

基于MODIS数据的东北地区积雪时空变化

王亚茹*, 韩瑜佳, 杨盛娜, 张云娜, 郑文宣, 孔超

临沂大学资源环境学院, 山东 临沂

收稿日期: 2022年3月31日; 录用日期: 2022年6月1日; 发布日期: 2022年6月8日

摘要

积雪是冰冻圈重要组成部分, 冰冻圈各要素的时空变化能够对气候、水文、生物和经济发展产生重要影响。因而, 研究和掌握冰冻圈各要素的时空变化规律可以更好地评价气候变化影响、促进区域经济发展和改善人民生产生活。遥感数据可以获取地表冻融状况和积雪覆盖状况, 为研究提供了很好的数据基础。因此, 本文基于MODIS积雪数据产品构建并分析了东北三省的积雪时长和无积雪冻结日数百分比的时空变化规律, 并揭示了冬季温度和降水的关系。结果表明: 1) 东北三省地区西北部、东北部以及西南部积雪天数有显著减少的趋势, 其他大部分地区积雪时长变化都不明显; 2) 中北部和东部有部分地区无积雪日数百分比呈减少趋势, 西南部呈显著增加的趋势。冬季温度对积雪变化的具有重要影响。

关键词

积雪时长, 无积雪冻结日数百分比, 气候变化, 东北地区

Spatial and Temporal Change in Snow Cover Properties in Northeast China Based on MODIS Data

Yaru Wang*, Yujia Han, Shengna Yang, Yunna Zhang, Wenxuan Zheng, Chao Kong

College of Resources and Environment, Linyi University, Linyi Shandong

Received: Mar. 31st, 2022; accepted: Jun. 1st, 2022; published: Jun. 8th, 2022

Abstract

Snow cover is an important part of the cryosphere. The temporal and spatial changes of various elements of the cryosphere have a great impact on climate, hydrology, biology and economic development. Therefore, understanding the temporal and spatial variations in the elements of the

*通讯作者。

文章引用: 王亚茹, 韩瑜佳, 杨盛娜, 张云娜, 郑文宣, 孔超. 基于 MODIS 数据的东北地区积雪时空变化[J]. 地理科学研究, 2022, 11(3): 272-278. DOI: 10.12677/gser.2022.113028

cryosphere can better evaluate the impact of climate change, promote regional economic development, and improve people's production and life. Remote sensing data can obtain surface freezing and thawing conditions and snow cover conditions, providing a good data basis for research. Therefore, based on the MODIS snow cover data product, this paper analyzes the temporal and spatial variation of the snow cover duration and the percentage of snow-free freezing days in the three northeastern provinces of China, and reveals the relationship between winter temperature and precipitation. The results show that: 1) Snow cover duration in the northwest, northeast and southwest of the study area has a significant decreasing trend, and most other areas have no significant changes in snow cover duration; 2) Some areas in the north-central and eastern parts of the country have no snow accumulation. The percentage of snow-free freezing days showed a decreasing trend, with a significant increase in the Southwest. Winter temperature has a great influence on the change of snow cover.

Keywords

Snow Cover Duration, Percentage of Freezing Days without Snow Cover, Climate Change, Northeastern China

Copyright © 2022 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

积雪是指覆盖在陆地和海冰表面的雪层[1],它是地球表面最活跃的生态要素之一,是冰冻圈中分布最广泛、变化最显著的一员,也是气候系统和冰雪圈中的重要组成部分。积雪和气候可以相互作用,是气候变化的指示器,也对气候具有反馈作用。积雪变化可能会引起下垫面能量和水分的变化,导致地表和大气间的水热交换发生改变,从而对大气环流带来重要影响。积雪对水文产生重要影响。例如,黄河地区积雪与春季径流呈正相关[2],由于全球变暖黄河源区积雪提前融化,导致黄河源区春季径流的月份分布发生变化,前期径流量上升而后后期径流量下降[3]。积雪对灌丛、荒漠、高寒地区草甸以及植被等生态系统产生影响。例如,积雪可通过提前返植被青期和推迟枯黄期以及改变土壤中养分、水分和温度来使土壤中的酶保持活性,从而对植被产生影响[4]。综上,积雪能够对气候、水文、生物等方面产生重要影响,了解其时空变化具有重要科学和实践意义。

目前,研究积雪变化趋势分析及其驱动机制分析主要是基于卫星遥感资料,分析不同条件下积雪年内年际变化特征,结合气候因子,分析其分布变化原因。研究多采用基于像元的一元线性回归分析法分析其趋势变化率和采用基于像元的空间相关分析法对积雪与气候因子间的关系进行研究[5],在全球和区域尺度获得了丰富的研究成果。受温度升高影响,北半球积雪总体呈减少趋势。中国雪量变化存在地区性差异,中国积雪日数和最大积雪深度分布不均匀[6]。我国国内对积雪特征变化的研究主要集中在三个大值区:新疆积雪区、青藏高原积雪区和东北积雪区。近年来新疆地区冬季最大积雪深度呈增加趋势,积雪深度以 ≤ 10 cm为主,积雪日数总体呈减少趋势[7]。青藏高原年内积雪面积呈双峰型周期变化趋势,积雪面积在3月和11月达到峰值,8月达到谷值,与气温、降水关系密切。东北地区积雪日数北多南少,呈增加趋势[8]。

目前对积雪特征的研究多侧重于气候方面,对具有生态意义的指标关注较少。冻结期积雪和无积雪日数百分比对于动植物空间分布、物种多样性等生态特征具有重要影响[9][10][11]。例如,研究表明冻

结期积雪和无积雪日数百分比能够较好的表征学下生境状况[12]。东北地区是我国的重要积雪区之一，积雪十分丰富，积雪融水是东北地区不可或缺的水分来源。一方面，积雪融水可用于农业、林业和畜牧业的灌溉，积雪的热传导特性对土壤有一定的保温作用，可以防止农作物在冬季受到冻害，提高返青率；另一方面，由于东北地区处于高纬度，冬季十分寒冷形成大量积雪，春季温度上升时积雪融化产生大量积雪融水形成春汛，可能引发洪水灾害，积雪观测可以预测气候变化和灾害发生，更好的促进区域经济发展和满足人民生产生活的需要[13]。本文基于时间序列分析方法揭示了东北三省地区对生物多样性有潜在影响的积雪特征(积雪天数和无积雪冻结天数百分比)的时空变化。

2. 数据与方法

2.1. 研究区概况

东北地区，位于我国东北部，土地面积为 126 万平方公里，占全国国土面积的 13%。东北地区地跨中温带与寒温带，属于温带季风气候，四季分异明显，夏季温和，冬季寒冷，降水集中在夏季，雨热同期。东北地区地形以平原和山地为主，三面被大兴安岭、小兴安岭、长白山环绕，中间为东北平原，地势特点为西、北、东三面高，中间低，南部临海(图 1)。东北地区的地势特点有利于南部海洋湿润气流进入东北内陆地区，增加降水。东北地区是中国重要的生产区，农业、林业、畜牧业发展需要大量用水，水源在东北地区的经济发展中起着关键作用，东北地区是我国的重要积雪区之一，积雪十分丰富，积雪融水是东北地区不可或缺的水分来源[13]。

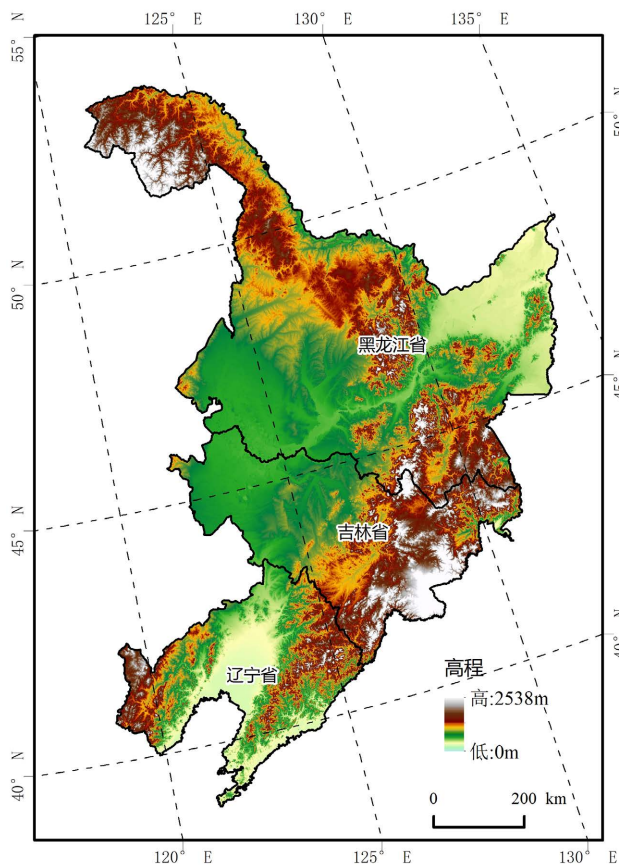


Figure 1. Geographic location of study area
图 1. 研究区概况图

2.2. 积雪数据产品

研究基于 Zhu & Guo (2022) [14]获取的 2000~2018 年中国冻结期积雪日数和无积雪日数百分比数据产品。该产品通过融合 MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) 8 天的合成积雪数据和 NASA MEaSUREs 逐日地表冻融数据获取, 具体包括三个步骤: 1) 通过分析 2001~2020 年逐日地表冻融数据确定初冻期、解冻期和冻结期范围; 2) 基于改进的 2001~2020 年 MODIS Terra 和 Aqua 积雪数据产品 (MOD10A1/MYD10A1) 获取地表积雪状况并用于变量计算; 3) 针对特定像元, 将综合积雪状态、地表冻融状况、季节(是否位于冻结期内)等信息计算 2001~2018 年冻结期积雪日数和无积雪日数百分比数据产品。积雪日数定义为冻结期内地表被积雪覆盖的天数, 无积雪日数百分比定义为冻结期内地表为冻结状态但未被积雪覆盖的天数与冻结时长的比值。

2.3. 趋势分析

本研究将采用一元线性回归模型分析各变量的时空变化趋势。模型可表示为:

$$y_t = \alpha + \beta t + \varepsilon_t \quad (1)$$

其中, y_t 代表积雪变量时间序列, t 代表年份, β 表示随时间变化的斜率, ε_t 为平均值等于 0, 标准差固定的随机误差值。将通过 $\beta/se(\beta)$ (回归系数与其标准误差的比值) 进行趋势的统计检验, 其值服从 t 分布。

3. 结果与分析

3.1. 积雪空间格局分析

图 2 展示了东北三省地区 2001~2018 年的积雪空间变化规律。图 2(a) 反映的是东北三省积雪时长空间变化。从图中可以看出东北三省西北部积雪时长最长, 其次是北部、东部和东南部, 西部和西南部积雪时长最短。东北三省的无积雪日数百分比的空间变化与积雪时长大致呈相反的状态, 西部和西南部无积雪日数百分比高, 北部、东部和东南部无积雪日数百分比低。

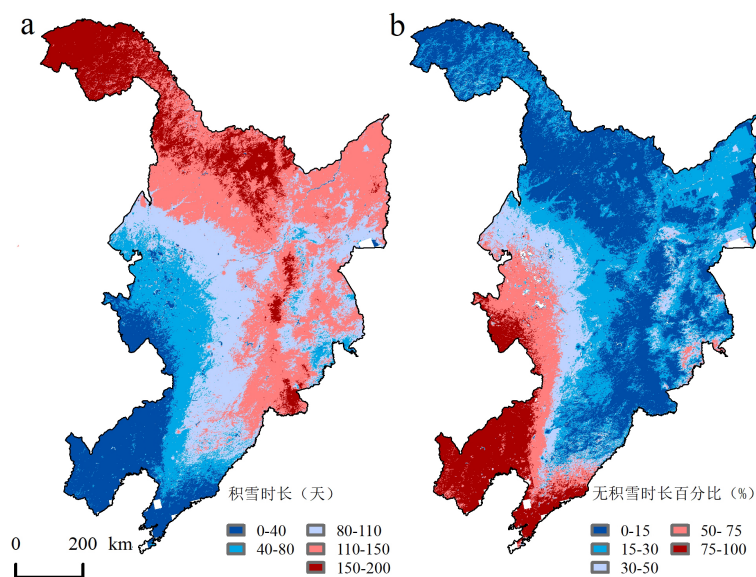


Figure 2. Spatial pattern of mean (a) duration of frozen ground with snow cover and (b) percentage of snow-free frozen ground for period: 2001~2018

图 2. 2001~2018 积雪空间变化格局图 (a) 积雪时长; (b) 冻结期无积雪日数百分比

3.2. 积雪特征空间变化趋势

图 3 展示了东北三省地区 2001~2020 年积雪特征随时间的变化规律。由图可看出积雪时长在西北、西南、东北部的部分地区呈减少趋势，其他大部分地区的变化都不明显(图 3(a))。中北部和东部有部分地区无积雪日数百分比呈减少趋势，西南部呈显著增加的趋势(图 3(b))。

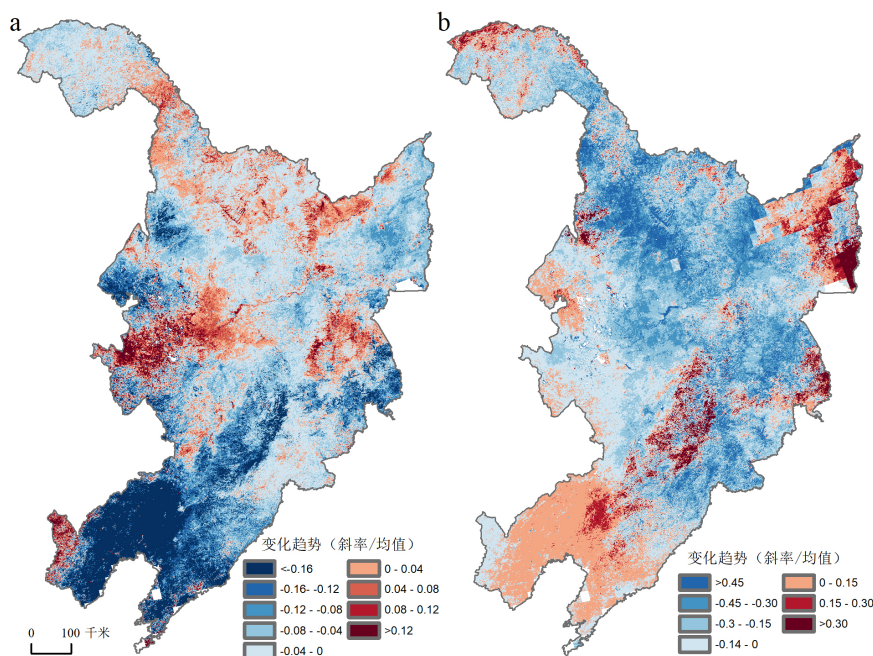


Figure 3. Spatial pattern of changing trends for (a) duration of frozen ground with snow cover and (b) percentage of snow-free frozen ground for period: 2001~2020

图 3. 2001~2020 积雪空间变化趋势图(a) 积雪时长; (b) 冻结期无积雪日数百分比

3.3. 积雪特征变化与气候因子的关系

本研究利用相互系数和回归模型分析冬季温度和降水与各积雪变量的相关性。当相关系数的绝对值越接近 1 时，说明两个变量的相关性越大。当相关系数为负时说明两个变量呈负相关，且值越接近-1 其负相关性越强；当相关系数为正时，说明两个变量呈正相关，且值越接近 1 其正相关性越强。我们发现冬季温度与积雪日数表现出高度的负相关性($R = -0.80$)。温度升高时，积雪时长会出现显著缩短的趋势。冬季温度与无积雪冻结天数百分呈正相关关系($R = 0.68$)。冬季降水与积雪变量的关系不显著。其中与积雪日数的相关系数为 0.08，与无积雪冻结天数为-0.08。

4. 结论与讨论

4.1. 讨论

通过研究发现，当温度升高时，积雪融化越快，冻结期时长和积雪时长呈缩短趋势，降水与这变量的关系恰好与温度相反，这一研究结果与杨林[15]、杨倩[16]等人的研究结论大致相同。在对东北三省的积雪空间变化研究中发现黑龙江省北部积雪时长较长，南部和中部一部分区域积雪时长较短，这一结果与前人在黑龙江流域积雪时空变化研究中的结果类似[15] [16]。

研究表明，冻结期温度显著升高和降雪显著减少的共同影响是导致东北三省西北部积雪天数显著减少的原因，降雪减少是导致西南部和东北部积雪天数显著减少的主要原因。无积雪冻结天数百分比降低

是由冻结期温度升高降雪减少共同引起的。

积雪的特性使得积雪观测成为预测气候变化的重要手段, 积雪变化对气候、水文以及生物等产生重大影响, 这些影响关系我国的生态环境和经济社会发展, 但目前对于积雪的观测手段还比较少且不够深入, 还需要继续进行深入的探索和研究。

4.2. 结论

本文研究了以东北三省为代表性的东北地区的积雪时长、无积雪冻结日数百分比的时空变化规律及其与温度和降水的关系。主要结论包括:

1) 东北三省西北部积雪时长最长, 其次是北部、东部和东南部, 西部和西南部积雪时长最短, 总体上大致可以概括为由北向南逐渐缩短。

2) 东北三省的无积雪日数百分比的空间变化与积雪时长大致呈相反的状态。

3) 东北三省地区西北部、东北部以及西南部积雪天数有显著减少的趋势。其他大部分地区积雪时长变化都不明显。

4) 中北部和东部有部分地区无积雪日数百分比呈减少趋势, 西南部呈显著增加的趋势, 中北部的无积雪冻结天数百分比有一定程度的降低趋势。

基金项目

本研究受大学生创新创业训练计划(项目名称: 基于 Landsat 数据的沂蒙山区耕地种植速生林时空格局识别, 项目编号: X202110452244)资助。

参考文献

- [1] 徐士琦, 傅帅, 张小泉, 等. 1961-2016 年吉林省积雪增量与积雪日数时空变化特征[J]. 气象与环境学报, 2018, 34(2): 44-51.
- [2] 严晓瑜, 赵春雨, 任国玉, 等. 1962-2008 年辽宁省积雪变化特征[J]. 气象与环境学报, 2012, 28(2): 34-39.
- [3] 刘晓娇, 陈仁升, 刘俊峰, 等. 黄河源区积雪变化特征及其对春季径流的影响[J]. 高原气象, 2020, 39(2): 226-233.
- [4] 唐川川, 王根绪, 张莉, 等. 青藏高原高寒沼泽化草甸群落生物量及地下 CNP 对积雪增加的响应[J]. 冰川冻土, 2021, 43(2): 618-627.
- [5] 叶红, 易桂花, 张廷斌, 等. 2000-2019 年青藏高原积雪时空变化[J]. 资源科学, 2020, 42(12): 2434-2450.
- [6] 王春学, 李栋梁. 中国近 50a 积雪日数与最大积雪深度的时空变化规律[J]. 冰川冻土, 2012, 34(2): 247-256.
- [7] 王慧, 王胜利, 余行杰, 等. 1961-2017 年基于地面观测的新疆积雪时空变化研究[J]. 冰川冻土, 2020, 42(1): 72-80.
- [8] 张晓闻, 臧淑英, 孙丽. 近 40 年东北地区积雪日数时空变化特征及其与气候要素的关系[J]. 地球科学进展, 2018, 33(9): 958-968.
- [9] Pauli, J.N., Zuckerberg, Whiteman, J.P. and Porter, W. (2013) The Subnivium: A Deteriorating Seasonal Refugium. *Frontiers in Ecology and the Environment*, **11**, 260-267. <https://doi.org/10.1890/120222>
- [10] Williams, C.M., Henry, H.A.L. and Sinclair, B.J. (2015) Cold Truths: How Winter Drives Responses of Terrestrial Organisms to Climate Change. *Biological Reviews*, **90**, 214-235. <https://doi.org/10.1111/brv.12105>
- [11] Slatyer, R.A., Umbers, K.D.L. and Arnold, P.A. (2022) Ecological Responses to Variation in Seasonal Snow Cover. *Conservation Biology*, **36**, e13727. <https://doi.org/10.1111/cobi.13727>
- [12] Zhu, L.K., Radeloff, V.C. and Ives, A.R. (2017) Characterizing Global Patterns of Frozen Ground with and without Snow Cover Using Microwave and MODIS Satellite Data Products. *Remote Sensing of Environment*, **191**, 168-178. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.01.020>
- [13] Qi, W., Feng, L., Yang, H. and Liu, J.G. (2022) Warming Winter, Drying Spring and Shifting Hydrological Regimes in Northeast China under Climate Change. *Journal of Hydrology*, **606**, Article ID: 127390. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127390>

- [14] Zhu, L.K. and Guo, Y.Y. (2022) Remotely Sensed Winter Habitat Indices Improve the Explanation of Broad-Scale Patterns of Mammal and Bird Species Richness in China. *Remote Sensing*, **14**, Article No. 794.
<https://doi.org/10.3390/rs14030794>
- [15] 杨林, 马秀枝, 李长生, 等. 积雪时空变化规律及其影响因素研究进展[J]. 西北林学院学报, 2019, 34(6): 96-102.
- [16] 杨倩, 陈圣波, 路鹏, 等. 2000~2010 年吉林省积雪时空变化特征及其与气候的关系[J]. 遥感技术与应用, 2012, 27(3): 413-419.