

# 雪数据集研究综述

于灵雪<sup>1,2</sup>, 张树文<sup>1</sup>, 卜 坤<sup>1</sup>, 杨久春<sup>1</sup>, 颜凤芹<sup>1,2</sup>, 常丽萍<sup>1</sup>

(1.中国科学院东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130012; 2.中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 大范围的雪盖变化是气候变化的指示剂, 雪通过其自身的物理性质调节着地气之间的物质与能量循环, 还能影响地表径流, 调节水文循环, 甚至在全球生态系统中发挥着重要的作用, 因此建立数据集, 实时监测雪盖的变化就变得非常必要。通过阅读大量文献, 总结目前应用较为广泛的数据集, 主要包括可见光/近红外数据集如NOAA数据集、MODIS数据集, 微波数据集如SMMR数据集、AMSR-E数据集, 以及多数据源的数据集。分析各种数据集的生成原理和优缺点, 对目前雪数据集研究中可能存在的问题进行总结。

**关 键 词:** 雪数据集; 积雪覆盖; 雪水当量; 雪深; 遥感

**中图分类号:** TP79

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0690(2013)07-0878-06

全球气候正经历以变暖为主要特征的变化, 冰雪覆盖作为一种气候变化的响应对气候变化非常敏感<sup>[1]</sup>。在此背景下, 南、北半球积雪的平均面积已经减少, 而这种雪盖的大范围减少已经引起海平面上升, 预测未来的积雪覆盖范围将进一步缩小<sup>[2]</sup>, 同时, 地球陆地表面的30%以上被季节性积雪所覆盖, 10%的陆地被永久性积雪和冰川所覆盖, 雪的积累和融化是地表最重要的季节性环境变化之一<sup>[3]</sup>。

大尺度雪盖变化是气候变化的指示剂, 不仅如此, 雪还能在不同的尺度下影响地球系统的其它部分<sup>[4]</sup>。凭借其辐射和热性能, 它能够调节地表-大气之间的能量和物质转移<sup>[5]</sup>, 从而在控制局部乃至全球的反馈网络中扮演着重要的角色; 雪可以影响地表径流, 调节水文循环<sup>[6]</sup>; 积雪覆盖的变化可能会影响生物物候和生态系统功能<sup>[7]</sup>; 北方寒冷地区雪储存大量的水资源, 雪的变化对人类活动有深远影响<sup>[8]</sup>。此外, 雪的观测是气候模型输入与研究的关键<sup>[9]</sup>。因此积雪信息的观测与提取就变得非常有意义。

在卫星遥感出现之前, 受技术的限制, 雪的监测与管理主要依赖于气象站点数据进行独立的点的观测, 但其非连续性严重的制约了冰雪信息

的提取与应用。20世纪60年代以来, 遥感技术的蓬勃发展为积雪的监测与应用提供有力的平台, 开始全方位的积雪监测。本文在查阅大量的文献资料的基础上, 对这些用于积雪监测的遥感数据进行统筹与划分, 并在此基础上分析国内外目前应用广泛的积雪数据集, 目的是对冰雪研究有一个综合全面的认识, 并对未来冰雪研究的发展提供思路。

## 1 理论基础与背景

积雪监测的方法包括气象站点监测、模型以及遥感方法。气象站法是对各个站点的观测值进行插值分析, 但受气象站点的数量和分布影响较大。模型的方法主要是通过建立积雪变量如雪深、雪水当量等与气象观测值或者是遥感观测值之间的经验或者半经验关系, 完成雪的监测。遥感方法则是应用雪与其他地物的电磁特性差异来反演积雪覆盖范围、雪水当量和雪深等参量<sup>[5]</sup>, 这使得卫星观测对全球雪盖监测和大尺度的雪数据的环境应用更具吸引力。

### 1.1 传统的气象站点监测

最早的积雪观测方法就是气象站点法, 积雪观测资料包括积雪日数和雪深, 利用气象站点的

收稿日期: 2012-12-24; 修订日期: 2013-04-07

基金项目: 国家973计划项目(2010CB95090103)资助。

作者简介: 于灵雪(1987-), 女, 山东淄博人, 博士研究生, 主要研究方向为土地覆被与气候变化研究。E-mail: lxyu2010@163.com

空间插值,得到积雪的空间分布数据集<sup>[10]</sup>。其年代较长,资料的准确性和完整性较好。这种传统方法的不足使我们只能获得一些离散的资料,且站点分布不均匀,特别是在偏远地区和高寒地区气象站点的分布极少,对于区域性的积雪监测代表性欠佳<sup>[11]</sup>;不同的气象站点在观测时间上无法协调一致,无法及时、全面、准确地反映大范围乃至全球的积雪分布状况。同时,仅靠气象记录来判断山区积雪情况和牧区雪灾有很大的局限性。

## 1.2 可见光/近红外监测

卫星遥感的出现打破了传统观测资料时空连续性差的问题。可见光/近红外提取雪信息主要是利用雪的光谱特性及其与云、裸地、植被等光谱特性的差异,提取积雪信息。在可见光波段,雪的可见光反射率较高(80%或者更高),在近红外波段1.6和2.0  $\mu\text{m}$  波长处反射率最低,而云在该波段反射率仍很高,这一特点使得可见光/近红外监测可以有效识别雪、云层和其他地表覆被类型<sup>[12-14]</sup>。利用这一性质,许多传感器已被用于全球大尺度和区域尺度的积雪信息的提取与研究<sup>[15-20]</sup>。

可见光/近红外监测空间分辨率较高,AVHRR数据可达到1.1 km,MODIS可达到1 km,TM数据可达到30 m,也使其能够进行全球乃至区域范围的雪情监测,并可以作为气候模型或者水文模型的输入参数<sup>[21]</sup>。但是,可见光影像容易收到云层的干扰,受大气和光线的影响严重。此外,浓密的森林区,茂密的植被可能会阻碍雪的可见光或近红外信息到达传感器,很难确定雪的覆盖范围和数量,可能导致雪的范围被低估。

## 1.3 微波观测

由于雪的粒径与微波波长相似,雪可以散射地球表面反射的微波,这样就可以有效的识别积雪和无雪表面。理想情况下,散射量与雪颗粒的数目成正比,因此,可以通过分析微波能量和积雪深度、雪水当量之间的关系获得积雪信息<sup>[22]</sup>。目前用于微波观测的传感器有美国雨云卫星多通道微波扫描辐射计(SMMR),美国空军空间局和海军空间系统活动局共同研究的微波辐射计系统:四频率线性极化专用微波成像系统(SSM/I),美国NASA Aqua 卫星上的改进型多频段、双极化圆锥扫描的、被动微波辐射计(AMSR-E),主动微波数据例如 QuikSCAT 可以利用 Ku 波段散射数据进行大的空间尺度的雪盖监测<sup>[23]</sup>。

微波遥感能够反演雪盖厚度、含水量和雪密度,与可见光监测相比,微波能有效的穿透云层,有效地去除云层对积雪提取的影响;它也能够穿透大部分积雪层从而探测到雪深和雪水当量的信息;微波遥感不受太阳光照的影响,可全天候进行积雪观测;由于被动微波遥感具有很高的时间分辨率,能够迅速覆盖全球,因此它在监测全球和大陆尺度的积雪时空变化中,作用尤为突出。但是,微波遥感数据空间分辨率低,一般为25 km或者更大,难以获取积雪的细节信息,不适合进行小尺度的研究;微波遥感还容易受积雪含水量、冻土等下垫面因素干扰<sup>[24]</sup>;微波遥感难以检测浅雪或者湿雪,湿雪会造成亮温大的变化会掩盖雪信号<sup>[25]</sup>;茂密的森林中植被发射的辐射信号也可能掩盖积雪,导致积雪监测的不确定性增加<sup>[10]</sup>。

# 2 雪产品分析

## 2.1 可见光/近红外数据集

1) 美国 NOAA 数据集。NOAA 数据集是发展最早的遥感数据集,该数据集从1962年4月开始就提供覆盖加拿大东部的遥感资料,并提供从1966年至今每周的北半球雪盖制图<sup>[4]</sup>。一开始它是有经验的气象学家对拍摄的可见光资料进行人工解译得到(分辨率190 km)<sup>[17]</sup>,1997年引进交互式多传感器(IMS)后,通过处理光学和微波遥感数据以及一定的气象台站数据,得到25 km分辨率和更高分辨率的(1999年之后4 km)逐日北半球雪盖图<sup>[26]</sup>。IMS 产品的最主要的特征是基于时空场景的融合,在特定的区域和条件下由分析者决策哪个数据源更可靠和雪的最终位置,因此其准确性和可信度较高。NOAA 数据集已广泛应用于大陆和半球积雪的监控,并输入到气候,水文模拟和数值模拟研究。为保持数据集的时空一致性,NOAA 数据集的优化也成为一难题<sup>[4]</sup>。

2) NASA 的 MODIS 数据集。MODIS 传感器,作为世界上新一代图谱合一的传感器,它的通道范围很广,它的通道范围很广,在0.4~14  $\mu\text{m}$  的电磁波谱范围内设置36个光谱通道,具有250、500、1 000 m的空间分辨率,每日或者每2 d可以获取一次全球观测数据。这使得MODIS数据集在积雪观测方面具有很大优势。它利用雪盖指数(NDSI)来对冰雪信息进行提取,即 band 4 (5.45~5.65 mm)和 band 6 (1.628~1.652 mm)之间的归一

化指数,一般来讲归一化指数大于0.4的划分为雪像元,反之为无雪像元,在有云或者森林茂密的区域增加其它的阈值规则<sup>[27]</sup>。

MODIS 提供每日的和合成的积雪资料,应用广泛的数据产品包括2000年至今的500 m分辨率的MOD10A1逐日雪产品数据;MOD10A2用8 d合成的雪产品数据主要用于高纬地区,持续的云层阻碍了每天的观测数据使用;MOD10C1逐日气候模型网格产品,分辨率0.05°。由于传感器的改进,MODIS 卫星资料在空间分辨率、积雪反演算法等方面明显优于25 km的NOAA数据集,在时间分辨率和光谱分辨率上比TM等可见光数据具有更大的优势。基于以上优势,Liang等人采用MODIS数据监测中国新疆牧区的雪盖情况,并得出用户自定义的多天合成的MODIS产品比逐日的MOD10A1数据对于监测牧区的雪盖情况更有效<sup>[28]</sup>;Salomonson等人用NDSI估算雪盖分数,并发现在局部或者大的区域如北美应用时,NDSI与雪盖分数存在回归关系,并且具有鲁棒性<sup>[29]</sup>。然而,该数据集受云的影响较大,在无云区精度很高,在经常有云层的覆盖的区域其不确定性大大增加。

## 2.2 微波数据集

SMMR,因其多通道和双极化的性能扩大其应用范围,为雪深量化遥感创造条件,传感器运行时间为1978年10月到1987年8月,每隔1 d传送1次数据。从1987年8月开始,性能更好的SSM/I替代了SMMR,提供半球或全球尺度的雪深变化信息<sup>[30]</sup>。SMMR和SSM/I都是利用雪颗粒散射在不同频率的敏感度差异来测量雪水当量、雪深(前者利用18 GHz和37 GHz,后者利用19 GHz和37 GHz)。2个频率的亮温差异越大,SWE和SD越大。利用这一性质,Foster等人采用1979~2006年的SMMR和SSM/I数据计算南美洲季节性积雪范围和质量<sup>[31]</sup>。SMMR和SSM/I可以构成时间序列最长的微波数据集。

AMSR-E微波辐射计(2002~2011年)可以测量6.9GHz-89GHz水平和垂直极化辐射<sup>[12]</sup>。AMSR-E搭载在Aqua卫星上于2002年开始使用,于2011年10月因其天线旋转的问题而停止生产数据,由它生成的雪产品包括每天的(AE\_DySno),5 d最大(AE\_5Dsno)和月平均(AE\_MoSno)雪水当量产品。它是采用36.5 GHz和18.7 GHz频段下的

亮温差异来对雪深和雪水当量进行反演。在现有的卫星遥感积雪产品中,AMSR-E积雪产品相当于SMMR和SSM/I具有更高的空间分辨率(25 km),使用非常广泛。Dai等人利用AMSR-E数据估算新疆地区的雪深和雪水当量,并证明与观测值有很好的 consistency<sup>[32]</sup>。

QuikSCAT是NASA在1999年7月发射的地球观测卫星,它是利用Ku波段上2个不变的入射角度进行测量,利用其高时间分辨率和散射图重建算法,在更好地空间分辨率下对地表后向散射系数进行重建,从而进行雪范围和积雪日数的监测<sup>[33]</sup>。Brown的研究表明,使用主动微波(QuikSCAT) Ku波段散射数据对于雪盖监测有很大的优势:这些数据对地表融雪有很高的敏感性,受植被覆盖的影响有限;对高纬度雪融化持续时间的高分辨率(5 km)制图是有潜力的,该方法对监测春天的融雪期的雪盖范围也非常有效<sup>[34]</sup>。

## 2.3 融合的数据集

卫星遥感的出现为冰雪监测提供有力平台,但依旧存在一些问题:如可见光数据集容易受云层影响的问题,微波数据集空间分辨率不高等。为提高积雪数据集的精度与质量,许多学者采用了不同类型的数据或者数据集的融合,如观测数据与模型的融合,传感器之间的融合及多数据源的融合等。

1) 观测数据与模型的融合。加拿大气象中心(CMC)结合可用的雪观测记录和简单的雪模型(NWP)生产了每日的全球雪深栅格数据集<sup>[35]</sup>。Brown等发现CMC分析有一个趋势:春天会出现雪早融现象,这是因为气象站点往往设在空地上,导致积雪深度有偏浅的倾向<sup>[34]</sup>。美国水文遥感中心(NOHRSC)采用卫星观测、实地观测、雪模型和数据同化方法开发了NOAA美国雪分析系统,NOHRSC调查了美国大约10 000个气象站点,这些实测数据和模拟的雪信息结合,用于提供美国和加拿大南部的每天的雪水当量和雪深信息<sup>[36]</sup>。

2) 地面观测与传感器的融合。Takala等人采用地面天气数据和微波数据(分别与SMMR,SMR/I,AMSR-E)相结合的算法计算北半球30 a长时间序列的雪水当量,能有效的降低气象站点插值与微波数据算法的不确定性<sup>[37]</sup>。由于微波遥感容易对雪水当量进行低估,尤其是在初冬和春季融雪时期。Derksen采用1915~1992年的历史数



据和1978~2002年的SMMR和SSM/I微波数据融合计算北美中部雪盖和雪水当量情况,并进行时间序列分析<sup>[38]</sup>。

3) 传感器融合。Foster等人采用AFSA算法,利用MODIS、AMSR-E和QuikSCAT数据集的优势互补生成一个单独的全球每天的数据产品,包括改进的雪范围,雪水当量,雪的融化时间和雪正在融化的范围的产品<sup>[39]</sup>。Gao等人采用MODIS和AMSR-E相结合的方法计算每天无云的积雪覆盖和雪水当量产品,该产品在保证较高的空间分辨率条件下被证明能有效的降低云盖的影响<sup>[12]</sup>。李金亚等利用MODIS和AMSR-E对中国六大牧区草原积雪进行监测<sup>[40]</sup>。

4) 多源数据的融合。Tait等利用NOAA AVHRR数据、SSM/I微波数据、气象站点以及高程数据结合,采用决策树的方法进行雪盖制图,这种多数据集的产品既弥补可见光数据集时间分辨率的不足,也弥补了微波数据集空间分辨率较差的问题<sup>[10]</sup>。Park结合水文和化学模型(CHANGE),NOAA每周的雪水当量数据和观测的实地数据来调查1948~2006年北极的雪深和雪盖范围的空间和时间趋势,它刻画北极地区的雪深和雪盖的年际变动,又预测在未来的气候胁迫下,积雪参数的变化<sup>[40]</sup>。

### 3 存在的问题与结论

卫星遥感技术为积雪监测提供了一个快速全面的途径,可见光/近红外遥感,主被动微波遥感在积雪监测方面各具优势,前者有较高的空间分辨率,对积雪范围及积雪边界的提取有很大优势,但受天气条件如云层影响较大,微波遥感克服了天气条件的限制,能在有云等天气较差的情况下全天候进行积雪监测,但其空间分辨率较低,一般都是数十乃至数百千米,限制了微波遥感在较小尺度范围内的使用。

近年来,大量的研究者针对不同数据集的优势,对不同的数据集进行结合,开发了非单一数据集的数据集,其中实测数据与模型的结合克服了实测数据空间连续性差的问题,解决了模型缺乏真实数据的问题;可见光/近红外遥感和微波遥感的融合的数据集既有较高的空间分辨率,又能有效的避免云层的影响,可以在不同尺度对积雪参数进行研究;多源数据的融合加入更多的辅助变

量如DEM、气温降水等,使结果更加真实可靠。

然而,积雪的反演依旧存在一些问题,比如在森林地区,微波遥感和可见光/近红外数据都难以很好的提取积雪信息,提取的雪盖范围往往偏小。在动态和高变数的融雪阶段,2种类型的数据对于动态识别的能力是有限的,不能有效的表达积雪的变动信息。这就需要更多的研究者的共同努力以推动数据集的发展。

### 参考文献:

- [1] Kulkarni A V,P Mathur,B P Rathore,et al.Effect of global warming on snow ablation pattern in the Himalaya[J].Current Science,2002,**83**(2):120-123.
- [2] 陈海山,许 蓓.欧亚大陆冬季雪深的时空演变特征及其影响因素分析[J].地理科学,2012,**32**(2):129~135.
- [3] Robinson D A,K F Dewey,R R Heim.Global snow cover monitoring-an update[J].Bulletin of the American Meteorological Society,1993,**74**(9):1689-1696.
- [4] Frei A,M Tedesco,S Lee,et al.A review of global satellite-derived snow products[J].Advances in Space Research,2012,**50**(8):1007-1029.
- [5] Dery S J,R D Brown.Recent Northern Hemisphere snow cover extent trends and implications for the snow-albedo feedback[N].Geophy. Res. Lett. 34(L22504). Doi.10.1029/2007GL031474.
- [6] Dyer J.Snow depth and streamflow relationships in large North American watersheds[J].Journal of Geophysical Research-Atmospheres,2008,113(D18): 1537-1546.
- [7] Wania F,J T Hoff,C Q Jia,et al.The effects of snow and ice on the environmental behaviour of hydrophobic organic chemicals [J].Environmental Pollution,1998,**102**(1):25-41.
- [8] Jaagus J.The impact of climate change on the snow cover pattern in Estonia[J].Climatic Change,1997,**36**(1-2):65-77.
- [9] Cohen J,D Entekhabi.The influence of snow cover on Northern Hemisphere climate variability[J].Atmosphere-Ocean,2001,**39**(1):35-53.
- [10] Tait A B,D K Hall,J L Foster,et al.Utilizing multiple datasets for snow-cover mapping[J].Remote Sensing of Environment,2000,**72**(1):111-126.
- [11] 裴 欢.基于MODIS数据的北疆积雪信息提取及其应用研究[D].乌鲁木齐:新疆大学,2006.
- [12] Gao Y,H Xie,N Lu,et al.Toward advanced daily cloud-free snow cover and snow water equivalent products from Terra - Aqua MODIS and Aqua AMSR-E measurements[J].Journal of Hydrology,2010,**385**(1-4):23-35.
- [13] 吴雪娇,鲁安新,王丽红,等.基于MODIS的长江源近10年积雪反照率时空分布及动态变化[J].地理科学,2013,**33**(3): 371~377.
- [14] 郭忠明,王宁练,毛瑞娟,等.基于MODIS反演祁连山七一冰川雪粒径[J].地理科学,2013,**33**(3): 378-384.

- [15] Romanov P,D Tarpley.Enhanced algorithm for estimating snow depth from geostationary satellites[J].Remote Sensing of Environment,2007,**108**(1):97-110.
- [16] Simpson J J,J R Stitt,M Sienko.Improved estimates of the areal extent of snow cover from AVHRR data[J].Journal of Hydrology,1998,**204**(1-4):1-23.
- [17] Salomonson V V,I Appel.Estimating fractional snow cover from MODIS using the normalized difference snow index[J].Remote Sensing of Environment,2004,**89**(3):351-360.
- [18] Birnie R V.Pixel-mixing Effects and Their Significance to identifying snow condition from landsat MSS data[J].International Journal of Remote Sensing,1986,**7**(7):845-853.
- [19] Chokmani K,K Dever,M Bernier,et al.Adaptation of the SNOW-MAP algorithm for snow mapping over eastern Canada using Landsat-TM imagery[J].Hydrological Sciences Journal-Journal Des Sciences Hydrologiques,2010,**55**(4):649-660.
- [20] Dankers R,S M De Jong.Monitoring snow-cover dynamics in Northern Fennoscandia with SPOT VEGETATION images[J].International Journal of Remote Sensing, 2004,**25**(15):2933-2949.
- [21] Mocko D M,G K Walker,Y C Sud.New snow-physics to complement SSiB part II: Effects on soil moisture initialization and simulated surface fluxes, precipitation and hydrology of GEOS II GCM[J].Journal of the Meteorological Society of Japan,1999,**77**(1B):349-366.
- [22] Pulliainen J T,J Grandell,M T Hallikainen.HUT snow emission model and its applicability to snow water equivalent retrieval[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,1999,**37**(3):1378-1390.
- [23] Bartsch A.Ten years of sea winds on QuikSCAT for snow applications[J].Remote Sensing, 2010,**2**(4):1142-1156.
- [24] Sirguey P,R Mathieu,Y Arnaud.Subpixel monitoring of the seasonal snow cover with MODIS at 250 m spatial resolution in the Southern Alps of New Zealand: Methodology and accuracy assessment[J].Remote Sensing of Environment,2009,**113**(1): 160-181.
- [25] Brogioni M,P Pampalon.A theoretical analysis on the sensitivity of microwave emission to snow parameters[C].Microwave Radiometry and Remote Sensing of the Environment, Washington, DC: IEEE Computer Society, 2008:176-179.
- [26] Ramsay B H.The interactive multisensor snow and ice mapping system[J].Hydrological Processes,1998,**12**:1537-1546.
- [27] Homan J W,C H Luce,J P McNamara,et al.Improvement of distributed snowmelt energy balance modeling with MODIS-based NDSI-derived fractional snow-covered area data[J].HydrologicalProcess,2011,**25**(4):650-660.
- [28] Liang T,X Huang,C Wu,et al.An application of MODIS data to snow cover monitoring in a pastoral area: A case study in Northern Xinjiang,China[J].Remote Sensing of Environment,2008,**112**(4):1514-1526.
- [29] Salomonson V V,I Appel.Estimating fractional snow cover from MODIS using the normalized difference snow index[J].Remote Sensing of Environment,2004,**89**(3):351-360.
- [30] Kunzi K F,S Patil,H Rott.Snow-Cover Parameters Retrieved from Nimbus-7 Scanning Multichannel Microwave Radiometer (Smmr) Data[J].IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,1982,**20**(4):452-467.
- [31] Foster J L,D K Hall,R E J Kelly,et al.Seasonal snow extent and snow mass in South America using SMMR and SSM/I passive microwave data (1979-2006) [J].Remote Sensing of Environment,2009,**113**(2):291-305.
- [32] Dai L,T Che,J Wang,et al.Snow depth and snow water equivalent estimation from AMSR-E data based on a priori snow characteristics in Xinjiang, China[J].Remote Sensing of Environment,2012,**127**:14-29.
- [33] Hicks B R,Long D G.Diurnal melt detection on Arctic Sea Ice using Tandem QuikSCAT and sea winds data[C].IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium,Washington, DC: IEEE Computer Society, 2006: 4112-4114.
- [34] Brown R,C Derksen,L Wang.Assessment of spring snow cover duration variability over northern Canada from satellite datasets [J].Remote Sensing of Environment,2007,**111**(2-3):367-381.
- [35] Brasnett B.A global analysis of snow depth for numerical weather prediction[J].Journal of Applied Meteorology,1999,**38**(6): 726-740.
- [36] Rutter N,D Cline,L Li.Evaluation of the NOHRSC snow model (NSM) in a one-dimensional mode[J].Journal of Hydrometeorology,2008,**9**(4):695-711.
- [37] Takala M,K Luojus,J Pulliainen,et al.Estimating northern hemisphere snow water equivalent for climate research through assimilation of space-borne radiometer data and ground-based measurements[J].Remote Sensing of Environment,2011,**115**(12): 3517-3529.
- [38] Derksen C.The contribution of AMSR-E 18.7 and 10.7 GHz measurements to improved boreal forest snow water equivalent retrievals[J].Remote Sensing of Environment,2008,**112**(5):2701-2710.
- [39] Foster J, L D K Hall, J B Eylander, et al. A blended global snow product using visible, passive microwave and scatterometer satellite data[J]. International Journal of Remote Sensing, 2011,**32**(5):1371-1395.
- [40] 李金亚,杨秀春,杨 斌,等.基于MODIS与AMSRE数据的中国六大牧区草原积雪遥感监测研究[J].地理科学,2011,31(9): 1097~1104.
- [41] Park H,H Yabuki,T Ohata.Analysis of satellite and model datasets for variability and trends in Arctic snow extent and depth, 1948-2006[J].Polar Science,2012,**6**(1):23-37.

## A Review on Snow Data Sets

YU Ling-xue<sup>1,2</sup>, ZHANG Shu-wen<sup>1</sup>, BU Kun<sup>1</sup>, YANG Jiu-chun<sup>1</sup>, YAN Feng-qin<sup>1,2</sup>, CHANG Li-ping<sup>1</sup>

(1. *Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130012, China;*

2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)*

**Abstract:** The climate change is indicated by wide changes of snow cover. Through its distinctive physical properties, snow plays an important role in the global ecological system not only by regulating the material and energy cycle between land and atmosphere, but also by influencing surface runoff and the hydrologic cycle. After researching and comparing a lot of literatures, we summarized the frequently used data sets. The NOAA data sets which have the longest time series in visible/near infrared data sets are widely applied in monitoring snow cover over the continents and providing the input to the climate and hydrological numerical simulations. With better spatial resolution (1 km or better), MODIS data sets which have great potential in the snow extraction can derive the snow cover through NDSI, a normalized index between band 4 and band 6. Microwave data sets are able to penetrate clouds and to detect the information about snow depth and snow water equivalent easily. Scanning Multichannel Microwave Radiometer (SMMR) and Special Sensor Microwave/Imager (SSM/I) data sets are the earliest microwave products for snow monitoring, while the coarse spatial resolution of which limits their application. AMSR-E data sets improve the resolution (25 km) and are proven to be in good agreement with the measured values. To solve the problems existing in the single-source data sets, many researchers combine the advantages of different data sources and develop new algorithms to improve the accuracy and quality of the data sets. The synthesized data sets include the integrated datasets from model and observational data, the integration between observed data and remote sensing sensor, the combination between sensors and multi-source data sets. Among the above mentioned data sets, the combination between sensors, such as the combination between the MODIS and the AMSR-E, can enlarge the advantages (good spatial resolution of MODIS and anti-interference of AMSR-E) and overcome the shortcomings (MODIS is easily affected by cloud cover while AMSR-E has bad spatial resolution). After analyzing the theoretical underpinnings, the characteristics of key products, advantages and disadvantages of various data sets, this article concluded some problems existing in the snow datasets research and discussed the current and future directions in their application and development.

**Key words:** snow data sets; snow cover; snow water equivalent; snow depth; remote sensing