于气候变化^[29],根据丁永建^[30]的观点, ≤ 5 km 的冰川对气候变化的反应时间约为 2 a 左右, > 5 km 的冰川对气候变化的反应时间大约为 8~9 a,研究区 5 条冰川的规模均较大,长度大于 10 km,分析过程中以 10 a 的滞后期研究冰川对气候的响应。

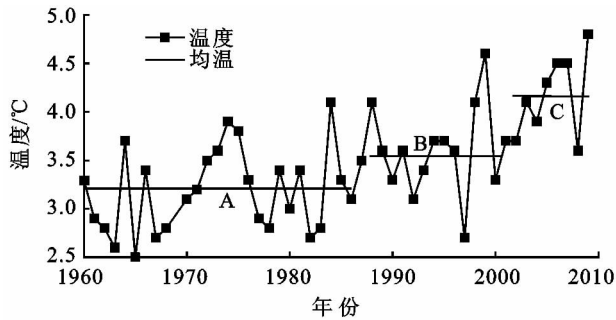


图 2 丁青站 1960—2009 年温度、降水变化

注:A,B,C 分别代表 1960—1989 年,1990—2001 年,2002—2009 年温度和降水均值。

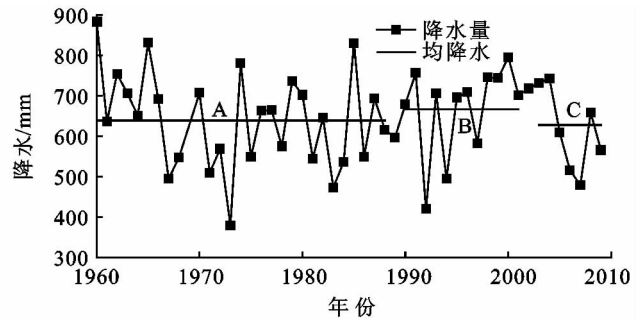
研究区前一时段(1970—1999 年)冰川退缩速率(面积和末端)大于后一时段(1999—2011 年),分析研究区 1960—1989 年和 1990—2001 年两个时期温度和降水数据可知,后一时期年均温和降水量均大于前一时段,可见降水的增加抵消了温度升高引起的冰川消融,说明研究区后一时段降水变化对冰川变化起主导作用。近十年来(2002—2009 年),研究区温度显著升高,降水则略微下降,可见未来十几年中研究区冰川将呈加速退缩状态。

根据高晓清等^[31]的观点,在温度变化 $\Delta T \leq 0.5^{\circ}\text{C}$ 的情况下,降水变化对冰川变化可以起较大的作用,当 $\Delta T > 0.5^{\circ}\text{C}$ 后,冰川变化主要决定于温度,降水不起主要作用。研究区 1990—2001 年年均温较 1960—1989 年升高了 0.33°C ,研究发现,1999—2011 年降水变化是研究区冰川变化的主导因素,这与前人的结论相一致。而 2002—2009 年年均温比 1990—2001 年升高了 0.61°C ,按高晓清等的观点预测,研究区未来十几年温度变化是冰川变化的主导因子,也同样说明了未来十几年研究区冰川将呈加速退缩状态。

4 结论

(1) 1970—2011 年研究区 5 条冰川整体呈退缩状态。1970—1999 年冰川退缩速率(面积和末端)大于 1999—2011 年,冰川退缩具有减缓的态势,分析气象资料可知,降水量增加是后一时段冰川退缩速率较小的原因,即该时段降水变化对冰川变化起主导作用。

依据冰川研究时段,以 10 a 滞后期为标准,对丁青站 1960—2009 年的年均温和年降水量进行统计(图 2)。1960—2009 年丁青站气温在波动中上升,升温幅度呈先慢后快的趋势,1990—2001 年和 2002—2009 年年均温较 1960—1989 年分别升高了 0.33°C 和 0.94°C ,近十年研究区升温显著。降水量则呈先增加后减少的趋势,1990—2001 年年降水量比 1960—1989 年增加 27.75 mm,2002—2009 年年降水量较 1990—2001 年减少 38.73 mm。



(2) 1970—2011 年冰川面积退缩速率和冰川末端海拔呈反相关关系,二者具有很好的耦合性。

(3) 依据丁青站近十年温度和降水数据推测,未来十几年研究区冰川将呈加速退缩状态。

致谢:遥感影像和 DEM 数据由美国地质调查局和中国科学数据服务平台提供,感谢审稿专家对文章提出建设性的修改意见和建议。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 柯长青. 湖泊遥感研究进展[J]. 海洋湖沼通报,2004,23(4):81-86.
- [4] 郭锐,张杰,梁芸. 西北地区近年来内陆湖泊冰川变化反映的气候问题[J]. 冰川冻土,2003,25(2):211-214.
- [5] 杨珍娘,曾群柱. 冰川水文学[M]. 重庆:重庆出版社,2001.
- [6] 张小咏,刘耕年,鞠远江,等. 冰川径流模型研究进展[J]. 水土保持研究,2005,12(5):58-62.
- [7] 叶伯生,丁永建,刘朝海. 不同规模山谷冰川及其对气候变化的响应模型[J]. 冰川冻土,2001,23(2):103-110.
- [8] 蒲健辰,姚檀栋,王宁练,等. 普若岗日冰原及其小冰期以来的冰川变化[J]. 冰川冻土,2002,24(1):87-92.
- [9] 上官冬辉,刘时银,丁永健,等. 中国喀喇昆仑山、慕士塔格格公格尔山冰川变化监测结果[J]. 冰川冻土,2004,26

- (3):374-475.
- [10] 蒲健辰,姚檀栋,王宁练,等.近百年来青藏高原冰川的进退变化[J].冰川冻土,2004,26(5):517-522.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 吴艳红,朱立平,叶庆华,等.纳木错流域近30年来湖泊—冰川变化对气候的响应[J].地理学报,2007,62(3):301-311.
- [14] 康世昌,陈锋,叶庆华,等.1970—2000年西藏念青唐古拉山峰南、北坡冰川显著退缩[J].冰川冻土,2007,29(6):869-873.
- [15] 上官冬辉,刘时银,康福,等.1970—2000年念青唐古拉山脉西段冰川变化[J].冰川冻土,2008,30(2):204-210.
- [16] Bolch T, Yao T, Kang S, et al. A glacier inventory for the western Nyainqentanglha Range and the Nam Co Basin, Tibet, and glacier changes 1976—2009[J]. The Cryosphere, 2010, 4(3):419-433.
- [17] 王旭,周爱国, Siebert F, 等.念青唐古拉山西段冰川1977—2010年时空变化[J].中国地质大学学报,2012,37(5):1082-1092.
- [18] 焦克勤, Shuji Iwata, 姚檀栋, 等. 3.2ka BP以来念青唐古拉山东部则普冰川波动与环境变化[J].冰川冻土, 2005, 27(1):74-79.
- [19] 施雅风,刘时银.中国冰川对21世纪全球变暖响应的评估[J].科学通报,2000,45(4):434-438.
- [20] 米德生,谢自楚.中国冰川编目Ⅺ:恒河水系[M].西安:西安地图出版社,2002.
- [21] Andreassen L M, Paul F, Kääb A, et al. The new Landsat-derived glacier inventory for Jotunheimen, Norway, and deduced glacier changes since the 1930s [J]. The Cryosphere Discussions, 2008, 2(3):299-339.
- [22] 曹泊,潘保田,高红山,等.1972—2007年祁连山东段冷龙岭现代冰川变化研究[J].冰川冻土,2010,32(2):242-248.
- [23] Paul F, Kaab A, Maisch M, et al. The new remote-sensing-derived Swiss glacier inventory: I. Methods [J]. Annals of Glaciology, 2002, 34(1):355-361.
- [24] Oerlemans J. An attempt to simulate historic front variations of Nigardsbreen, Norway [J]. Theoretical and Applied Climatology, 1986, 37(3):126-135.
- [25] 李慧林,李忠勤,秦大河.冰川动力学模式基本原理和参数观测指南[M].北京:气象出版社,2009.
- [26] 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.
- [27] 李鹏,闫明,徐跃通,等.基于GIS冰川末端变化计算方法研究:以北极 Austre Lovénbreen 冰川为例[J].冰川冻土,2012,34(2):367-374.
- [28] 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.
- [29] 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.
- [30] 丁永建.近40年来全球冰川波动对气候变化的反应[J].中国科学:B辑,1995,25(10):1093-1098.
- [31] 高晓清,汤懋苍,冯松.冰川变化与气候变化关系的若干探讨[J].高原气象,2000,19(1):9-16.

(上接第305页)

- [9] 李红军,郑力,雷玉平,等.基于EOS/MODIS数据的NDVI与EVI比较研究[J].地理科学进展,2007,26(1):26-32.
- [10] Peña-Barragán J M, Ngugi M K, Plant R E, et al. Object-based crop identification using multiple vegetation indices, textural features and crop phenology [J]. Remote Sensing of Environment, 2011, 115(6):1301-1316.
- [11] 魏丰良,刘廷玺,张圣微,等.科尔沁沙地植被覆盖变化及其与气候因子的关系研究[J].水土保持研究,2012,19(3):254-258.
- [12] Lee M F, Lin T C, Vadeboncoeur M A, et al. Remote sensing assessment of forest damage in relation to the 1996 strong typhoon Herb at Lienhuachi Experimental Forest, Taiwan [J]. Forest Ecology and Management, 2008, 255(8):3297-3306.
- [13] Wang W, Qu J J, Hao X, et al. Post-hurricane forest damage assessment using satellite remote sensing [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2010, 150(1):122-132.
- [14] 张杰,郭妮,郝志毅.沙尘气溶胶对西北地区植被遥感的影响分析[J].高原气象,2006,25(1):116-122.