

1990—2011 年天山东部冰川退缩对气候的响应

李 佳, 杨太保, 何 毅, 田洪阵

(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:近年来全球气候变暖,我国山地冰川发生剧烈变化。针对天山东部地区冰川变化对天山山脉乃至我国西部地区冰川变化具有明显指示作用,利用 1990 年、2001 年和 2011 年三个时段 Landsat TM、ETM+ 遥感影像数据,运用比值阈值法结合目视解译分别提取了博格达山脉、巴里坤山脉和哈尔里克山脉的冰川边界,并在 GIS 技术支持下分析了该区冰川变化情况。研究表明:天山东部地区冰川面积整体退缩幅度较大,近 21 a 间冰川总体退缩了 26.80%,其中博格达山脉、巴里坤山脉、哈尔里克山脉分别退缩 33.58%,25.67%,16.08%。该地区冰川主要分布在西北、北和东北三个坡向,但东坡的冰川退缩速率最大为 30.68%,研究区冰川面积主要分布在海拔为 3 600~4 600 m 处,而在 3 300~3 400 m 处的冰川退缩最快。研究认为气温上升、降水量小幅度上升甚至下降是引起天山东部地区冰川退缩的主要原因。此外,地形条件也是影响冰川退缩的重要因素。

关键词:天山东部; GIS 和 RS; 冰川变化

中图分类号:P343.6

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2014)03-0212-05

Response of Glacier Retreat to Climate in Eastern Tianshan from 1990 to 2011

LI Jia, YANG Tai-bao, HE Yi, TIAN Hong-zhen

(College of Earth and Environmental Sciences, Institute of Glaciers and Ecology, Lanzhou 730000, China)

Abstract: In the background of warming in recent decades, mountain glaciers in China had also changed dramatically. Glacier changes in the eastern part of Tianshan have obvious indication to glacier changes on the Tianshan Mountains and the China's western region. The Bogurda, Balikun and Hal Rick mountains were selected as the regions to search a method for delineating glacier extent by Landsat TM, ETM+ images of 1990, 2001 and 2011. The changes of glaciers were analyzed under the support of the geographic information system technology. The results indicate that glacier whole range is larger in eastern Tianshan. The total areas have reduced by 26.80% in the past 21 years. However, Bogurda, Balikun, Hal Rick mountains have retreated 33.58%, 25.67%, 16.08%, respectively. The glaciers mainly distributed in the northwestern slope, northern slope and northeastern slope, but retreat rate of eastern slope was the largest, reaching to 30.68%. Glaciers in the study area mainly distributed at the altitude of 3 600~4 600 m, glacier retreat in the 3 300~3 400 m was the fastest. The results from the studies show that rising temperatures and fluctuation rainfall are the main causes of glacier retreat in eastern Tianshan. In addition, topographic condition is a key factor for glacier changes as well.

Key words: eastern Tianshan; RS and GIS; glacier change

有“固体水库”之美誉的冰川提供了全球 75% 的淡水资源^[1],而近年来,全球气候变暖,大部分地区冰川呈现退缩趋势,对山地和山麓平原的水文、地貌、植

被、土壤以及绿洲的生成和人类活动有着重要影响。20 世纪 50 年代以来,我国西部大部分地区冰川退缩,如天山^[2]、祁连山^[3]、昆仑山区^[4]等都出现不同程

收稿日期:2013-09-10

修回日期:2013-10-21

资助项目:国家自然科学基金项目“黄河上游晚更新世河流阶地和冰川演化对千年尺度气候变化的响应”(41271024)

作者简介:李佳(1987—),女,甘肃兰州人,硕士,主要研究基于 GIS 和 RS 的冰川变化。E-mail:lj87.happy@163.com

通信作者:杨太保(1962—),男,山西平陆人,博士,教授/博导,主要从事自然地理环境变化研究。E-mail:yangtb@lzu.edu.cn

度的冰川退缩现象,由于区域性气候差异影响,冰川退缩差异明显,对区域可持续发展的影响也不尽相同,因此,研究冰川面积变化及差异性具有重要的现实意义。天山是亚洲最大山系之一,位于准葛尔盆地和塔里木盆地之间,西起乌兹别克斯坦的乌加穆斯山,东至我国新疆哈尔里克山,全长 2 450 km,宽 100~400 km^[5],对新疆当地乃至全国的淡水资源及经济发展具有重要影响。天山东部地区处于天山山脉东段最敏感地区,对进一步研究天山冰川乃至我国西部地区冰川退缩及气候变化具有重要作用。

1 试验材料与方法

天山东部山系狭隘,是天山北弧的东延部分,西起乌鲁木齐,东止伊吾附近。全长大致为 670 km,而宽度只有 70~80 km^[6]。全区包括博格达、巴里坤、哈尔里克等山脉和一些山间盆地,且都是近乎东西走向的活动带,气候也较天山其他地区干燥。博格达山脉是天山的重要组成部分之一,位于北纬 43°10′—44°5′,东经 87°40′—91°35′,地处吐鲁番盆地和准噶尔盆地之间,东西两端分别以一个狭长低陷带与巴里坤山和天格尔山交界^[2]。一般山脊在 4 300 m 左右,东西走向,西部以博格达峰为顶点,可达 5 445 m,分水脊偏在北部,有积雪冰川分布,多短小河流^[6]。巴里坤山脉平均高度为 3 300 m,西侧矗立着 4 308 m 的马里坤主峰,山脉断续分布,山体狭窄,腹部受荒漠气候影响,干旱侵蚀作用较强^[6]。哈尔里克山脉位于天山山脉最东端,山脉作北北西—南南东走向,海拔在 4 000 m 以上,最高峰托木尔堤峰,海拔 4 886 m^[3],山顶较平坦,常年有积雪分布,有若干小型冰川,表面很少冰碛^[6]。

1.1 影像数据

采用美国地质调查局 USGS ([http:// glovis.usgs.gov](http://glovis.usgs.gov)) 的陆地卫星 TM/ETM+ 遥感数据。该数据已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。由于天山地区积雪分布年内变化呈现出 1 月中旬至 8 月上旬为积雪衰

减期;8 月中旬至次年 1 月上旬为积雪增长期的特征^[4,7-8],特选取 1990 年、2001 年、2011 年夏季、少云或无云的四景影像,选取 5,4,3 波段,分辨率为 30 m,具体信息见表 1。

表 1 影像数据信息

序号	轨道号		影像日期	传感器
	Path	Row		
1			1992-08-15	TM
2	138	30	2001-09-17	ETM+
3			2011-07-11	ETM+
4			1991-08-04	TM
5	139	30	2002-02-26	ETM+
6			2008-07-09	ETM+
7			1990-09-16	TM
8	141	30	2001-08-21	ETM+
9			2011-10-04	ETM+
10			1990-10-09	TM
11	142	30	2001-07-11	ETM+
12			2011-07-23	ETM+

1.2 气象数据

选择天山东部蔡家湖、乌鲁木齐、达坂城、奇台、巴里坤、哈密和伊吾 7 个气象站点的 1990—2011 年的年均温和年均降水量数据进行研究区域气候变化分析。

1.3 冰川提取方法

采用比值阈值法提取冰川边界,在 ENVI 软件中把同一景影像不同波段的数据合成一个文件,计算 TM3/TM5^[9-10],得到比值影像后利用决策树进行分类,经过多次试验,阈值设定为 1.8,得到初步结果并转化为 shp 格式,最后在 ArcGIS 中转换为 Albers 等积投影,并进行目视解译,为提高冰川面积精确度,用同期多幅影像对比解译。

2 结果与分析

2.1 不同时期冰川面积变化

在 ArcGIS 中计算天山东部冰川面积变化,并分别计算博格达山、巴里坤山和哈尔里克山三期冰川面积,结果见表 2。

表 2 1990—2011 期间冰川变化

影 像	山 系	冰川面积/km ²			1990—2011 年 面积变化率/%
		1990 年	2001 年	2011 年	
142/30	东天山冰川总面积变化	368.06	312.78	269.43	—26.80
141/30	博格达	215.77	174.07	143.31	—33.58
139/30	巴里坤	17.49	14.99	13.00	—25.67
138/30	哈尔里克	134.80	123.72	113.12	—16.08

由表 2 可以看出近 21 a 来研究区冰川总面积减少 98.63 km²,整体呈退缩趋势,共退缩了 26.80%,

其中博格达、巴里坤、哈尔里克山脉冰川平均每年分别减少 3.45 km²,0.21 km²,1.03 km²,退缩率分别

为 33.58%, 25.67%, 16.08%, 自西向东退缩速率逐渐减慢。

2.2 不同高程冰川面积变化

将研究区 DEM 数据以 100 m 为分类间隔进行分级, 对天山东部地区三期冰川数据在不同高程上进行面积统计(图 1), 结果表明: 该地区冰川主要分布在 3 600~4 600 m 处, 这与该地区平均粒雪线高度为 3 916 m^[5] 相一致。从变化率得知, 3 300~3 400 m 处的冰川退缩最快, 而在 3 500~3 600 m 较 3 400~3 500 m 处快, 总体上随着海拔的升高, 退缩速率变慢。由于该地区山势陡峭, 沟槽密布, 以悬冰川为主, 其次为冰斗冰川、冰斗—悬冰、冰斗—山谷、山谷冰川^[11], 低海拔处多为小型平顶冰川, 并且分布较为分散, 冰体较薄, 小冰川较多造成的, 同时该地区除降水补给外, 吹雪、雪崩和冰崩也是冰川主要补给来源^[12]。

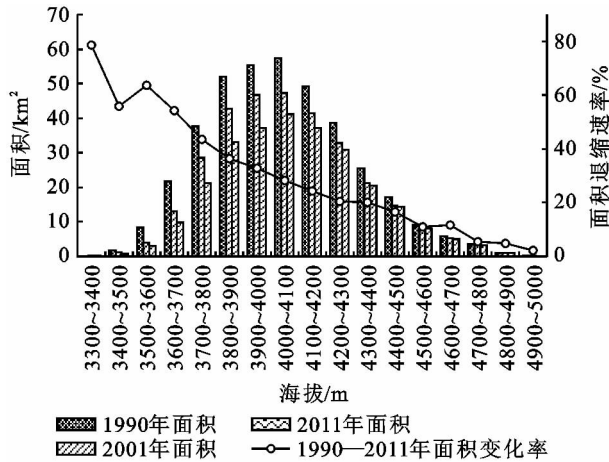


图 1 1990—2011 年期间不同高程冰川分布

2.3 不同坡向冰川面积分析

对研究区 1990 年、2001 年、2011 年三期数据各坡向面积进行统计, 并做各坡向冰川面积变化率分析(图 2), 结果表明: 该地区冰川主要分布在西北、北、东北三个坡向, 南坡分布较少, 这是由于南坡属于阳坡, 日照时间长, 北坡太阳辐射较弱, 多受降水影响, 又因为博格达山脉东西走向, 山势复杂, 极为陡峭^[13], 而巴里坤山脉属于隆起较缓的断块高原山地, 山顶较平缓^[6], 哈尔里克山脉山顶极为平坦, 北西走向, 山脊线偏北, 山势呈不对称山岭, 北坡山幅窄小, 而南坡山宽沟深, 冰积地形较为多见^[12], 并且该区域两侧盆地(准葛尔盆地、吐鲁番盆地)构造运动的差异及山麓高度的不同, 明显地影响着该区域南北两坡的气候差异^[14-15], 山脉的屏障作用使西北和偏西气流把主要水分降落在北坡, 造成天山东部北坡相对于南坡气温低, 降水大^[2], 太阳辐射强, 冰川作用强度大的现象, 加之在西风环流的综合作用下, 更有利于冰川积累和发育^[12], 因此表现为北坡冰川分布多于南

坡^[16-17]; 从各坡向冰川退缩率来看, 各坡向冰川退缩幅度相似。

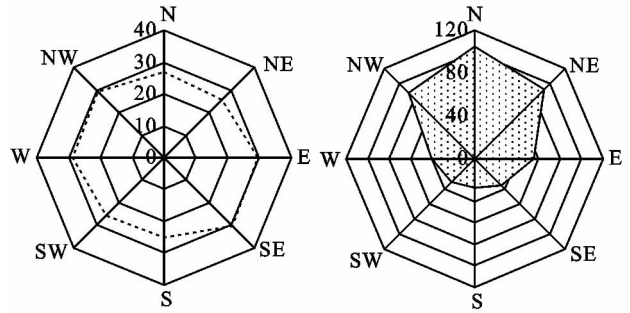


图 2 1990—2011 年期间各坡向冰川面积及退缩速率

2.4 讨论

天山山区大气降水是新疆河川径流的最终来源, 对新疆地区生态环境维持、发展以及冰川发育具有重要意义^[18]。降水、温度及其二者组合是影响冰川发育和演化的重要气候因子^[19], 温度升高造成冰川消融, 降水增加有利于冰川积累^[20]。利用蔡家湖、乌鲁木齐、达坂城、奇台、哈密、巴里坤、伊吾 7 个气象站点数据做一元回归分析, 求取降水及温度序列的线性趋势, 1990—2011 年期间温度呈上升趋势, 而降水为小幅度上升或下降趋势(图 3)。天山东部地区大致为东西走向, 全年受极地大陆气团影响, 冬夏两季被北冰洋气团和西风环流影响, 且水汽的合成输送方向为西北或偏西方向, 常常不具备水汽上升、凝结和以雨雪形式降落的条件^[21], 且研究表明每升高 1° 需要增加 25%^[22] 或者 35%^[23] 降水才能弥补升温所引起的冰川消融。此区域缓慢上升甚至下降的年降水量无法补给温度上升造成的冰雪消融, 因此, 温度升高、降水小幅度上升是研究区冰川退缩的主要原因。

对比近年来西部地区冰川变化(表 3), 天山东部地区冰川变化趋势与其他地区冰川变化相吻合, 冰川面积减小, 但是天山东部冰川退缩较西部其他地区快, 可能是由于冰川面积规模较小、海拔较低, 对气候响应更为敏感的原因造成。

3 结论

综合利用 RS 和 GIS 手段以及气象资料对天山东部 1990—2011 年三期冰川面积变化进行研究。结果显示冰储量共减少 6.01 km³, 冰川总面积退缩了 26.80%, 其中博格达山脉、巴里坤山脉、哈尔里克山脉分别退缩 33.58%, 25.67%, 16.08%。对研究区气象数据进行分析, 可知温度上升、降水不足是引起冰川退缩的主要原因。另一方面, 研究区域冰川所在山脉地形地貌各不相同, 不同海拔高度分布不同、不同坡向敏感程度不同, 也是造成冰川退缩的重要因素。

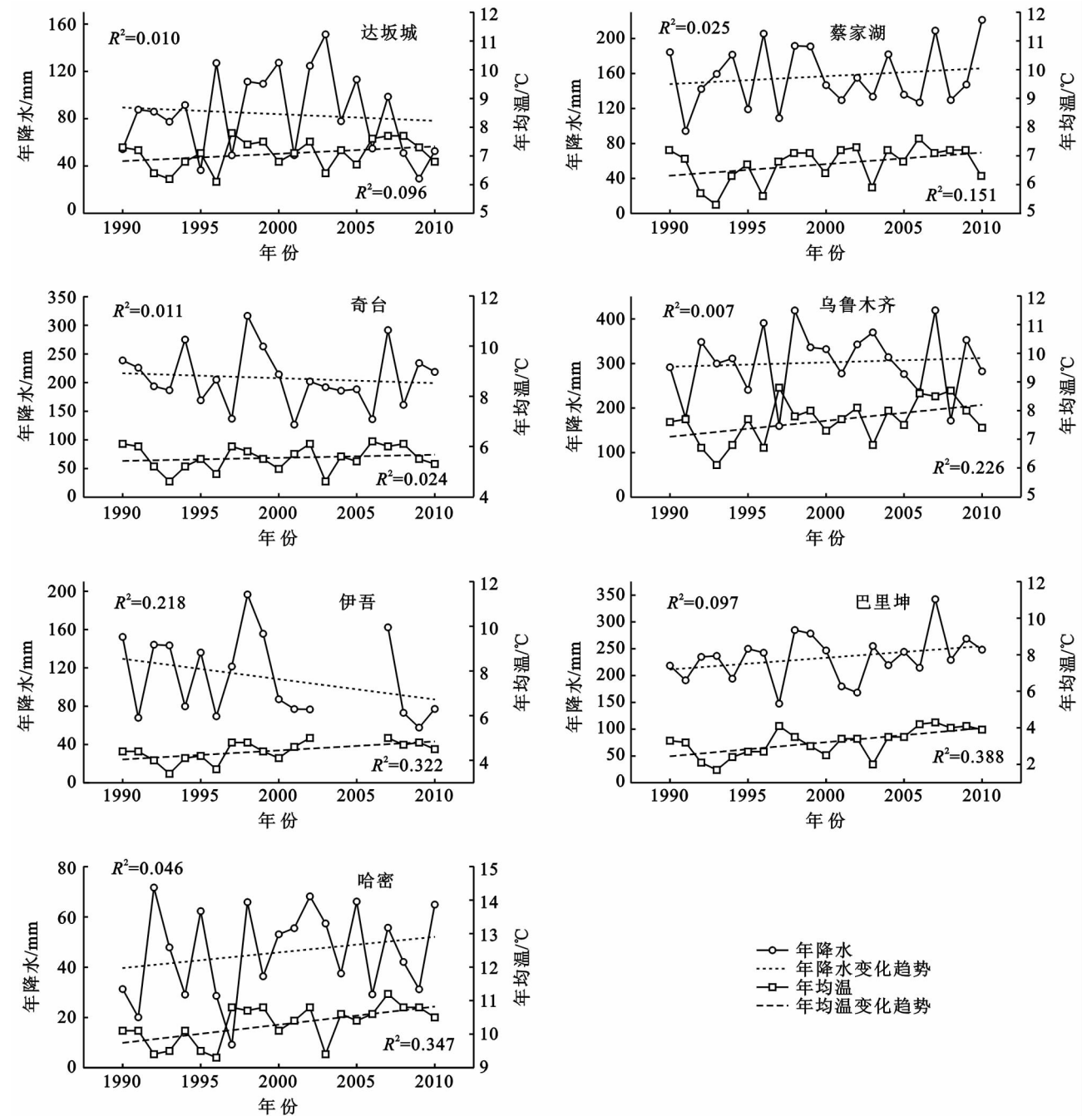


图 3 1990—2011 年期间年均降水和年均温变化

表 3 近年来中国西部冰川变化比较

研究区域	时间段	面积变化/%	年均变化率/%	资料来源
冷龙岭	1973—2010	—56.21	—1.52	田洪阵等 ^[24]
祁连山疏勒南山	1970—2006	—13.50	—0.40	张华伟等 ^[25]
喜马拉雅山东段洛扎	1980—2007	—16.40	—0.60	李治国等 ^[26]
北天山	1989—2011	—14.93	—0.64	何毅等 ^[27]
天山东部	1990—2011	—26.80	—1.22	本文

温度上升、降水不足是目前我国西北地区气候变化的基本趋势,也是引起我国冰川退缩的主要原因,而冰川变化也对检测我国气候变化具有重要指示作用。因此,加强气候变化与冰川变化的研究,进一步探索通过遥感技术对冰川厚度的研究,并建立合理

的模型评估,预测冰川未来的变化趋势,仍是冰川变化研究者长期追求的目标。

参考文献:

[1] Houghton J T, Jenkins G J, Ephraums J J. Climate

- Change 1995: The Science of Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.
- [2] 伍光和, 上田丰, 仇家琪. 天山博格达山脉的自然地理特征及冰川发育的气候条件[J]. 冰川冻土, 1983, 5(3): 1-13.
- [3] 王叶堂, 侯书贵, 鲁安新. 近40年来天山东段冰川变化及其对气候的响应[J]. 干旱区地理, 2008, 31(6): 813-818.
- [4] 刘艳, 张璞. 基于遥感的径流丰枯与高山区积雪关系分析: 以天山玛纳斯河流域为例[J]. 水土保持研究, 2010, 17(3): 44-48.
- [5] 刘潮海, 谢自楚. 天山冰川作用[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [6] 中国科学院新疆综合考察队, 中国科学院地理研究所. 新疆地貌[M]. 北京: 科学出版社, 1978.
- [7] 刘占静. 2003年玛纳斯河汛期水情特征及其成因[J]. 水土保持研究, 2004, 11(4): 198-199.
- [8] 南峰, 李有利, 史兴民. 新疆玛纳斯河水量波动与气候变化之间的关系[J]. 水土保持研究, 2003, 10(3): 59-61.
- [9] 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, 2008, 2(2): 131-145.
- [10] Bolch T, Menounos B, Wheate R. Landsat-based inventory of glaciers in western Canada, 1985-2005[J]. Remote Sensing of Environment, 2010, 114(1): 127-137.
- [11] 王银生, 仇家琪. 天山博格达峰地区现代冰川分布特征[J]. 冰川冻土, 1983, 5(3): 17-23.
- [12] 胡汝骥. 天山东部喀尔里克山峰区的冰川作用[J]. 干旱区地理, 1979: 69-82.
- [13] 仇家琪, 邓养鑫. 天山博格达峰地区的雪崩[J]. 冰川冻土, 1983, 5(3): 227-234.
- [14] 赵俊荣, 晋绿生, 彭擎宇, 等. 准葛尔盆地南缘沙尘暴大风气候特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(3): 104-106.
- [15] 陈永川, 范泽, 曹艳, 等. 吐鲁番盆地最高最低气温的气候变化特征[J]. 农技服务, 2010, 27(10): 1307-1308.
- [16] 姜珊, 杨太保, 王秀娜, 等. 1973年布喀塔格峰冰川波动对气候变化的响应[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(3): 47-52.
- [17] 钱亦兵, 吴世新, 吴兆宁, 等. 喀尔里克山冰川资源近50a来的变化及保护对策[J]. 干旱区地理, 2011, 34(5): 719-725.
- [18] 韩雪云, 杨青, 姚俊强. 新疆天山山区近51年来降水变化特征[J]. 水土保持研究, 2013, 20(2): 139-144.
- [19] 中国科学院兰州冰川冻土研究所, 中国冰川概论[M]. 北京: 科学出版社, 1988: 238-242.
- [20] IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Group I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Geneva, Switzerland, 2007.
- [21] 肖铤. 试论大气中的水汽与我国现代高山冰川分布的关系[J]. 冰川冻土, 1981, 3(1): 1-13.
- [22] Oerlemans J. Extracting a climate signal from 169 glacier records[J]. Science, 2005, 308(5722): 675-677.
- [23] Raper S C B, Brown O, Braithwaite R J. A geometric glacier model for sea level change calculations[J]. Journal of Glaciology, 2000, 46(145): 357-368.
- [24] 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.
- [25] 张华伟, 鲁安新, 王丽红, 等. 祁连山疏勒南山地区冰川变化的遥感研究[J]. 冰川冻土, 2011, 33(1): 8-13.
- [26] 李治国, 姚檀栋, 叶庆华, 等. 1980—2007年喜马拉雅东段洛扎地区冰川变化遥感监测[J]. 地理研究, 2011, 30(5): 939-952.
- [27] 何毅, 杨太保, 田洪阵, 等. 近23年来北天山冰川面积变化对气候的响应[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(3): 53-60.

(上接第211页)

- [6] 刘艳华. 区域土的液限和塑限的相关性分析[J]. 长江科学院院报, 2001, 18(1): 28-30.
- [7] 李卓, 吴普特, 冯浩, 等. 黏粒质量分数对土壤水分蓄持能力影响的模拟试验[J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(5): 94-99.
- [8] 蒋建平, 罗国煜. 苏通大桥地基粉质黏土物性指标相关关系试验研究[J]. 岩土力学, 2008, 29(6): 1670-1676.
- [9] 艾海舰. 土壤持水性及孔性的影响因素浅析[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(3): 75-77.
- [10] Husein Malkawi A I, Alawneh A S, Abu-Safaqah O T. Effects of organic matter on the physical and the physicochemical properties of an illitic soil[J]. Applied Clay Science, 1999, 14(5): 257-278.
- [11] 郑粉莉, 唐克丽, 周佩华. 坡耕地细沟侵蚀影响因素的研究[J]. 土壤学报, 1989, 26(2): 109-116.
- [12] 赵西宁, 吴普特, 冯浩, 等. 坡面土壤侵蚀产沙的神经网络模拟[J]. 土壤学报, 2006, 43(2): 324-327.
- [13] 曹成林, 孙永福, 董斌. 不同粘粒含量粉质土的动力强度特性研究[J]. 海岸工程, 2009, 28(3): 27-32.
- [14] 胡华. 黏粒含量对淤泥质软土流变参数的影响及其机理分析[J]. 岩土工程界, 2005, 8(11): 32-35.
- [15] 陈铁林, 周成, 沈珠江. 粘土变形特性分析[J]. 岩土力学, 2004, 25(4): 522-528.