Vol. 31 No. 3 Mar. 2017

Journal of Arid Land Resources and Environment

文章编号: 1003 – 7578(2017) 03 – 152 – 06 doi: 10.13448/j. cnki. jalre. 2017.093

2001 - 2014 年新疆阿尔泰地区积雪时空分布特征研究

陈丽萍¹ 李忠勤² 张慧² 怀保娟²

(1. 西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730070; 2. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000)

提 要: 基于 2001 – 2014 年的 MODIS10A2 积雪产品数据 对新疆阿尔泰地区积雪的年际变化特征、年内 变化特征及空间分布进行了分析研究 得到以下结论:1) 年内积雪一般由 10 月中旬左右便开始累积建立 在第 二年1 月份积雪覆盖面积到最大值 7 月份积雪覆盖面积达到最小值 其中 冬季积雪面积所占比例最大 夏季 最小。2) 2001 – 2014 年新疆阿尔泰地区积雪覆盖面积呈减少趋势。阿尔泰地区积雪空间分布极不均匀 北部 积雪分布明显多于南部 ,山区及高海拔地区为积雪频次分布的高值区 ,平原及流域地区为积雪覆盖频次的低值 区。3) 永久性积雪主要分布在阿尔泰山北部的高海拔区(3000 – 3923m) ,且面积较小。

关键词:积雪时空分布;MODIS10A2;积雪覆盖面积;积雪频次;新疆阿尔泰地区 中图分类号:P468.0⁺25 文献标识码:A

在构成地球冰冻圈的所有成分中,积雪作为最活跃的环境因素之一,对气候系统有着很大的影响^[1], 积雪面积的异常变化会对其下垫面能量以及水分造成很大影响,以及影响地表与大气之间的水热交换。 反过来积雪也是最敏感的气候变化响应因子^[2] 积雪覆盖面积受气候和大气环流的异常对冷暖空气及降 水多寡的影响^[3]。AR5 基于最新数据预估近期(2016 – 2035 年)全球平均地表温度可能比 1986 – 2005 年 升高 0.3 ~ 0.7℃^[4]。在全球持续变暖的情况下^[5],积雪作为冰冻圈中分布范围最广泛,对气候异常变化 最灵敏的地球表面覆盖物,其对全球变暖的影响与响应已成为全球变化研究中的热点。

积雪对气候变暖的响应是近年来研究的热点,因此许多学者根据现场观测和遥感资料,开展了较多有 关积雪异常特征及其对后期气候影响等方面的研究。诸多研究表明,在1972-2000 年期间,北半球的最 大积雪覆盖面积由2月份提前到1月份^[6]。与此同时,分布在欧亚大陆的春夏季节积雪明显减少^[7],且分 布在北美洲的冬季积雪也存在着较明显减少^[8,9];青藏高原、新疆和东北地区是中国积雪研究的主要地区 。新疆地区主要分析研究积雪深度变化^[10],新疆北部的最大积雪深度呈现不断上升的趋势^[11-13]。李培 基等人研究结果显示,新疆地区近年来的积雪变化存在长期稳定的增长趋势^[14,15]。王秋香等人观测了 1961-2000 年间北疆地区积雪的变化状况,研究表明积雪日数呈现小幅上升趋势,上升现象主要发生在 1960-1980 年间,而1990 年后较前期却有所下降。1960-1980 年间最大积雪深度缓慢上升,1980 年后上 升速度加快^[16]。谢玉琴等人对1990-2004 年乌鲁木齐冬季积雪长期变化规律进行了大量研究,证明了 积雪存在年际波动且呈现长期缓慢增加趋势^[17]。

新疆地区作为我国三大积雪区之一,季节性积雪水资源丰富^[18,19],积雪变化对工农业生产、交通、旅 游等方面具有重要的意义^[20]。到目前为止,MODIS 积雪产品数据依然是研究者提取积雪数据的主要来 源。黄晓东等人验证了北疆牧区 MODIS 积雪产品的精度,研究表明,MODIS10A2 积雪分类产品在积雪数 据的采集方面具有相对较高的积雪分类精度,其平均识别率则到达 87.39% 能较大程度的削弱云层对地 表积雪分类的影响^[21]。在文中,结合 MODIS10A2 遥感影像和数字高程模型,对新疆阿尔泰地区 2001 – 2014 年间的积雪时空分布变化进行了初步研究,并且对新疆阿尔泰地区的永久性积雪进行了提取。

基金项目:实验室创新群体科学基金(Y211661001);国家重大科学研究计划项目(2013CBA01801);国家自然科学基金面上项目 (41471058);国家自然科学基金创新研究群体项目(41121001)资助。

^{*} 收稿日期: 2016-3-19;修回日期: 2016-5-30。

作者简介: 陈丽萍(1993 -) , 女 汉族, 甘肃定西人, 硕士, 研究方向: 资源与环境遥感。 E - mail: 1393519605@ qq. com

第3期

1 材料与研究方法

1.1 数据来源

文中的数据源主要为 MODIS10A2 数 据,该数据是由美国 EOS/MODIS 数据中 心提供的 MODIS/Terra 积雪 8d 合成数据 (MODIS10A2),选取覆盖阿尔泰山山区的 h23v04 和 h24v04 两轨道,时间序列为 2001 年1月1日至 2014 年12月11日的 影像数据。影像空间分辨率为 500 m × 500m 经处理后进行重采样,使其与数字 高程模型的分辨率一致。其次文中数据 还采用了来源于 SRTM(Shuttle Radar Topography Mission)的数字高程模型 使用修 订版 V4.1 版本,空间分辨率为 90m^[22]。 1.2 研究方法



2 结果与分析

2.1 阿尔泰地区积雪年际变化特征

文中分析了 2001 - 2014 年间阿尔泰地区的积雪覆盖

面积变化特征(图2) 結果表明:本地区的年积雪覆盖面积在2001-2014年间总体表现为减少趋势2002-2004年积雪覆盖面积略微呈现上升趋势;2004-2008年积雪面积从9.69×10⁵km²减到9.33×10⁵km², 2008年积雪覆盖面积达到14年中的最低值;2008-2010年积雪覆盖面积呈现上升趋势,波动幅度明显,且2010年积雪覆盖面积扩大到10.35×10⁵km²;2011-2014年积雪覆盖面积呈现平稳趋势,波动变化不大。

2014 与 2001 年相比,年积雪覆盖面积有显著的变化,减小了 1.45 × 10⁵km²。对比分析 2001 和 2014 年的年积雪频次(图 3),发现阿尔泰山以北积雪覆盖面积的变化基本可以忽略,而阿尔泰山以南的平原和 下游地区以及流域周边海拔较低区域的积雪覆盖面积却呈现缩减趋势。

2.2 阿尔泰地区积雪年内变化特征

将14年内每月积雪面积覆盖的最大值作为当月积雪面积的研究值,从而获得年内12个月的积雪面积数据,并进一步对新疆阿尔泰地区积雪面积的年内变化特征进行分析(图4)。结果显示,1月份积雪面积值最大,为1.99×10⁵km²,7月份积雪面积值为0.15×10⁵km²,是年内最小值。总体而言,冬季的三个月份则是年内积雪面积覆盖最大的月份,积雪面积均超过1.90×10⁵km²,其次是3月份(1.76×10⁵km²)和11月份(1.60×10⁵km²),而其他几个月份的积雪面积均不足1.10×10⁵km²。数据显示,年内积雪变化一般从每年的10月份开始逐渐积累建立,在11月份到12月份期间积雪积累迅速,积雪面积增加,到次年1月份积雪面积达到最大值。从2月开始积雪面积减少,入春后天气变暖,气温升高,积雪融化,3月份



图 1 阿尔泰地区在 MODIS10A2 中的各种地表类型 Figure 1 Various land surface types in

Altai region extracted form MODIS10A2



图 2 阿尔泰地区积雪年际变化特征 Figure 2 Characteristics of annual snow – cover area change in Altai region

以后随着积雪消融加速 积雪面积开始迅速减少 持续到7月份到达最低值。

分别选取新疆阿尔泰地 区 14 年四个季节的积雪面积 变化来讨论其明显的季节性 特征 。图 5 为 2001 – 2014 年间阿尔泰地区四季积雪覆 盖面积的年际变化趋势图。 其中秋季积雪面积呈增加的 趋势,积雪覆盖面积在 1.60 – 2.40 × 10^5 km² 之间波动。 夏季积雪主要为高海拔地区 的永久性积雪,其覆盖面积 小 低于 0.25 × 10^5 km²,变化 趋势较稳定。但受全球气候



图 3 2001 年与 2014 年积雪面积变化

Figure 3 Variation of snow - cover area from 2001 to 2014

变暖的影响积雪消融增加,如图 5 所示 14 年夏季积雪覆 盖面积呈增加趋势。研究表明春、冬两季的积雪覆盖面积 都表现下降趋势,这也是 14 年间积雪覆盖面积整体呈现 《 》 减少趋势的主要原因,而春、秋两季积雪面积的年际变化 幅度较大,冬季次之。

从积雪年内面积变化可以看出,10月份到次年1月份 积雪覆盖面积持续增加,处于积累过程。10月份的积雪主 要分布在高海拔地区,积雪沿西北 – 东南走向(图 6a),11 月份阿尔泰地区积雪面积快速增加,积雪进一步积累。除 了额尔齐斯河平原部分地区外,阿尔泰山区基本被积雪覆 盖,并进一步向低海拔区域蔓延(图 6b)。到次年1月,积 雪覆盖面积到达顶峰,占总面积的 87.8%,此时阿尔泰地

区只有相对较少且比较分散的区域未被积雪 覆盖(图 6c)。2月到4月积雪消融较快2月 积雪首先从阿克哈巴河流域开始消融,消融 速度较缓慢(图 6d)3月积雪面积以较快速 度消融减少,4月份该地区积雪面积缩减明 显积雪仅覆盖在海拔较高的地区。总体上, 阿尔泰地区地势起伏较小,在季节变化中积 雪覆盖与海拔具有明显的相关性。

2.3 阿尔泰地区永久性积雪分布特征

由于夏季积雪多为永久性积雪,因此文 中选取 2002 - 2014 年年内的 MODIS 积雪产 品中的第 153 - 241 天的数据(即 6 月 3 日 -8 月 29 日),每年总计 12 期数据,共统计了 168 期数据,选取积雪像元个数少且云量低的 影像。文中所选取的 14 期数据中第一期数 据为 2001 年第 201 天,简写为 2001(201),其 他依次类推分别为: 2002(209)、2003(217)、 2004(217)、2005(193)、2006(201)、2007 (209)、2008(201)、2009(209)、2010(217)、 2011(225)、2012(217)、2013(201)、2014 (225)。



图 4 阿尔泰地区积雪面积年内变化特征 Figure 4 Change of annual snow – cover area in Altai region





如图 7 所示, 阿尔泰地区 的永久性积雪分布较少,仅为 54.63km²,占阿尔泰总面积的 1.10%。将阿尔泰地区按 1000m的海拔差划分为4个 海拔带,分别为0-1000m, 1000-2000m,2000-3000m, 3000-3923m。阿尔泰地区 的永久性积雪主要分布在 2000-3923m,其中50.67km² 的永久性积雪分布在3000-3923m海拔上,占到永久性积 雪总面积的92.7%。

2.4 阿尔泰地区积雪覆盖频 次空间分布

积雪的覆盖频次指一个 积雪像元的积雪覆盖次数 文 中将 644 幅积雪图通过栅格 运算合成新疆阿尔泰地区的 积雪覆盖频次图(图8)。阿 尔泰地区的积雪频次多数在 200-300 之间;积雪覆盖频 次的高值区主要分布在北部 阿尔泰山,呈东北-西南走 向 积雪覆盖频次在 400 次以 上;其次是山脉周围的地区, 积雪覆盖频次为 300 - 400 次,为次高值区;额尔齐斯河 平原地区的积雪频次较低为 200-300次;阿克哈巴河流 域地区积雪频次在 100-200 之间。



Figure 6 Process of annual snow - cover area change in Altai region

3 讨论

为了进一步深入的探讨

新疆阿尔泰地区积雪时空分布特征,本研究将该区与新疆地区同时期的积雪时空分布特征进行了对比分析,发现在气候变暖的背景下,二者的总体变化趋势大致相符,但也发现该区域具有一定的地域特殊性。 近十几年来,二者在积雪面积变化方面均呈现出减小的趋势。季节变化方面,新疆地区春、夏、秋、冬四季 积雪覆盖面积所占比例分别为21%、12%、23%、44%^[10],而阿尔泰地区四季积雪覆盖面积所占比例分别 为27%、3%、22%、48%,可见阿尔泰地区夏季积雪覆盖面积所占比例较低,这与该区域永久性积雪的 面积较小有关。由于永久性积雪主要为冰川表面粒雪^[23],而阿尔泰地区的冰川发育较少,仅占新疆地区 冰川总面积的0.8%^[18]。所以阿尔泰地区的永久性积雪分布较小,面积仅为54.63km²,且分布海拔偏低, 集中在海拔3000-3923m。

研究表明 在全球变暖的背景下,阿尔泰地区增温显著,山区气温上升明显,加之冬春季积雪增多且消 融提前^[12],导致雪灾频繁,春季融雪型洪灾危害的增强等,已经威胁到阿尔泰地区的牧业生产、交通安全 和水资源供给^[11],所以如何合理的利用水资源,减缓或者避免雪灾,掌握季节性积雪变化规律具有重要的 现实意义。此外,文中对新疆阿尔泰地区积雪时 空分布特征的研究仅仅结合了遥感时间序列数 据,有一定的局限性,以后的工作将会结合气象 资料、积雪遥感数据以及其它资料进行更全面的 分析,对该区积雪时空分布特征进行更加深入研 究。

4 结论

(1) 2001 - 2014 年新疆阿尔泰地区积雪从 每年 10 月份开始逐渐积累建立,于次年 1 月份 达到积雪覆盖面积的最大值,积雪从 3 - 5 月份 开始消融,到 7 月份积雪融化至每年的最低值。 对比积雪覆盖面积在四季中所占的比例,得到冬 季最大(48%),夏季最少(3%)。

(2)14年间阿尔泰地区积雪覆盖面积整体 上呈现减少趋势。2002-2004年积雪面积略微 呈现上升趋势 2000-2008年积雪面积呈显著减 少趋势;2008-2010年波动较大 2011-2014年 呈现平稳趋势。阿尔泰山北部积雪覆盖面积变 化不明显、阿尔泰南部积雪覆盖面积缩减比较明 显,主要分布在平原及流域下游地区。

(3)14年间夏季积雪面积主要为高海拔区的永久性积雪,因而整体变化趋势不明显。秋季的积雪面积呈现积累趋势,春季和冬季积雪面积均呈减少趋势。阿尔泰地区永久性积雪分布较少,面积仅为54.63km²,仅占阿尔泰地区的1.



图 7 阿尔泰地区永久性积雪分布









1% 集中分布在海拔 3000 – 3923m 范围内,占永久性积雪总面积的 92.7%,分析认为与该区域的冰川发育情况有关。山区积雪覆盖频次较高(400 – 644 次),平原及流域地区的积雪覆盖频次较低(100 – 300 次)。

参考文献

[1]杨涛 陆桂华 李会会 將. 气候变化下水文极端事件变化预测研究进展[J]. 水科学进展 2011 22(2):279-286.

- [2] 董磊华 熊立华 ,于坤霞 ,等. 气候变化与人类活动对水文影响的研究进展 [J]. 水科学进展 2012 23(2):278-285.
- [3] 雷俊,方之芳.青海地区常规观测积雪资料对比及积雪变化趋势研究[J].高原气象 2008 27(1):58-67.
- [4] 巢清尘 周波涛 孙颖 筹. IPCC 气候变化自然科学认知的发展 [J]. 气候变化研究进展 ,2014 ,10(1):7-13.
- [5] 何丽烨,李栋梁. 中国西部积雪类型划分[J]. 气象学报, 2012, 70(6): 1292-1301.
- [6] Dye D S. Variability and trends in annual snow cover cycle in Northern hemisphere land areas 1972 2000 [J]. Hydrological Processes 2002, 16(15): 3065 3077.
- [7] Brown R N. Northern hemisphere snow cover variability and change 1951 97 [J]. Journal of Climate 2000 13(13): 2339 2355.
- [8] Frei A, Robinson D A. Northern Hemisphere snow extent regional variability 1972 1994 [J]. International Journal of Climatology ,1999 ,19 (14):1535 - 1560.
- [9] Laternser M Schneebeli M. Long term snow climate trends of the Swiss alps(1931 99) [J]. International Journal of Climatology 2003 23(7): 733 750.
- [10] 娄梦筠, 刘志红, 娄少明, 等. 2002-2011 年新疆积雪时空分布特征研究 [J]. 冰川冻土 2013, 35 (5): 1095-1102.
- [11] 庄晓翠 郭城 赵正波 ,等. 新疆阿勒泰地区积雪变化分析 [J]. 干旱气象 2010 28(2):190-197.
- [12]张伟,沈永平,贺建桥,等.阿尔泰山融雪期不同下垫面积雪特性观测与分析研究[J].冰川冻土 2014,36(3):491-499.
- [13]Qin D H JLi S Y JLi P J. Snow cover distribution, variability and response to climate change in Western China[J]. Journal of Climate 2006, 19 (9): 1820 – 1833.
- [14]李培基.新疆积雪对气候变暖的响应[J].气象学报 2001 59(4):491-501.
- [15] 胡列群 李帅 深凤超. 新疆区域近 50a 积雪变化特征分析 [J] 冰川冻土 2013 35(4): 793-800.

[16] 王秋香 涨春良 刘静 等. 北疆积雪深度和积雪日数的变化趋势[J]. 气候变化研究进展 2009 5(1):39-43.
[17] 谢玉琴 赵求东,汪芳. 积雪变化特征及与气候之间的关系 - 以乌鲁木齐地区为例[J]. 干旱区资源与环境 2007 21(9):51-55.
[18] 沈永平 苏宏超,王国亚,等. 新疆冰川积雪对气候变化的响应(1):水文效应[J].冰川冻土 2013 35(3): 513-527.
[19] 窦燕,陈曦,包安明,等. 2000 - 2006 年中国天山山区积雪时空分布特征研究[J]. 冰川冻土 2010 32(1): 28 - 34.
[20] 袁玉江 魏文寿 穆桂金. 天山山区近 40 年秋季气候变化特征与南、北疆比较[J]. 地理科学 2004 24(6):674-679.
[21] 黄晓东,张学通,李霞,等. 北疆牧区 MODISIS 积雪产品 MODISIOA1 和 MODISIOA2 的精度分析与评价[J]. 冰川冻土 2007 29(5):722 -729.
[22] 牛生明,李忠勤,怀保娟. 近 50 年来天山博格达峰地区冰川变化分析[J]. 干旱区资源与环境 2014 28(9):134-139.
[23] 张廷军, 納歆玥. 欧亚大陆积雪分布及其类型划分[J]. 冰川冻土 2014 36(3):481-490.

Temporal and spatial distribution of snow cover in Altai region, Xinjiang from 2001 to 2014

CHEN Liping¹, LI Zhongqin², ZHANG Hui², HUAI Baojuan²

(1. College of Geography and Environmental Sciences, Northwest Normal University, Lanzhou 730070;

2. State Key Laboratory of Cryospheric Sciences Tianshan Glaciological Station, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Based on MODIS10A2 snow product data from 2001 to 2014, temporal and spatial distribution characteristics of the snow cover in Altai region ,Xinjiang were investigated in this study. The main conclusions are follows: (1) Accumulation of snow started in mid – October, the maximum and minimum value of snow – cover area (SCA) occurred in January and July respectively. Seasonally, the proportion of SCA in winter was the largest and that in summer was the least. (2) The SCA showed a downward trend in Altai region of Xinjiang during 14 years (2001 ~ 2014), and its spatial distribution was extremely uneven. The SCA in the North of Altai region was larger than that in the South. High frequency of snow cover was located in mountain area and low frequency in plain and downstream area. Due to summer snow was mainly consisted of permanent snow, thus no obvious change occurred, but there was an increasing trend in autumn and decreasing tendency both in winter and spring. (3) Permanent snow was mainly distributed in high altitude area (3000 – 3923m) of the Northern Altai Mountains with less area.

Key words: temporal and spatial distribution of snow; MODIS10A2; snow cover area; snow cover frequency; Altai region of Xinjiang