

新疆天山山区积雪时空变化分析

郝靖宇, 高敏华* (新疆大学资源与环境科学学院, 新疆乌鲁木齐 830046)

摘要 利用天山山区 MOD10A2 的积雪产品与 6 个气象观测站平均气温和日照时间资料, 分析该区积雪的时空变化特征及其影响因素, 得出以下结论: ①2000—2018 年积雪覆盖率年内分布呈“U”形变化, 1—8 月份积雪覆盖率呈现直线下降趋势, 从 9 月初开始呈上升趋势, 积雪覆盖率最高值 51.88%, 最小值 4.41%。②2000—2018 年积雪覆盖频率 >700 次的积雪区约占山区总面积的 3.53%, 介于 500~700 次, 即年平均为 25~35 次的占天山山区总面积的 29.43%, 介于 200~400 次的占天山山区总面积的 64.34%。③不同年份的积雪覆盖比最小值出现的日期不尽一致, 积雪极值出现时间有后移的现象。2000—2018 年积雪覆盖比呈现上升趋势, 说明天山山区的整体积雪总量在增加。④温泉和达坂城站点日照时间与积雪覆盖率呈现此消彼长的变化趋势。哈密和乌恰 2 个站点日照时间呈现上升趋势, 而积雪覆盖率呈现先增再减再增的趋势, 说明日照时间对积雪覆盖率的影响较小。天山山区气温在 2010 年以后出现一次急速下降的趋势, 而积雪覆盖率呈现较为缓和的上升趋势。积雪覆盖率与气温呈现反向变化趋势, 每年的平均气温最低在 $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$, 最高在 $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。

关键词 新疆天山; 积雪; MODIS; 温度

中图分类号 P 426.63+ 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)14-0203-06

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.14.057



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Analysis on Temporal and Spatial Variation of Snow Cover in Tianshan, Xinjiang

HAO Jing-yu, GAO Min-hua (College of Resource and Environment Sciences, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046)

Abstract The temporal and spatial variation characteristics of snow cover and the influencing factors in Tianshan Mountain area were analyzed by using the snow products of MOD10A2 and the mean temperature and sunshine time data of six meteorological observations. The main conclusions were as follows: ①The distribution of snow shows a U-shaped change in the year 2000—2018, with a straight downward trend in snow cover from January to August and an upward trend beginning at the beginning of September, with a maximum snow cover of 51.88% minimum of 4.41%. ②The snow cover frequency more than 700 times accounts for about 3.53% of the total mountain area, between 500 times and 700 times, that is, between 25 times and 35 times per year, accounts for 29.43% of the total area of Tianshan Mountain area, between 200 times and 400 times, accounts for 64.34% of the total area of Tianshan Mountain area in the year 2000—2018. ③The dates of the minimum value of snow cover ratio in different years are not the same, and the extreme value of snow appears the phenomenon of time backward. The snow cover ratio shows an upward trend, which indicates that the total amount of snow cover in Tianshan Mountain area is increasing in the year 2000—2018. ④Hot springs and Dabancheng site sunshine time and snow coverage shows a change trend of one growth or another. Hami and Ucha stations, sunshine time shows an upward trend, however, snow cover tends to increase and decrease first and then increase. From this point of view, sunshine time has little effect on snow cover. The temperature in the mountainous area of Tianshan appeared a rapid downward trend after 2010, while the snow cover showed a more moderate upward trend. Snow cover and temperature shows a reverse change trend. And the lowest of annual average temperature is $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$, the highest is about $8\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Key words Xinjiang Tianshan; Snow cover; MODIS; Temperature

水作为万物之源尤为重要, 然而在西北干旱区水资源分布极其不均, 且主要以冰雪及冰川状态存储。新疆天山山区作为西北干旱区中最大的积雪覆盖地区, 也是中国主要的积雪稳定区^[1], 对新疆生态系统的维护有着重要意义。积雪融水作为新疆各种河流和生态农业的主要水源补给, 直接决定了新疆的经济稳定与生态安全^[2]。特别是山区融雪径流形成的春汛, 对地区农业灌溉具有重要意义^[3-4], 而夏季冰川积雪融水叠加, 极易引起洪水灾害^[5], 严重影响下游社会经济发展。因此, 对天山山区积雪变化进行监测有着至关重要的意义。

针对新疆天山山区积雪监测与变化规律已有大量的研究。如李培基^[1]根据气象台站资料和时间相同的 SMMR 微波积雪数据(时序长达 50 年), 探讨积雪的变化趋势, 分析对气候变暖的响应。高卫东等^[6]基于 1967—2000 年气象站点的实测数据, 对天山山区西部的积雪变化进行分析, 认为积雪与冬季降水呈正相关, 与温度呈负相关。杨建平等^[7]基于长江黄河发源区的 16 个气象站逐日积雪资料分析了该地区积雪的空间分布和年际变化。黄慰军等^[8]利用 29 个有雪密

度观测的气象站时间时序长达 40 年的气象资料对新疆雪密度时空分布及其影响进行了分析, 得出海拔 3 800 m 以上高山, 雪密度随高度的升高呈现升高趋势, 积雪密度最大平均值约 0.191 g/cm^3 。李雪梅等^[9]对 1961—2013 年的气象站点观测雪深和气象数据进行分析, 结果表明: 天山山区气温的变化是影响积雪变化的主要气象因素。

从前人研究可以得出, 众多学者采用站点积雪数据和气象数据或 MODIS 遥感积雪信息与站点气象数据的方法分析新疆及其他地区的积雪变化及其影响因素, 并取得了一定的成果。鉴于此, 笔者基于前人对中国天山山区积雪分布特征研究的方法和结论, 运用 MOD10A2 积雪数据和气象数据, 对中国天山山区的积雪面积时空变化特征以及其影响因素进行了分析。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 天山山区位于中国新疆维吾尔自治区中部($73^{\circ}\sim 95^{\circ}\text{E}$, $38^{\circ}\sim 45^{\circ}\text{N}$), 西至新疆喀什, 东至哈密以东的星星峡戈壁, 东西长达 $1\ 700\text{ km}$ ^[10], 南北最长约 300 km , 呈不规则“X”形^[11](图 1)。天山地形复杂, 山势西高东低, 属于温带大陆性气候, 气温温差较大, 日照时间充足, 蒸降比大, 气候干燥, 且地域差异明显。由于天山山区地势海拔原

作者简介 郝靖宇(1995—), 男, 湖南衡阳人, 硕士研究生, 研究方向: 地理学与地理信息系统。* 通信作者, 副教授, 硕士生导师, 从事生态经济与资源利用研究。

收稿日期 2020-01-05; **修回日期** 2020-03-31

因,使得天山西部和北部山区降水充足,天山东部和南部缺乏降水^[12]。天山山区是新疆三大山系中积雪最为发育的地区,积雪深度在 30 ~ 50 cm 以上^[13],也是我国三大稳定积雪

中心之一^[14]。天山是影响新疆乃至中国西部地区气候和生态环境的重要天然屏障,也是新疆最重要的河流发源地之一。

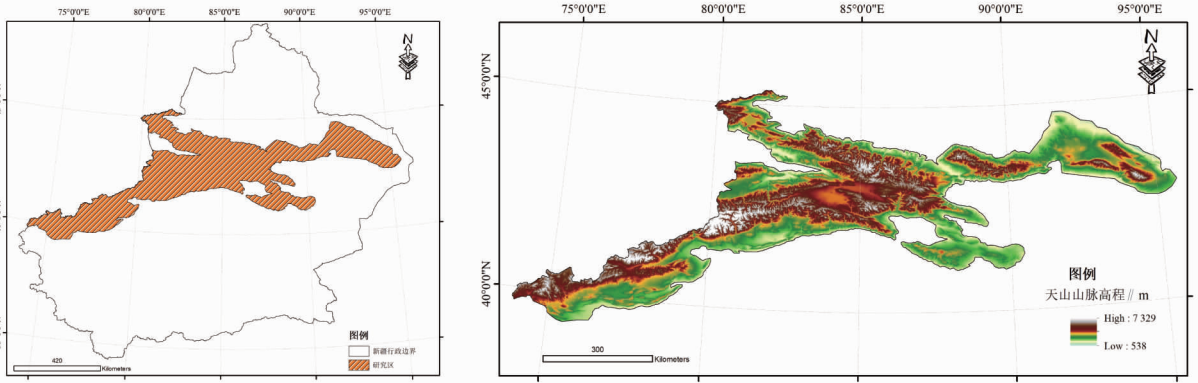


图1 研究区示意

Fig.1 Schematic diagram of the study area

1.2 数据源

1.2.1 积雪数据。选取来源于美国国家冰雪产品数据中心 (NSIDC) 提供的 MOD10A2 的积雪产品,该产品可获取最大积雪像元数,同时云量影响较小,且能够很好的去云处理,效果显著、数据获取方便^[15]。500 m 高分辨率的 MODIS 数据 8 d 合成积雪覆盖。此前已有学者将 MOD10A2 应用于新疆区域积雪研究,识别精度为 87.4%~94.2%^[16-18],能较好地反映山地积雪的真实状况。笔者基于 2001—2018 年的 MOD10A2 积雪产品,对于整体研究区需要 4 幅影像才能全面覆盖天山山区,轨道号分别为 h23v04、h23v05、h24v04 和 h24v05(每年有 46 期,其中缺失 4 期,不纳入统计分析)。

1.2.2 气象数据。气象资料来自于国家气象数据网 (<http://data.cma.cn>),共选取了 6 个国家基本气象站 2000—2012 年的年气温、年降水资料,包括天山山区 2000—2012 年 6 个气象站点的月观测数据,并对缺失的数据进行线性插值补充。

1.3 数据处理

1.3.1 数据预处理。借助 EOS/MODIS 数据中心提供软件 MRT(MODIS Rprojection Tool) 对 MOD10A2 数据进行投影转换与拼接,将坐标系统转换为地理坐标 WG84,投影转换为 Albers 投影,同时为便于进一步分析,采用最邻近法(Nearest neighbor)对数据进行重采样,分辨率与 SRTM 数据一致。将 DEM 数据重采样为 500 m,重投影为和 MOD10A2 参数一致的 Albers 投影。

1.3.2 积雪数据提取。将处理后的数据导入 ArcGIS 软件中,利用天山山区的矢量边界进行裁剪,然后根据 MOD10A2 产品编码及其意义,把编码为 1(snow) 归为积雪,0 为无雪。最后提取并统计研究区年际、年内的积雪像元数,用加权平均计算获取相应的积雪面积和频率。

2 结果与分析

2.1 天山山区积雪覆盖率变化 2000—2018 年的整体多年温度月均值与 2000—2018 年的整体多年积雪覆盖率月均值变化如图 2 所示。由图 2 可见,温度的月变化与积雪覆盖率

的月变化呈相反趋势。其中,积雪覆盖率年内分布呈“U”形变化,1—7 月份积雪覆盖率呈现直线下降趋势,到 7 月末至 8 月初达到最小(4.41%),面积约为 12 679.09 km²;温度呈现单峰型的变化趋势,从 1 月份(-13.4℃)到 7 月份(28.7℃)呈现上升趋势,6 个月的温度变化幅度为 42.1℃。7—12 月份温度变化幅度约 40.1℃。年平均温度变化幅度约 40℃。积雪从 9 月初开始积累,积雪覆盖率不断增大,至 1 月达到最大值(51.88%),面积达到约 164 505.05 km²;随后气温升高积雪逐渐融化,积雪覆盖面积迅速减少。

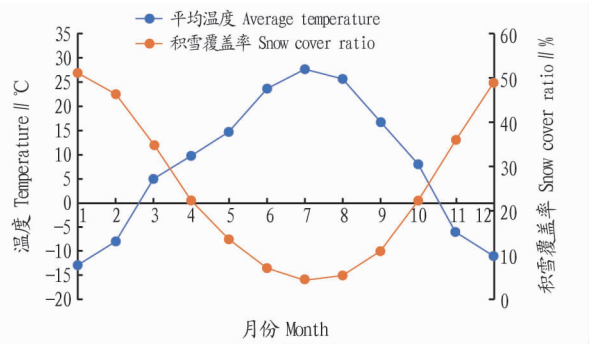


图2 天山山区多年温度与积雪覆盖率变化

Fig.2 Changes in temperature and snow cover ratio for many years in Tianshan Mountain area

为定量研究天山山区积雪面积的年际变化情况,对 2000—2018 年 MOD10A2 积雪数据进行空间统计,得到 19 年来逐 8 d 积雪覆盖比时间序列(图 3)。结果表明,积雪面积周期性变化显著,每年均有 1 次积累和消融过程;最大积雪覆盖比年际变化除 2001 年(55.3%)和 2008 年(54.1%)明显偏低外,其他年份变化不大;从积雪覆盖比的趋势线来看,整体比较平稳,略有上升趋势。

2.2 天山山区积雪频率空间分布特征 为了更加形象地展示积雪覆盖的空间变化,对 2000—2018 年 19 年的积雪进行空间叠加分析,结果如图 4 所示。从图 4 可以看出,积雪覆盖率分为 9 个等级,所以年平均积雪覆盖次数最小约为 5

次,最高约为 45 次。从图 4 可以看出,积雪覆盖频率空间分布差异性较大。其中,全年积雪覆盖频率 >700 次数的地区主要位于高海拔地区天山山脉的山脊,此处主要为常年积雪区和冰川覆盖区,约占天山山区总面积的 3.53%,积雪覆盖次数最高值主要位于伊利地区的天山山脉和乌鲁木齐市北部的天山山脉;全年积雪覆盖次数介于 500 ~ 700 次,即年平均为 25~35 次的地区主要分布在永久积雪区周边、伊犁河谷及天山北麓大部分区域,天山中部和博尔塔拉境内的天山山段,占天山山区总面积的 29.43%,这一区域冬季积雪较丰富,也是河流和冰川形成的主要产流区;全年积雪覆盖次数介于 200~400 次,即年平均为 10~21 次的地区主要分布在天山山区的河谷、东天山以东及博斯腾湖区域及天山南麓大部分中低山区域,面积分布最广,占总面积的 64.34%,该区域积雪次数较少,积雪覆盖持续时间相对较短,是春季河流融

雪补给的主要来源。

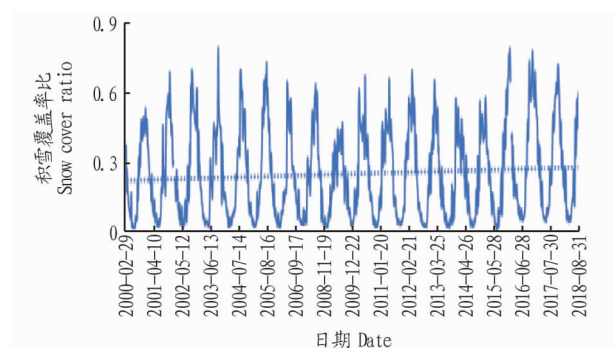


图 3 2001—2018 年天山山区积雪覆盖率比的年际变化

Fig.3 Interannual variation of snow cover ratio in Tianshan Mountain area from 2001 to 2018

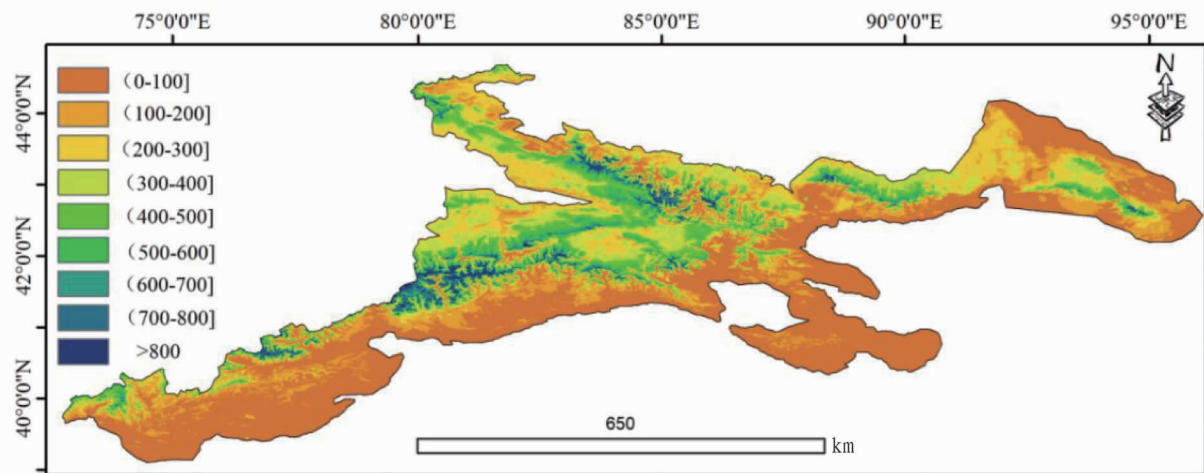


图 4 2000—2018 年天山山区积雪覆盖频率的分布

Fig.4 The distribution of snow cover frequency in Tianshan Mountain area from 2000 to 2018

2.3 天山山区积雪覆盖率极值 从图 5 可以看出,天山山区不同年份的积雪覆盖比最小值出现的日期不尽一致,2000 年积雪最小值出现在 7 月 22 日,2001 年出现在 7 月 23 日,2002 年出现在 8 月 24 日,2003 年出现在 9 月 9 日。可见,2000—2003 年积雪最小值呈推迟的状态,前后变化幅度为 49 d,说

明新疆天山山脉的融雪日期在推迟,可能是由于全球气候变暖,新疆入冬时期延迟,延长了夏季和秋季日期所致。2004—2010 年积雪覆盖比最小值出现日期前后波动变化,变化幅度为 9 d。2011—2013 年,有出现积雪最小值延迟的现象发生,最大为 8 月 8 日,前后变化幅度为 48 d。2014—2017

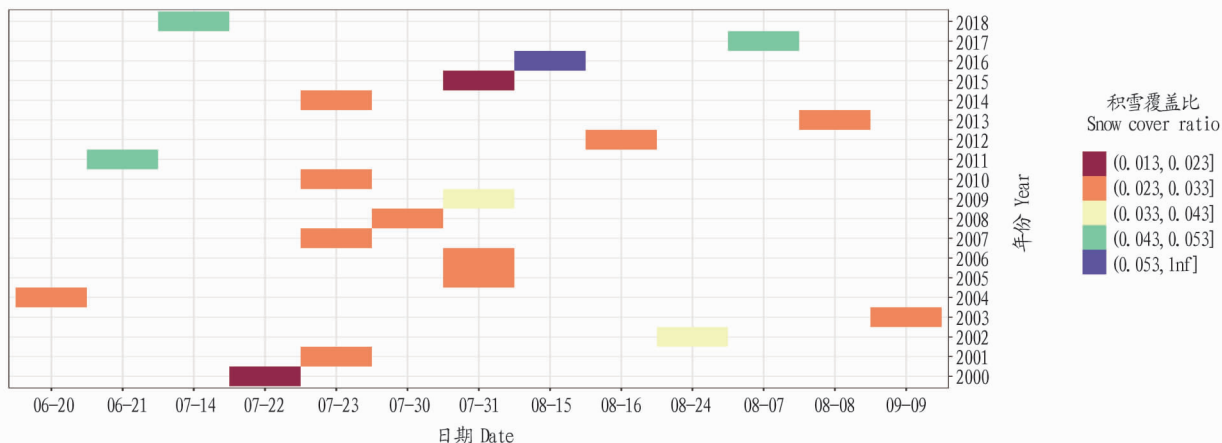


图 5 天山山区积雪覆盖率最小值出现时间

Fig.5 The occurrence time of minimum snow cover ratio in Tianshan Mountain area

年也呈现积雪最大值推迟的现象,前后变化幅度为 16 d。以上可以看出,新疆天山山区积雪覆盖比最小值出现反复循环性的推迟现象,这是由于新疆地区下垫面主要为沙漠,戈壁滩,多石少土的性质导致。夏季地表吸收较高的能量,致使秋季温度整体上升,进而导致入冬时期推迟。由于西风环流的影响使得新疆出现降水及降雪导致这种推迟现象循环式的出现。从图 5 还可以看出,2000—2018 年积雪覆盖比呈现上升趋势,说明天山山脉的积积雪总量在增加。

从图 6 可以看出,2000—2018 年积雪覆盖比最大值出现的日期呈显著性的波动,2000 年积雪最大值出现在 12 月 13 日,2001 年出现在 12 月 30 日,2002 年出现在 12 月 22 日,2003 年出现在 1 月 4 日,2004 年出现在 1 月 20 日。可见,2000—2004 年积雪最大值呈推迟的状态,前后变化幅度为 38 d,说明新疆天山山脉的降雪日期在推迟,可能是由于全

球气候变暖,新疆入冬时期延迟所致。2005—2008 年积雪覆盖比最大值呈前后波动变化,变化幅度为 42 d。2013—2016 年,有出现积雪最大值延迟的现象发生,最大为 2 月 5 日,前后变化幅度为 77 d。变化幅度为 19 年最大,变幅超过 2 个月的时间,说明积雪覆盖比的变化较大。以上可以看出,新疆天山山区积雪覆盖比最大值出现反复循环性的推迟现象,这是由于冬季天山山区处于蒙古高压后部,主要受到西风环流的控制,强烈的西风将水汽从海洋吹向内陆,由于在西欧至中亚广大地区没有遇到高大山脉阻挡,水汽被西风携带从北到南一直影响到天山地区,天山以北的准噶尔盆地西侧地势较低,水汽在被天山地形抬升之后,在天山以北形成降雪。即天山山区受到同一天气系统的影响形成降雪。所以,天山山区积雪最大值出现日期的推迟与西北环流和蒙古高压影响有关。

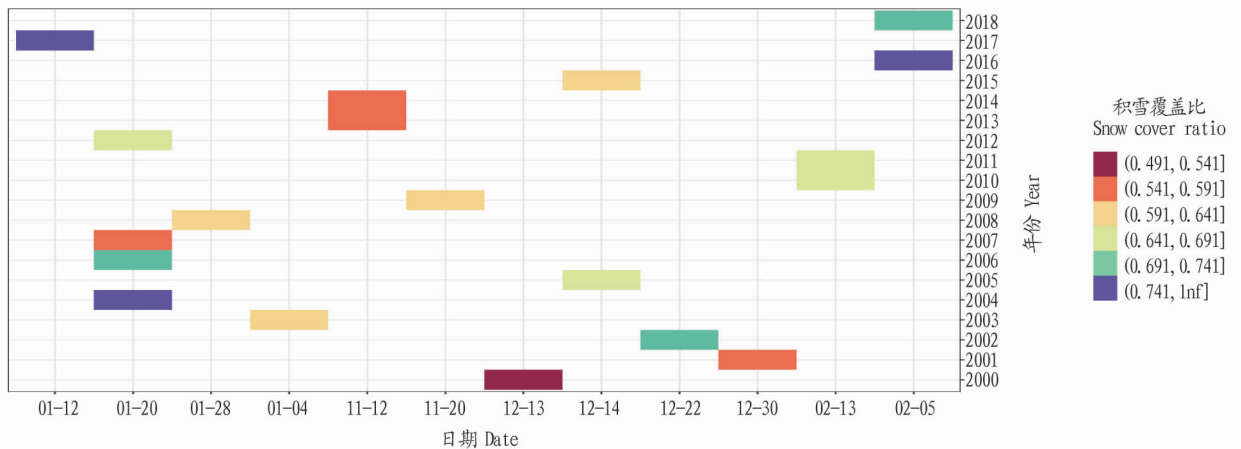


图 6 天山山区积雪覆盖比最大值出现时间

Fig.6 The occurrence time of maximum snow cover ratio in Tianshan Mountain area

2.4 积雪影响因素 气温与日照时间是描述气候变化的 2 个主要因素,常用来分析研究区积雪与气候的关系。马丽娟等^[19]研究表明,气温是影响积雪的最大因素之一,其中日照时间又是影响温度的主要因素之一,日照时间的长短直接影响到温度的高低。而气温的高低直接影响到积雪和融雪 2 个物理过程。由于搜集到的气象数据有限,故笔者选取天山山区的 6 个气象站点(温泉、达坂城、哈密、巴音布鲁克、拜城和乌恰)2000—2012 年的平均气温和日照时间进行分析,结果见图 7、8。

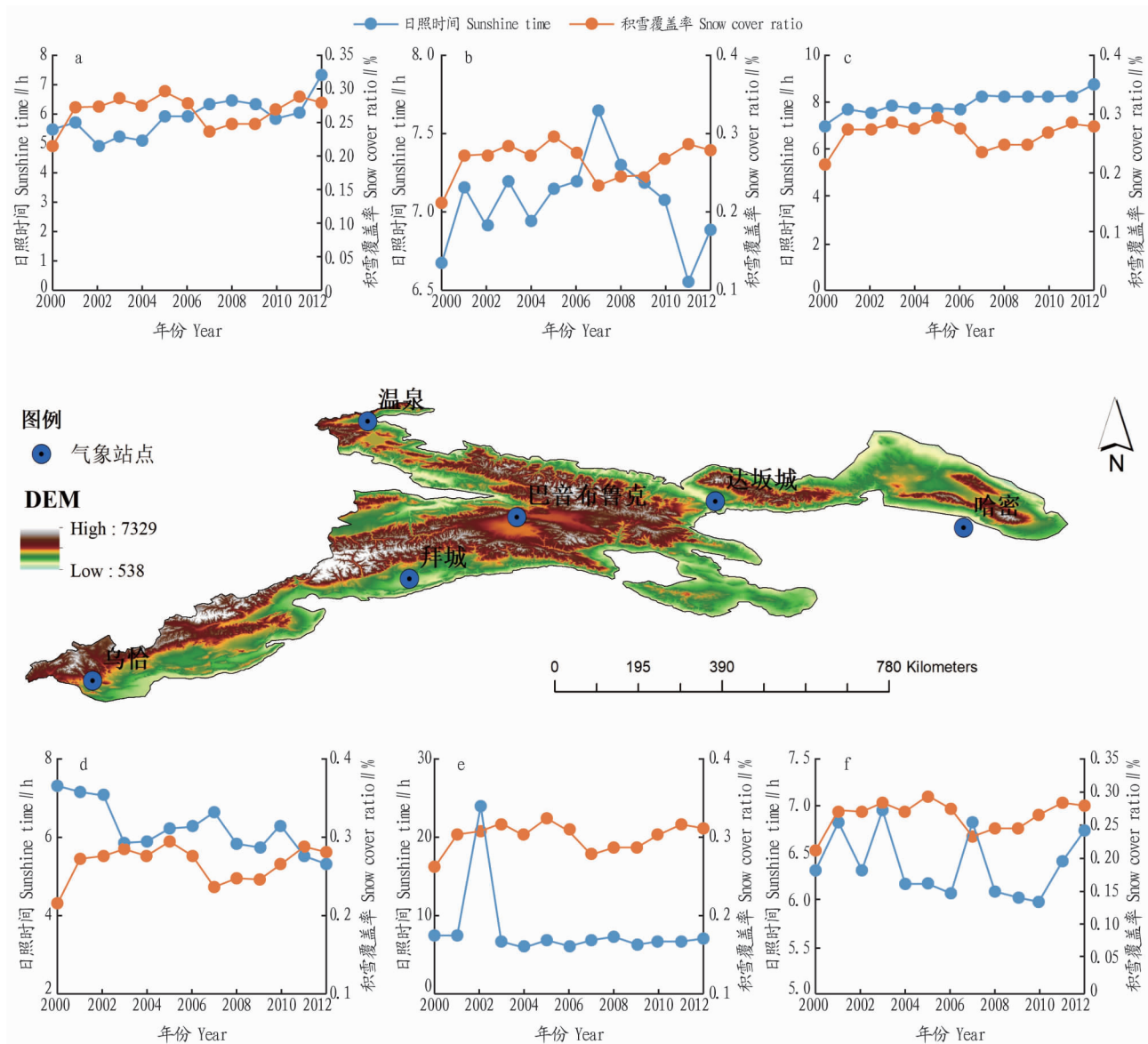
由图 7 可知,温泉和达坂城站点日照时间与积雪覆盖率呈现此消彼长的变化趋势,温泉与达坂城海拔较低且自然环境并不恶劣,主要是由于日照时间的长短影响气温进而导致积雪覆盖率降低。哈密和乌恰 2 个站点,日照时间的长短影响积雪覆盖率较小,并未出现此消彼长的现象。从哈密站点整体来看,日照时间呈现上升趋势,而积雪覆盖率呈现先增再减再增的趋势,说明日照时间对积雪覆盖率的影响较小。乌恰站点日照时间整体呈现下降趋势,而积雪覆盖率呈现微上升趋势,说明该站点的日照时间对积雪覆盖率影响较大。拜城和巴音布鲁克 2 个气象站点,日照时间与积雪覆盖率变化无明显关系。其中日照时间出现较大的波动,而积雪覆盖率波动

较小,说明日照时间不是影响积雪覆盖率的主要因素。从不同地方的气象站点可以看出,不同地区气象因素对积雪覆盖率影响不同,不同地方积雪对气象因素的响应也不同。

由图 8 可知,6 个气象站点的平均气温在 2010 年以后出现一次急速下降的趋势,而积雪覆盖率呈现较为缓和的上升趋势,说明平均气温对积雪影响较小。东天山的达坂城和哈密平均气温变化趋势基本一致,平均气温先增加,至 2004 年气温下降,2006 年气温呈现上升趋势,2009 年气温呈急速下降趋势,积雪覆盖率与气温呈现反向变化趋势。且每年的平均气温最低在 -12°C ,最高在 8°C 左右。巴音布鲁克的平均气温最低,最低气温达 -20°C ,最高 -15°C 左右。巴音布鲁克站点的平均气温变化趋势与另外的 5 个站点不同,这是由于巴音布鲁克位于海拔 2 000 m 左右(高海拔),风力及气压较大,可能是影响积雪覆盖的主要气候因素。由此可知,不同海拔的地区,影响积雪的主导因素不同,对于后期研究不同海拔地区积雪的影响因素,有着很好的先验知识。

3 结论

基于 MOD10A2 的积雪产品及气象数据对天山山区的积雪覆盖率与空间分布进行分析,进而研究不同站点的气象因素对积雪覆盖率的影响,得出以下结论:



注: a.温泉; b.达坂城; c.哈密; d.乌恰; e.拜城; f.巴音布鲁克

Note: a. Wenquan; b. Dabancheng; c. Hami; d. Wuqia; e. Baicheng; f. Bayinbuluke

图7 天山山区日照时间与积雪覆盖率的关系

Fig.7 Relationship between sunshine time and snow cover ratio in Tianshan Mountain area

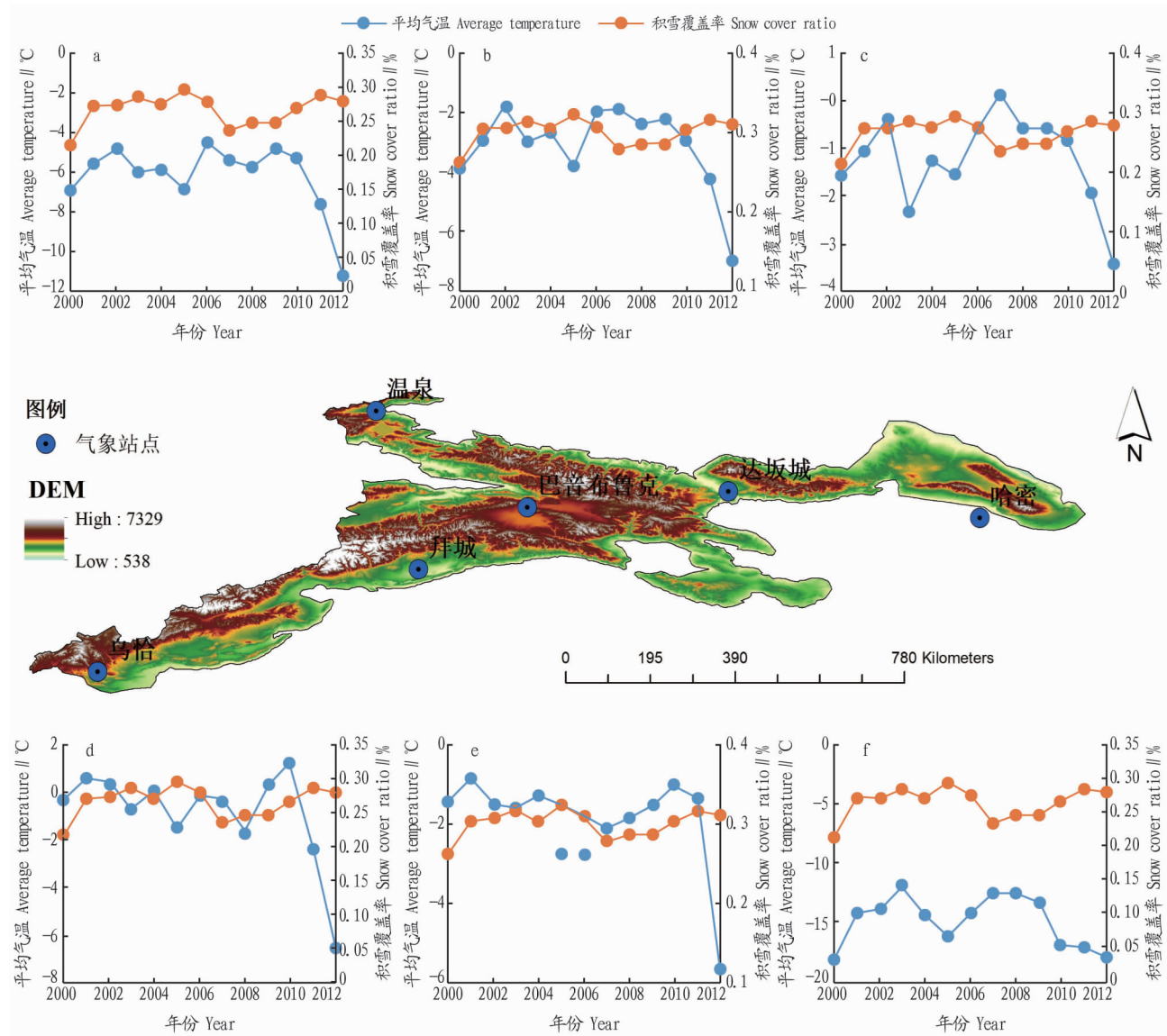
(1) 2000—2018年积雪覆盖率年内分布呈“U”形变化, 1—7月份积雪覆盖率呈现直线下降趋势, 到7月末至8月初达到最小(4.41%), 面积约为12 679.09 km²。积雪从9月初开始积累, 积雪覆盖率不断增大, 至翌年1月达到最大值(51.88%), 面积约为164 505.05 km²; 随后气温升高, 积雪逐渐融化, 积雪覆盖面积迅速减少。积雪面积周期性变化显著, 每年均有1次积累和消融过程。最大积雪覆盖比年际变化除2001年(55.3%)和2008年(54.1%)明显偏低外, 其他年份变化不大。

(2) 2000—2018年, 积雪覆盖频率>700次数的积雪区面积约占天山山区总面积的3.53%; 介于500~700次, 即年平均为25~35次的积雪区面积占天山山区总面积的29.43%; 介于200~400次的积雪区面积占天山山区总面积的64.34%。

(3) 不同年份的积雪覆盖比最小值出现的日期不尽一

致, 积雪极值出现时间后移的情况, 说明新疆天山山脉的融雪日期在推迟。2000—2018年积雪覆盖比呈现上升趋势, 说明天山山脉的总积雪量在增加。

(4) 温泉和达坂城站点日照时间与积雪覆盖率呈现此消彼长的变化趋势。哈密和乌恰2个站点, 日照时间呈现上升趋势, 而积雪覆盖率呈先增再减再增的趋势。由此看来, 日照时间对积雪覆盖率的影响较小。天山山区气温在2010年以后出现一次急速下降的趋势, 而积雪覆盖率呈现较为缓和的上升趋势, 积雪覆盖率与气温呈现反向变化趋势, 且每年的平均气温最低在-12℃, 最高在8℃左右。巴音布鲁克的平均气温最低, 最低气温达-20℃, 最高-15℃左右。主要因为巴音布鲁克位于海拔2 000 m左右(高海拔), 风力及气压影响较大, 所以该地区的积雪覆盖率主要受风力及气压影响。



注: a.温泉; b.达坂城; c.哈密; d.乌恰; e.拜城; f.巴音布鲁克

Note: a. Wenquan; b. Dabancheng; c. Hami; d. Wuqia; e. Baicheng; f. Bayinbuluke

图8 天山山区平均气温与积雪覆盖率的关系

Fig.8 Relationship between average temperature and snow cover ratio in Tianshan Mountain area

参考文献

[1] 李培基,米德生.中国积雪的分布[J].冰川冻土,1983,5(4):9-18.

[2] 沈永平,苏宏超,王国亚,等.新疆冰川、积雪对气候变化的响应(I):水文效应[J].冰川冻土,2013,35(3):513-527.

[3] JI F, WU Z H, HUANG J P. Evolution of land surface air temperature trend [J]. Nature climate change, 2014, 4(6): 462-466.

[4] 穆振侠,姜卉芳.新疆阿克苏河流域昆马力克河积雪消融规律对气候变化的响应[J].冰川冻土,2012,34(6):1284-1292.

[5] LI Z, CHEN Y N, LI W H, et al. Potential impacts of climate change on vegetation dynamics in Central Asia [J]. Journal of geophysical research: Atmospheres, 2015, 120(24): 12 345-12 356.

[6] 高卫东,魏文寿,张丽旭.近30 a来天山西部积雪与气候变化:以天山积雪崩解研究站为例[J].冰川冻土,2005,27(1):68-73.

[7] 杨建平,丁永建,刘俊峰.长江黄河源区积雪空间分布与年代际变化[J].冰川冻土,2006,28(5):648-655.

[8] 黄慰军,黄镇,崔彩霞,等.新疆雪密度时空分布及其影响特征研究[J].冰川冻土,2007,29(1):66-72.

[9] 李雪梅,高培,李倩,等.中国天山积雪对气候变化响应的多通径分析[J].气候变化研究进展,2016,12(4):303-312.

[10] 胡汝骥.中国天山自然地理[M].北京:中国环境科学出版社,2004:1-14,180-198.

[11] 秦艳,丁建丽,赵求东,等.2001—2015年天山山区积雪时空变化及其与温度和降水的关系[J].冰川冻土,2018,40(2):249-260.

[12] 魏文寿,袁玉江,喻树龙,等.中国天山山区235 a气候变化及降水趋势预测[J].中国沙漠,2008,28(5):803-808.

[13] 王增艳,车涛.2002—2009年中国干旱区积雪时空分布特征[J].干旱区研究,2012,29(3):464-471.

[14] 施雅风,沈永平,李栋梁,等.中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J].第四纪研究,2003,23(2):152-164.

[15] LI B L, ZHU A X, ZHANG Y C, et al. Glacier change over the past four decades in the middle Chinese Tianshan [J]. Journal of glaciology, 2006, 52(178): 425-432.

[16] WANG X W, XIE H J, LIANG T G. Evaluation of MODIS snow cover and cloud mask and its application in northern Xinjiang, China [J]. Remote sensing of environment, 2008, 112(4): 1497-1513.

[17] 黄晓东,张学通,李霞,等.北疆牧区MODIS积雪产品MOD10A1和MOD10A2的精度分析与评价[J].冰川冻土,2007,29(5):722-729.

[18] 马勇刚,黄粤,陈曦,等.新疆积雪覆盖时空变异分析[J].水科学进展,2013,24(4):483-489.

[19] 马丽娟,秦大河,卞林根,等.青藏高原积雪日数的气温敏感度分析[J].气候变化研究进展,2010,6(1):1-7.