

**引用格式:**Tang Zhiguang, Wang Jian, Wang Xin, *et al.* Spatiotemporal Variation of Snow Cover in Tianshan Mountains based on MODIS[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2017, 32(3): 556-563. [唐志光, 王建, 王欣, 等. 近 15 年天山地区积雪时空变化遥感研究[J]. 遥感技术与应用, 2017, 32(3): 556-563.]  
doi:10.11873/j.issn.1004-0323.2017.3.0556

# 近 15 年天山地区积雪时空变化遥感研究

唐志光<sup>1</sup>, 王建<sup>2</sup>, 王欣<sup>1</sup>, 彭焕华<sup>1</sup>, 梁继<sup>1</sup>

(1. 湖南科技大学地理空间信息技术国家地方联合工程实验室, 湖南 湘潭 411201;  
2. 中国科学院西北生态环境资源研究院, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:**准确监测天山地区积雪的时空变化信息对合理利用水资源及区域气候变化研究具有重要意义。采用基于三次样条函数的去云算法对 2001~2015 年天山地区的逐日 MODIS 积雪面积比例产品进行了去云处理,在此基础上分析了近 15 年天山地区积雪的时空分布及其变化特征。结果表明:①积雪年内变化经历从 9 月开始累积到翌年 2 月开始消融的过程,1 月底积雪面积最大(超过 60%),7~8 月面积最小(约 1.5%);春、夏、秋季中央天山的积雪覆盖率最高,而冬季最高的是北天山;②积雪覆盖面积呈现强烈的年际波动特征;研究区夏、冬季的积雪面积总体上呈下降趋势,而春、秋季的积雪面积呈增加趋势;③26.39%的地区积雪日数呈下降趋势(5.09%为显著下降),显著下降的地区主要分布在中央天山以及东天山的东部地区;34.26%的地区积雪日数呈增加趋势(2.8%为显著增加),显著增加的地区主要分布在北天山以及东天山西部。

**关键词:**MODIS;天山;积雪面积;积雪日数;时空变化

**中图分类号:**TP79      **文献标志码:**A      **文章编号:**1004-0323(2017)03-0556-08

## 1 引言

积雪作为冰冻圈的重要组成部分,是地球表面上地域分布最广泛、季节变化最明显、对气候异常变化最敏感的覆盖物<sup>[1]</sup>。积雪因其特有的高反照率、低导热率以及融雪水文效应,在全球能量交换、辐射平衡和水循环中扮演着重要的角色<sup>[2-4]</sup>。积雪特征(如积雪面积、积雪分布、雪深等)也是气候、水文、生态及全球能量平衡模型中的重要输入参数。同时,积雪也影响着地球陆地上中高纬度地带和高海拔地区的生态地理环境,常常导致积雪灾害,危及农牧业生产、交通安全,甚至造成居民生命财产的重大损失<sup>[1,5-6]</sup>。天山冰雪覆盖区是其周边干旱地区众多重要河流(楚河、锡尔河、伊犁河、塔里木河等)的发源地;特别是新疆境内发源于天山山区的河流有 373 条,总径流量达  $474 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,占新疆

河流总径流量的 53.6%,冰雪融水和山区降水是干旱区农业的命脉<sup>[7]</sup>。而区域气候变化导致的积雪变化对春、夏季河川径流的影响将会对干旱区农牧业和脆弱的生态环境产生严重的后果,甚至会导致旱涝灾害的频繁发生<sup>[8]</sup>。此外,天山地区也是雪崩、融雪洪水等积雪灾害的频发地区<sup>[7]</sup>。因此,准确地监测天山地区的积雪时空变化信息具有重要意义。

由于天山地区地形复杂,常规气象站点稀少。因此,以往仅仅利用常规气象站积雪观测信息来分析该地区积雪的空间分布和年际变化的研究<sup>[10-12]</sup>均存在一定的局限性。通过遥感技术获取大范围积雪信息已成为了积雪监测研究的主要技术手段。特别是自从 Terra 和 Aqua 卫星发射以来,因其携带的 MODIS 传感器具有较高的光谱及时空分辨率,从

收稿日期:2016-11-21;修订日期:2017-04-28  
基金项目:国家自然科学基金项目(41501070,41271091,31400409),湖南省教育厅科研项目(16C0633)。  
作者简介:唐志光(1985—),男,湖南邵阳人,博士,讲师,主要从事冰冻圈遥感研究。E-mail:tangzhg11@lzb.ac.cn。

而决定了它在地球资源观测中的绝对优势。基于MODIS的一系列积雪产品<sup>[13]</sup>,已经广泛地应用于积雪动态监测、融雪径流模拟、气候变化等研究中。然而,MODIS积雪产品中大量云覆盖像元的存在,极大地限制了该产品的积雪监测效果。针对这一问题,唐志光等<sup>[14-15]</sup>已发展了一种基于三次样条函数的MODIS积雪面积比例产品去云算法,并验证表明该去云算法具有较高的精度。

以2001~2015年天山地区的逐日MODIS积雪面积比例产品(MOD10A1)为数据源,并采用已发展的MODIS积雪面积比例产品去云算法<sup>[14-15]</sup>对其进行去云处理,得到了近15 a研究区的无云MODIS积雪面积比例产品;在此基础上,对近15 a天山地区积雪的时空分布及变化信息进行定量研究。

## 2 研究区及数据

### 2.1 研究区概况

天山山系位于 $66^{\circ}\sim 95^{\circ}\text{E}$ 、 $38^{\circ}\sim 47^{\circ}\text{N}$ 之间,西起乌兹别克斯坦的克孜尔库姆沙漠以东,经哈萨克斯坦和吉尔吉斯斯坦,进入我国新疆境内,渐失于哈密市以东的戈壁中(图1)。山系东西长度超过2 500 km,南北宽度一般在250~350 km,是亚洲中部最大的山系,发育冰川约 $16\,427\text{ km}^2$ <sup>[16]</sup>。根据山脉、流域及气候特征,一般将天山划分为西天山、北天山、中央天山及东天山4个子区域<sup>[17-19]</sup>;西天山主要包括费尔干纳山、塔纳斯阿拉套等;北天山主要包括昆盖阿拉套山、外伊犁阿拉套山等;中央天山主要包括天山中部高大山体、东至汗腾格里外沿;东天山位于科克苏—喀拉苏河谷一线以东(图1)。本研究区总面积约为 $135.5\times 10^4\text{ km}^2$ ;其中西天山、北天山、东天山和中央天山的面积分别占34.7%、20.3%、31.1%和13.9%。

### 2.2 MODIS 积雪面积比例数据

本文采用的MODIS积雪产品为2001~2015年由Terra卫星获得的逐日MOD10A1产品,该产品来源于美国国家雪冰数据中心(<http://nsidc.org/NASA/MODIS>)。投影方式为正弦地图投影,空间分辨率为463.3 m,数据原始格式为hdf。MOD10A1产品包含4个数据影像:二值积雪数据、积雪面积比例数据、雪反照率以及质量评估数据<sup>[13]</sup>。本研究中选用的是MOD10A1中的积雪面积比例数据。通过对该数据进行基于MODIS Reprojection Tool(MRT, 2008)<sup>[20]</sup>的影像预处理(拼

接、重投影、格式转换),以及基于三次样条函数去云算法<sup>[14-15]</sup>的去云处理,最终得到近15 a研究区逐日无云的MODIS积雪面积比例数据集。该数据集为UTM投影,空间分辨率为500 m,数据格式为ENVI标准格式。图2显示为2014年第315 d的MODIS积雪面积比例影像。并同样采用基于“云假设”的精度检验和地面站积雪覆盖日数检验方法<sup>[15]</sup>对去云算法在本研究区的精度做了验证。在基于“云假设”的精度检验中,选取研究区2012年云覆盖较少的4日(第62、109、272和307 d)的MODIS积雪面积比例影像作为“真值”;在地面站积雪覆盖日数检验中,选取2001~2008年研究区在新疆境内的29个地面气象站点(图1)的逐日雪深观测值参与检验。检验结果表明,去云算法在本研究区的总体平均绝对误差为0.097,去云后积雪产品提取的积雪日数与地面站观测积雪日数具有较高的一致性(85.79%),平均绝对误差为4.17 d。表明该去云算法生成的研究区逐日无云积雪面积比例产品具有较高的积雪监测精度。

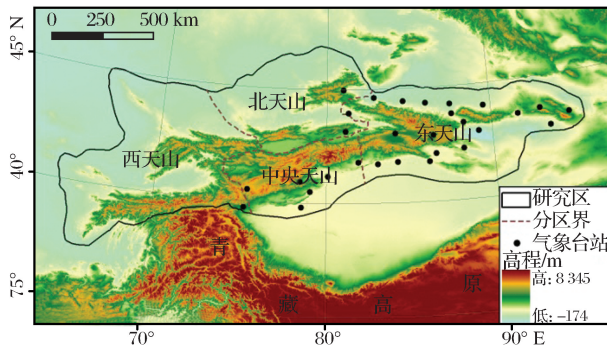


图1 研究区示意图

Fig.1 Location and the extent of the study area

## 3 研究内容及结果分析

### 3.1 积雪面积季节变化及分布特征

利用去云后的研究区MODIS积雪面积比例数据集,以积雪面积比例大于50%视为积雪像元,提取了近15 a的研究区逐日积雪面积。并分不同子区域(西天山、北天山、东天山和中央天山)分析研究区积雪面积的变化(图3)。从图3可以看出,研究区积雪面积呈现出强烈的季节变化特征。从整个研究区来看,全年都有积雪存在,从11月中旬到翌年3月底,积雪覆盖面积较大(超过15%),而且较大的标准差反映出较高的年际波动特征;而在6~9月份整个研究区的积雪覆盖面积均小于5%,年际波动较小。积雪面积峰值出现在1月底(积雪

覆盖率超过 60%),在峰值以后,随着积雪的消融,积雪覆盖面积逐渐减小,在 7~8 月份达到最小值。不同子区域积雪的年内波动曲线略有差异,特别是北天山冬季积雪覆盖率明显高出其他区域,是冬季降雪最多的地区。而中央天山因是研究区高大山体存在的主要区域,其积雪覆盖率在春、夏和秋季均高于其他区域;特别是研究区的夏季积雪主要集中在中央天山,是永久性积雪存在的重要地区。图 4 反映的是研究区积雪覆盖的季节性空间分布

特征。结合图 3和图 4 可以看出,以月为单位本研究区积雪面积的变化规律可以归纳为 3 个阶段:Ⅰ阶段为积雪累积期,即 9 月至翌年 1 月,积雪覆盖面积由高海拔山区向低海拔平原区逐渐扩大;Ⅱ阶段为积雪消融期,即 2 至 6 月,积雪面积由平原区向高海拔山区逐步缩小;Ⅲ阶段为有常年积雪存在的 7 至 8 月,此阶段除了中央天山和东天山西部的高大山脉存在积雪之外(积雪面积约为总个研究区的 1.5%),其他地区基本上无积雪存在。

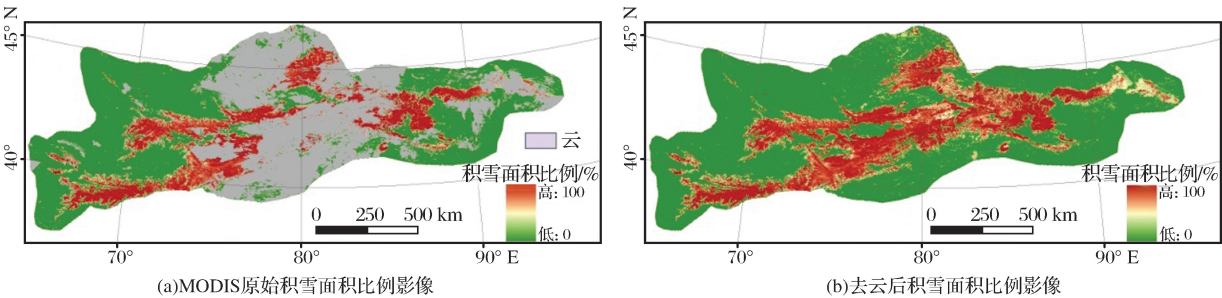


图 2 研究区 2014 年第 315 d 的 MODIS 积雪面积比例分布图  
Fig.2 MODIS fractional snow cover (FSC) map on the 315th day of 2014

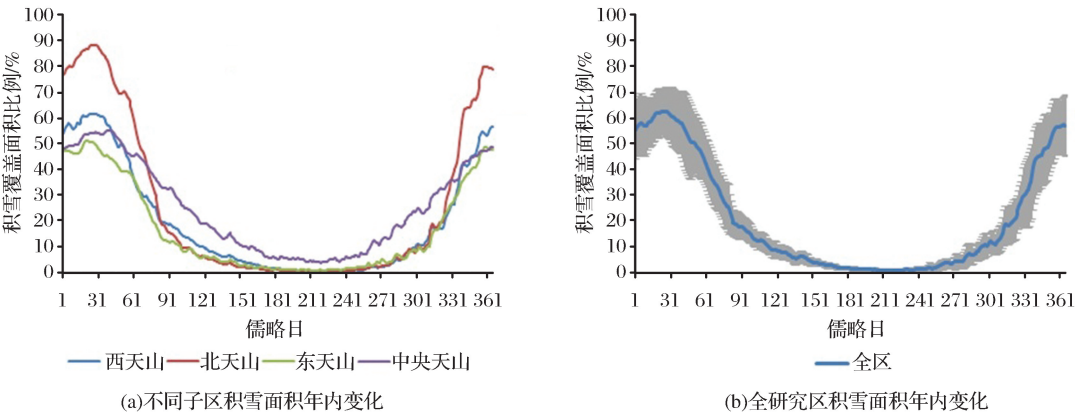


图 3 积雪面积年内变化(其中误差线为标准差)  
Fig.3 The annual cycle of snow cover(The error bars in figure(b) show the standard deviation)

3.2 积雪年际变化特征

3.2.1 积雪面积的年际变化

利用研究区近 15 a 的逐日无云 MODIS 积雪面积资料,分析了整个研究区及不同子区积雪面积在春(3 至 5 月)、夏(6 至 8 月)、秋(9 至 11 月)、冬(12 月至翌年 2 月)4 个季节的积雪面积年际变化情况(图 5)。由图 5 可以看出,近 15 a 研究区积雪覆盖面积呈现出强烈的年际波动特征。整个研究区春季积雪面积在 2003 年出现极大值(约为 22.5%),而极小值出现在 2007 年和 2013 年,从趋势线可以看出,总体上春季积雪面积呈微小的增加趋势;研究区

夏季积雪面积的极大值出现在 2002 和 2009 年,极小值出现在 2008 年,总体上表现为略微的下降趋势;整个研究区秋、冬季积雪面积的年际波动强烈,但总体上秋季积雪面积表现为增加趋势,冬季积雪面积呈下降趋势。从不同子区域来看,近 15 a 不同子区域的积雪面积年际波动特征略有差异,但除了中央天山在春季和秋季的变化趋势以外,各子区域的总体变化趋势与整个研究区的年际变化基本保持一致,即在夏、冬季呈下降的趋势,在春、秋季呈增加趋势;而中央天山在春季和秋季的积雪面积年际变化表现为下降趋势。



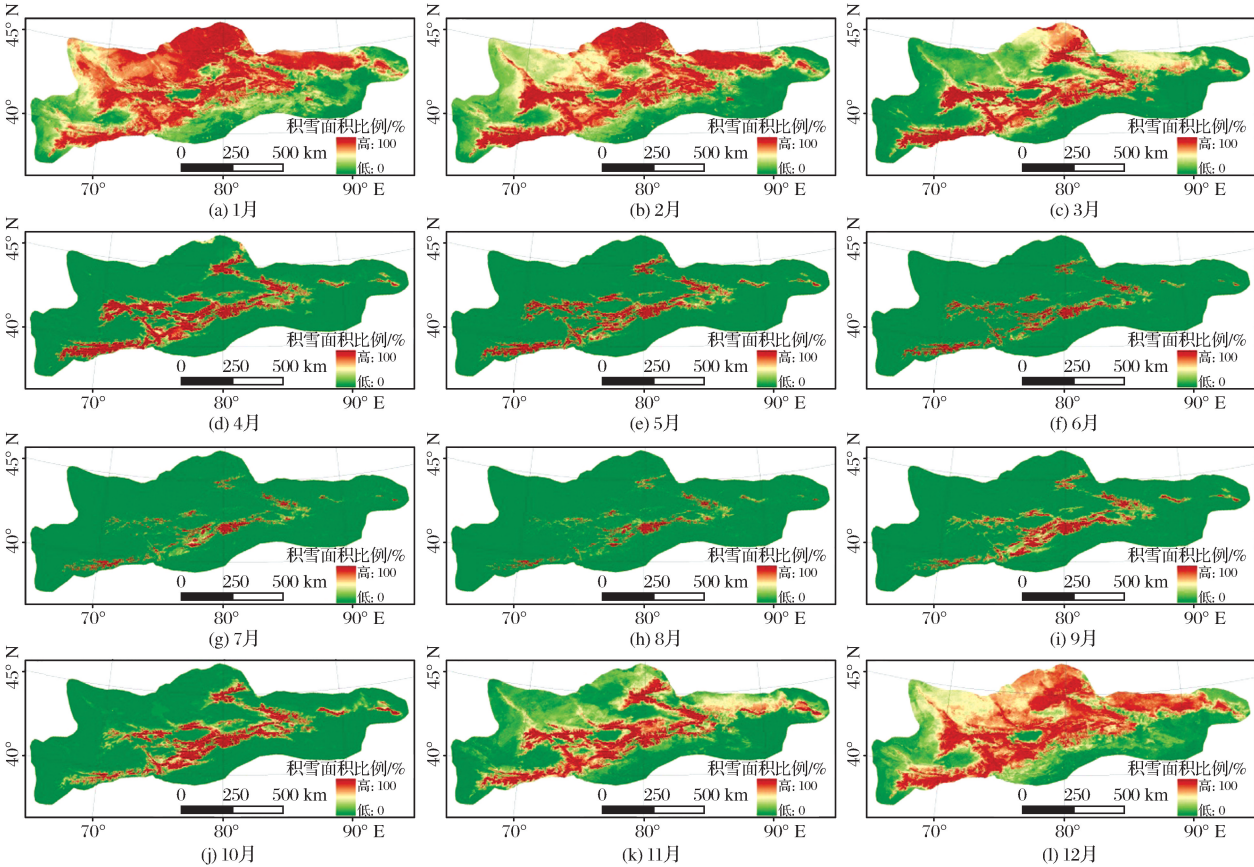


图 4 研究区逐月积雪面积分布图

Fig.4 The monthly average snowcover of the study area

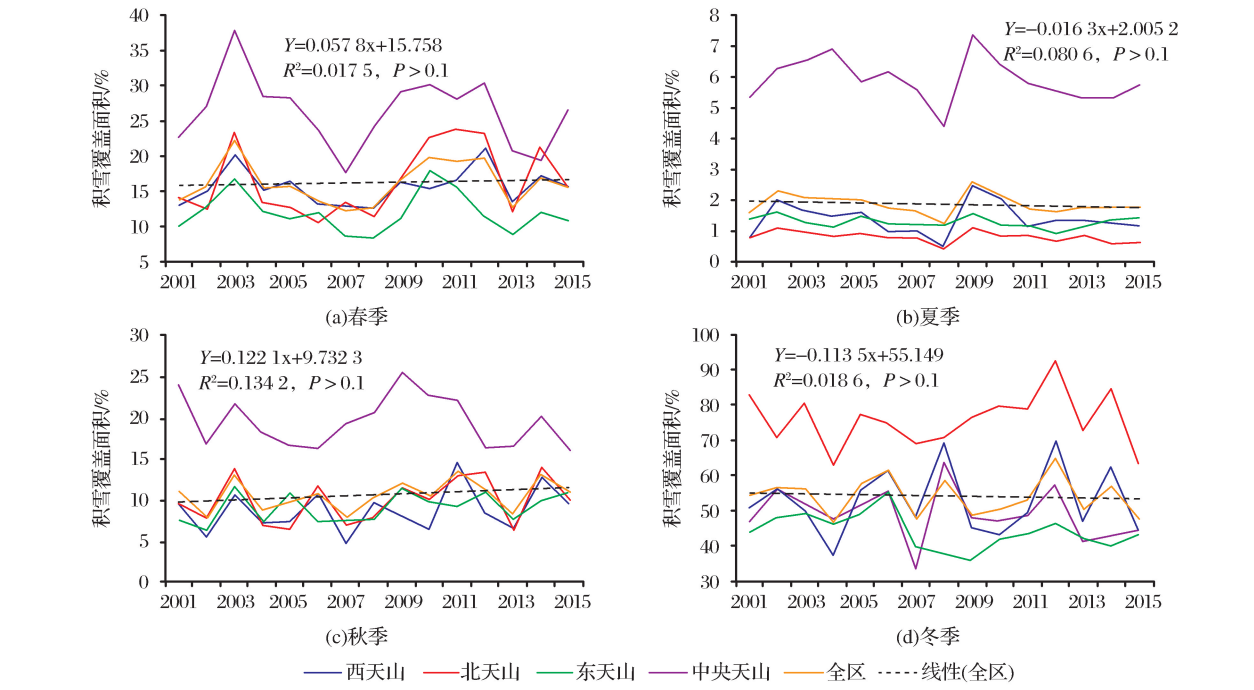


图 5 不同季节积雪面积的年际变化趋势

Fig.5 The interannual variations of snow cover in different seasons

3.2.2 积雪日数的年际变化

相对于积雪面积而言,积雪日数能更好地反映

一年中积雪覆盖的总体状况,积雪日数大于 60 d 的地区被认为是稳定积雪区<sup>[21-22]</sup>,也是雪水资源的主



要来源地。因此,根据去云后生成的 2001~2015 年逐日无云 MODIS 积雪面积比例产品,本研究提取了研究区近 15 a 的积雪日数,并对其积雪日数的时空变化特征进行了分析。其中,积雪日数的提取与分析方法如下:

积雪日数提取方法。从逐日无云 MODIS 积雪面积比例图像提取积雪日数的过程中,将积雪面积比例大于 50%(即:像元值>50)的像元定义为积雪象元。计算出每一年中每个像元满足条件的次数,即得到每一年的积雪日数,计算公式如下:

$$SCD = \sum_{i=1}^N Ceil(D_i \geq 50) \tag{1}$$

其中:SCD 为某像元在某年的积雪日数;N 为某年中的总天数(即:图像个数); $D_i$ 是像元的积雪面积比例值( $0 \leq D_i \leq 100$ ); $Ceil(D_i \geq 50)$  即计算  $D_i \geq 50$  的个数。例如,某天影像中的某像元值为 55( $\geq 50$ ),则该像元的 SCD 就加 1;如果像元值为 20( $< 50$ ),则 SCD 保持不变。

积雪日数趋势分析方法。一元线性回归模型可以模拟每个像元的变化趋势,Stow 等<sup>[23-24]</sup>就用该方法来模拟植被遥感信息的变化。本文同样用该方法来模拟天山地区 2001~2015 年积雪日数的变化趋势。利用最小二乘估计一元线性回归模型的趋势线斜率<sup>[25]</sup>,并对模型进行显著性检验(F 检验)。其中趋势线斜率计算式可以表达为:

$$Slope = \frac{n \times \sum_{i=1}^n i \times SCD_i - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n SCD_i}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \tag{2}$$

其中:Slope 为某像元的逐年积雪日数所拟合的回归直线的趋势线斜率(单位为:d/a);n 为累积计算的年数;SCD<sub>i</sub>为第 i 年的积雪日数;在本研究中,n 为 15,从 2001 年、2002 年...到 2015 年,其对应的 i 分别为 1、2、...15。趋势线斜率 Slope 代表了这 15 a 的年平均积雪日数增长量,  $Slope > 0$  说明积雪日数在 15 年间的变化趋势是增加,反之则是减少。

从近 15 a 研究区积雪日数的空间分布(图 6)可以看出,天山地区积雪日数的分布受地形影响空间异质性较大。积雪日数大于 60 d 的稳定积雪区主要分布在高海拔的大山脉地带和天山北部地区。特别是研究区海拔在 3 000 m 以上的高大山脉地区,积雪日数在 120 d 以上,是重要的雪水资源存储区域,甚至有常年积雪的分布。通过对近 15 年研究区

的平均积雪日数进行分类面积统计得出:天山地区年平均积雪日数大于 60 d 的稳定性积雪覆盖面积占研究区总面积的 49.27%,其中积雪日数在 60~120、120~240 以及 240~365 d 的覆盖面积百分比分别为 30.66%、14.58%和 4.03%;而积雪日数小于 60 d 的非稳定性积雪分布面积占 50.73%,其中积雪日数在 0~20、20~60 d 的面积百分比分别为 25.48%和 25.25%。

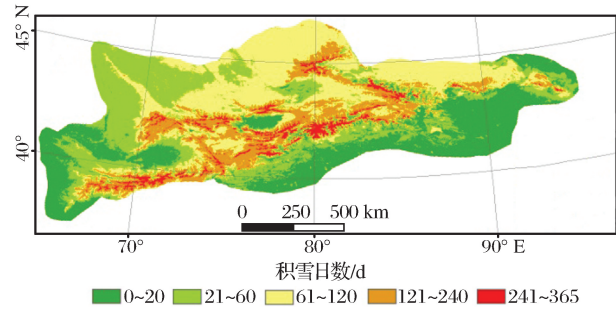


图 6 研究区 2001~2015 年平均积雪日数空间分布  
Fig.6 The spatial distribution of average snow covered days(SCD) over the Tianshan Mountains during 2001 to 2015

对研究区 2001~2015 年的积雪日数影像进行逐像元趋势分析,得出近 15 a 天山地区积雪日数的变化趋势及其显著性水平分布图(图 7)。统计积雪日数变化趋势及其显著性分析结果,得出:研究区积雪日数呈下降趋势的地区占研究区总面积的 26.39%;其中呈显著下降( $P < 0.05$ )趋势的地区为 5.09%,主要分布在中央天山以及东天山东部;年均积雪日数下降超过 3 d(即  $Slope < -3$ )的地区占 1.92%。研究区积雪日数呈增加趋势的地区占研究区总面积的 34.26%;积雪日数表现为显著增加( $P < 0.05$ )趋势的面积仅为 2.8%,主要分布在北天山以及东天山西部区域;积雪日数的年均增长量大于 3 天(即  $Slope > 3$ )的地区仅为 0.6%。研究区约 39.35%的地区积雪日数基本保持不变,年均变化率小于 0.5 d( $-0.5 < Slope < 0.5$ )。

图 8 为按不同子区域统计的研究区 2001~2015 年平均积雪日数变化情况。其中,不同子区域平均积雪日数年际变化的线性关系见表 1。可以看出,研究区近 15 a 各子区域的平均积雪日数的年际波动强烈。其中,北天山和西天山的平均积雪日数表现为增长的趋势,中央天山和东天山表现为下降的趋势。特别是北天山和中央天山的变化较大;近 15 a,北天山的平均积雪日数约增长了 9 d,中央天山的平均积雪日数约下降了 11 d。

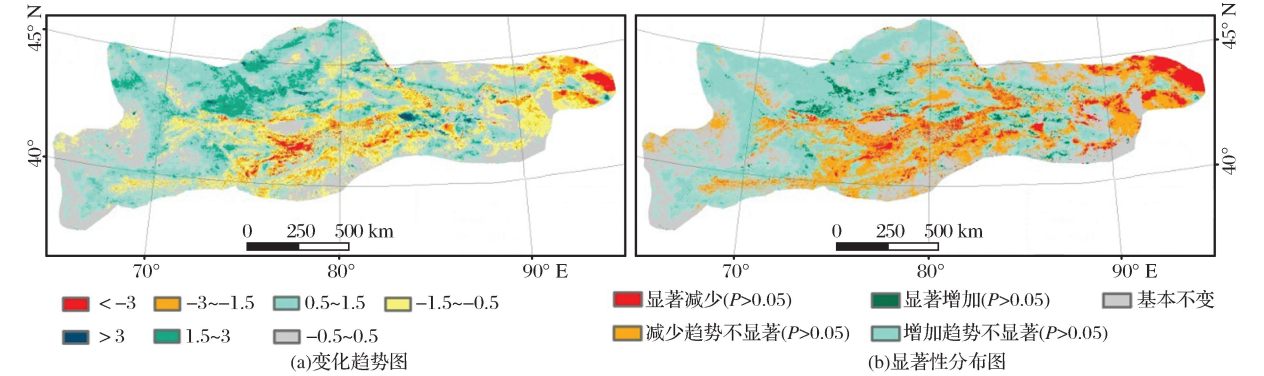


图 7 2001~2015 年天山地区积雪日数变化趋势(a)与显著性分布图(b)

Fig.7 Snow covered days(SCD) changes over the Tianshan Mountains During 2001 to 2015

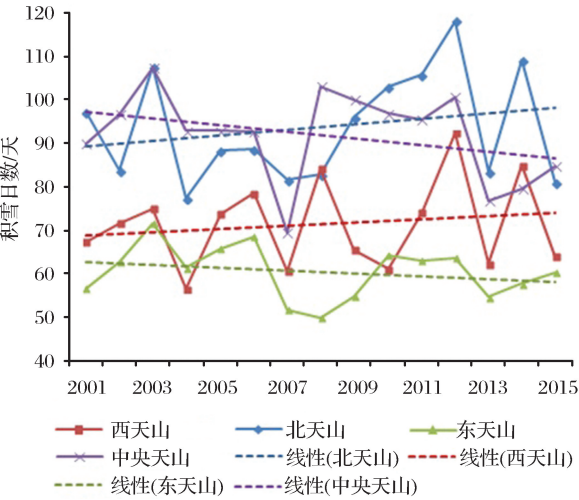


图 8 研究区不同子区域平均积雪日数年际变化

Fig.8 Interannual variation of the average snow covered days (SCD) for different sub-regions of the Tianshan Mountains

表 1 不同子区域平均积雪日数年际变化线性关系  
Table1 The linear relationship for interannual variation of the average snow covered days(SCD) in different sub-regions

	年际变化线性关系	$R^2$	$P$
北天山	$y=0.625\ 9x+88.643$	0.099\ 3	$>0.1$
西天山	$y=0.381\ 1x+68.35$	0.077\ 3	$>0.1$
东天山	$y=-0.336\ 8x+63.131$	0.120\ 1	$>0.1$
中央天山	$y=-0.770\ 1x+98.076$	0.179\ 8	$>0.1$

4 结 语

在对近 15 a 天山地区的逐日 MODIS 积雪面积比例产品进行去云处理的基础上,分析了研究区积雪的时空变化信息,主要结论有:①天山地区的积雪面积呈现出强烈的季节变化特征。研究区积雪累积期为 9 月至翌年 1 月,积雪面积峰值出现在 1 月底(占 60%以上);积雪消融期为 2 至 6 月;7、8 月为常

年积雪存留期,积雪主要分布在中央天山和东天山的高大山脉区(约占 1.5%)。不同子区域积雪的年内波动曲线略有差异;②近 15 a 研究区积雪覆盖面积呈现出强烈的年际波动特征。研究区夏季和冬季的平均积雪面积总体上呈下降的趋势,而在春季和秋季呈增加趋势;③研究区年平均积雪日数大于 60 d 的稳定性积雪分布面积占研究区总面积的 49.27%,主要分布在高海拔的大山脉地带和天山北部地区。海拔大于 3 000 m 的高大山脉地区,积雪日数在 120 d 以上,是重要的雪水资源存储区域。近 15 年,26.39% 的研究区积雪日数呈下降趋势(5.09% 的地区显著下降),显著下降的地区主要分布在中央天山以及东天山的东部。34.26% 的地区积雪日数呈增加趋势(2.8% 的地区显著增加),显著增加的地区主要分布在北天山以及东天山西部。

然而,积雪变化的监测是一个长期的动态过程,因而利用更长时间序列的遥感数据监测研究区积雪时空动态变化特征以及分析积雪变化时空差异的主要影响因素将是以后研究的重点。

致谢:感谢美国国家冰雪数据中心(NSIDC)为本研究提供数据支持!

参考文献(References):

[1] Hu Ruji.Snow and Its Disaster Control in China[M].Beijing: China Environmental Press,2013:1-11.[胡汝骥.中国积雪与雪灾防治[M].中国环境出版社,2013:1-11.]  
[2] Foster J L,Sun C,Walker J P,et al.Quantifying the Uncertainty in Passive Microwave Snow Water Equivalent Observations[J].Remote Sensing of Environment,2005,94(2):187-203.  
[3] Groisman P Y,Karl T R,Knight R W.Observed Impact of

- Snow Cover on the Heat-balance and the Rise of Continental Spring Temperatures[J].Science,1994,263(5144):198-200.
- [4] Wang Jian, Li Shuo. Effect of Climate Change on Snowmelt Runoffs in Mountainous Regions of Inland Rivers in North-western China[J]. Science in China: Series D Earth Sciences, 2005, 35(7): 664-670. [王建, 李硕. 气候变化对中国内陆干旱区山区融雪径流的影响[J]. 中国科学: D 辑, 2005, 35(7): 664-670.]
- [5] Yu Xiaoqi, Qiu Yubao, Ruan Yongjian, *et al.* Validation and Comparison of Binary Cloudless Snow Products in High Asia [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2017, 32(1): 37-48. [于小淇, 邱玉宝, 阮永俭, 等. 高亚洲地区无云积雪遥感二值产品对比和精度验证分析[J]. 遥感技术与应用, 2017, 32(1): 37-48.]
- [6] Yang Zhigang, Da Wa, Chu Duo. Spatiotemporal Variations of Snow Cover on the Tibetan Plateau over the Last 15 Years [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2017, 32(1): 27-36. [杨志刚, 达娃, 除多. 近 15a 青藏高原积雪覆盖时空变化分析[J]. 遥感技术与应用, 2017, 32(1): 27-36.]
- [7] Hu Ruji. Physical Geography of the Tianshan Mountains in China[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2004: 122-153. [胡汝骥. 中国天山自然地理[M]. 中国环境科学出版社, 2004: 122-153.]
- [8] IPCC. Climate Change 1995: Adaptations and Mitigation of Climate Change[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.
- [9] Liu Gengnian, Cui Zhijiu, Xiong Heigang. Geomorphological Process and Natural hazards in the Cryosphere of Tianshan Mountains[J]. Journal of Natural Disasters, 1997, 6(4): 55-60. [刘耕年, 崔之久, 熊黑钢. 天山冰雪圈地貌过程和自然灾害[J]. 自然灾害学报, 1997, 6(4): 55-60.]
- [10] Yang Qing, Cui Caixia, Sun Churong, *et al.* Snow Cover Variation during 1959~2003 in Tianshan Mountains, China[J]. Advances in Climate Change Research, 2007, 3(2): 80-84. [杨青, 崔彩霞, 孙陈荣, 等. 1959~2003 年中国天山积雪的变化[J]. 气候变化研究进展, 2008, 3(2): 13-17.]
- [11] Gao Weidong, Wei Wenshou, Zhang Lixu. Climate Changes and Seasonal Snow Cover Variability in the Western Tianshan Mountains, Xinjiang in 1967~2000[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2005, 27(1): 68-73. [高卫东, 魏文寿, 张丽旭. 近 30a 来天山西部积雪与气候变化—以天山积雪雪崩研究站为例[J]. 冰川冻土, 2005, 27(1): 68-73.]
- [12] Qiu Jiaqi, Sun Xihua. Preliminary Study on Snow Cover in the Tianshan Mountains[J]. Arid Land Geography, 1992, 15(3): 9-21. [仇家琪, 孙希华. 天山积雪初步研究[J]. 干旱区地理, 1992, 15(3): 9-21.]
- [13] Riggs G, Hall D, Salomonson V. MODIS Snow Products User Guide to Collection 5 [EB/OL]. 2006, <http://modis-snow-ice.gsfc.nasa.gov/sugkc2.html>.
- [14] Tang Z, Wang J, Li H, *et al.* Spatiotemporal Changes of Snow Cover over the Tibetan Plateau based on Cloud-removed Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer Fractional Snow cover Product from 2001 to 2011[J]. Journal of Applied Remote Sensing, 2013, 7(1): 073582-073582.
- [15] Tang Zhiguang, Wang Jian, Li Hongyi, *et al.* Accuracy Validation and Cloud Obscuration Removal of MODIS Fractional Snow Cover Products over Tibetan Plateau[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2013, 28(3): 423-430. [唐志光, 王建, 李弘毅, 等. 青藏高原 MODIS 积雪面积比例产品的精度验证与去云研究[J]. 遥感技术与应用, 2013, 28(3): 423-430.]
- [16] Liu C, Han T. Relation between Recent Glacier Variations and Climate in the Tien Shan Mountains, Central Asia[J]. Annals of Glaciology, 1991, 16(11): 11~16.
- [17] Wang Xin, Wu Kunpeng, Jiang Lianghong, *et al.* Wide Expansion of Glacial Lakes in Tianshan Mountains during 1990~2010[J]. Acta Geographica Sinica, 2013, 68(7): 983-993. [王欣, 吴坤鹏, 蒋亮虹, 等. 近 20 年天山地区冰湖变化特征[J]. 地理学报, 2013, 68(7): 983-993.]
- [18] Aizen V B, Aizen E M, Melack J M. Climate, Snow Cover, Glaciers, and Runoff in the Tien Shan, Central Asia[J]. Journal of the American Water Resources Association, 1995, 31(6): 1113-1129.
- [19] Sorg A, Bolch T, Stoffel M, *et al.* Climate Change Impacts on Glaciers and Runoff in Tien Shan (Central Asia) [J]. Nature Climate Change, 2012, 2(10): 725-731.
- [20] MODIS Reprojection Tool (MRT). User's Manual, Release 4.0 [EB/OL]. 2008, [http://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/content/.../MRT\\_Users\\_Manual.pdf](http://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/content/.../MRT_Users_Manual.pdf).
- [21] Li Peiji, Mi Desheng. Distribution of Snow Cover in China[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1983, 5(4): 9-18. [李培基, 米德生. 中国积雪的分布[J]. 冰川冻土, 1983, 5(4): 9-18.]
- [22] Liu J, Chen R. Studying the Spatiotemporal Variation of Snow-Covered Days over China based on Combined Use of MODIS Snow-covered Days and In Situ Observations[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2011, 106(3): 355-363.
- [23] Stow D, Daeschner S, Hope A, *et al.* Variability of the Seasonally Integrated Normalized Difference Vegetation Index Across the North Slope of Alaska in the 1990s [J]. International Journal of Remote Sensing, 2003, 24(5): 1111-1117.
- [24] Song Yi, Ma Mingguo. Variation Analysis of Vegetation Cover in the Northwest of China based on SPOT Vegetation Data [J]. Journal of Desert Research, 2007, 27(1): 89-93. [宋怡, 马明国. 基于 SPOT Vegetation 数据的中国西北植被覆盖变化分析[J]. 中国沙漠, 2007, 27(1): 89-93.]
- [25] Xu Jianhua. Mathematical Methods in Contemporary Geography [M]. Beijing: Higher Education Press, 2002: 48-51. [徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京高等教育出版社, 2002: 48-51.]



## Spatiotemporal Variation of Snow Cover in Tianshan Mountains based on MODIS

Tang Zhiguang<sup>1</sup>, Wang Jian<sup>2</sup>, Wang Xin<sup>1</sup>, Peng Huanhua<sup>1</sup>, Liang Ji<sup>1</sup>

(1. *National-Local Joint Engineering Laboratory of Geo-spatial Information Technology,  
Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;*

2. *Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy  
of Sciences, Lanzhou 730000, China*)

**Abstract:** Monitoring the spatiotemporal variation of snow cover in Tianshan Mountains is very important for fully utilizing water resources and understanding the effects of climate change at regional levels. In this paper, the cloud removal methodology based on cubic spline interpolation is used to removed cloud from the MODIS daily fractional snow cover data. Based the cloud removed MODIS daily fractional snow cover data, the spatiotemporal changes of snow cover during 2001 to 2015 in Tianshan Mountains were examined. The results show that the snow cover accumulates from September and start melts in February. The snow cover extent reaches the maximum value (more than 60%) in late January, and the minimum value (about 1.5%) in July and August. The snow cover of spring, summer and autumn in central Tianshan is significantly higher than in other regions, but the highest snow cover in winter is located in the northern Tianshan. There is a strong interannual variability of snow cover in the 15 years. The average snow cover of summer and winter in the study area shows a decreasing trend, while it shows an increasing trend at spring and autumn. The snow covered days (SCD) in 26.39% of the study area presents a decreasing trend (5.09% with a significant decrease). The areas with significant decrease in SCD are mainly located in central Tianshan and the east part of eastern Tianshan. 34.26% of the study area shows a increasing trend (2.8% with a significant increase) in SCD. The areas with SCD significant increased are mainly located in northern Tianshan and west part of eastern Tianshan.

**Key words:** MODIS; Tianshan mountains; Snow cover; Snow covered days; Spatiotemporal variation