

张其兵,康世昌,张国帅.念青唐古拉山脉西段雪线高度变化遥感观测[J].地理科学,2016,36(12):1937-1944.[Zhang Qibing, Kang Shichang, Zhang Guoshuai. Changes of Snow Line Altitude for Glaciers on Western Nyainqentanglha Range Observed by Remote Sensing. Scientia Geographica Sinica, 2016, 36(12): 1937-1944.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2016.12.020

念青唐古拉山脉西段雪线高度变化遥感观测

张其兵^{1,2},康世昌^{2,3},张国帅³

(1.湖南文理学院资源环境与旅游学院,湖南 常德 415000;2.中国科学院寒区旱区环境与工程研究所冰冻圈科学国家重点实验室,甘肃 兰州 730000;3.中国科学院青藏高原研究所环境变化与地表过程重点实验室,北京 100101)

摘要:利用 Landsat TM/ETM+/8 OLI 和 HJ1A 遥感影像资料作为数据源,通过目视解译方法,提取念青唐古拉山脉西段雪线高度变化值,同时对研究区周边气温与降水变化趋势进行分析,研究其与冰川变化的关系。结果表明:2004~2013 年北坡 13 条冰川和南坡 15 条冰川的雪线高度都呈升高的趋势;从整体上来考察,北坡雪线高度升高值为 14 m/a,南坡升高值为 4.9 m/a,北坡升高速度比南坡快;自 1964 年以来,研究区气温升高趋势显著,降水增加不明显,气候变暖是冰川退缩的主要原因;北坡冰川比南坡冰川经历更大的物质负平衡,主要是由于气温的升高率北坡比南坡快所致。

关键词:念青唐古拉山脉西段;雪线高度;遥感;气候变化

中图分类号:P951 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-0690(2016)12-1937-08

冰川变化是全球气候变化的良好指示器^[1,2]。全球和区域气候变化影响冰川(冰盖)面积(area)、高程(elevation)、平衡线高度(ELA, Equilibrium Line Altitude)变化等,反过来冰川(冰盖)变化又影响地区和全球气候,形成正反馈机制^[3-6]。由于冰川所处的特殊自然环境,人工监测只能在点上展开,并且费时费力,因此,对于绝大部分冰川只能通过遥感来监测。冰川物质平衡对气候变化具有高度敏感性,雪线高度(SLA, Snow Line Altitude)可以作为 ELA 的一个好的替代,利用遥感手段监测冰川雪线高度变化进而监测物质平衡与气候变化^[7]。用遥感影像来提取雪线,主要是利用近红外波段影像,该波段在湿雪与冰表面上不易饱和,其反射率与雪粒径的大小及雪冰表面上的湿润度有关。

青藏高原随着气温的升高,冰川经历强烈的物质负平衡,随着海拔的升高,增暖的趋势更明显,青藏高原冰川物质平衡呈现空间分异特征,念青唐古拉山脉西段是青藏高原主要冰川集中区之一,冰储量变化研究显示,2003~2009 年间冰川高程变化值为 -0.30 ± 0.13 m/a,其中古仁河口冰川

2005~2010 年物质平衡为 -0.312 m w.e.^[8,9]。冰川面积变化研究显示,自 1970 以来,念青唐古拉山脉西段北坡纳木错流域冰川面积变化率位于 -6.8% ~ -18.2% 之间,念青唐古拉山脉东南坡的冰川面积变化率在 -5.2% ~ -5.8% 范围内,面积减小率北坡比南坡大,北坡扎当冰川比南坡的拉弄、爬努、西布和汤色 2 号冰川的退缩速度快^[10-18]。本文将对该区域的雪线高度变化进行研究,从另一侧面探讨冰川与气候变化的相互关系。

1 研究区概况

念青唐古拉山脉西段位于青藏高原的中南部,呈北东-西南走向,西起尼木县,向东北延伸至当雄县,范围为 29.8°N ~ 31.1°N , 89.9°E ~ 91.6°E ,平均高度 $5\,500$ m^[14,15], $6\,000$ m 以上的山峰有 30 多座,超过 $7\,000$ m 的有 4 座,念青唐古拉主峰位于 $30^{\circ}23.33'\text{N}$, $90^{\circ}34.57'\text{E}$,海拔 $7\,117$ m^[16](图 1)。念青唐古拉山脉西段夏季受印度季风的控制,冬季受西风带的控制^[16]。夏季接受强烈的太阳辐射和印度季风带来丰富的水汽,5~9 月是湿季,盛行东

收稿日期:2015-12-09;**修订日期:**2016-02-20

基金项目:湖南文理学院博士科研启动项目、中科院重点部署项目(KJZD-EW-G03-04)、国家杰出青年科学基金(41225002)资助。
[Foundation: Initial Scientific Research Programme for Doctors in Hunan University of Arts and Science, CAS Key Deployment Project (KJZD-EW-G03-04), National Natural Science Funds for Distinguished Young Scholar(41225002).]

作者简介:张其兵(1975-),男,安徽安庆人,博士,讲师,主要从事冰川遥感研究。E-mail: 10555108@qq.com

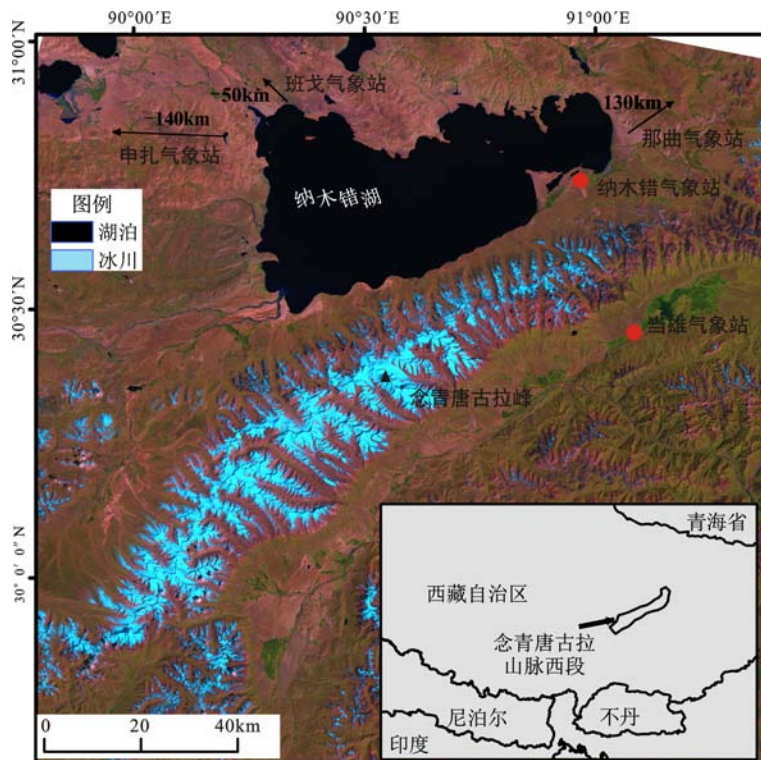


图1 念青唐古拉山脉西段冰川分布

Fig.1 Glacier distribution in the western Nyainqentanglha Range, Tibetan Plateau

南风,降水主要集中在7~9月;10月到次年4月是干季,受低太阳高度角和强烈的西风影响,空气寒冷干燥^[11,13]。研究区临近的当雄、那曲、班戈与申扎气象站近50 a来的气温与降水数据被用来分析该区域气候变化趋势。那曲、班戈与申扎气象站距离纳木错湖分别为130 km,50 km和140 km。

2 数据来源与方法

2.1 数据来源

用来进行雪线提取的遥感影像获取日期优先选取冰川消融季末期,因为该时间段内有最小的积雪面积。选用每年消融季全部可用的遥感影像,取其中雪线高度最高的作为当年的平衡线。念青唐古拉山脉西段在8月与9月雪覆盖最少,故尽量选取该时间段内的影像。云的影响也限制了遥感影像的选取。本文选取的影像类型有 LandsatMSS/TM/ETM+/8 OLI 和 HJ1A,来自美国地质调查局 USGS(<http://earthexplorer.usgs.gov/>)和中国资源卫星应用中心(<http://www.cresda.com>)。念青唐古拉山脉西段由于积累期与消融期重叠,8、9月天空云量多,获得的影像质量比较差,真正可以利用的影

像数量少,只选取了跨度为7 a共14景数据。其中2005年、2006年与2007年的影像只能以7月份的来代替,该时间段内的雪线高度可能比实际值要偏低。尽管从2003年5月以后 Landsat ETM+影像扫描线校正器(scan line corrector)失效,减少了可以用来进行雪线测定的冰川数目,但仍旧有些冰川被清晰地记录并可以利用来进行雪线的提取。

2.2 雪线高度提取方法

冰川表面可以分为积累区和消融区,消融区包括裸冰和冰碛覆盖下的冰川,积累区包括附加冰、湿雪、渗浸带和干雪带^[3,21]。由于冰川表面雪粒径大小、含水量和雪中颗粒物浓度的差别,可见光在积累区的反射率要大于消融区^[22,23]。利用遥感影像观测到的雪线是季节雪线(Seasonal Snow Line),也称瞬时雪线(TSL, Transient Snow Line),它随季节而变化,冬季低,夏季高^[24]。在大陆性冰川的雪线附近有附加冰带,它的下界才是真正的雪线。通过消融季末期遥感影像获取的雪线,大致相似于冰川物质平衡线。本研究从USGS下载的 Landsat MSS、TM、ETM+和8OLI影像都是L1T/L1G产品,L1T数据产品经过系统辐射校正和

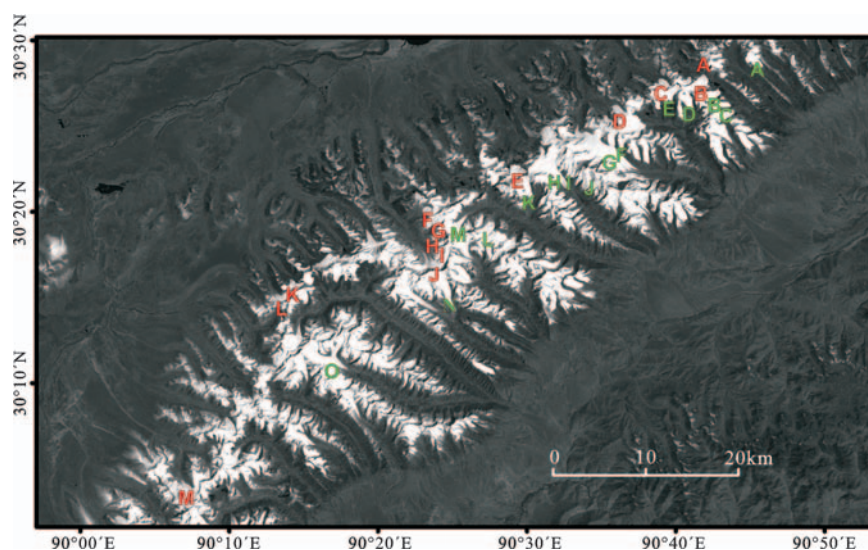
地面控制点几何校正,并且通过DEM进行了地形校正。自2003年5月31日开始,Landsat7 ETM+影像数据有22%的数据条带丢失^[25],需要进行数据填补。本研究中用ENVI 4.8中的tm_destripe模块进行去条带处理。对于HJIA影像,几何畸变严重,需要进行正射纠正。启动ERDAS IMAGINE 9.3中地形校正(Geometric correction)模块,以2004年9月9日Landsat-7 TM L1T影像做参考影像,以V4.1 SRTM DEM为地形参考,均匀地选取19个地面控制点,校正后的影像RMS均方根误差在一个像元内。把念青唐古拉山脉西段所有的影像配准到该区域2004年09月09日Landsat-7 TM L1T影像上,配准误差在一个像元以内,采用统一的投影、水准面和椭球体(WGS84椭球体,UTM投影)。在消融季末期的遥感影像上,不同物质的光谱值有足够的差异性,雪线很容易被目视识别,雪线高度为冰川冰连续地被雪覆盖的最高高程。应用自动运算法则来区分雪线会变得困难,并且某一运算法则并不适合所有的影像,如针对TM/ETM+影像的band 3/band 5、band 4/band 5和均一化差异雪盖指数(NDSI, Normalize difference snow index)运算法则,针对主成份影像的最大似然分类法等^[26]。本研究中我们采用目视解译人工手绘法。雪线勾画在几乎是连续的雪盖的最高海拔处,并且穿越整个冰表面的宽度,把雪线叠加在SRTM DEM上来提取雪线高程。本研究中所用到

的SRTM DEM下载自中国科学院计算机网络信息中心SRTM国际科学数据镜像服务系统(<http://srtm.datamirror.csdb.cn>),SRTM V4.1 DEM数据填补了空洞,经度与纬度间隔都是5°。念青唐古拉山脉西段的28条冰川(图2)被用来提取雪线高度。先把雪线从矢量转化成栅格的形式,统计雪线与DEM相交的所有像元的高程,进而获得每条冰川每年雪线高度的平均值、最大值、最小值和标准差,以上操作在ArcGIS 9.3中完成。雪线高程的不确定性是由于雪覆盖、雪线季节性差异、冰川表面高程变化及DEM的误差等造成的。本研究中的标准偏差不包括这些不确定性因素引起的误差,仅仅反应每一条冰川的表面高程变化。

3 结果与分析

单条冰川的雪线高度及其随时间变化的不同趋势反应了不同山谷的积累和消融的状况。由于念青唐古拉山脉西段地区消融期与积累期重合,8月和9月的遥感影像云量多,用来进行雪线高度变化计算的冰川具有随机性,且从2004~2013年雪线高度的数值不连续,有些冰川只有3个年份值。因此,对于南坡与北坡单条冰川的雪线高度及总的平均雪线高度不讨论,我们只讨论单条冰川的变化趋势及南坡与北坡平均雪线高度的变化趋势。

南坡与北坡所有冰川的雪线高度都呈升高的趋势,一些时间系列数据少的冰川呈稳定的升高



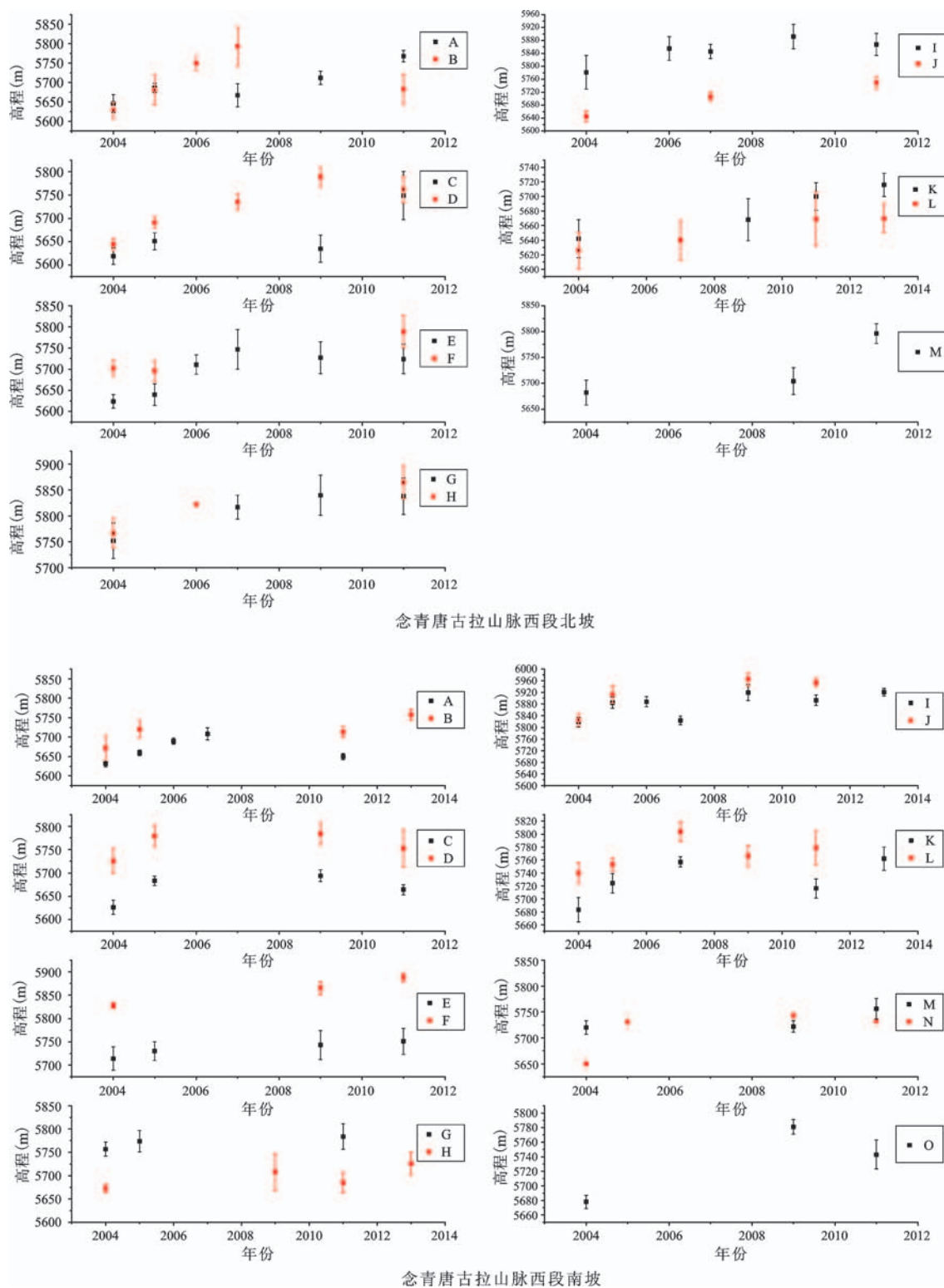
注:绿色字母表示南坡冰川,红色字母表示北坡冰川。

图2 念青唐古拉山脉西段研究雪线高度变化的冰川位置

Fig.2 Location of glaciers studied for SLA variation in the western Nyainqentanglha Range

趋势(北坡的H、J、K、L和M冰川,南坡的E、F、G和M冰川),其它的冰川有较大的年际波动,但总

的趋势是升高的(图3,表1)。不同的冰川有不同的变化趋势,体现了单条冰川的独特动力学机制。



注:误差条代表平均值的一个标准差。

图3 念青唐古拉山脉西段单条冰川的雪线高度年际变化

Fig.3 SLAs annual variation for each glacier in the western Nyainqentanglha Range

表1 念青唐古拉山脉西段单条冰川雪线高度的平均值、标准差和线性变化趋势

Table 1 Summary of mean, standard deviation and linear variation trend for individual glacier SLAs in the western Nyainqentanglha Range

北坡冰川	平均(m a.s.l.)	标准差(m)	线性趋势(m/a)	R^2	P
A	5696	47	14.95	0.82	0.03
B	5707	65	5.14	0.05	0.73
C	5664	58	13.54	0.59	0.24
D	5724	58	17.92	0.79	0.04
E	5696	51	14.32	0.54	0.10
F	5729	52	13.5	0.96	0.12
G	5812	41	12.74	0.85	0.08
H	5818	49	12.96	0.91	0.20
I	5848	41	12.25	0.64	0.10
J	5700	52	14.64	0.97	0.12
K	5682	33	8.32	0.95	0.03
L	5651	22	5.32	0.96	0.02
M	5727	60	14	0.7	0.37
南坡冰川	平均(m a.s.l.)	标准差(m)	线性趋势(m/a)	R^2	P
A	5668	31	1.1	0.01	0.88
B	5716	35	6.22	0.61	0.22
C	5667	30	4.07	0.2	0.55
D	5760	27	2.65	0.1	0.68
E	5735	16	4.69	0.92	0.04
F	5860	30	8.35	1	0.07
G	5772	14	3.1	0.74	0.34
H	5698	24	4.72	0.59	0.23
I	5878	42	8.55	0.45	0.10
J	5914	63	16.18	0.72	0.15
K	5728	32	4.95	0.35	0.29
L	5768	25	4.68	0.3	0.34
M	5733	20	4.23	0.57	0.46
N	5714	43	8.91	0.47	0.32
O	5734	52	11.46	0.63	0.42

对雪线高度平均值的分析得出,念青唐古拉山脉西段北坡雪线高度从2004年的5 647±58 m a.s.l.上升到2011年的5 764±67 m a.s.l.,每年上升14 m($R^2=0.45$, $P=0.14$),呈明显的上升趋势。念青唐古拉山脉西段南坡雪线高度从2004年的5 716±67 m a.s.l.上升到2013年的5 792±88 m a.s.l.,每年上升了4.9 m($R^2=0.36$, $P=0.152$),雪线高度也呈较为明显的上升趋势(图4),这种变化趋势亦未考虑雪覆盖、雪线季节性差异、冰川表面高程变化及DEM误差等导致的误差。北坡相对于南坡来说雪

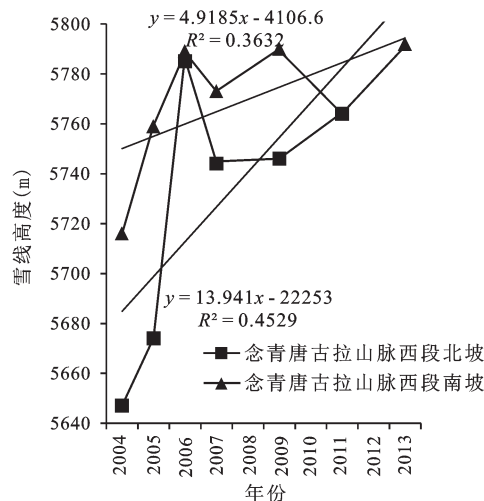


图4 2004~2013年念青唐古拉山脉西段北坡与南坡平均雪线高度变化趋势比较

Fig.4 Comparison of the average SLAs variation trend for the Northern and Southern slope of the western Nyainqentanglha Range in 2004-2013

线高度经历相对稳定的上升过程,少一些波动性。北坡雪线高度上升速度比南坡快,说明北坡经历更大的物质负平衡。单条冰川的雪线高度变化没有一致的模式,可能是由于冰川的坡度坡向不同引起降水、气温和太阳入射辐射的不同造成的。

念青唐古拉山脉附近的班戈、那曲、申扎和当雄气象站有长时间序列(1964~2012年)的气象资料,可以被用来分析本区域气候变化。4个气象站点1964~2012年冬半年(10~3月)和夏半年(4~9月)气温和降水年际变化趋势见图5和图6。可以看出,冬半年增温趋势显著,增温速率为0.41~0.67℃/10a,如邻近纳木错流域的那曲气象站冬半年增温速率达到0.67℃/10a,冬半年降水量也呈增加趋势,但不明显;同时期夏半年气温和降水也呈上升趋势,气温的增温速率为0.25~0.36℃/10a,略低于冬半年气温的增长幅度。

念青唐古拉山脉西段2004~2006年雪线高度持续增加且变化率大,主要是由于该时间段内夏季气温升高,降水明显减少所致。2006年以后,雪线高度处于震荡之中甚至有所下降,主要是由于气温和降水处于波动状态。其它因素如降水的季节性分布与降水形态的差异,也可能导致冰川表面物质平衡的年际差异^[27, 28]。北坡的典型冰川扎当冰川(编号为C)上升速率明显大于南坡的典型冰川西布冰川(编号为F)和爬努冰川(编号为I)。冰川高

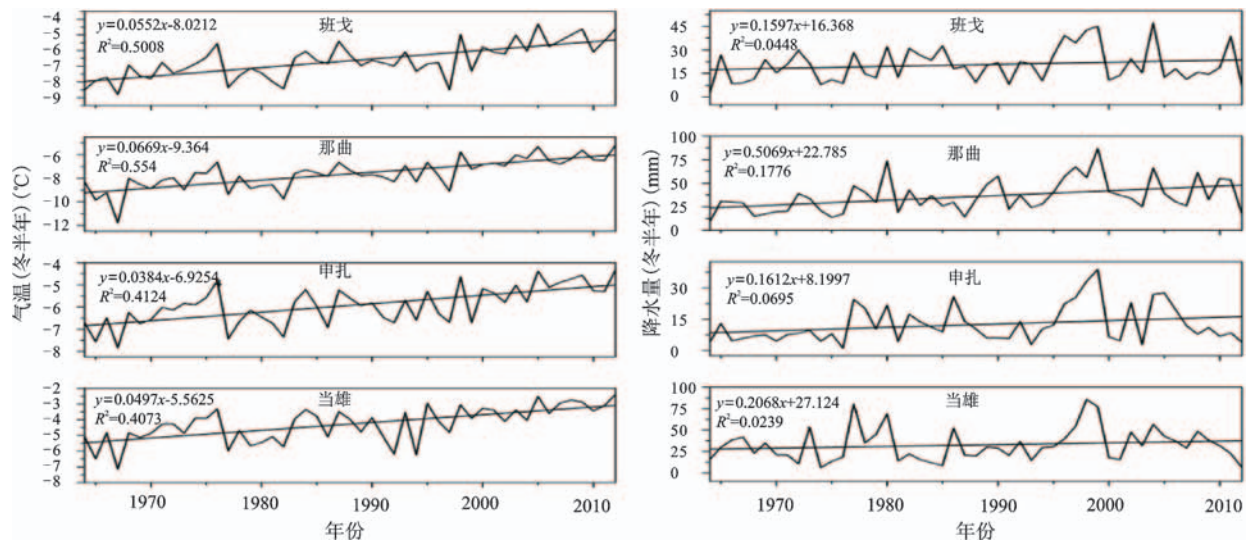


图5 念青唐古拉山脉西段邻近4个气象站点冬半年平均气温和降水量的年际变化

Fig.5 Variations of annual temperature and precipitation in winter half year for the four meteorological stations adjacent to the western Nyainqentanglha Range

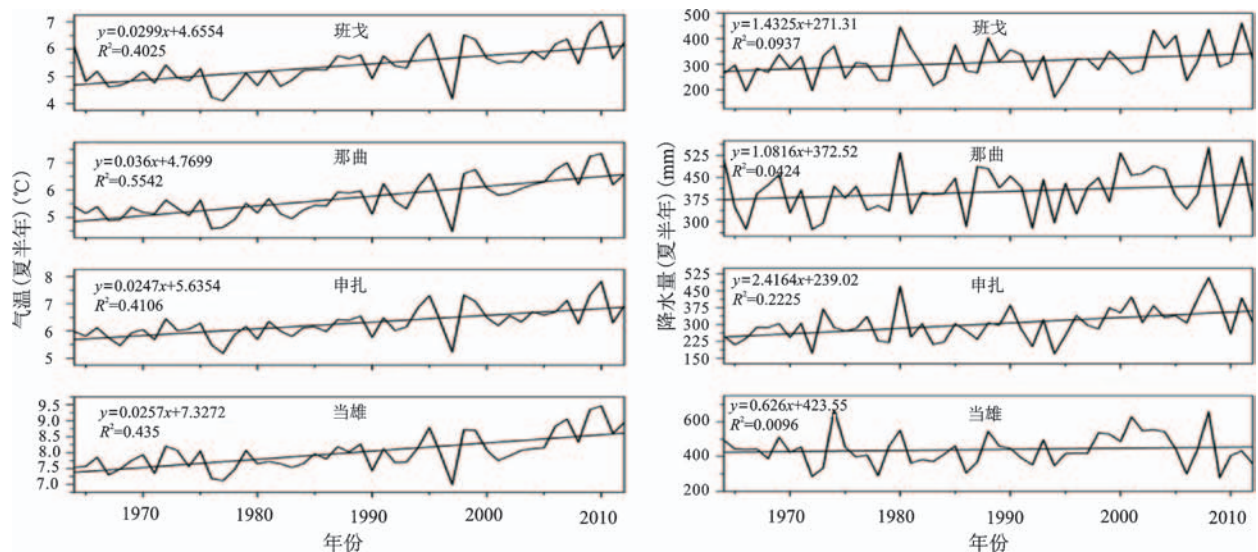


图6 念青唐古拉山脉西段邻近4个气象站点夏半年平均气温和降水量的年际变化

Fig.6 Variations of annual temperature and precipitation in summer half year for the four meteorological stations adjacent to the western Nyainqentanglha Range

程、面积与雪线高度变化趋势有很好的-致性,都显示该区域冰川呈萎缩状态,主要是气温升高所致。北坡冰川比南坡冰川经历更大的物质负平衡,主要是由于夏季气温的升高率北坡比南坡快^[16]。

4 结论

本文利用 Landsat MSS/TM/ETM+/8 OLI 和 HJ1A 影像数据资料,对念青唐古拉山脉西段

2000~2013年的雪线高度变化进行研究,结果表明念青唐古拉山脉西段北坡13条冰川和南坡15条冰川的雪线高度都呈升高的趋势,北坡雪线高度每年上升14 m,南坡雪线高度每年上升了4.9 m,北坡雪线高度上升速度比南坡快。结合前人对面积变化的研究,念青唐古拉山脉西段冰川面积减少,雪线高度升高,北坡冰川萎缩的强度比南坡大,主要是由于该地区气温升高,且夏季气温的升

高率北坡比南坡快所致。

基于遥感观测的雪线高度变化能科学地反应冰川变化,与其它参数如面积和高程的变化趋势一致。由于该研究区域消融季末期天空云量多,可用的光学影像数量少,导致时间系列数据缺失,冰川变化趋势精度有局限。后续的研究中,将利用微波影像来弥补充光学影像的不足,及时动态地监测冰川与气候变化。

参考文献(References):

- [1] Haeberli W, Hoelzle M, Paul F et al. Integrated monitoring of mountain glaciers as key indicators of global climate change: the European Alps[J]. *Annals of Glaciology*, 2007, 46: 150-160.
- [2] Oerlemans J. Quantifying global warming from the retreat of glaciers[J]. *Science*, 1994, 264(5156): 243-245.
- [3] Cuffey K, Paterson W. The physics of glaciers[M]. Butterworth-Heinemann/Elsevier, 2010.
- [4] Haeberli W. Glacier fluctuations and climate change detection [J]. *Geogr Fis Dinam Quat*, 1995, 18: 191-199.
- [5] Oerlemans J. Glaciers and climate change[M]. Taylor & Francis, 2001.
- [6] Oerlemans J, Giesen R H, Van den Broeke M R. Retreating alpine glaciers: increased melt rates due to accumulation of dust (Vadret da Morteratsch, Switzerland) [J]. *Journal of Glaciology*, 2009, 55(192): 729-736.
- [7] Rabatel A, Dedieu J-P, Vincent C. Using remote-sensing data to determine equilibrium-line altitude and mass-balance time series: validation on three French glaciers, 1994-2002[J]. *Journal of Glaciology*, 2005, 51(175): 539-546.
- [8] Yao T, Thompson L, Yang W et al. Different glacier status with atmospheric circulations in Tibetan Plateau and surroundings [J]. *Nature Climate Change*, 2012, 2(9): 663-667.
- [9] Gardner A S, Moholdt G, Cogley J G et al. A reconciled estimate of glacier contributions to sea level rise: 2003 to 2009[J]. *Science*, 2013, 340(6134): 852-857.
- [10] 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.
- [11] Wang X, Siegert F, Zhou A-g et al. Glacier and glacial lake changes and their relationship in the context of climate change, Central Tibetan Plateau 1972-2010[J]. *Global and Planetary Change*, 2013, 111: 246-257.
- [12] Wu Y, Zhu L. The response of lake-glacier variations to climate change in Nam Co Catchment, central Tibetan Plateau, during 1970-2000[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2008, 18(2): 177-189.
- [13] 陈锋, 康世昌, 张拥军, 等. 纳木错流域冰川和湖泊变化对气候变化的响应 [J]. *山地学报*, 2009, 27(6): 641-647.[Chen Feng, Kang Shichang, Zhang Yongjun et al. Glaciers and lake change in response to climate change in the Nam Co basin, Tibet. *Journal of Mountain Science*, 2009, 27(6): 641-647.]
- [14] 康世昌, 杨永平, 朱立平, 等. 青藏高原纳木错流域现代环境过程及其变化[M]. 北京: 气象出版社, 2010.[Kang Shichang, Yang Yongping, Zhu Liping et al. Modern environmental process and its changes in the Nam Co basin of Qinghai Tibet Plateau. Beijing: China Meteorological Press, 2010.]
- [15] 王旭, 周爱国, Florian S, 等. 念青唐古拉山西段冰川 1977-2010 年时空变化[J]. *地球科学(中国地质大学学报)*, 2012, 37(05): 1082-1092.[Wang Xu, Zhou Ai-guo, Florian S et al. Glacier temporal-spatial change characteristics in western Nyainqentanglha range, Tibetan Plateau 1977-2010. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 2012, 37 (5): 1082-1092.]
- [16] Yu W, Yao T, Kang S et al. Different region climate regimes and topography affect the changes in area and mass balance of glaciers on the north and south slopes of the same glacierized massif (the West Nyainqentanglha Range, Tibetan Plateau) [J]. *Journal of Hydrology*, 2013, 495: 64-73.
- [17] 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.[Shangguan Donghui, Liu Shiyin, Ding Liangfu et al. Variation of glaciers in the western Nyainqentanglha range of Tibetan Plateau during 1970-2000. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2008, 30(2): 204-210.]
- [18] 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. [Wu Yanhong, Zhu Liping, Ye Qinghua et al. The response of lake-glacier area change to climate variations in Nam Co basin, central Tibetan Plateau, during the last three decades. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(3): 301-311.]
- [19] 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.
- [20] Kang S, Chen F, Gao T et al. Early onset of rainy season suppresses glacier melt: a case study on Zhadang glacier, Tibetan Plateau [J]. *Journal of Glaciology*, 2009, 55(192): 755-758.
- [21] Williams R S, Hall D K, Benson C S. Analysis of glacier facies using satellite techniques[J]. *Journal of Glaciology*, 1991, 37 (125): 120-128.
- [22] Orheim O, Lucchitta B K. 1987. Snow and ice studies by Thematic Mapper and multispectral scanner Landsat images[J]. *Annals of Glaciology*, 9: 109-118.
- [23] Østrem G. ERTS data in glaciology--an effort to monitor glacier mass balance from satellite imagery[J]. *Journal of Glaciology*, 1975, 15: 403-415.
- [24] 谢自楚, 刘潮海. 冰川学导论[M]. 上海: 上海科学普及出版社, 2010. [Xie Zichu, Liu Chaohai. Introduction to glacial Science. Shanghai: Shanghai popular science press, 2010.]
- [25] Chander G, Markham B L, Helder D L. Summary of current ra-

- diometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2009, 113(5): 893-903.
- [26] Hanshaw M N, Bookhagen B. Glacial areas, lake areas, and snow lines from 1975 to 2012: status of the Cordillera Vilcanota, including the Quelccaya Ice Cap, northern central Andes, Peru [J]. *Cryosphere*, 2014, 8(2): 359-376.
- [27] Zhang G, Kang S, Fujita K et al. Energy and mass balance of Zhadang glacier surface, central Tibetan Plateau[J]. *Journal of Glaciology*, 2013, 59(213): 137-148.
- [28] 周石硕, 康世昌, 高坛光, 等. 纳木错流域扎当冰川径流对气温和降水形态变化的响应[J]. *科学通报*, 2010, 55(18): 1781-1788.[Zhou Shiqiao, Kang Shichang, Gao Tanguang et al. Response of Zhadang glacier runoff in Nam Co basin, Tibet, to changes in air temperature and precipitation form. *Chinese Science Bulletin*, 2010, 55(18): 1781-1788.]

Changes of Snow Line Altitude for Glaciers on Western Nyainqentanglha Range Observed by Remote Sensing

Zhang Qibing^{1,2}, Kang Shichang^{2,3}, Zhang Guoshuai³

(1. *College of Resource Environment and Tourism, Hunan University of Arts and Science, Changde 415000, Hunan, China;*

2. *State Key Laboratory of Cryospheric Sciences, Cold and Arid Region Environment and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou 730000, Gansu, China;*3. *Key Laboratory of Tibetan Environment Changes and Land Surface Processes,*

Institute of Tibetan Plateau Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: Glaciers in the Tibetan Plateau have experienced change in recent decades with the climate change, and the change trend were not homogeneous. The variation of snow line altitude (SLA) can indicate the glacier change. The changes of SLA for glaciers in the western Nyainqentanglha Range can be detected by remote sensing images obtained at the end of ablation season, such as Landsat TM/ETM+/8 OLI and HJ1A images, when eye interpretation technology were used to extract snow line. Meanwhile, the variation trend of temperature and precipitation recorded by 4 meteorological stations adjacent to the research area were analyzed, so as to find its influence on glacier change. The results showed that SLA of total studied 28 glaciers rose obviously in 2004-2013. SLA on north slope as a whole raised 14 m/a, while 4.9 m/a on south slope. The air temperature in the studied area rose obviously, precipitation rose slowly since 1964. Climate warming is the main cause for glacier recession. Glaciers on north slope experienced more negative mass balance than south slope, because the rate of air temperature increase on the north is higher than that on the south.

Key words: the western Nyainqentanglha Range; snow line altitude; remote sensing; climate change