

新疆积雪覆盖时空变异分析

马勇刚^{1,2}, 黄 粤¹, 陈 曦¹, 包安明¹

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011; 2. 新疆大学资源与环境科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830046)

摘要: 利用2000—2010年MODIS积雪覆盖产品数据MOD10A2, 提取了新疆近10年来积雪覆盖变化信息, 并结合地面站点数据, 对遥感积雪覆盖估算的精度进行了验证; 分析了新疆积雪覆盖的年际、年内变化及南北疆积雪覆盖变化的差异; 结合数字高程模型, 分析不同高程带下积雪覆盖的时空变化规律, 揭示高程因素对新疆积雪时空变化的影响。结果表明: MOD10A2提取的积雪信息能够反映新疆的积雪变化情况, 总体精度达92.3%; 近10年来, 全疆年积雪覆盖率最大值范围为34.0%~51.7%, 最小值范围为1.7%~2.6%; 积雪覆盖比率的变化在南北疆差异明显, 南疆区域积雪覆盖整体不高, 年内积雪覆盖比率变化幅度低于50%; 而北疆区域由于受复杂地形和气候带的影响, 积雪覆盖比率大, 年内的变化幅度强, 除2008年均达到80%以上; 在季节变化上, 春季和秋季的积雪覆盖均值波动较为明显, 夏季和冬季的积雪覆盖均值则波动较小, 这一规律在北疆地区表现更为显著; 积雪覆盖的时空分布与变化受高程的影响, 在海拔4 000 m以下区域, 夏季积雪覆盖比率低, 冬季积雪覆盖比率高, 而6 000 m以上海拔区域则表现出完全相反的特点, 即夏季积雪覆盖比率高, 冬季积雪覆盖比率低。

关键词: 积雪覆盖; 时空变异; 中分辨率影响光谱仪; 新疆

中图分类号: P426.635

文献标志码: A

文章编号: 1001-6791(2013)04-0483-07

积雪是气候系统中最活跃的环境影响因素, 也是最敏感的气候变化响应因子^[1-2]。积雪时空变化与大气环流、降水量以及淡水资源有密切关系^[3]。一些学者采用地面站点资料对积雪的长期变化进行分析, 以此揭示不同地区积雪变化的趋势、强度及其与气温、降水等气象要素的关系^[4-5]。然而, 基于站点的观测方法往往不能准确获得大尺度范围的积雪变化状况。遥感技术为进行大范围区域的实时积雪覆盖监测提供了支持。2000年以来, 随着中分辨率影响光谱仪(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS)的升空, 由于其最高250 m的空间分辨率和1 d的重访周期, MODIS数据在积雪信息的提取中得到了广泛应用^[5-11]。已有研究表明, 不同区域不同时段积雪变化趋势不同, 有的区域积雪变化呈平缓增加趋势, 有的变化趋势不明显, 总体上都有随年际波动变化的现象^[3, 9]。利用遥感技术能够获取新疆积雪覆盖的变化信息, 对合理评价新疆水资源分布状况和变化特征有重要意义。目前, 遥感数据在新疆大区域尺度积雪覆盖估算中的可靠性和精度还需得到有效的验证, 南、北疆积雪变化的特征与差异尚不清楚, 高程对新疆积雪时空分布的影响规律尚未阐明。因此, 本研究采用2000年2月26日~2010年12月31日期间的MOD12A2数据, 提取新疆的积雪覆盖信息, 利用全疆范围内的84个气象站的积雪观测数据对遥感积雪覆盖产品进行精度检验, 分析近10年来新疆积雪覆盖的时空变化特征, 揭示南、北疆积雪覆盖变化的差异性。

收稿日期: 2012-07-06; 网络出版时间: 2013-04-10

网络出版地址: <http://www.cnki.net/KCMS/detail/32.1309.P.20130410.1725.003.html>

基金项目: 中国科学院“西部之光”西部博士资助项目(XBBS201010); 新疆维吾尔自治区科研院所改革与发展专项资金资助项目(2010006)

作者简介: 马勇刚(1981-), 男, 河南郾城人, 助理研究员, 博士研究生, 主要从事干旱区水文水资源及遥感应用研究。

E-mail: thank51@sohu.com

通信作者: 黄粤, E-mail: hy800821@163.com

1 数据来源与处理方法

1.1 研究区概况

新疆位于中国西北，面积约 166 万 km²，属典型的干旱半干旱区，地貌轮廓非常明显，总的特点是高耸宽大的山脉与广阔的盆地相间排列。天山将新疆分为北疆和南疆两个不同的气候带，其年平均降水分别为 255 mm 和 106 mm。

1.2 MOD10A2 冰雪数据产品

采用美国冰雪数据中心 (NSIDC) 提供的空间分辨率为 500 m 的 8 d 合成 MOD10A2 数据。其中，积雪信息的提取主要是基于归一化差值积雪覆盖指数 (I_{NDS}) 和归一化差值植被指数 (I_{NDV}) 等^[12]，算法为

$$I_{\text{NDS}} = (B_4 - B_6) / (B_4 + B_6) \tag{1}$$

$$I_{\text{NDV}} = (B_2 - B_1) / (B_2 + B_1) \tag{2}$$

式中 B_1 、 B_2 、 B_4 和 B_6 分别为 MODIS 影像中的波段 1、波段 2、波段 4 和波段 6 的定标辐射率。在积雪判别过程中，首先对像元进行约束性判断，判断依据为：具有标称 L1B 级辐射亮度值，白天数据，陆地或者内陆水域，无云，地表温度低于 283K。满足以上判断后才进一步进行分类；当像元满足 $I_{\text{NDS}} \geq 0.4$ 、 $B_2 > 0.11$ 和 $B_4 > 0.10$ 时，判断为积雪；当像元满足 $0.1 < I_{\text{NDS}} < 0.4$ ，位于由 I_{NDS} 和 I_{NDV} 确定的密集植被区域内，且 $B_1 > 0.10$ 、 $B_2 > 0.11$ ，判断为积雪。

本文选取的研究时间段为 2000 年 2 月~2010 年 12 月，其中 MOD10A2 的原始投影方式为正弦投影，覆盖全疆需要下载 23V04、24V04、25V04、23V05、24V05 和 25V05 的数据。下载后的 MODA2 影像通过 IDL 结合 MODIS 影像处理工具 MTCK 编程，进行了拼接、叠合、重投影及裁剪等批处理过程，处理后的数据投影坐标统一为兰伯特等角圆锥投影 (双纬线分别为北纬 36°30′、北纬 48°00′，中央经线为东经 85°00′)。

1.3 数字高程模型

研究中使用数字高程模型 (DEM) 数据来自 CGIAR-CSI 提供的 90 m 分辨率的 Srtm 数据集，数据版本为 4.1^[13]，该数据下载后通过 ArcGIS 进行拼接、重投影和裁剪，最后得到新疆范围内的 DEM 数据。

1.4 精度验证

以新疆境内 84 个地面气象站 (图 1，新疆边界引自新疆测绘局) 每日积雪观测数据为基础，对 2000—2010 年每一个 8 d 合成时间点的 MOD10A2 积雪覆盖产品进行精度检验。选取总精度 P 、漏分率 D 和错分率 V 等作为精度评价的依据^[14-15]：

$$P = \frac{K + S}{T} \times 100\% \quad D = \frac{M}{T} \times 100\% \quad V = \frac{N}{T} \times 100\% \tag{3}$$

式中 K 为影像和地面台站均有雪的样本数； S 为影像和地面台站均无雪的样本数； T 为总样本数； M 为影像数据无雪但地面台站有雪的样本数； N 为影像数据有雪但地面台站无雪的样本数。精度验证结果如表 1 所示，MOD10A2 提取的积雪覆盖信息总体精度达 92.3%。

表 1 新疆 MOD10A2 数据积雪数据精度评价
Table 1 Accuracy evaluation results of the MOD10A2 snow cover data in Xinjiang

气象站点	MOD10A2 数据		
	有雪	无雪	合计
有雪	$K = 2\,913$	$M = 1\,159$	4 072
无雪	$N = 555$	$S = 17\,633$	18 188
合计	3 468	18 792	22 260
评价精度	$P = 92.3\%$	$D = 2.5\%$	$V = 5.2\%$

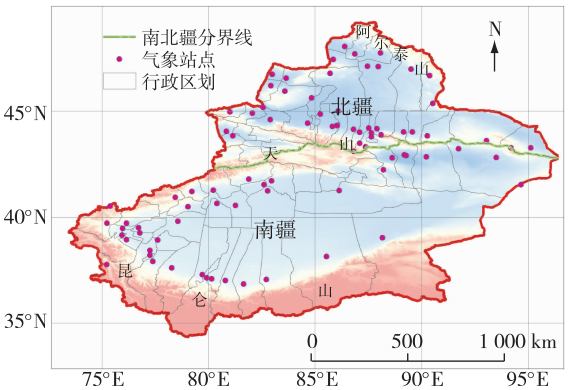


图 1 研究区概况及气象站点分布
Fig. 1 Sketch of study area and meteorological stations

2 结果与分析

2.1 2000—2010 年新疆积雪覆盖时空数据集

图 2 为 2010 年 1~12 月新疆地区平均积雪覆盖分布情况。

可以看出, MOD10 产品对新疆积雪时空分布的描述是合理的; 在空间上, 阿尔泰山区、天山山区和昆仑山区是新疆积雪的主要分布区; 在季节上, 积雪覆盖比例冬季最大, 随着春季到来而减小, 并在夏季的 7 月、8 月份达到最小值, 秋季来临后开始逐渐增加, 最后在冬季恢复到较高的水平。如表 2 所示, 2000—2010 年期间, 全疆年积雪覆盖率最大值范围为 34.0%~51.7%, 出现时间多在 12 月或 1 月; 最小值范围为 1.7%~2.6%, 出现时间多为 7 月或 8 月; 另外, 积雪覆盖率最大值的波动较最小值更为剧烈。

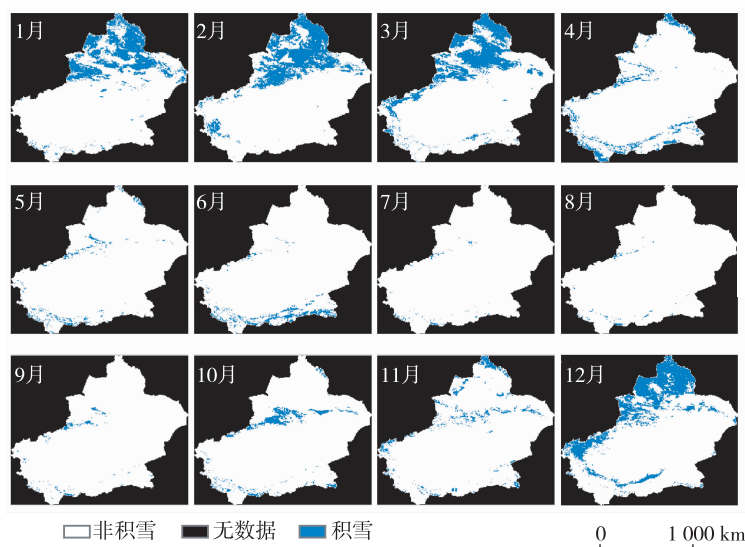


图 2 2010 年新疆积雪变化月均覆盖

Fig. 2 Monthly mean snow cover fraction over the Xinjiang in 2010

表 2 2000—2010 年新疆最大、最小积雪覆盖比率及出现时间
Table 2 Max and min value of snow cover fraction and corresponding date

年份	最大值/%	最大值 出现时间	最小值/%	最小值 出现时间
2000	37.2	12 月 18 日	1.8	7 月 19 日
2001	35.9	12 月 3 日	1.7	7 月 20 日
2002	48.6	1 月 17 日	1.9	8 月 5 日
2003	39.1	1 月 1 日	2.3	8 月 5 日
2004	43.6	1 月 17 日	2.6	7 月 27 日
2005	37.9	12 月 11 日	2.1	7 月 28 日
2006	51.7	1 月 1 日	1.7	7 月 28 日
2007	34.0	1 月 17 日	1.9	8 月 5 日
2008	50.2	1 月 25 日	2.0	7 月 19 日
2009	35.0	1 月 1 日	2.3	7 月 20 日
2010	30.7	12 月 19 日	1.6	8 月 13 日

2.2 南北疆积雪覆盖变化差异

为了定量分析新疆积雪覆盖的年际变化和季节变化情况, 同时考虑到新疆南、北疆显著气候差异对积雪时空分布的影响, 利用 MODIS 积雪覆盖数据与南、北疆区域矢量文件相叠加统计, 得到研究区 2000—2010 年积雪覆盖变化的时间序列(图 3)。从积雪覆盖比率变化曲线上看, 全疆和南、北疆的积雪覆盖比率的周期性变化都十分明显, 每年均有一次明显的积雪和融雪时期。同时, 积雪覆盖比率的变化在南、北疆差异明显: 南疆区域积雪覆盖比率整体不高, 其波动范围也较小, 年内变化幅度一般低于 50%; 而北疆地区由于受地形和气候带的影响, 积雪覆盖比率较南疆地区更大, 年内的变化幅度强, 近 10 年来除 2008 年外, 均达到 80% 以上; 全疆的积雪覆盖比率的变化幅度处于南、北疆之间。

图 4 为 2000—2010 年不同季节积雪覆盖比率均值对比。结果表明, 北疆地区春季和秋季的积雪覆盖比率均值波动较为明显, 夏季和冬季的积雪覆盖比率均值则波动较小; 南疆地区的积雪覆盖比率在近 10 年的春、夏、秋、冬季中保持较平稳的变化。这一现象间接反映了 2000—2010 年间影响北疆地区积雪消融与积累的气候因子, 如气温、降水(雪)等, 在春、秋季变化显著。

2.3 高程对积雪覆盖比率的影响

为了分析不同高程带下积雪覆盖比率的变化情况, 本文采用 1 000 m 为步长, 将研究区高程划分成 7 个带(表 3), 并计算 2000—2010 年期间每 8 天时间点的积雪覆盖比率均值及方差(图 5)。

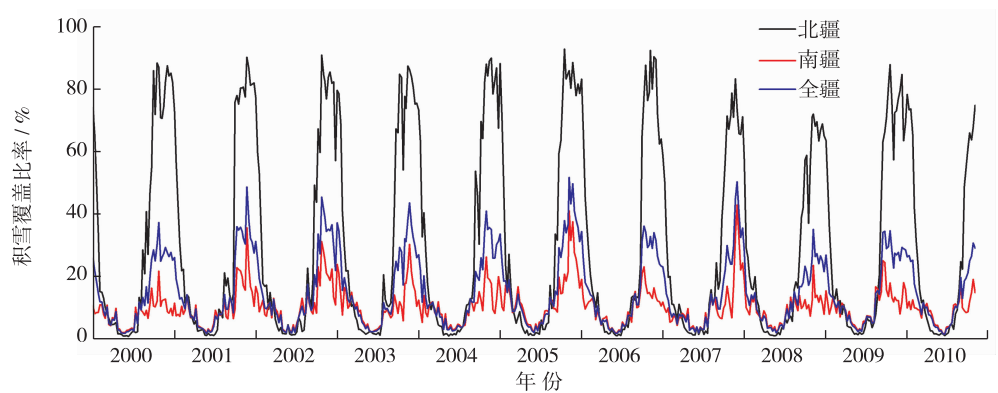


图 3 2000—2010 年新疆积雪覆盖比率变化时间序列

Fig. 3 Plot of inter-annual change of snow cover fraction of Xinjiang (includes north region and south region) from 2000 to 2010

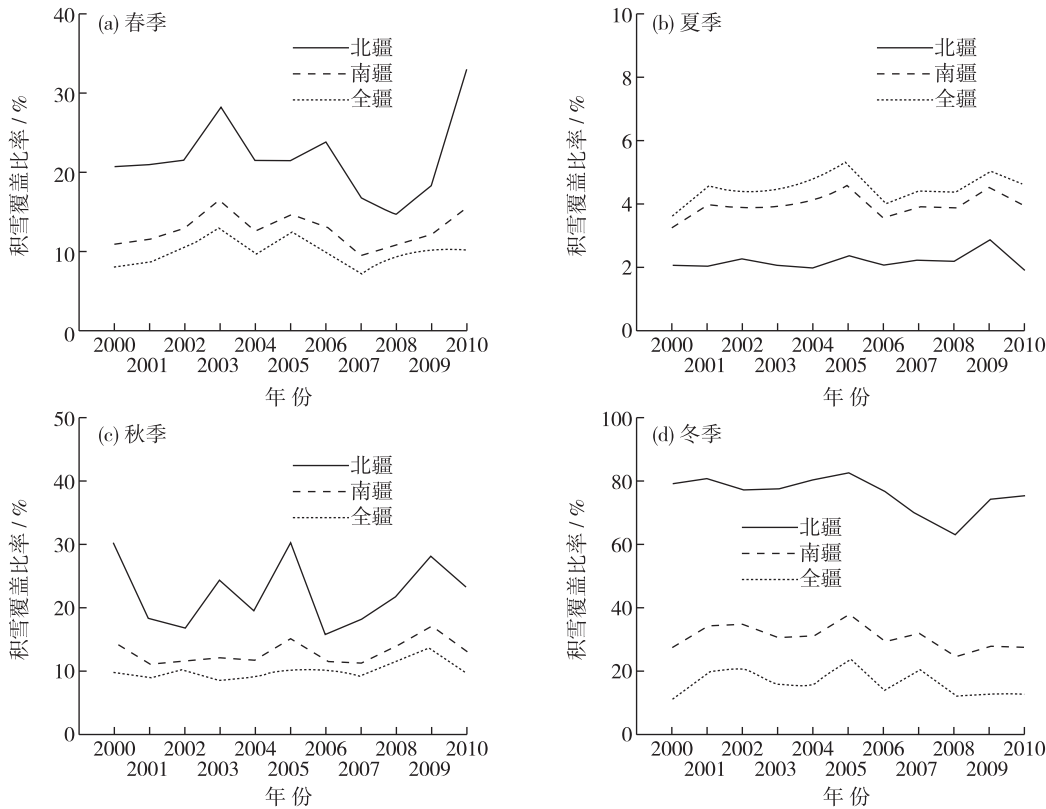


图 4 不同季节新疆积雪覆盖比率均值变化

Fig. 4 Inter-annual change of mean snow cover fraction in different seasons from 2000 to 2010

结果表明，不同高程带的积雪覆盖比率差异显著。其中，图 5(a) ~ 图 5(d) 4 个高程带积雪覆盖比率随季节变化而变化，冬季积雪覆盖比率最高，随着春季的到来而降低，在夏季达到最低，最后在秋季又逐渐上升，从而在整年呈现出“V”型变化过程；同时，图 5(a) ~ 图 5(d) 4 个高程带的积雪覆盖变化速率不同：图 5(a) 高程带积雪消融和积累时期最短，在 3 月中旬积雪覆盖比率就已经减少至 0；图 5(b) ~ 图 5(d) 3 个高程带的积雪覆盖消融和积累期依次变长，其积雪覆盖比率下降时期基本都为从 2 月至 7 月 ~ 8 月，而积雪覆

表 3 新疆各高程带面积统计

Table 3 Area of different elevation zones of Xinjiang

序号	高程带/m	面积/km ²
A	< 1 000	469 575. 7
B	1 000 ~ 2 000	629 904. 3
C	2 000 ~ 3 000	156 806. 2
D	3 000 ~ 4 000	136 232. 3
E	4 000 ~ 5 000	142 018. 4
F	5 000 ~ 6 000	87 707. 7
G	> 6 000	3 946. 8

盖比率上升时期基本为8月~9月至次年1月。

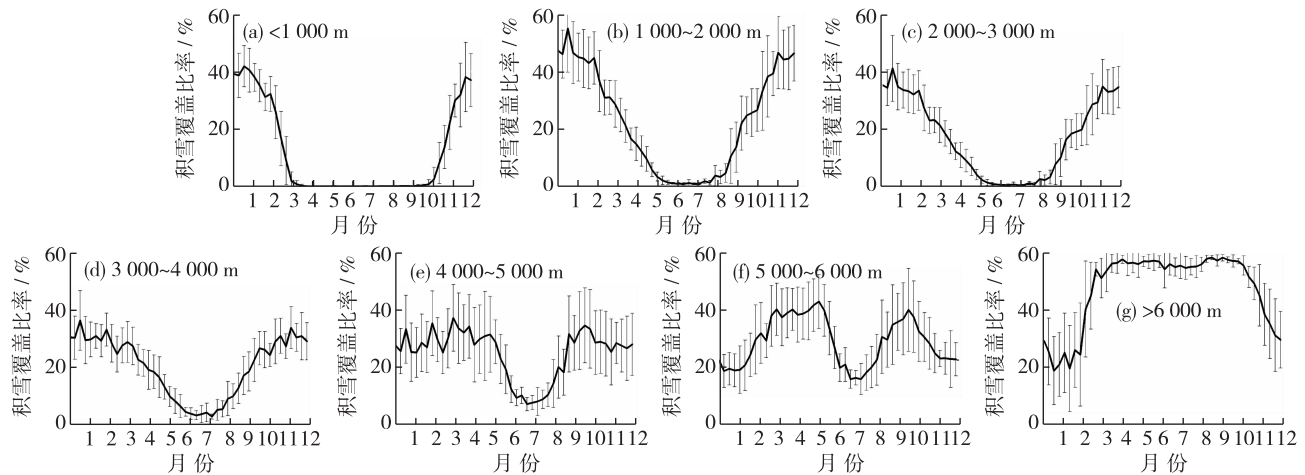


图5 不同高程带积雪覆盖比率年内变化及方差变化

Fig. 5 Annual variance of mean snow cover fraction in different elevation ranges over the period of 2000—2010

(The error bars show the standard deviation)

图5(e)高程带的积雪覆盖比率在10月~次年5月间保持稳定波动,6月和7月为积雪覆盖比率下降时期,8月和9月为积雪覆盖比率上升时期。总的来说,图5(a)~图5(e)高程带(0~5 000 m)积雪覆盖比率所表现出的年内变化规律,与Pu等^[8]在青藏高原的研究结果一致,但在图5(f)与图5(g)高程带有所不同。图5(f)高程带(5 000~6 000 m)有两个积雪覆盖比率上升和下降期:第1个上升期为1月~3月,下降期为6月~7月,第2个上升期为8月~10月,下降期为10月~12月;这与青藏高原6 000 m以上高程带结果相似。而图5(g)高程带的积雪覆盖比率变化特征则较为独特,表现出与图5(a)~图5(d)截然相反的趋势,最大值出现在夏季,而最小值出现在冬季,呈倒“U”型。其原因可能是:① 在新疆,高于6 000 m的高海拔地区,全年气温都较低,能够满足积雪的温度条件,使得积雪覆盖的决定性条件变成降水,而新疆降水全年分布以夏季居多而冬季少^[16];② 冬季积雪发生升华对积雪覆盖的减少有重要作用,其中风的搬运作用加剧了这些区域雪的再分配,积雪的升华量随风速增大而增加;同时,随着海拔高度的增加,水气压下降、太阳辐射加强,也同样增加了积雪的升华量^[8]。

3 结 论

本文利用MOD10A2数据产品提取了新疆2000—2010年的积雪覆盖变化信息,并结合84个气象站点的观测数据对遥感积雪覆盖监测结果进行了验证,研究表明:

(1) 新疆范围内,MOD10A2积雪覆盖分类总体精度达90%以上;2000—2010年期间,全疆年积雪覆盖比率最大值范围为34.0%~51.7%,最小值范围为1.7%~2.6%,积雪覆盖比率最大值的波动更为剧烈,出现时间多在12月或1月,而最小值出现时间多为7月或8月。

(2) 南、北疆地区积雪覆盖的变化存在差异,北疆地区积雪覆盖比率高于南疆地区,且年际与年内的变化幅度也大于南疆。随着高程的变化,积雪覆盖比率及其变化规律存在显著差异:① 在4 000 m以下区域,积雪覆盖均随季节的变化过程呈现出“V”型特征,但随着高程的增加,积雪覆盖的变化速率逐渐降低,积雪消融和积累期不断增加;② 在4 000~5 000 m高程区域,积雪覆盖率在10月~5月间保持稳定波动,6月和7月急剧下降,8月和9月快速上升;③ 在5 000~6 000 m高程区域,一年中在春季和秋季有两个积雪覆盖率的峰值,在夏季和冬季有两个低值;④ 在6 000 m以上高程区域则表现出与4 000 m以下区域截然相反的年内变化特征,即夏季积雪覆盖率增加而冬季减少。

由于本研究使用的 MODIS 数据时间跨度比较短, 因此无法得出长期的积雪覆盖趋势变化的结论。随着遥感积雪覆盖估算方法的改进, 数据产品的不断积累和更新, 通过更长时间跨度的积雪覆盖数据研究区域积雪变化的趋势, 探讨气候变化因子与积雪覆盖时空分布的关系是下一步研究的工作。

参考文献:

- [1] 杨涛, 陆桂华, 李会会, 等. 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. (YANG Tao, LU Guihua, LI Huihui, et al. Advances in the study of projection of climate change impacts on hydrological extremes [J]. Advances in Water Science, 2011, 22(2): 279-286. (in Chinese))
- [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. (DONG Leihua, XIONG Lihua, YU Kunxia, et al. Research advances in effects of climate change and human activities on hydrology [J]. Advances in Water Science, 2012, 23(2): 278-285. (in Chinese))
- [3] 杨存建, 赵梓健, 倪静, 等. 基于 MODIS 数据的川西积雪时空变化分析[J]. 中国科学: 地球科学, 2011, 41(12): 1743-1750. (YANG Cunjian, ZHAO Zijian, NI Jing, et al. Temporal and spatial analysis of changes in snow cover in western Sichuan based on MODIS images [J]. Science China: Earth Sciences, 2011, 41(12): 1743-1750. (in Chinese))
- [4] 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. (LI Peiji. The responsibility of snowcover to climate change in Xinjiang [J]. Acta Meteorologica Sinica, 2001, 59(4): 491-501. (in Chinese))
- [5] LATERNER M, SCHNEEBELI M. Long-term snow climate trends of the Swiss Alps (1931—1999) [J]. International Journal of Climatology, 2003, 23(7): 733-750.
- [6] BROWN R D, ROBINSON D A. Northern Hemisphere spring snow cover variability and change over 1922—2010 including an assessment of uncertainty [J]. The Cryosphere, 2011, 5(1): 219-229.
- [7] MARK S R, KARL R, COURTNEY E, et al. Ground-based testing of MODIS fractional snow cover in subalpine meadows and forests of the Sierra Nevada [J]. Remote Sensing of Environment, 2013, 128(21): 44-57.
- [8] PU Zhaoxia, LI Xu, SALOMONSON V V. MODIS/Terra observed seasonal variations of snow cover over the Tibetan Plateau [J]. Geophysical Research Letters, 2007, 34(6): 1-6.
- [9] 卢新玉, 谢国辉, 李杨, 等. 玛纳斯河流域积雪变化特征及其与气温、降水的关系[J]. 沙漠与绿洲气象, 2010, 4(2): 35-39. (LU Xinyu, XIE Guohui, LI Yang, et al. Variation characteristics of snow cover and the relation to air temperature and precipitation in Manasi River basin [J]. Desert and Oasis Meteorology, 2010, 4(2): 35-39. (in Chinese))
- [10] 穆振侠, 姜卉芳, 刘丰, 等. 2001—2008 年天山西部山区积雪覆盖及 NDVI 的时空变化特性[J]. 冰川冻土, 2010, 32(5): 875-882. (MU Zhengxia, JIANG Huifang, LIU Feng, et al. Spatial and temporal variations of snow cover area and NDVI in the West of Tianshan Mountains [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2010, 32(5): 875-882. (in Chinese))
- [11] 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. (DOU Yan, CHEN Xi, BAO Anming, et al. Study of the temporal and spatial distribute of the snow cover in the Tianshan Mountains, China [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2010, 32(1): 28-34. (in Chinese))
- [12] HALL D K, GEORGE A R, VINCENT V S, et al. MODIS snow-cover products [J]. Remote Sensing of the Environment, 2002, 83: 181-194.
- [13] JARVIS A, REUTER H I, NELSON A, et al. Hole-filled seamless SRTM data V4, international centre for tropical agriculture (CIAT) [EB/OL]. [2012-05-07]. <http://srtm.csi.cgiar.org>.
- [14] 梁天刚, 吴彩霞, 陈全功, 等. 北疆牧区积雪图像分类与雪深反演模型的研究[J]. 冰川冻土, 2004, 26(2): 160-165. (LIANG Tiangang, WU Caixia, CHEN Quangong, et al. Snow classification and monitoring models in the pastoral areas of the Northern Xinjiang [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2004, 26(2): 160-165. (in Chinese))
- [15] 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. (HUANG Xiaodong, ZHANG Xuetong, LI Xia, et al. Accuracy analysis for MODIS snow products of MOD10A1 and MOD10A2 in Northern Xinjiang area [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2007, 29(5): 722-729. (in Chinese))
- [16] 彭宽军, 陈勇航, 王文彩, 等. 新疆山区低层云水资源时空分布特征[J]. 水科学进展, 2010, 21(5): 653-658. (PENG Kuanjun, CHEN Yonghang, WANG Wencai, et al. Characteristics of spatial and temporal distribution of lower layer cloud water resources in Xinjiang mountain regions [J]. Advances in Water Science, 2010, 21(5): 653-658. (in Chinese))

Analyzing spatial-temporal variability of snow cover in Xinjiang

MA Yonggang^{1,2}, HUANG Yue¹, CHEN Xi¹, BAO Anming¹

(1. State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China; 2. College of Resource and Environment Sciences, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

Abstract: Snow cover is one of the most active factors that influence the environment, and shows high sensitivity to climate changes. Based on the moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS) snow cover products and observed data from 84 meteorological stations within Xinjiang Uygur Autonomous Region of China, we extracted the snow cover information during the last 10 years in Xinjiang and evaluated the accuracy of MOD10A2 products. The inter-annual and seasonal changes of Snow Cover Fraction (SCF), as well as their difference between Northern Xinjiang and Southern Xinjiang, were also examined. In addition, the spatial-temporal variability of SCF in different elevation zones was obtained for assessing the influence of the elevation shift on SCF. The results indicated that: ① the total accuracy of SCF extracted from MOD10A2 data is 92.3%, and can be considered as a credible data source to detect the snow cover change in Xinjiang; ② during 2000 to 2010, the maximum SCF of Xinjiang is in the range between 34.0% and 51.7% and the minimum is in the range between 1.7% and 2.6%. The difference of SCF between Northern Xinjiang and Southern Xinjiang is obvious: the SCF of Southern Xinjiang is relatively low and the fluctuation of SCF is less than 50%; the SCF of Northern Xinjiang is relatively high because of the effects of complex terrain and climate, and the fluctuation of SCF is more than 80% except in 2008. Seasonally, the averaged SCF show significant fluctuations in spring and autumn, however, the SCF does not show obviously change trend in summers and winters. Moreover, the north part of Xinjiang province shows more significant inter-annual and seasonal change than Southern Xinjiang; ③ the SCF typically reach minimum values in summers and maximum values in winters in the areas where the elevations below 4 000 m, but display a converse pattern in the areas above 6 000 m with a minimum in winters and a maximum in summers.

Key words: snow cover; temporal and spatial variations; moderate resolution imaging spectroradiometer; Xinjiang

论文优先数字出版说明

为即时确认作者科研成果、彰显论文传播利用价值,从2011年1月起,将在《水科学进展》印刷版期刊出版的定稿论文优先在“中国知网”(http://www.cnki.net)以数字出版方式提前出版(优先数字出版)。欢迎读者在中国知网“中国学术期刊网络出版总库”检索、引用本刊作者最新研究成果。

《水科学进展》编辑部