

# 1961~2010年中国北方干旱区积雪深度的时空变化特征研究

徐瑞泽, 施红霞

成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都

收稿日期: 2021年10月21日; 录用日期: 2021年11月19日; 发布日期: 2021年11月26日

## 摘 要

本文选取了中国35°N以北的227个台站, 采用统计方法对中国北方干旱区冬季的积雪日数、日均积雪深度、最大积雪深度和累积积雪深度的时空变化特征进行研究, 并分析了冬季积雪深度与气温和降水的关系。得出如下结论: 1) 中国北方干旱区积雪主要集中在新疆北部及东北大部分地区, 空间分布呈现两边多中间少, 高纬度多低纬度少, 山地多平原盆地少, 西北地区多于东北地区的特点; 2) 1961~2010年中国北方积雪日数呈现减少趋势, 意味着积雪期在缩短, 而日均积雪深度、最大积雪深度和累积积雪深度均呈现显著增加的趋势; 尤其在新疆北部、东北地区; 3) 冬季累计积雪深度与同期温度呈现负相关, 与降水之间存在正相关。

## 关键词

中国北方, 干旱区, 积雪

## Study of Temporal and Spatial Variation Characteristics of Snow Depth in Arid Areas of Northern China from 1961 to 2010

Ruize Xu, Hongxia Shi

School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan

Received: Oct. 21<sup>st</sup>, 2021; accepted: Nov. 19<sup>th</sup>, 2021; published: Nov. 26<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

Based on the snow depth data from 227 stations located in the north of 35°N in China, statistical methods are used to analyze the temporal and spatial characteristics of snow days, daily mean snow depth, maximum snow depth and accumulated snow depth in the arid area in the northern part of China. Furthermore, the correlation between snow depth and temperature and precipitation are discussed. The results show that: 1) Snow mainly concentrates in the northern part of Xinjiang province and the northeast of China, it is more on the two sides than that in the middle, more in the high latitude than that in the low latitude, more in the mountain than that in the plain and basin, more in the west than that in the east part of the arid area; 2) Snow days have a declined trend during 1961~2010, which means the snowpack period is shortening, while daily mean snow depth, maximum snow depth and accumulated snow depth all show an increasing trend, especially in the northern part of Xinjiang Province and the northeast of China; 3) Accumulated snow depth in winter has a negative correlation with temperature and has a positive correlation with precipitation in the same period.

## Keywords

Northern China, Arid Area, Snow

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

积雪是冰冻圈的重要组成部分之一,对气候变化有着极大的影响[1]。它通过反照率和水文效应来改变地表和大气的热量和水汽交换,进而影响到后期当地甚至大范围的大气环流[2] [3],积雪成为气候系统中一个重要的外源强迫因子并对全球范围内的气候变化产生显著的影响[4] [5],同时也对以积雪融水为主要补给源的河流具有重要影响,对流域的农业、畜牧业、旅游业和工业生产以及人民生活造成显著影响[6]。

Armstrong 等[7]的研究表明北半球的季节性积雪在全球占比约 98%。随着全球气候变暖,积雪已经呈现出显著的响应。希爽等[8]利用 1961~2012 年中 1400 个站点资料,对我国积雪时空变化特征进行了分析和研究,认为我国积雪主要分布在北疆地区、东北地区 and 内蒙古东北部地区以及青藏高原,其中北疆地区、东北和内蒙古东北部地区积雪量有显著增加趋势。胡列群等[9]利用新疆 91 个气象台站 1960~2011 年的积雪日数、最大积雪深度、积雪初始、终止日期观测资料进行了统计分析,指出新疆冬春季积雪主要分布在天山以北,南北疆及天山山区的积雪深度呈小幅增长,积雪日数小幅降低,积雪初始、终止日期无明显变化。张峰等[10]对内蒙古自治区 110 个气象站 1960~2015 共 56 年的站点数据进行处理分析。结果表明,内蒙古地区积雪分布在空间上呈现东多西少的分布,积雪日数总体呈增加趋势,积雪期在进入 21 世纪后总体缩短,积雪深度在东部与中部呈现增加,西部小幅下降。王增艳等[11]利用遥感数据对干旱区 2002~2009 年积雪分布的时空特征进行了分析,发现天山和阿尔泰山地区积雪日数从边缘山区向盆地中心递减,初雪日期延后,终雪日期提前,年际变化主要体现在积雪日数的增减上。

中国的干旱区位于我国北部,占全国陆地面积的二分之一,幅员辽阔,资源丰富,对于我国农业有重要影响。高山积雪融水是干旱区最重要的水资源补给方式之一,干旱区冬季积雪范围大、持续时间长,

可能造成干旱区农牧业各种灾害[12]。户元涛和张廷军[13]研究表明干旱区积雪首日提前, 积雪终日延后, 积雪天数和积雪深度增加, 半干旱区积雪首日延后, 积雪终日延后, 积雪天数减少。生态不稳定的干旱区[14], 对气候变化的响应更为敏感。目前对这一地区的陆面过程还缺乏深刻的认识[15]。因此干旱区积雪研究对于该地区以及我国的农业生产, 人民生活有着重要的意义。本文基于台站观测的积雪深度资料, 对我国北方干旱区的积雪深度、积雪日数、累计积雪深度及最大积雪深度的时空变化特征进行了分析, 对于改进陆面过程参数化方案, 研究全球陆地能量和水汽循环及全球变化具有十分重要的现实意义。

## 2. 资料与方法

### 2.1. 资料

本文使用的积雪深度资料来自国家气象中心, 包括全国共 738 个台站 1960~2010 年共 50 年的积雪深度数据。选取中国北纬 35°N 以北的台站的冬季(12、1、2 月)积雪深度数据。经过筛选, 选用 227 个台站(图 1)的积雪数据进行相关研究。

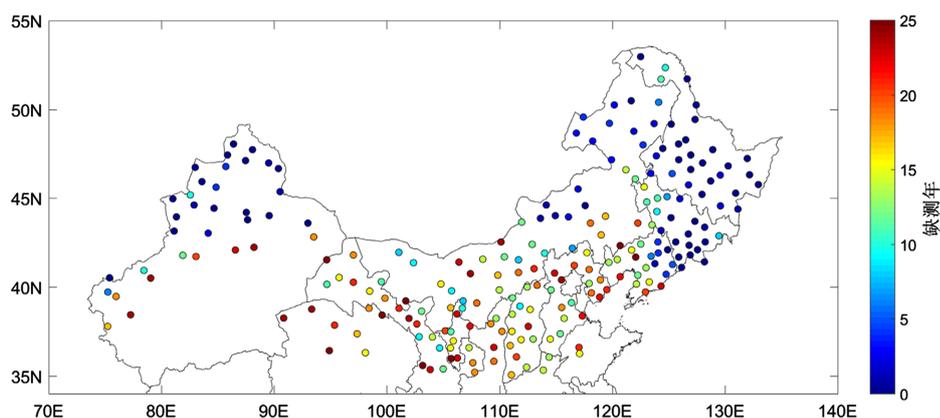


Figure 1. The distribution of stations

图 1. 气象台站分布

### 2.2. 方法

#### 线性回归

运用最小二乘法拟合线性趋势变化, 公式为:

$$y = a + bx \quad (1)$$

式中,  $b$  为气候倾向率,  $y$  为不同积雪要素,  $x$  为时间,  $a$  为常数。当  $b > 0$  时, 表示积雪在增加; 当  $b < 0$  时表示积雪在减少。 $b$  值的大小反映了积雪上升或下降的强度[16]。

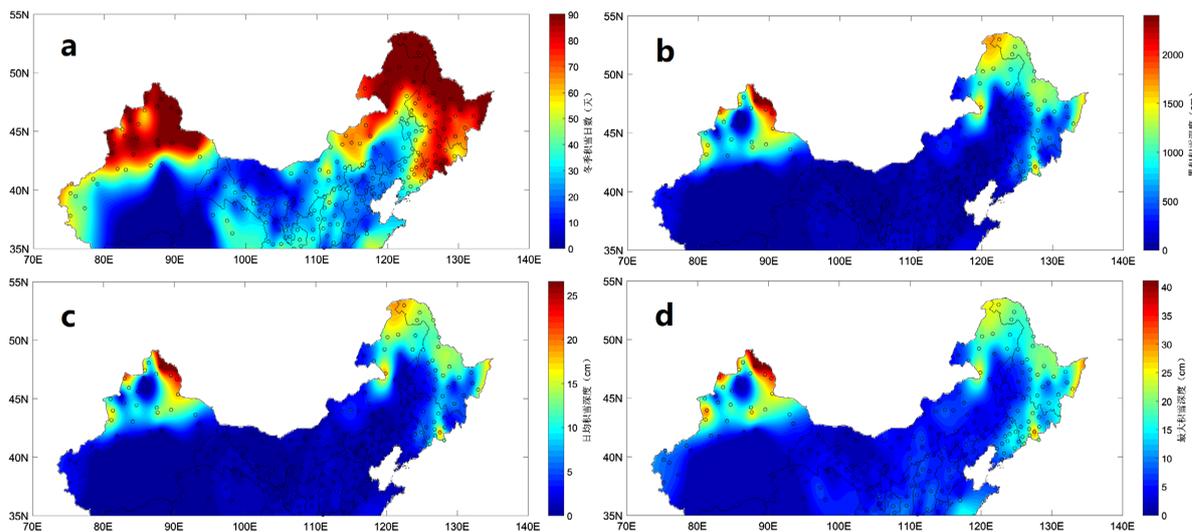
## 3. 中国北方干旱区冬季积雪的空间分布特征

### 3.1. 多年平均积雪空间分布

图 2 中显示了中国北方多年平均的冬季积雪日数(图 2(a))、日均积雪深度(图 2(b))、最大积雪深度(图 2(c))与累积积雪深度(图 2(d))的空间分布。由图中可看出积雪主要集中在新疆地区和东北地区。其中新疆北部的部分地区、黑龙江北部、内蒙古东北部以及吉林西南部的部分地区冬季积雪日数达到了 85 d 以上, 几乎整个冬季时间都覆盖着积雪。积雪日数最大值出现在内蒙古图里河, 达到了 90 d 左右。华北地区与内蒙古西部地区积雪整体较少, 局部地区在 10 d 以下。日均积雪深度、累积积雪深度和最大积雪深度的分布与积雪

日数的基本一致, 华北部分地区日均积雪深度甚至低于 1 cm。此外还能明显看出新疆地区的积雪深度要比东北地区高。新疆北部部分地区日均积雪深度在 20 cm 以上, 最大积雪深度在 25 cm 以上。中国北方冬季平均最大积雪深度的极大值出现在新疆阿勒泰, 达到了 41.12 cm。最大日均积雪深度与最大累积积雪深度也在该地区最大。从图中可以看出, 新疆北部的积雪程度要高于东北地区。总体来说, 中国北方积雪日数分布主要呈现两边多中间少, 高纬度多低纬度少的情况。

对两个中国北方主要积雪区域新疆北部与东北区域的积雪特征进行研究。发现新疆北部地区的积雪分布总体呈现四周多中间少趋势。积雪的大值区集中在天山, 阿尔泰山地区, 积雪日数大于 80 d, 最大积雪深度在 15 cm 以上, 日均积雪深度高于 15 cm。在中间的准格尔盆地积雪日数减少到 65 d 以下, 日均积雪深度低于 5 cm, 最大积雪深度低于 10 cm。其中和布克赛尔(85.43°E, 46.47°N, 1291.6 m)为各量的极小值处, 积雪日数为 62.12 d, 日均积雪深度为 2.26 cm, 累积积雪深度为 203.82 cm, 最大积雪深度为 6.4 cm。东北地区积雪呈现两边多中间少, 积雪大值集中在东北平原周围的大兴安岭、小兴安岭与长白山山脉, 积雪区域由北向南沿山脉延伸。积雪日数在 60 d 以上, 最大积雪深度大于 15 cm, 日均积雪深度超过 10 cm。而东北平原的积雪呈现明显的减少情况。积雪日数减少到 30 d 以下, 日均积雪深度小于 5 cm。由此可见积雪分布还有着山地多, 平原盆地少的特点。

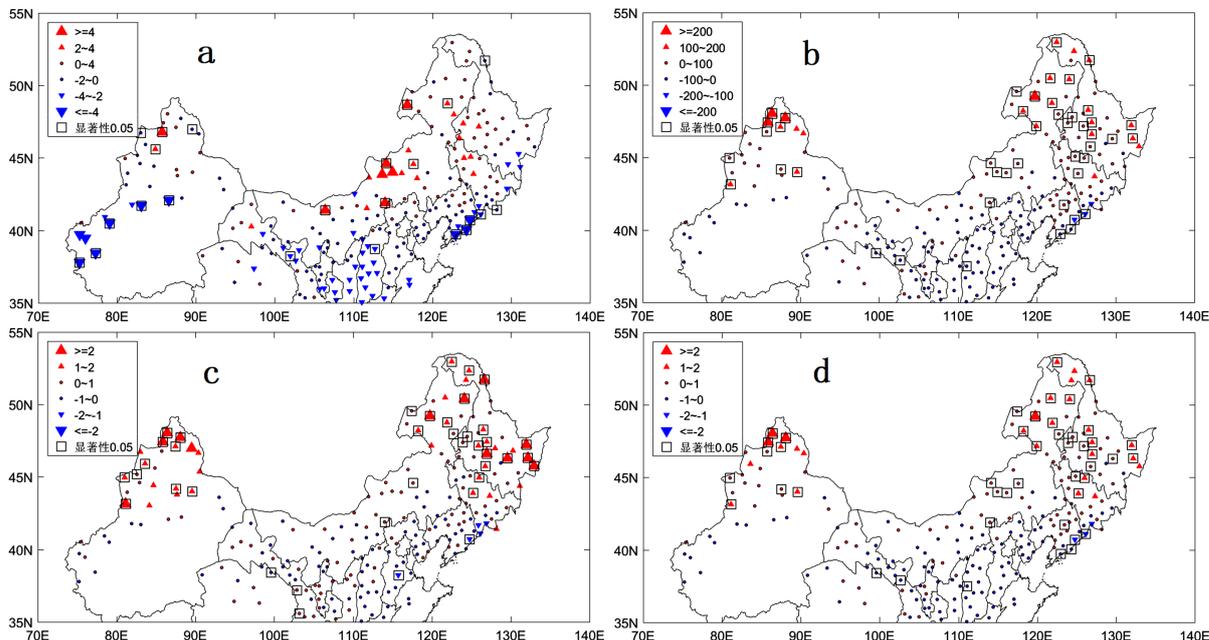


**Figure 2.** Annual mean spatial distribution of accumulated snow from 1961 to 2010 ((a) Accumulated snow days; (b) accumulated snow depth; (c) daily mean accumulated snow depth; (d) maximum accumulated snow depth)

**图 2.** 1961~2010 年积雪的多年平均空间分布((a) 积雪日数; (b) 累积积雪深度; (c) 日均积雪深度; (d) 最大积雪深度)

### 3.2. 积雪空间趋势分布

图 3 为冬季积雪日数、日均积雪深度、最大积雪深度与累积积雪深度的空间趋势分布。图 3(a)表明积雪日数在北疆中部地区准格尔盆地、内蒙古的中部区域以及东北的大部分区域呈现增加趋势, 在准格尔盆地以及内蒙古中部区域的增加趋势尤为明显。在辽东半岛, 新疆中部以及华北地区呈较明显下降趋势, 积雪日数的空间差异显著加大。最大积雪深度(图 3(c))在新疆北部, 内蒙古中部以及东部地区和东北大部分地区都呈现较为明显的增加趋势。新疆北部, 内蒙古北部和黑龙江地区大幅增加。华北地区与辽宁的部分区域呈现略微下降趋势。日均积雪深度(图 3(d))与累积积雪深度(图 3(b))变化趋势基本相同, 在新疆北部, 东北地区增加, 其中北疆北部与内蒙古北部增加趋势最强。华北以及辽宁局部地区呈现略微下降趋势。新疆北部地区以及东北大部分地区在这 50 a 中积雪呈现增加趋势, 中国北方积雪的极大值大部分都出现在这些区域。而华北地区和辽宁东部区域基本呈下降趋势。

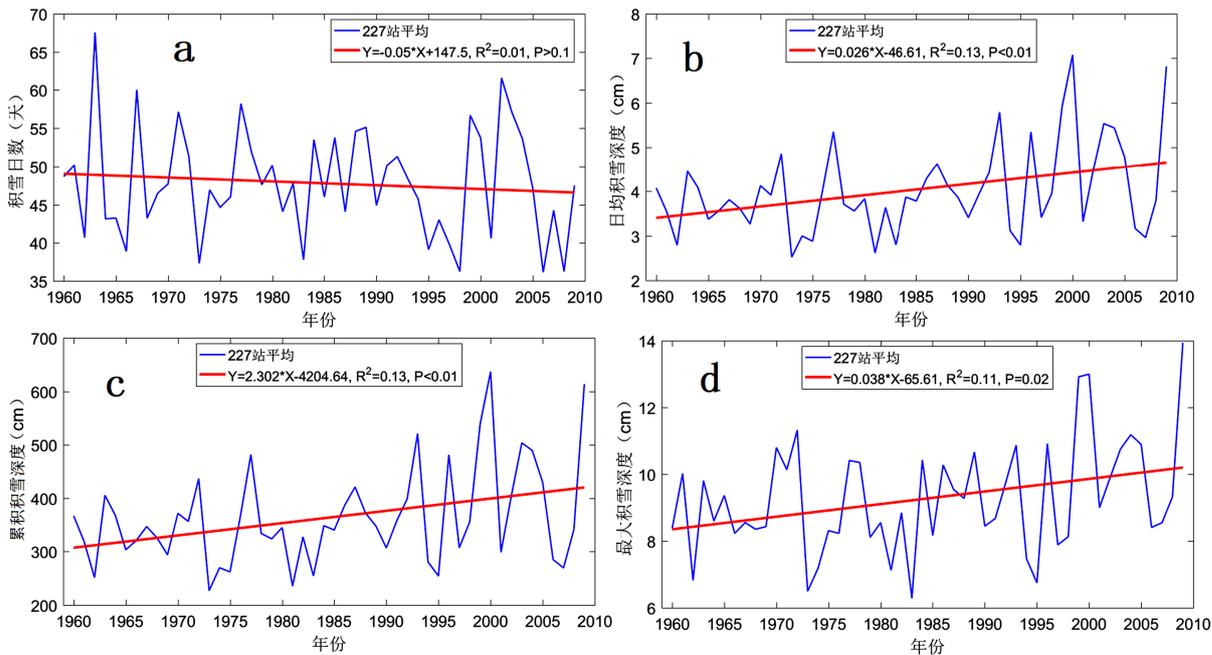


**Figure 3.** The distribution of linear trend of snow from 1961 to 2010 ((a) Accumulated snow days; (b) accumulated snow depth; (c) daily mean accumulated snow depth; (d) maximum accumulated snow depth)

**图 3.** 1961~2010 年积雪线性趋势分布((a) 积雪日数; (b) 累积积雪深度; (c) 日均积雪深度; (d) 最大积雪深度)

### 3.3. 积雪年际变化特征

图 4 为积雪的年际变化图。可以看出 1960~2010 年中国北方积雪日数(图 4(a))的年平均最大值为 67.56 cm, 出现在 1963 年。最小值为 31.16cm, 出现在 2006 年, 总体来看 1960~2010 年中国北方积雪日数呈



**Figure 4.** Interannual variation of accumulated snow from 1961 to 2010 ((a) Accumulated snow days; (b) accumulated snow depth; (c) daily mean accumulated snow depth; (d) maximum accumulated snow depth)

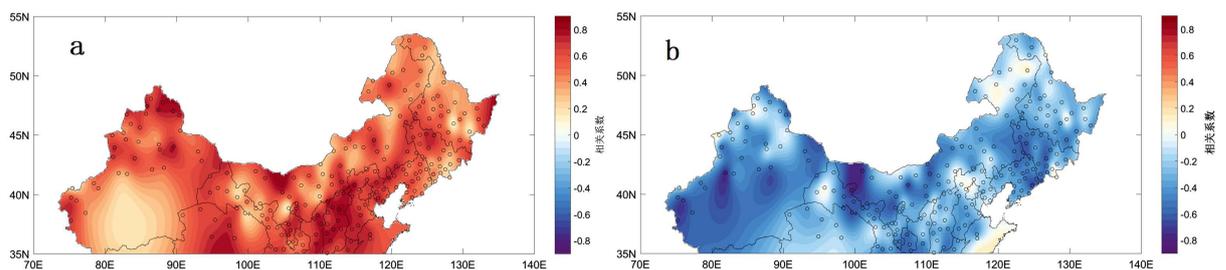
**图 4.** 1961~2010 年积雪的年际变化((a) 积雪日数; (b) 累积积雪深度; (c) 日均积雪深度; (d) 最大积雪深度)

现减少的趋势,但趋势不显。日均积雪深度(图 4(b))呈现显著增加趋势,增加速率为 0.26 cm/10a ( $P < 0.01$ )。累积积雪深度(图 4(c))也呈现显著增加的趋势,二者均在 2000 年出现最大值,在 1973 年出现最小值。最大积雪日数(图 4(d))也呈现波动增加趋势,增加速率为 0.38 cm/10a。总的来说,1960~2010 年虽然我国北方积雪日数在减少,但日均积雪深度、累积积雪深度、最大积雪深度均呈现出显著增加的趋势。

## 4. 积雪与气温、降水的关系

### 4.1. 累计积雪深度与同期气温和降水的关系

图 5 为累积积雪深度与同期气温和降水的相关系数的空间分布。从图中可以看出中国北方全区冬季积雪深度与同期降水(图 5(a))呈正相关关系,在新疆北部、天山地区、内蒙古西部、山西与陕西省的部分地区以及黑龙江东部呈现显著的正相关关系,而与气温(图 5(b))基本呈负相关关系。

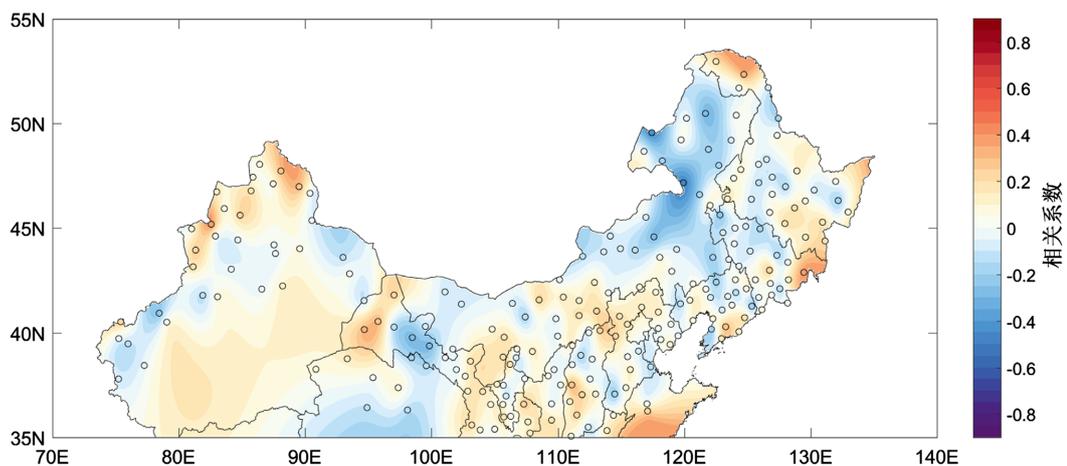


**Figure 5.** The spatial distribution of correlation between accumulated snow depth in winter and precipitation (a) and temperature (b) in the same year during 1961 to 2010

**图 5.** 1961~2010 年冬季累积积雪深度与同期降水(a)和温度(b)的相关系数的空间分布

### 4.2. 累计积雪深度与后期夏季降水的关系

图 6 为累积积雪深度与后期夏季降水的相关系数的空间分布。从图中可以看出在新疆北部、黑龙江北部和东部以及华北的大部分地区累积积雪深度与次年夏季降水呈正相关关系。在天山地区、内蒙古东北部和中部、吉林西部、辽宁中部以及甘肃中部呈负相关关系。总体来看,除了内蒙东部区域累积积雪深度与次年降水呈负相关之外,其他北方大部分区域则是以正相关为主。



**Figure 6.** The spatial distribution of correlation between accumulated snow depth in winter and later precipitation during 1961 to 2010

**图 6.** 1961~2010 年冬季累积积雪深度与后期降水的相关系数的空间分布

## 5. 结论

本文使用了 35°N 以北的 227 个台站 1960~2010 年的冬季积雪深度资料, 对中国北方干旱区冬季的积雪日数、日均积雪深度、最大积雪深度和累积积雪深度时空分布特征进行了分析, 并讨论了累积积雪深度与温度、降水的关系。主要结论如下:

1) 中国北方干旱区积雪空间分布总体呈现两边多中间少, 高纬度多低纬度少, 山地多平原盆地少, 西北多于东北的特点。新疆北部区域和东北区域为中国北方积雪的大值区。

2) 1960~2010 年新疆北部, 内蒙中部及东北大部分地区积雪日数都呈显著增加的趋势, 而其他地区基本都是减少。由于北方大部份台站上积雪日数都处于减少的趋势, 所以 1960~2010 年北方积雪期在缩短。日均积雪深度、累积积雪深度、最大积雪深度空间变化基本一致, 均在新疆北部地区以及东北大部分区域存在显著增加的趋势, 其他地区变化较弱, 三者 在年际变化上都呈现显著增加的趋势。

3) 中国北方干旱区冬季积雪深度与同期降水呈正相关关系, 与气温基本呈负相关关系。冬季累积积雪深度与后期夏季降水在北方大部分地区是以正相关为主, 而在内蒙中东部大片区域均以负相关为主。

## 参考文献

- [1] 王洪丽, 曲学斌, 张平安, 等. 1960-2012 年呼伦贝尔市积雪时空分布特征[J]. 内蒙古气象, 2016(2): 16-22.
- [2] 张天宇, 陈海山, 孙照渤. 欧亚秋季雪盖与北半球冬季大气环流的联系[J]. 地理学报, 2007, 62(7): 728-741.
- [3] Brown, R., Derksen, C. and Wang, L.B. (2010) A Multi-Data Set Analysis of Variability and Change in Arctic Spring Snow Cover Extent, 1967-2008. *Journal of Geophysical Research*, **115**, D16111. <https://doi.org/10.1029/2010JD013975>
- [4] Meeh, G.A. (1994) Influence of Land Surface in the Asia Summer Monsoon: External Conditions versus Internal Feedbacks. *Journal of Climate*, **7**, 1033-1049. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1994\)007<1033:IOTLSI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1994)007<1033:IOTLSI>2.0.CO;2)
- [5] Ueda, H., Shinoda, M. and Kamaho, R.I.H. (2003) Spring Northward Retreat of Eurasian Snow Cover Relevant to Seasonal and Interannual Variations of Atmospheric Circulation. *International Journal of Climatology*, **23**, 615-629. <https://doi.org/10.1002/joc.903>
- [6] 李斐, 刘苗苗, 王水献. 2001-2013 年开都河流域上游积雪时空分布特征及其对气象因子的响应[J]. 资源科学, 2016, 38(6): 1160-1168.
- [7] Armstrong, R.L. and Brodzik, M.J. (2001) Recent Northern Hemisphere Snow Extent: A Comparison of Data Derived from Visible and Microwave Satellite Sensors. *Geophysical Research Letters*, **28**, 3673-3676. <https://doi.org/10.1029/2000GL012556>
- [8] 希爽, 张志富. 中国近 50 a 积雪变化时空特征[J]. 干旱气象, 2013, 31(3): 451-456.
- [9] 胡列群, 李帅, 梁凤超. 新疆区域 50 a 积雪变化特征分析[J]. 冰川冻土, 2013, 35(4): 793-800.
- [10] 张峰, 甄熙, 郑凤杰. 内蒙古 1960-2015 年积雪时空分布变化研究[J]. 现代农业, 2018(8): 82-85.
- [11] 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.
- [12] 陈曦. 中国干旱区自然地理[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 23-47.
- [13] 户元涛, 张廷军. 干旱半干旱地区积雪变化及其与气候变化的关系——以新疆维吾尔自治区为例[J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 2018, 54(5): 577-585.
- [14] 徐鑫强, 曲宗希, 赵艳節, 等. 东亚干旱、半干旱区范围与边界层高度变化的关系分析[J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 2017, 53(1): 88-92.
- [15] 胡隐樵, 孙菽芬, 郑元润, 等. 稀疏植被下垫面与大气相互作用研究进展[J]. 高原气象, 2004, 23(3): 281-296.
- [16] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 2007.