# 冰川与气候变化相关性分析——以祁连山自然保护区为例

王佩佩,匡鸿海\*,李嘉译 (西南大学地理科学学院,重庆 400715)

摘要 冰川是淡水资源的一种重要储存形式,近年来冰川面积不断减少,研究冰川面积变化对于干旱区生态保护及可持续发展意义重 大。基于 Landsat TM、Landsat ETM 与 Landsat OLI 遥感影像数据以及气象观测数据,进行遥感解译与统计分析,运用决策树自动阈值分 类方法,同时结合非监督分类方法得到祁连山自然保护区 1995—2015 年冰川面积变化,参考第 2 次冰川编目数据对结果进行验证,并运 用相关分析法分析与气候变化的相关性。结果表明:①1995—2015 年祁连山自然保护区内冰川面积变化有 2 个不同阶段,1995—2005 年缓慢增加,2005—2015 年急剧下降,整体呈减少趋势。面积最大时为 2005 年 376.91 km<sup>2</sup>,到 2015 年减少为 217.33 km<sup>2</sup>。②祁连山自 然保护区年均降水量变化与冰川面积变化的相关性强于年均气温变化与冰川面积变化的相关性。降水量与冰川面积之间的相关系数 为 0.403,气温与冰川面积之间相关系数为-0.327。③祁连山自然保护区内冰川面积变化是降水与气温共同作用的结果,在不同时期, 气温与降水分别起主,导作用。

关键词 冰川面积;气温;降水;相关关系;祁连山自然保护区 中图分类号 S759.9 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2020)05-0085-03 doi;10.3969/j.issn.0517-6611.2020.05.023

## 开放科学(资源服务)标识码(OSID): 💼



#### Correlation Analysis between Glaciers and Climate Change—A Case Study of Qilian Mountain Nature Reserve

WANG Pei-pei, KUANG Hong-hai, LI Jia-yi (School of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715) Abstract The glacier is an important storage form of freshwater resources. In recent years, the area of glaciers has been decreasing. Studying the change of glacial area is of great significance for the ecological protection and sustainable development of arid region. Based on Landsat TM, Landsat ETM and Landsat OLI remote sensing image data and meteorological observation data, remote sensing interpretation and statistical analysis are carried out. The decision tree automatic threshold classification method is used, and the unsupervised classification method is used to get the change of glacier area in Qilian Mountain Nature Reserve from 1995 to 2015. The results are verified by reference to the second glacial catalogue data, and analyzed by correlation aqualysis method Relevance to climate change. The results showed that: ①there were two different stages of glacier area change in Qilian Mountain Nature Reserve from 1995 to 2015, which increased slowly from 1995 to 2005, and declined sharply from 2005 to 2015, showing a decreasing trend as a whole. The maximum area was 376. 91 km<sup>2</sup> in 2005 and decreased to 217. 33 km<sup>2</sup> by 2015. ② The correlation between the annual average precipitation change and the change of glacier area. The correlation coefficient between precipitation and glacier area was 0. 403, and the correlation coefficient between temperature and glacier area was -0. 327. ③The change of glacier area in Qilian Mountain Nature Reserve is the result of the combination of precipitation and temperature. In different periods, temperature and precipitation played a leading role respectively.

Key words Glacier area; Temperature; Precipitation; Correlation; Qilian Mountain Nature Reserve

山岳冰川作为冰冻圈的重要组成部分,不仅是陆地表面 重要的淡水资源,也是诸多大江大河的源头,被誉为"固体 水库"<sup>[1]</sup>。对于生态脆弱的西北地区尤其是自然保护区而 言,研究冰川与气候变化的相关性意义重大。祁连山自然保 护区生态脆弱,尤其对水资源敏感,冰川作为淡水资源的一 种储存形式,气温降水变化对其有重要影响,反过来,冰川消 融与凝结也会调节当地气候,因此研究二者相关关系对社会 经济可持续发展十分必要。

冰川作为全球气候变化的指示器<sup>[2-3]</sup>,可以最直接地反 映气候变化状况。国外对冰川研究较早,冰川学发源于瑞 士。自世界冰川监测服务网络(Word Glacier Monitoring Service,简称WGSM)提倡各国做冰川编目和调查以来,科研工作 者开始对全球冰川进行更深入的监测<sup>[4]</sup>。经过多年发展,我 国对冰川物质变化观测已经积累了丰富的研究经验和观测 成果<sup>[5]</sup>,目前研究主要集中在冰川识别与面积变化、冰川表 面运动、冰川反照率3个方面。遥感技术在冰川识别的应用 中主要用于面积变化监测,结合 GIS 方法对冰川属性参数进 行提取<sup>[6]</sup>。已有研究表明,祁连山地区中部、东部冰川变化 对气温的响应程度分别为中度响应、高度响应,冰川变化对 降水为负响应<sup>[7]</sup>。在叶尔羌河流域降水、气温及其组合影 响冰川发育,二者年际变化共同决定冰川的性质、发育和演 化<sup>[8]</sup>。另外也有学者对阿尔金山冰川变化的影响因素研究 发现,冰川的性质、发育和演化受气候、地形、地理位置、冰川 自身规模等诸多因素的影响,其中气温和降水及其组合的变 化是最主要的影响因素<sup>[9]</sup>。上述研究针对不同地区分别探 讨了冰川与降水、气温的响应程度,但在这些研究中,很少有 针对祁连山自然保护区进行分析,并且很少有研究者从每年 年际变化角度来分析二者关系。为此,笔者以祁连山自然保 护区为研究对象,分析 1995—2015 年其冰川面积变化规律 及冰川面积变化与气温、降水之间的相关性。

#### 1 研究区概况

甘肃祁连山国家级自然保护区地处青藏、蒙新、黄土三大 高原交汇地带的祁连山北麓,区域范围为97°25′~103°46′E、 36°43′~39°36′N。其中,核心区面积为802 261.6 hm<sup>2</sup>。该保 护区为森林生态系统类型的自然保护区,总面积 265 3000 hm<sup>2</sup>,以青海云杉、祁连圆柏、蓑羽鹤等生物为保护 对象。祁连山海拔4 500 m以上的高山区现代冰川发育,现 代冰川和古冰川作用的地貌类型都较丰富。保护区内的冰

作者简介 王佩佩(1995—), 女, 甘肃陇南人, 硕士研究生, 研究方向: 资源与环境地理信息系统。\*通信作者, 副教授, 博士后, 从事地理信息系统方面研究。

川1219条,面积458.39 km<sup>2</sup>,冰储量15.81 km<sup>3[10]</sup>。祁连山 自然保护区为大陆性高寒半湿润山地气候,降水量300~ 500 mm,集中在 6~9 月,年均温-0.6 ℃~2.0 ℃。





#### 2 数据来源

所用遥感影像数据为 1995~2015 年 Landsat TM、Landsat ETM、Landsat OLI 共 119 幅影像,来源于美国地质调查局 USGS(http://www.glovis.usgs.gov/), DEM 数据来源于地理 空间数据云(http://www.gscloud.cn),第 2 次冰川编目数据 来源于寒区旱区科学数据中心(http://westdc.westgis.ac. cn/data),气象数据来源于中国气象局气象数据中心,取祁连 山自然保护区周围 4 个气象站点(永昌、武威、山丹、张掖)降 水与气温年平均值。

### 3 研究方法

3.1 冰川面积提取方法 传统的冰川面积获取方法主要是 基于野外考察的观测与测量,而基于遥感监测的冰川面积提 取方法主要有比阈值法<sup>[11]</sup>、雪盖指数法<sup>[12]</sup>、监督分类与非监 督分类法<sup>[13]</sup>、地图信息图谱方法<sup>[14]</sup>、多波段 K-L 变换方 法<sup>[14]</sup>、热红外遥感方法<sup>[15]</sup>、决策树自动阈值分类方法<sup>[16-18]</sup>、 面向对象的信息提取方法等<sup>[17]</sup>。其中,非监督分类方法操 作简单但是精度不高;决策树研究是现阶段的一种趋势,但 是决策树分类过程中无法识别样点数据中的误差,有明显错 分。为了消除这种误差,笔者在提取过程中使用决策树自动 阈值分类与非监督分类相结合,对二者所分出的同一区域有 不同的结果进行目视解译,最终确定提取区域的冰川面积。

3.2 面积提取方法步骤 首先,查阅相关资料确定祁连山 自然保护区范围,在 USGS 上下载研究区域内 1995—2015 年 遥感影像,以及获取 DEM 数据。基于 ENVI5.3 对遥感影像 进行辐射定标和大气校正,根据保护区范围对影像进行拼接 裁剪等操作,计算 NDSI 和 NDVI 值,建立决策树进行自动分 类,运用非监督分类方法提取冰川信息,同时对 DEM 数据进 行处理,提取出坡度<24的区域,结合决策树分类结果、非监督分类结果以及坡度信息确定冰川、冰渍物覆盖冰川,最后运用 ArcGis 进行面积统计(图 2)。



Fig. 2 Technology roadmap

**3.3 相关性分析方法** 相关分析性分析主要是相关系数与显著性检验。通过分析冰川面积变化与气候变化的相关性,能够发现他们之间的密切程度及响应。

#### 4 结果与分析

4.1 冰川面积变化 通过决策树自动阈值分类与非监督分 类相结合的方法提取出 1995—2015 年祁连山自然保护区内 冰川面积(图 3),结果表明,在祁连山自然保护区内冰川面 积分为 2 个阶段:第一阶段是 1995—2005 年,冰川面积缓慢 增加,1995 年区域内冰川面积为 276.59 km<sup>2</sup>,以平均每年 16.7 km<sup>2</sup> 速率增加;第二阶段是 2005 年以后,冰川面积急剧 下降,到 2015 年减少为 217.33 km<sup>2</sup>。第 2 次我国冰川编目数 据有较高的精度,可用来对比验证该文结果。在第 2 次我国





图 3 1995—2015 年祁连山自然保护区冰川面积变化情况



4.2 冰川面积变化与气温、降水相关性 由图4可知, 1995—2015年祁连山自然保护区年均降水量波动下降,2003 年出现最高值,1995—2000年降水量增加幅度大,2010— 2015年降水量减少速度快。气温状况是以平均每年0.6℃ 的速率上升,1995—2014年从6.61℃上升至8.84℃,从图 3~4来看,冰川面积变化与降水量变化的相关性更强,趋势 基本一致。以定量的方式探讨保护区降水量、气温与冰川面 积之间的相关性,以相关系数的形式表达,结果表明降水量 与冰川面积之间的相关系数为0.403,显著性为0.122。气温 与冰川面积之间的相关系数为-0.327,显著性为0.216,二者 之间成负相关关系,冰川面积变化与降水量变化的相关性强 于与气温变化的相关性。





### 5 结论与讨论

(1)1995—2015年祁连山自然保护区内冰川面积变化 有2个不同阶段:1995—2005年缓慢增加,2005—2015年急 剧下降,整体呈减少趋势。

(2) 祁连山自然保护区年均降水量变化与冰川面积变化 的相关性强于年均气温变化与冰川面积变化的相关性。冰 川面积变化与降水之间的显著性为 0.122, 与气温之间的显 著性为 0.216。

(3)在不同时期降水量与温度分别为冰川面积变化的主 导因素。1995—2000 年降水量急剧增加,温度升高,降水量 增加幅度大于温度升高幅度,因此 1995—2000 年冰川面积 缓慢增加,降水量是这一时期冰川面积变化的主导因素。 2000—2005 年降水量减少但气温较前一阶段变化不大,因气 考虑到冰川凝结消融需要时间,有滞后性,其中能量变化是 一个过程,该阶段面积仍缓慢增加,但是速率小于 1995— 2000 年。2005—2015 年温度持续升高,降水量同时波动下 降,祁连山自然保护区内冰川面积由 2010 年的 258.85 km<sup>2</sup> 减少到 217.33 km<sup>2</sup>,减少了 41.52 km<sup>2</sup>。这一时期气温是冰 川面积变化的主导因素。

(4)祁连山自然保护区内冰川面积变化与气温降水关系 密切,降水量大于由气温升高带来的消融量时冰川面积增加,降水量不足以补充气温升高带来的消融时冰川面积减 少。已有研究表明,气温每升高1℃需要降水量增加25%或 35%才能弥补由升温引起的冰川消融<sup>[18-19]</sup>,因此祁连山自然 保护区冰川面积变化受气温与降水变化不同幅度的影响。 祁连山地区冰雪融水是区域内水资源的重要来源,研究冰川 面积变化与气候相关关系能为保护区建设提供参考,保护生 物多样性。

#### 参考文献

- [1] DYURGEROV M B, MEIER M F. Glaciers and the changing earth system: A 2004 snapshot[M]. Colorado:Institute of Arctic and Alpine Research, University of Colorado, 2005:118.
- [2] OERLEMANS J. Quantifying global warming from the retreat of glaciers[J]. Science, 1994, 264 (5156) : 243-245.
- [3] HAEBERLI W, CIHLAR J, BARRY R G. Glacier monitoring within the Global Climate Observing System [J]. Annals of glaciology, 2000, 31(1): 241-246.
- [4] SHI Y F,LIU S Y. Estimation on the response of glaciers in China to the global warming in the 21st century [J]. Chinese science bulletin, 2000,45 (7):668-672.
- [5] 陈沥. 1990-2016年西藏阿里地区冰川、湖泊波动对气候变化的响应 [D]. 重庆:重庆师范大学, 2018.
- [6] 马其琦. 基于多源遥感数据的西昆仑冰川变化监测[D]. 南京;南京大学,2018.
- [7] 陈虹举,杨建平,谭春萍.中国冰川变化对气候变化的响应程度研究 [J].冰川冻土,2017,39(1):16-23.
- [8] 冯童,刘时银,许君利,等. 1968-2009 年叶尔羌河流域冰川变化:基于 第一、二次中国冰川编目数据[J].冰川冻土,2015,37(1):1-13.
- [9] 胡凡盛,杨太保,冀琴,等.近 40a 阿尔金山冰川与气候变化关系研究 [J].干旱区地理,2017,40(3):581-588.
- [10] 王宗太,刘潮海,尤根祥,等.中国冰川目录(祁连山区)[M].兰州:中国科学院兰州冰川冻土研究所,1981:1-249.

(下转第92页)

覆盖度较高一些,阴坡温度较低,水分蒸发量较少,土壤腐殖质

层较厚,土层厚度较大,植被生长状况较好,植被覆盖度较高。

表 4 不同坡向带植被覆盖度的变化特征

Table 4 Variation characteristics of vegetation coverage in different aspect

植被覆盖度等级	阴坡 Shady slope		半阴坡 Semi-shady slope		阳坡 Sunny slope		半阳坡 Semi-sunny slope	
Vegetation -	面积	比例	面积	比例	面积	比例	面积	比例
coverage	Area	Proportion	Area	Proportion	Area	Proportion	Area	Proportion
level	$hm^2$	%	$hm^2$	%	$hm^2$	%	$hm^2$	%
I	85 279.20	22.98	83 579.61	22.89	78 580.83	21.50	90 477.93	22.46
Ш	235 342.60	63.42	226 944.70	62.14	219 546.50	60.06	244 640.30	60.74
Ш	40 590.10	10.94	43 089.49	11.79	49 887.83	13.65	52 987.08	13.15
IV	9 397.71	2.53	10 797.37	2.96	16 995.85	4.65	13 796.63	3.43
V	499.88	0.13	799.80	0. 22	499.88	0.14	899.78	0.22
合计 Total	371 109.49	100	365 210.97	100	365 510.89	100	402 801.72	100

#### 3 结论

(1)总体来看,雅安市植被覆盖度较高,植被覆盖度总体 状况较好,其植被覆盖度 2001-2016 年不断增长,2001-2009年研究区植被度盖度总体呈现缓慢上升的变化特征; 2009—2016年研究区植被覆盖度总体呈现急剧上升趋势。

(2) 雅安市植被覆盖垂直分异特征显著,在海拔0~ 3000 m 区域植被覆盖度较高,在海拔>3000 m 地区,植被覆 盖度依次降低。

(3)研究区的植被覆盖度具有明显的坡度分宜特征,总 体上呈现出随坡度的增加植被覆盖度先增加后减少的特征。

(4)研究区域总体来看阴坡、半阴坡、阳坡、半阳坡4个 坡相植被覆盖度差异不显著,阴坡植被覆盖度较高。

#### 参考文献

- [1] 胡玉福,邓良基,刘宇,等.基于 RS 和 GIS 的大渡河上游植被覆盖时空 变化[J].林业科学,2015,51(7):49-59.
- [2] 秦伟,朱清科,张学霞,等. 植被覆盖度及其测算方法研究进展[J]. 西 北农林科技大学学报(自然科学版),2006,34(9):163-170.
- [3] 史冲. 植被指数在植被覆盖度测算中的应用[J]. 北京测绘, 2014(2):94 -97.
- [4] 李明杰,侯西勇,应兰兰,等.近十年黄河三角洲 NDVI 时空动态及其对

#### (上接第87页)

.....

- [11] KAMP U, BYRNE M, BOLCH T. Glacier fluctuations between 1975 and 2008 in the Greater Himalaya Range of Zanskar, southern Ladakh [J]. J Mt Sci, 2011, 8:374-389.
- [12] 王建. 卫星遥感雪盖制图方法对比与分析[J]. 遥感技术与应用,1999, 14(4):29-36.
- [13] 张明华. 基于 ETM<sup>+</sup>影像的西藏南迦巴瓦峰地区海洋性冰川信息提取 [J]. 冰川冻土,2005,27(2):226-232.
- [14] 龚珺. 地学信息图谱应用的展望[J]. 科技广场, 2011(1): 235-237.
- [15] 赵慧,张明明,赵艳玲. TM6 热红外波段温度信息提取研究[J]. 科技

气温和降水的响应特征[J]. 资源科学,2011,33(2):322-327.

- [5] 潘桂行,乔晓英,黄金廷,等. 2000~2014 年海流兔河流域植被覆盖度变 化及其驱动因素分析[J]. 安徽农业科学,2015,43(31):264-267,271.
- [6] HUANG F, WANG P. Vegetation change of ecotone in west of northeast China plain using time-series remote sensing data [J]. Chinese geographical science, 2010, 20(2):167-175.
- [7] 李艳. 基于 RS 的植被覆盖度变化及地形因子相关性研究[J]. 城市地 理,2016(18):80-81.
- [8] 韩兰英,王宝鉴,张正偲,等. 基于 RS 的石羊河流域植被覆盖度动态监 测[J].草业科学,2008,25(2):11-15.
- [9] 孔宁宁,曾辉,李书娟.四川卧龙自然保护区植被的地形分异格局研究 [J]. 北京大学学报(自然科学版),2002,38(4):543-549.
- [10] 张金屯. 植被数量生态学方法[M]. 北京:中国科学技术出版社, 1995.
- [11] 崔晓临,白红英,王涛.秦岭地区植被 NDVI 海拔梯度差异及其气温响 应[J]. 资源科学,2013,35(3):618-626.
- [12] 刘春雨,董晓峰,刘英英.西北干旱区土地利用结构变化及生态服务 价值的响应:以民乐县为例[J]. 兰州大学学报(自然科学版),2013,49 (5):675-681,687.
- [13] 白建军,白江涛,王磊. 2000~2010 年陕北地区植被 NDVI 的时空变化 及其与区域气候的关系[J]. 地理科学,2014,34(7):882-888.
- [14] 吴大千,刘建,王炜,等.黄河三角洲植被指数与地形要素的多尺度分 析[J]. 植物生态学报,2009,33(2):237-245.
- [15] OSTENDORF B, REYNOLDS J F. A model of arctic tundra vegetation derived from topographic gradients [J]. Landscape ecology, 1998, 13: 187-201

创新导报,2008(17):7.

- [16] 宋波,何元庆,庞洪喜,等.基于遥感和 GIS 的我国季风海洋型冰川区 冰碛物覆盖型冰川边界的自动识别[J].冰川冻士,2007,29(3): 456-462.
- [17] 崔璐,杜华强,周国模,等.决策树结合混合像元分解的中国竹林遥感 信息提取[J]. 遥感学报,2019,23(1):166-176.
- [18] 杨超,邬国锋,李清泉,等. 植被遥感分类方法研究进展[J]. 地理与地 理信息科学,2018,34(4):24-32.
- [19] 张继平,刘林山,张镱锂,等. 面向对象的极高海拔区水体及冰川信息 提取:以珠穆朗玛峰国家级自然保护区核心区为例[J]. 地球信息科 学学报,2010,12(4):517-523.