

doi:10.7522/j.issn.1000-0240.2013.0068

Xiang Lingzhi, Liu Zhihong, Liu Jinbao, *et al.* Variation of glaciers and its response to climate change in Bomi County of Tibet Autonomous Region in 1980-2010 [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2013, 35(3): 593-600. [向灵芝, 刘志红, 柳锦宝, 等. 1980—2010 年西藏波密县冰川变化及其对气候变化的响应 [J]. 冰川冻土, 2013, 35(3): 593-600.]

# 1980—2010 年西藏波密地区典型冰川变化特征及其对气候变化的响应

向灵芝<sup>1</sup>, 刘志红<sup>1</sup>, 柳锦宝<sup>1</sup>, 李林<sup>2</sup>, 邹孝<sup>1</sup>,  
娄梦筠<sup>1</sup>, 戴睿<sup>1</sup>, 祝赢<sup>3</sup>

(1. 成都信息工程学院, 四川 成都 610225; 2. 西藏高原大气环境科学研究所, 西藏 拉萨 850000;  
3. 武汉中心气象台, 湖北 武汉 430074)

**摘 要:** 运用遥感(RS)与地理信息系统(GIS)技术, 结合波密县 1960—2010 年气象数据, 分析了西藏波密地区冰川的主要分布特征和典型大冰川 1980—2010 年的时空变化. 结果显示: 波密县共有冰川数量 2 040 条, 总面积为 4 382.5 km<sup>2</sup>, 其中, 分布在海拔 4 000~6 000 m 的高山冰川总面积达 4 086 km<sup>2</sup>, 占冰川总面积的 93.2%; 南坡分布冰川 1 504 条, 面积 3 180.04 km<sup>2</sup>, 分别占波密冰川总量的 73.73% 和 72.56%, 而北坡占还不到三分之一. 提取 1980、1990、2000 和 2010 年 4 期面积大于 20 km<sup>2</sup> 的 24 条大冰川面积进行对比分析, 1980—2010 年间波密县大冰川面积总体呈减小趋势, 由 1980 年的 1 592.78 km<sup>2</sup> 退缩至 2010 年 1 567.04 km<sup>2</sup>, 共退缩了 25.74 km<sup>2</sup>; 其中, 1980—1990 年冰川变化贡献最大, 冰川面积退缩了 16.62 km<sup>2</sup>, 占冰川总面积退缩量的 64.6%. 波密县气象站数据显示, 50 a 来冰川退缩主要受温度持续上升的影响, 降水量变化对冰川变化影响不大.

**关键词:** 冰川变化; 气候变化; Landsat; 西藏波密

**中图分类号:** P343.6 **文献标识码:** A

## 0 引言

青藏高原是全球中低纬度现代山地冰川最为发育的地区, 而作为青藏高原主体的西藏不仅发育着大规模的山地冰川, 还发育着较大面积对气候变化最为敏感的海洋性冰川. 西藏的海洋性主要冰川分布在西藏的东南部, 尤其是念青唐古拉山与伯舒拉岭交接地带, 是我国最大的季风型海洋性冰川分布区. 最近, 通过卫星遥感在西藏林芝地区波密县境内发现青藏高原最大的冰川群, 大大小小冰川共计 42 个, 中国三大海洋性冰川其中有两个也在波密县境内<sup>[1]</sup>.

但是自 20 世纪以来, 各地的冰川普遍处于退缩状态<sup>[2]</sup>. 世界上三分之一的人口饮用水都依赖发

源于喜马拉雅山高原地区的水源, 而这些水源主要来自于大规模的冰川. 然而自 20 世纪 80 年代以来, 西藏冰川却在迅速融化, 这将严重影响到人们的正常生活, 所以人类对冰川变化进行全球性详细监测已经迫在眉睫<sup>[3]</sup>.

冰川变化的常规观测方法在大部分冰川地区无法实施, 随着地理信息系统(GIS)、遥感(RS)和全球定位系统(GPS)技术的发展和普及, 3S 技术为冰川变化研究提供了有效的手段<sup>[4-6]</sup>. 特别是近年来高分辨率(空间分辨率、光谱分辨率和时间分辨率)遥感卫星的发展为冰川变化研究提供了强有力的技术支持, 遥感应用已成为监测和研究区域冰川动态变化必不可少的手段. 从最初的中日联合青藏高原冰川考察对在唐古拉山口进行冰川、水文气

收稿日期: 2012-09-07; 修订日期: 2012-11-18

基金项目: 国家发改委项目[2008]36 号; 成都信息工程学院人才引进项目资助

作者简介: 向灵芝(1986—), 女, 湖北宜昌人, 2012 年毕业于成都信息工程学院, 现为在读硕士研究生, 主要从事环境遥感方面的研究.  
E-mail: 404558139@qq.com

候学观察到最近的姚檀栋等<sup>[7]</sup>完善了对位于冬克玛底冰川末端的冰川监测系统,对该地区冰川圈和气候环境变化研究做出了很大的贡献.上官冬辉等<sup>[8]</sup>运用遥感技术以及 Landsat ETM 解译的冰川分布状况,分析了念青唐古拉山西段冰川 1970—2000 年间的变化,并结合当雄气象站的数据分析了冰川变化的原因;晋锐等<sup>[9]</sup>运用遥感和 GIS 技术,分析了朋曲流域近 30 a 的冰川变化情况,并通过对不同规模的冰川分析,结合气象数据,证实了小冰川对气候变化更为敏感.

本文以波密县为研究区,采用遥感与 GIS 技术,利用 30 m 空间分辨率的 Landsat TM/ETM+ 卫星遥感资料以及冰川编目资料、DEM 数据,分析了近 30 a 该区域冰川的时空变化情况;结合波密县气象站提供的气温降水数据,分析了近几十年来该区域冰川变化的原因.

## 1 研究区概况

波密县(图 1),位于西藏自治区东南部,帕隆藏布河北岸,地理坐标介于 94°~96° E 和 29°~30° N 之间.波密县地处念青唐古拉山东段和喜马拉雅山东端,地势北高南低,高山连绵,中部为帕隆藏布河谷和易贡藏布河谷,面积约 16 795 km<sup>2</sup>.最高峰明朴不登山海拔 6 118 m,全县平均海拔 4 223 m<sup>[1]</sup>.

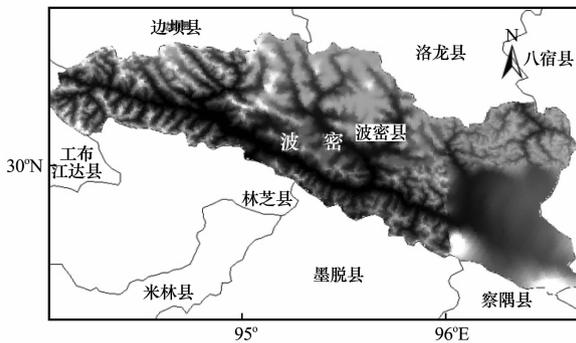


图 1 研究区位置

Fig. 1 Location of the study area

波密境内海洋性冰川发育较好,著名的卡钦冰川、则普冰川、若果冰川、古乡冰川等.其中,中国最大的海洋性冰川——卡钦冰川就位于波密县易贡乡,它的两个主峰高度分别为海拔 5 990 m 和 5 946 m,冰川面积 90 km<sup>2</sup>.卡钦冰川高山上常年白雪皑皑,冰蚀地貌举目可见,冰川的前沿发育有高达 600 m 的冰瀑布,在海拔 5 000 m 左右的盆地中,冰碛丘陵起伏、湖泊星罗棋布,还分布着引人注目

的鼓丘群和羊背石,甚为壮观.

## 2 研究方法

### 2.1 数据资料

(1) 遥感数据:本文选用 1990 年代、2000 年代和 2010 年代的 Landsat Tm、ET m+ 卫星遥感影像各 4 景,共 12 景(表 1),这些遥感数据来自 Global Land Cover Facility(GLCF)网站.

Landsat 陆地卫星的轨道为太阳同步的近极地圆形轨道,保证北半球中纬度地区获得中等太阳高度角的上午影像,且卫星通过某一点的地方时相同.每 16~18 d 覆盖地球一次(重复覆盖周期),图像的覆盖范围为 185 km×186 km. Landsat 传感器探测的主要波段有:蓝色波段(0.45~0.52 μm),绿色波段(0.52~0.60 μm),红色波段(0.63~0.69 μm),近红外波段(0.76~0.90 μm),短波红外波段(1.55~1.75 μm).

表 1 研究区波密县用到的数字卫星影像

Table 1 Satellite images used in this study

传感器	轨道号	成像日期/(年-月-日)	分辨率 /m
LandsatTM	134/40	1988-10-27/ 2007-04-15	30
	135/39	1987-12-03/ 2007-06-09	
	135/40	1990-11-09/ 2008-10-17	
	136/39	1988-10-09/ 2009-02-13	
LandsatETM	134/40	2001-10-23	30
	135/39	1999-09-23	
	135/40	2001-11-05	
	136/39	2001-10-21	

(2) GIS 数据:1980 年代冰川矢量数据;分辨率为 1 000 m 的西藏 DEM 数据,格式为 ArcInfo Coverage;西藏自治区行政边界图,格式为 ArcInfo Coverage.

(3) 其他数据:西藏波密县 1970—2010 年的气象资料(降水和气温),相关的科技文献资料若干.

### 2.2 数据预处理

遥感数据在收集处理过程中,存在各种误差,如大气、云和传感器的系统误差的干扰等,这些因素都会影像遥感影像的质量和后期处理,因此,应尽可能地消除这些误差的影响.此外,将遥感影像数据和非遥感影像数据统一数据格式、投影方式和研究区域,使其相互匹配.

### 2.2.1 数据格式转换

从 Global Land Cover Facility (GLCF) 网站上下载的遥感影像是单波段的格式为 \*.hdf 的数据, 在 ArcGIS 中不支持这种格式的数据, 这就需要将原始数据进行格式转换, 存储成 \*.img 格式的数据。

### 2.2.2 波段合成及冰川信息提取

根据 TM 影像波段的主要特征了解到, 冰川在波段 1、2、3、4 反射率都很高, 但是在波段 5、7 的反射率会急剧下降, 特别是短波红外用于探测植物含水量及土壤湿度来区分云雨雪这个特性, 可以很好的区分出云和冰川。因此, 本文选择了波段 5(短波红外)、4(近红外)、3(红色)作为红、绿、蓝 3 波段, 使冰川在图像上显示为蓝色, 以便后期的冰川信息提取工作的进行。

信息提取方法分为目视解译和计算机自动分类<sup>[10]</sup>。目视解译精度比计算机自动分类精度高, 但是工作量大、周期长、耗时耗力, 鉴于本次研究的冰川数量不多, 为了保证数据质量, 本文采用了目视解译的方法对波密县的大冰川进行了信息提取。

本文是在将误差控制在 1 个像元以内的高精度条件下, 依次目视解译出了各个时期的大冰川(面积大于 20 km<sup>2</sup>)信息。

### 2.2.3 坡度坡向的提取

用西藏 DEM 数据, 提取出研究区域的坡度和坡向图。

## 2.3 数据分析

在 ARCGIS 中, 对解译结果进行了分期统计分析, 并结合研究区的 DEM、坡度坡向和气象数据对不同空间、不同时期的分类结果进行了时空变化分析, 具体步骤如图 2。

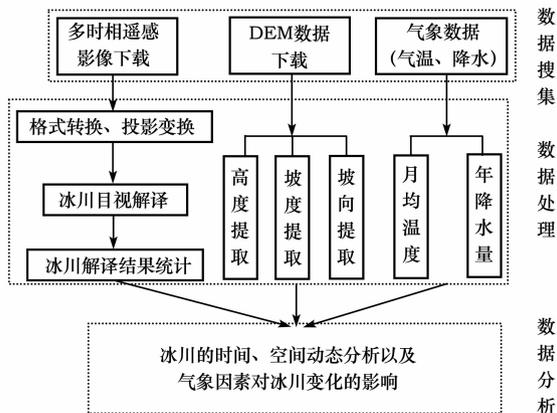


图 2 数据处理流程

Fig. 2 Data processing flow

## 3 波密县冰川的时空分布

20 世纪 80 年代以来青藏高原冰川整体呈现退缩状态, 但各地冰川变化又具有明显的空间和时间特征<sup>[11]</sup>。

### 3.1 冰川分布的空间特征

#### 3.1.1 冰川分布的高度特征

波密县国土总面积 16 795 km<sup>2</sup>, 最高海拔与最低海拔分别为 6 462 m 和 2 139 m, 高差达 4 000 m 以上, 地势陡峻, 地形破碎, 发育的冰川主要为山谷冰川。

根据原中国科学院兰州冰川冻土研究所(现为中国科学院寒区旱区环境与工程研究所)采用 1980 年地形图进行的中国冰川编目资料, 本研究区共有冰川数量 2 040 条, 总面积为 4 382.5 km<sup>2</sup>, 占波密县总面积的 26.1%。波密县地势起伏大, 冰川的分布在各个高程段上也不尽相同。根据 DEM 分级统计, 波密县冰川主要分布在海拔 4 000~6 000 m 的高山上, 冰川总面积达 4 086 km<sup>2</sup>, 占波密县冰川总面积的 93.2%; 而海拔低于 3 000 m 的低山的冰川分布面积只有 1 km<sup>2</sup>, 仅占冰川总面积的 0.02% (表 2 和图 3)。

表 2 波密冰川面积分布

Table 2 Glacierized area changing with altitude in Bomi County

海拔 /m	面积 /km <sup>2</sup>	占总面积百分比 /%
2139~3000	1	0.02
3000~4000	198	4.52
4000~5000	2137	48.70
5000~6000	1949	44.48
6000~7000	100	2.28
总计	4382	100.00

#### 3.1.2 冰川分布的坡度特征

坡度是最重要的地形因子之一<sup>[12]</sup>, 是一个微观的指标。在 ArcGIS 中, 利用 Spatial Analysis 中的 Zonal Statistics 功能, 提取出波密县的坡度分布图, 其流程如图 2, 并分级统计出冰川的面积及其所占比例。以 7°、15°、25°、35°、45°为标准, 对 1980 年波密县冰川分布的平均坡度进行了统计分析(表 3 和图 4)。从表中可以看出, 冰川分布的平均坡度主要集中在 7°~35°之间, 比例占到了波密县冰川总面积的 95.46%, 平均坡度在 7°以下和 35°以上的冰川面积只占很少量的一部分。

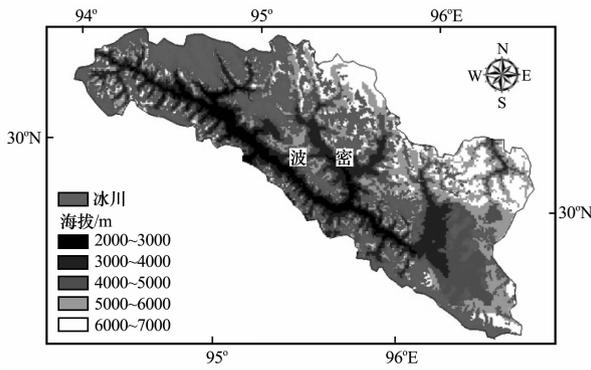


图 3 1980 年波密县现代冰川分布  
(UTM, WGS84, 1980)

Fig. 3 Map showing the glacier distribution  
(UTM, WGS84, 1980) in Bomi County

表 3 波密冰川面积分布

Table 3 Glacierized area changing with slopes  
in Bomi County

坡度	面积 /km <sup>2</sup>	百分比 /%
<7°	56	1.28
7°~15°	2031	46.35
15°~25°	1333	30.42
25°~35°	819	18.69
35°~45°	137	3.13
≥45°	6	0.14
总计	4382	100

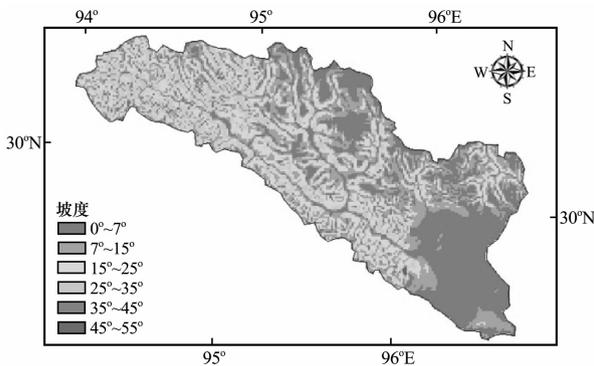


图 4 波密县坡度图

Fig. 4 Slope map of Bomi County

### 3.1.3 冰川分布的坡向特征

据统计冰川在不同坡向上的分布(图 5),可以看出,波密县分布在南坡的冰川无论是数量上还是面积上都远远超过了北坡.波密县冰川分布在南坡的数量为 1 504 条,面积 3 180.04 km<sup>2</sup>,分别占波密冰川总量的 73.73%和 72.56%,而北坡所占比例还不到三分之一.

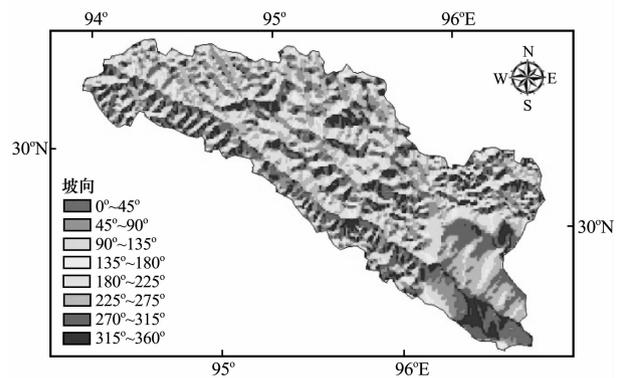


图 5 波密县坡向图

Fig. 5 Aspect map of Bomi County

## 3.2 冰川分布的时间特征

在 ArcGIS 中目视解译出 1980 年代、1990 年代、2000 年代以及 2010 年代各期大冰川分布的结果,如图 6 所示.这里主要提取冰川面积大于 20 km<sup>2</sup>的冰川进行对比.

采用常规的冰川变化研究方法,比较各期遥感影像多的冰川分布结果(表 4).统计冰川面积大于 20 km<sup>2</sup>的冰川共计 24 条,1980 年的冰川编目数据为 1 592.78 km<sup>2</sup>.从冰川数量变化上来看,4 个时期的冰川数量 24 条没有变化;从冰川面积变化上来看,由 1980 年的 1 592.78 km<sup>2</sup>退缩至 2010 年 1 567.04 km<sup>2</sup>,共退缩了 25.74 km<sup>2</sup>,变化为 -1.62%,年变化率为 -2.57 km<sup>2</sup>·a<sup>-1</sup>;其中,以 1980—1990 年冰川变化贡献最大,冰川面积退缩了 16.62 km<sup>2</sup>,占总面积的 1.04%,变化速率为 -1.66 km<sup>2</sup>·a<sup>-1</sup>,而 1990—2010 年冰川面积退缩总计 9.11 km<sup>2</sup>,比例为 0.58%,变化速率为 -0.91 km<sup>2</sup>·a<sup>-1</sup>.

## 4 冰川对气候变化的敏感性

### 4.1 冰川分布特征的因素

根据前面的分析可以看出,冰川变化在空间上具有明显的差异,这主要是受到地形、地势和冰川规模的影响.而在时间上的差异除了地形地势的原因外,气候因素也起到了关键作用.

波密县地势北高南低,北部、西部、东北部为念青唐古拉山向东南延伸的分支;东部有伯舒拉岭的余支;南有喜马拉雅山的分支;中间为河谷区.波密县特有的地理位置和地形,成为我国境内最大的海洋性冰川的分布区.由图 3 和图 5 可以看出本研究区的冰川主要分布在西南方向上,加上念青唐

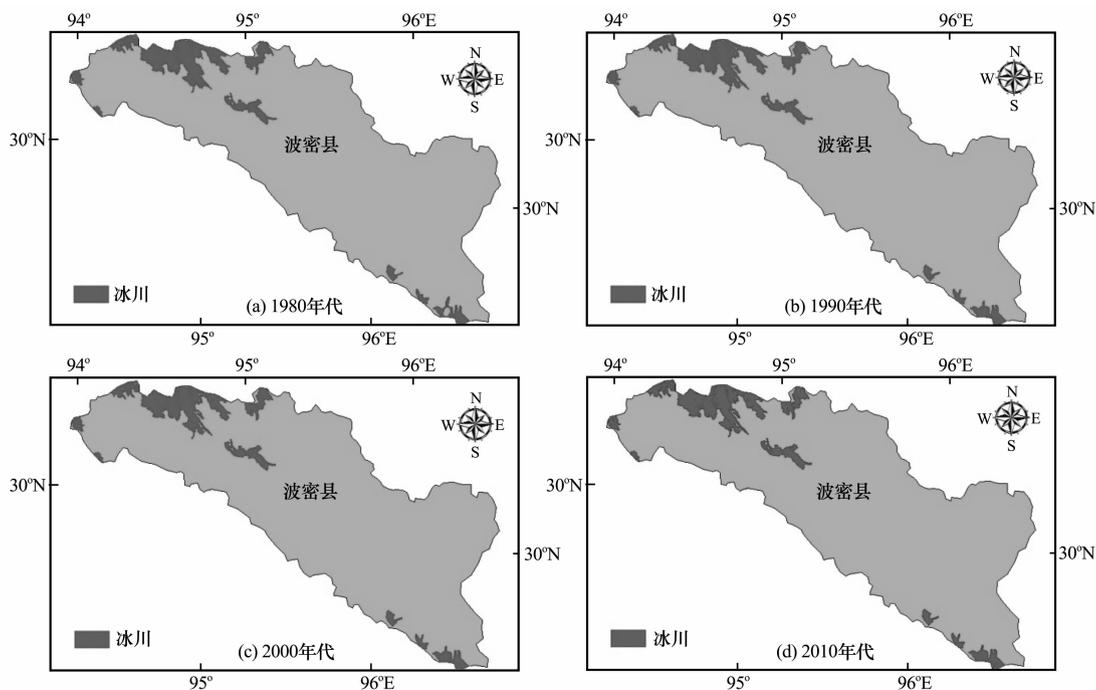


图 6 各期冰川分布矢量

Fig. 6 Glacier distributions in the 1980s, 1990s, 2000s and 2010s

表 4 波密县 1980—2010 年间的冰川变化统计

Table 4 Decadal variation of glacier in Bomi County during 1980—2010

年代	冰川条数	面积 /km <sup>2</sup>	变化面积 /km <sup>2</sup>	面积变化 /%	变化速率 / (km <sup>2</sup> · a <sup>-1</sup> )
1980	24	1592.78			
1990	24	1576.16	-16.62	-1.04	-1.66
2000	24	1570.62	-5.54	-0.35	-0.55
2010	24	1567.04	-3.57	-0.23	-0.36
总计			-25.74	-1.62	-2.57

古拉山东段的东南、西北走向,使得本研究区南坡的冰川分布面积远远大于北坡。青藏高原大部分山脉北坡的冰川数量、面积及储冰量均大于南坡,这是因为北坡接受太阳辐射热量少,有利于冰川的发育。而念青唐古拉山正好位于青藏高原南部雅鲁藏布江大拐弯处西南季风暖湿气流进入高原的通道上,南坡是迎风坡,降水丰沛,充沛的降水补给抵消了部分太阳辐射对冰川的消融<sup>[13]</sup>,使得南坡的冰川面积大于北坡<sup>[8]</sup>。

#### 4.2 冰川变化对气候变化的敏感性

山地冰川,尤其是那些地处温带的冰川,被认为是气候变化的最佳天然指示器之一<sup>[14]</sup>。近期大量的文献报道世界各地山地冰川纷纷处于退缩状态,部分小冰川在人们还没有注意到它们之前就有可能消融殆尽。在影响冰川进退变化的多种因素

中,气候因素是影响其变化的关键因素<sup>[15-16]</sup>。其中,气温和降水分别影响着冰川的消融和累计过程,气温的升高有利于冰川消融和退化,降水的增加有利于冰川的积累<sup>[17]</sup>。谭春萍等<sup>[18]</sup>研究表明,青藏高原南部地区在近 40 a 中气候显著变暖,年平均气温升高了 1 °C;年降水量呈增加趋势,但不明显。气候的变暖势必会影响到冰川的变化。

本文根据波密县气象站 1960—2010 年期间记录的气象数据,分别计算了年均温度和年降水量,并将年均温度和降水量的变化绘制成了折线图(图 7)。根据记录,1960—2010 年年平均气温为 8.7 °C,年均降水量为 845.16 mm。自 1962 年开始,温度开始上升,从年均温 8 °C 左右上升到 9 °C 左右,到 2000 年一度上升到了 9.75 °C,这与整个青藏高原过去几十年中普遍升温现象相一致<sup>[19-20]</sup>。

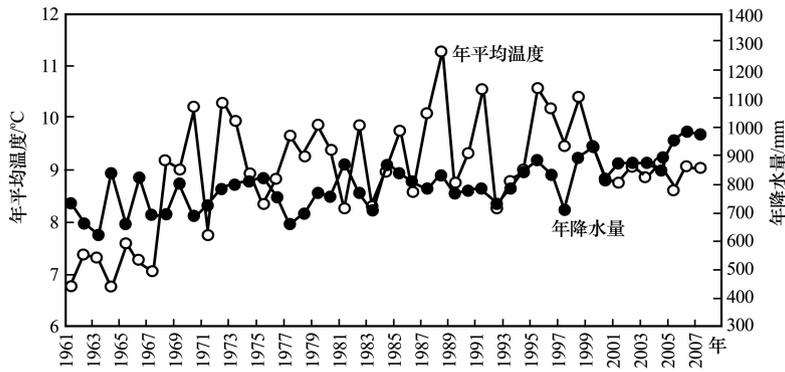


图7 波密气象站 1960—2010 年的气温和降水量变化

Fig. 7 Variations of air temperature and precipitation in Bomi County during 1960—2010

表5 波密县 1961—2010 年间的气候变化与冰川变化统计

Table 5 Decadal variations of climate and glacier in Bomi County

年代	1961—1970 年	1971—1980 年	1981—1990 年	1991—2000 年	2001—2010 年	总变化量
年均温度/°C	8.31	8.49	8.73	8.84	9.34	—
温度变化量/°C	—	0.18	0.24	0.11	0.50	1.03
年均降水/mm	640.36	889.93	907.48	947.96	837.9	—
降水变化量/mm	—	249.57	17.55	40.48	-110.06	197.54
冰川变化量/km <sup>2</sup>	—	—	-11.9766	-3.0689	-2.1096	-17.1552

从年降雨量来看,降水量波动很大,总趋势是增加的,相较于西藏其他地区,降水量比较丰沛.1960年代,波密地区年均降水量为640 mm,1970年代一直在890 mm上下波动,1980年代和1990年代以后,降水量上升到900 mm左右;近期年均降水量略有下降,为837.9 mm.

波密县的冰川变化与当地过去50 a来的气候变化是密不可分的.波密县过去50 a的年均温度、年降水量和冰川变化量及其相应的年际变化量如表5所示.可以看出波密县近50 a来的年均温度一直都是上升的,从20世纪70年代到近期温度总共上升了1.03 °C,平均每10 a上升0.206 °C;降水量在50 a内增加了197.54 mm,平均每10 a增加39.508 mm;波密县冰川变化也是一直在退缩,近40 a来冰川总退缩量为17.1552 km<sup>2</sup>.

根据温度和降水分别影响着冰川的消融和积累过程可知,波密县冰川的消融的主要原因是气温的升高.近50 a来温度上升了1.03 °C,冰川退缩了17.1552 km<sup>2</sup>,年平均温度每上升1 °C,波密县大冰川将会退缩16.66 km<sup>2</sup>.

## 5 结论

(1) 西藏波密县共有冰川数量2 040条,总面

积为4 382.5 km<sup>2</sup>.分布特征从空间上看,分布在海拔4 000~6 000 m的高山冰川总面积达4 086 km<sup>2</sup>,占冰川总面积的93.2%;南坡分布冰川1 504条,面积3 180.04 km<sup>2</sup>,分别占波密冰川总量的73.73%和72.56%,而北坡占还不到三分之一.

(2) 提取1980、1990、2000和2010年4期面积大于20 km<sup>2</sup>的24条大冰川面积进行对比分析,1980—2010年间波密县大冰川面积总体呈减小趋势,由1980年的1 592.78 km<sup>2</sup>退缩至2010年1 567.04 km<sup>2</sup>,共退缩了25.74 km<sup>2</sup>;其中,1980—1990年冰川变化贡献最大,冰川面积退缩了16.62 km<sup>2</sup>,占冰川总面积退缩量的64.6%.波密县气象站数据显示,降水量变化对冰川变化影响不大.

(3) 分析波密县气象站数据可知,50 a来冰川退缩主要受温度持续上升的影响,降水量的变化对冰川变化影响较小.过去50 a波密县的气温上升了1.03 °C,冰川退缩总量为17.1552 km<sup>2</sup>.

## 参考文献 (References):

- [1] Feng Feng. Largest glacier group found in Bomi, Tibet [J]. Science & Technology Review, 2007(19): 6. [冯峰. 西藏波密发现青藏高原最大冰川群[J]. 科技导报, 2007(19): 6.]
- [2] Dyurgerov M B, Meier M F. Twentieth century climate cha-

- nge: Evidence from small glaciers [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2000, **97**(4): 1406—1411.
- [3] Qian Gemin. Tibetan glaciers melting at high speed [J]. Knowledge is Power, 2007(3): 15. [钱歌民. 西藏冰川在急速融化[J]. 知识就是力量, 2007(3): 15.]
- [4] Ding Yongjian, Li Xin, Chen Guodong, *et al.* Potential direct solar radiation based on GIS and glacier mass balance [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1998, **20**(2): 157—162. [丁永建, 李新, 程国栋, 等. 基于地理信息系统的太阳直接辐射与冰川物质平衡的关系[J]. 冰川冻土, 1998, **20**(2): 157—162.]
- [5] Paul F, Kääb A, Maisch M, *et al.* The new remote-sensing-derived Swiss glacier inventory: I. Methods [J]. Annals of Glaciology, 2002, **34**(1): 355—361.
- [6] Wei Hong, Ma Jinzhu, Ma Mingguo, *et al.* Study on changes of glaciers and glacial lakes in the Pumqu Basin based on RS and GIS [J]. Journal of Lanzhou University (National Sciences), 2004, **40**(2): 97—100. [魏红, 马金珠, 马明国, 等. 基于遥感与 GIS 的朋曲流域冰川及冰湖变化研究[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2004, **40**(2): 97—100.]
- [7] Yao Tandong, Zhang Yinsheng, Pu Jianchen, *et al.* Twenty-year observations of glacier, hydrology and meteorology at the Tanggula Pass of the Tibetan Plateau: Significance and achievements [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2010, **32**(6): 1152—1161. [姚檀栋, 张寅生, 蒲健辰, 等. 青藏高原唐古拉山口冰川、水文和气候学观测 20 a: 意义与贡献[J]. 冰川冻土, 2010, **32**(6): 1152—1161.]
- [8] Shangguan Donghui, Liu Shiyin, Ding Liangfu, *et al.* Variation of glaciers in the western Nyainqêntanghla Range of Tibetan Plateau during 1970—2000 [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2008, **30**(2): 204—210. [上官冬辉, 刘时银, 丁良福, 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.]
- [9] Jin Rui, Che Tao, Li Xin, *et al.* Glacier variation in the Pumqu Basin derived from remote sensing data and GIS technique [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2004, **26**(3): 261—266. [晋锐, 车涛, 李新, 等. 基于遥感和 GIS 的西藏朋曲流域冰川变化研究[J]. 冰川冻土, 2004, **26**(3): 261—266.]
- [10] Yan Lili, Wang Jian. Study of extracting glacier information from remote sensing [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2013, **35**(1): 110—118. [彦立利, 王建. 基于遥感的冰川信息提取方法研究进展[J]. 冰川冻土, 2013, **35**(1): 110—118.]
- [11] Yao T, Wang Y, Liu S, *et al.* Recent glacier retreat in High Asia in China and its impact on water resource in Northwest China [J]. Science in China (Series D: Earth Sciences), 2004, **47**(12): 1065—1075.
- [12] Guo Liuping, Ye Qinghua, Yao Tandong, *et al.* The glacial landforms and the changes of glacier and lake area in the Mapam Yumco Basin in Tibetan Plateau based on GIS [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2007, **29**(4): 517—524. [郭柳平, 叶庆华, 姚檀栋, 等. 基于 GIS 的玛旁雍错流域冰川地貌及现代冰川湖泊变化研究[J]. 冰川冻土, 2007, **29**(4): 517—524.]
- [13] Liu Zongxiang, Su Zhen, Yao Tandong, *et al.* Resources and distribution of glaciers on the Tibetan Plateau [J]. Resources Science, 2000, **22**(5): 49—52. [刘宗香, 苏珍, 姚檀栋, 等. 青藏高原冰川资源及其分布特征[J]. 资源科学, 2000, **22**(5): 49—52.]
- [14] IPCC. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2001.
- [15] Su Z, Shi Y. Response of monsoonal temperate glaciers to global warming since the Little Ice Age [J]. Quaternary International, 2002, 97—98: 123—131.
- [16] Li Zhongqin, Shen Yongping, Wang Feiteng, *et al.* Response of melting ice to climate change in the Glacier No. 1 at the headwaters of Ürümqi River, Tianshan Mountain [J]. Advances in Climate Change Research, 2007, **3**(3): 132—137. [李忠勤, 沈永平, 王飞腾, 等. 天山乌鲁木齐河源 1 号冰川消融对气候变化的响应[J]. 气候变化研究进展, 2007, **3**(3): 132—137.]
- [17] Xu Junli, Liu Shiyin, Zhang Shiqiang, *et al.* Glaciers fluctuations in the Karamilan-Keriya River watershed in the past 30 years [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2006, **28**(3): 312—318. [徐君利, 刘时银, 张世强, 等. 塔里木盆地南缘喀拉米兰河—克里雅河流域内流区近 30 a 来的冰川变化研究[J]. 冰川冻土, 2006, **28**(3): 312—318.]
- [18] Tan Chunping, Yang Jianping, Mi Rui. Analysis of the climate change characteristics in the southern Tibetan Plateau from 1971 to 2007 [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2010, **32**(6): 1111—1120. [谭春萍, 杨建平, 米睿. 1971—2007 年青藏高原南部气候变化特征分析[J]. 冰川冻土, 2010, **32**(6): 1111—1120.]
- [19] Liu X, Chen B. Climatic warming in the Tibetan Plateau during recent decades [J]. International Journal of Climatology, 2000, **20**: 1729—1742.
- [20] Wu Shaohong, Yin Yunhe, Zheng Du, *et al.* Climate changes in the Tibetan Plateau during the last three decades [J]. Acta Geographica Sinica, 2005, **60**(1): 3—11. [吴绍洪, 尹云鹤, 郑度, 等. 青藏高原近 30 年气候变化趋势[J]. 地理学报, 2005, **60**(1): 3—11.]

## Variation of Glaciers and Its Response to Climate Change in Bomi County of Tibet Autonomous Region in 1980—2010

XIANG Ling-zhi<sup>1</sup>, LIU Zhi-hong<sup>1</sup>, LIU Jin-bao<sup>1</sup>, LI Lin<sup>2</sup>, ZOU Xiao<sup>1</sup>,  
LOU Meng-yun<sup>1</sup>, DAI Rui<sup>1</sup>, ZHU Ying<sup>3</sup>

(1. *Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan 610000, China*; 2. *Tibet Institute of Plateau Atmospheric and Environmental Sciences, Lhasa Tibet 850000, China*; 3. *Wuhan Central Meteorological Observatory, Wuhan Hubei 430074, China*)

**Abstract:** By applying remote sensing (RS) and geographic information system (GIS) technology, combined with Bomi meteorological data of 1960—2010, glaciers distribution characteristics and spatial and temporal variations of typical large glaciers during 1980—2010 in region of Bomi County, Tibetan Plateau are analyzed. The results show that there are a total number of 2,040 glaciers with a total area of 4 382.5 km<sup>2</sup> in region of Bomi County, glacier total area of 4 086 km<sup>2</sup> located at an altitude of 4 000 ~ 6 000 m, accounting for 93.2% of the total area of the glacier. There are 1 504 glaciers with an area of 3 180.04 km<sup>2</sup> distributed on the southern slope, accounting for 73.73% of total glacier number and 72.56% of total glacier area respectively, while accounting for less than

one-third ones on the north slope. Extraction four periods of 1980, 1990, 2000 and 2010 glacier area of the 24 large glaciers with greater than 20 km<sup>2</sup> were analyzed. The all 24 greater glaciers in Bomi County have a decreasing trend from 1980 to 2010, a glacier area of 1 592.78 km<sup>2</sup> in 1980 retreat to one of 1 567.04 km<sup>2</sup> in 2010, a total retreated area of 25.74 km<sup>2</sup>; which glacier change of 1980 to 1990 contributed the largest retreated area of 16.62 km<sup>2</sup>, accounting for a total area of glacier retreat amount of 64.6%. Records data of Bomi Meteorological Station show that there has been a continuous temperature rise, especially after 1980, which might seriously cause the glacier shrinkage, and changes in precipitation have less impacting on the glacier variation.

**Key words:** glacier change; climate change; Landsat; Bomi County of Tibet Autonomous Region