

内蒙古东部牧区极端降雪变化特征及其成因

李喜仓¹, 王 冀², 杨 晶¹

(1. 内蒙古自治区气候中心, 内蒙古 呼和浩特 010051; 2. 北京市气候中心, 北京 100089)

摘要: 利用内蒙古牧区34个地面气象站1961~2010年冬季降雪资料和NCEP再分析资料, 采用趋势分析、合成分析等方法探讨内蒙古牧区极端降雪时空变化特征和形成机制, 得出如下结论: 内蒙古牧区极端降雪量呈自西向东逐渐增多趋势, 近20 a变化表明内蒙古东部牧区极端降雪量呈显著增加趋势。500 hPa高度场上呈“(乌拉尔山高压)+(贝加尔湖低槽)-(白令海阻塞)”分布型时, 冷空气易传输并堆积至内蒙古东北部牧区, 有利于极端降雪发生。内蒙古东部牧区极端降雪发生时的主要水汽来源于北冰洋地区。Rossby波动持续东传有利于乌拉尔山高压、贝加尔湖低压和白令海高压的形成和维持。

关 键 词: 内蒙古东部牧区; 极端降雪; 海温; Rossby波动

中图分类号: S162 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2013)07-0884-06

内蒙古自治区是中国最大的畜牧业生产基地, 全区草地面积 $7\,880.58 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 占全国草地面积的20.06%^[1]。内蒙古地区草地生态较为脆弱, 自然灾害频繁发生, 其中雪灾就是制约内蒙古畜牧业发展的主要因素。1977年10月26~29日内蒙古地区的大暴雪天气过程, 导致特大白灾, 全区死亡牲畜300多万头(只), 仅锡林郭勒盟就死亡215万头(只)。2012年11月初的强降雪造成31个旗县的30万人受灾, $9\,941 \text{ hm}^2$ 农作物受灾, 870 hm^2 绝收, 死亡牲畜6 140头(只)。在过去50 a, 内蒙古畜牧业共遭受较大的自然灾害17次, 累计死亡牲畜8 760万头, 其中近1/3是雪灾造成的。

强降雪是导致雪灾的主要原因, 而对于强降雪研究国内外已经有一些成果。国外成果主要集中在对强暴风雪个例的研究^[2~4]。国内对于强降雪的研究也有很多成果^[5~16], 这些研究分析强降雪事件发生时局地的天气形势以及动力和热力等条件, 明确了条件对称不稳定等在暴风雪形成中的重要作用^[17,18], 认为内蒙古的降雪呈东多西少、山区多平地少的特征, 低空急流在内蒙古冬春季大

(暴)雪形成中起着重要作用。

上述的工作大多数是针对暴雪产生天气学特征及其触发机制的研究, 对内蒙古主要注重于其雪灾分布的气候特点来展开研究, 而对于产生极端降雪的环流背景及主要影响因子缺乏分析, 因此本文定义极端降雪的指数, 并对影响内蒙古牧区极端降雪的因子进行详尽分析, 期望能够揭示出一些规律, 以提高内蒙古冬季极端降雪预测的能力。

1 资料和方法

1.1 资 料

本文中的牧区是根据内蒙古自治区气象局1998年编制的《内蒙古气候图集》中《农、牧、林业气候区划图》对牧区的划分, 选取34个地面气象站1961~2010年冬季逐日降雪资料。格点资料为1948~2010年NCAR/NCEP $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 月平均再分析高度场、风场、比湿、地面气压以及NOAA重构的 $2^\circ \times 2^\circ$ 海表温度资料。

1.2 极端降雪事件的定义和分析方法

根据每一个测站的日降水量定义不同台站极

收稿日期: 2012-06-25; 修订日期: 2013-02-12

基金项目: 国家科技支撑计划课题(2009BAC51B05)、公益性行业(气象)科研专项(201206024)、国家重点基础研究发展规划项目(2010CB428506)、中国气象局2013年气候变化专项项目(CCSF201322)共同资助。

作者简介: 李喜仓(1962-), 男, 内蒙古包头人, 高级工程师, 主要从事气候资源开发利用和气候变化影响研究。E-mail: qkslxc@163.com

通讯作者: 王 冀, 高级工程师。E-mail: wangji_zl@163.com

端降水事件的阈值^[19]。其具体方法是:把1971~2000年逐年日降雪量按升序排列,将第95个百分位值的30 a平均值定义为极端降雪事件的阈值,当某站某日降雪量超过该站极端降雪事件的阈值时,就定义为该日该站出现极端降雪事件。对于极端降雪事件阈值的确定,本文参照Bonsal^[20]方法,如果某个气象要素有 n 个值,将这 n 个值按升序排列某个值小于 $x_1, x_2, \dots, x_m, \dots, x_n$ 或等于 x_m 的概率。

$$P=(m-0.31)/(n+0.38) \quad (1)$$

式中, m 为 x_m 的序号, n 为某个气象要素值的个数,如果有100个值,那么第95个百分位上的值为排序后的 x_{95} ($P=94.3\%$)和 x_{96} ($P=95.3\%$)的线性插值。

对于内蒙古极端降雪的时空变化规律采用了线性趋势、小波周期分析方法,对于形成机理的分析则采用合成分析方法。

2 内蒙古牧区极端强降雪的时空变化特征分析

图1为内蒙古牧区极端降雪的多年平均和长期变化趋势的空间分布,内蒙古牧区的极端降雪量呈自西向东逐渐增多(图1a),内蒙古中东部为极端降雪量的高值区,中心位于西乌旗,为17.41 mm。内蒙古牧区大部分地区极端降雪呈下降趋势,下降最明显的地区在正镶白旗,为-2.66 mm/10 a(通过95%的信度检验),极端降雪增加最显著的地区在海拉尔,为2.01 mm/10 a(没有通过95%的信度检验)。

宫德吉^[1,18]的研究中发现不同地形的降雪和积雪量有所不同,不同地形极端降雪变化特点也需

要进一步分析,内蒙古绝大多数处于高原地带,东部的呼伦贝尔、乌珠穆沁等地区海拔相对较低,西部和南部的海拔偏高,乌兰察布高原海拔最高。将内蒙古牧区不同海拔高度的极端降雪资料按照500~1 000 gpm,(以下简称低海拔地区)、1 000 gpm以上两个区域(简称高海拔地区)来分析。

图2看出,内蒙古牧区不同海拔高度上的极端降雪量呈一致的下降趋势,其中高海拔地区极端降雪量的下降趋势最为明显,为0.64 mm/10 a(未能通过95%显著性检验)。从年代际变化上看,不同海拔高度上极端降雪变化的时段并不完全一致。近20 a的变化发现(1990年之后),低海拔地区极端降雪显著增加,增加趋势为2.1 mm/10 a(通过95%显著性检验),而高海拔地区则呈微弱的减少趋势,为-0.21 mm/10 a(没有通过95%显著性检验)。周期分析的结果表明,年代际尺度上低海拔地区存在12 a左右的长周期,高海拔地区则存在16 a左右的长周期;年际变化上发现高海拔地区始终存在着3、5 a的短周期,而低海拔地区在1985年前存在与高海拔同样的变化周期,而在1985年之后则仅存在3 a的短周期。

3 影响内蒙古东部极端降雪的环流背景分析

由上面的分析发现,在内蒙古东部低海拔牧区极端降雪事件显著增加,成为近年来内蒙古主要受灾地区之一,对近期该地区分析更多的集中于极端降水^[21-23],因此有必要对该地区极端降雪事件形成的原因进行探讨,将内蒙古东北部牧区极端降雪资料(降雪量)进行标准化分析,定义绝对值超过1 σ 为异常年,分别选取1961、1974、1984、

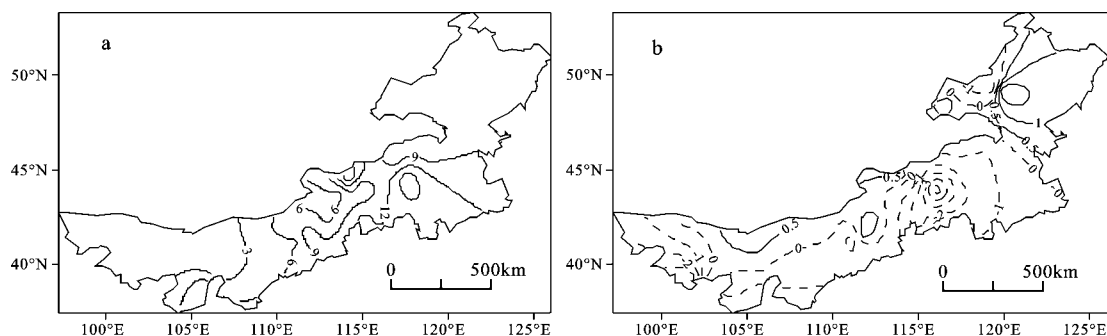
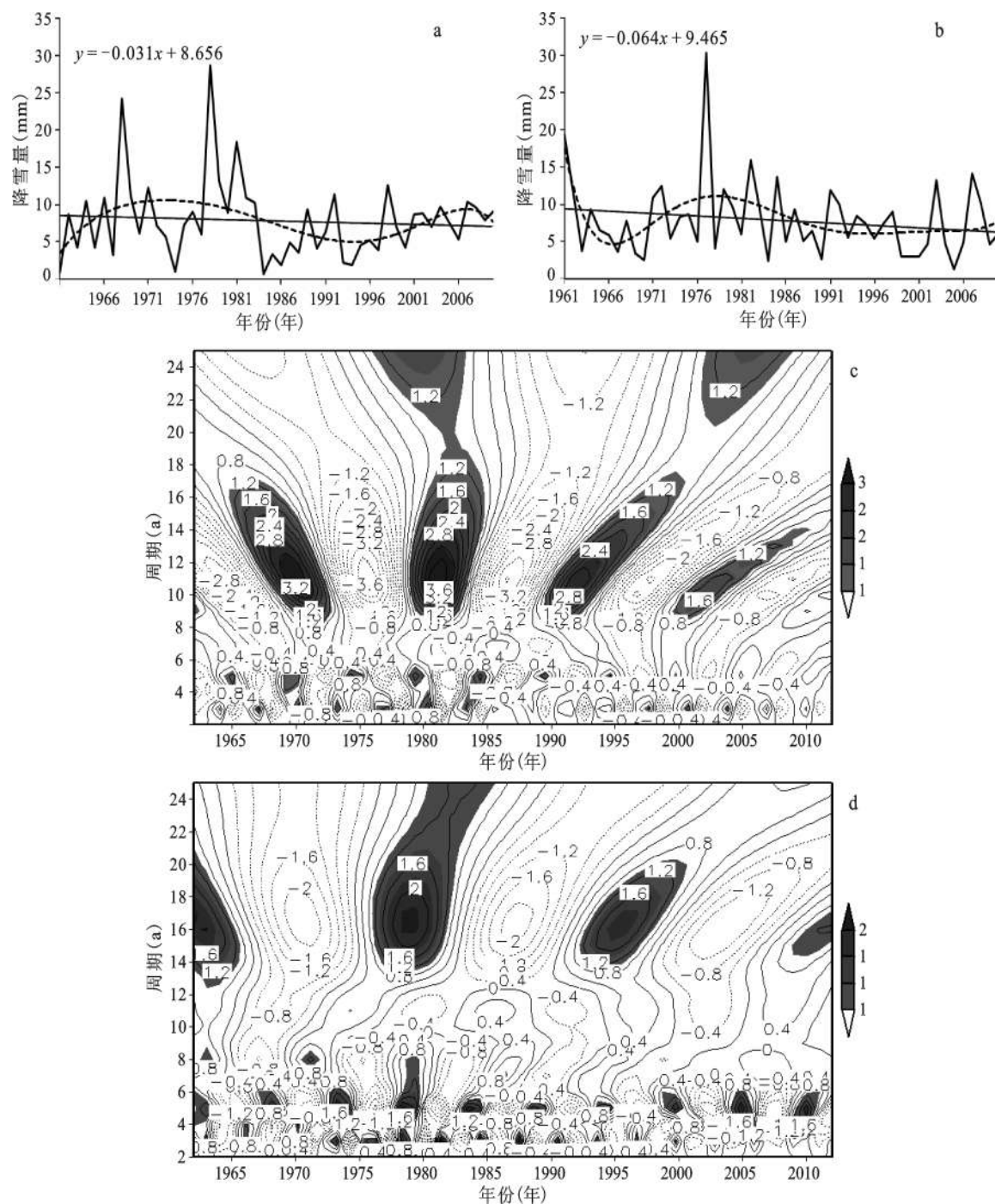


图1 内蒙古牧区极端降雪量(a)多年平均(1961~2010年)(单位:mm)和(b)长期变化趋势(单位:mm/10 a)空间分布

Fig.1 Spatial distribution of the annual average extreme snowfall(a unit: mm)and trend(b unit: mm/10 a)

in pastoral area of Inner Mongolia Plateau in 1961-2010



a.低海拔长期变化趋势;b.高海拔长期变化趋势;c.低海拔小波实部;d.高海拔小波实部

图2 不同海拔高度内蒙古牧区极端降雪量

Fig.2 Time series of extreme snowfall and their wavelet power spectra by the Morlet wavelet in different regions of Inner Mongolia pastoral area

1986、1993、1994年作为极端降雪偏少年,1968、1971、1978、1979、1981、1998年为极端降雪偏多年。

由500 hPa极端降雪偏多年合成距平图(图3a)上发现,在白令海和阿留申群岛附近存在着明显的正距平,中心值为50 gpm,在新西伯利亚至贝

加尔湖地区则存在明显的负距平,乌拉尔山地区有正距平存在。欧亚中高纬度地区高度场呈“+ - +”分布,东亚大槽加强,内蒙古东部地区受较强西北冷空气控制,这一点从风场合成图和距平图上(图略)均可看出。白令海附近的高度正距平表明

有阻高的建立,使内蒙古东北部地区的冷空气不断堆积并滞留。而从极端降雪偏少年合成图和距平图上(图3b)均可看出,内蒙古和东北地区上空为高度正距平控制,而在北太平洋上为高度的负距平中心,冷空气活动较弱,不利于极端降雪的产生。从偏多和偏少年的差值图(图3c)发现,在内蒙古东北部、北太平洋、北大西洋上空存在着明显的具有统计意义的距平中心。

4 影响内蒙古东部极端降雪物理量场变化特征分析

4.1 影响内蒙古东部极端降雪的水汽通量分析

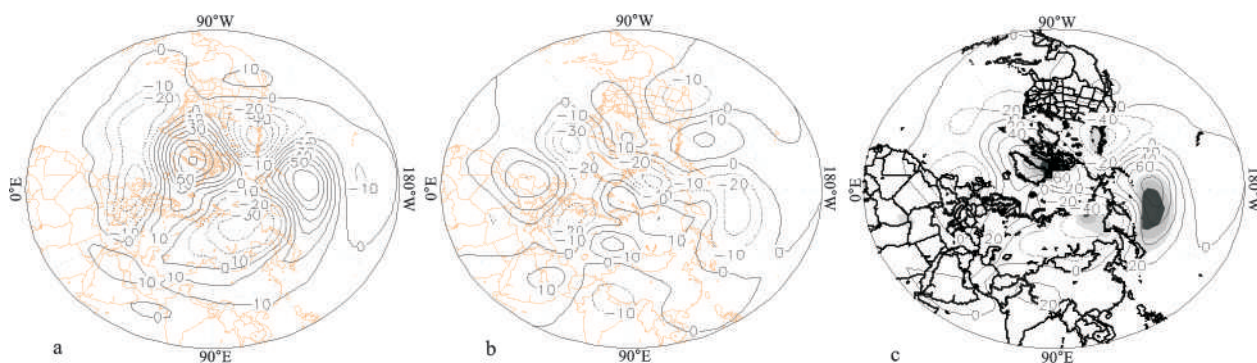
为分析影响内蒙古东部降雪的水汽输送情况,引入水汽通量矢量 $Q^{[24,25]}$ 并计算极端降雪偏多年水汽通量的合成和距平值。由内蒙古东部牧区极端降雪偏多年水汽通量的合成图上(图4a)可以

看到,在内蒙古东部的阿尔山地区以西有水汽输送通量的大值中心存在,水汽输送方向为偏东,距平图上同样发现了这个特点,另外存在着从贝加尔湖地区不断东南输送的水汽。这种水汽输送路径是由于贝加尔湖低槽的维持引导北冰洋上空水汽不断输入内蒙古东部地区,该水汽输送路径为中国东北地区(包括内蒙古东部)最主要的路径,尤其在冬季所占的百分比超过60%^[26]。

4.2 影响内蒙古东部牧区极端降雪 Rossby 波传播特征

由内蒙古牧区极端降雪偏多年环流的变化特征发现,欧亚中高纬度地区的高度场呈“+ - +”型波列分布,这种波列的维持可能与能量的传播有关。为此我们计算了Nakamura等^[27,28]提出波作用通量(T-N)来探讨Rossby波的传播特征。

由图5发现在乌拉尔山地区存在T-N波作用



图中阴影部分为通过95%显著性检验区域

图3 内蒙古东部牧区极端降雪偏多年冬季500 hPa高度场偏多年(a)、偏少年(b)距平和两者差值(c)

Fig3 Distribution of the 500 hPa hight field of extreme snowfall in winter in eastern pastoral area of Inner Mongoliaheavy years (a), light years (b)and difference between them (c)

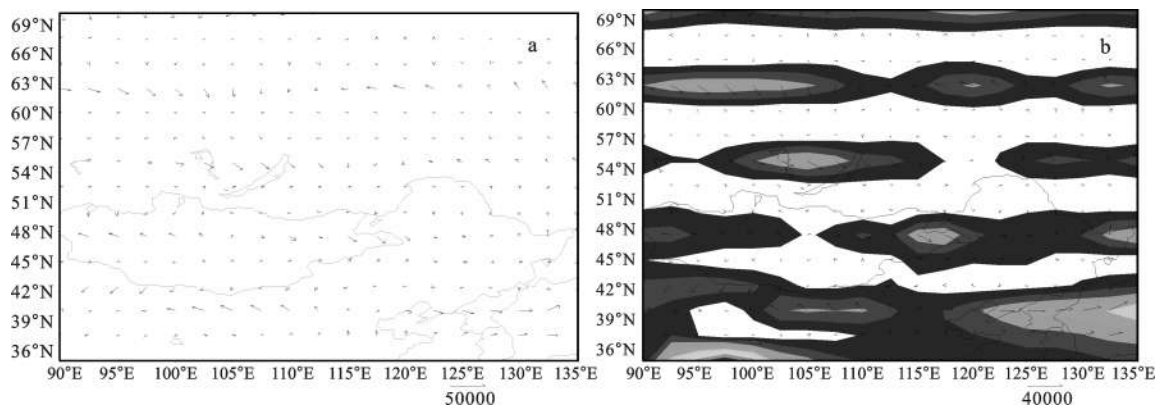


图4 内蒙古极端降雪偏多年冬季水汽通量合成(a)和距平场(b) [g/(m·s)]

Fig.4 Water vapor fluxes (a) and anomaly field (b) during extreme snowfall heavy years in eastern pastoral area of Inner Mongolia [unit:g/(m·s)]

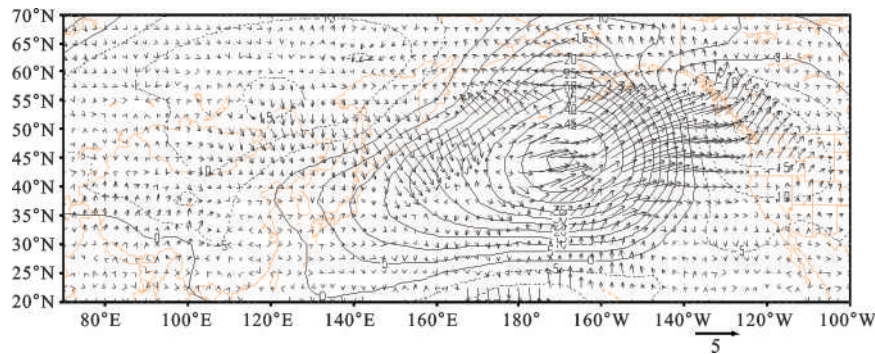


图5 内蒙古东部牧区极端降雪偏多年冬季T-N 通量合成(m^2/s^2)

Fig.5 The horizontal T-N flux of extreme snowfall heavy years in eastern pastoral area of Inner Mongolia (unit: m^2/s^2)

通量异常的正值中心并向东传,容易在该地区引起正位势高度异常的出现和维持,Rossby 波动持续东传过程中在贝加尔湖以东地区加强并传播至北太平洋海面上,表明来自上游的Rossby 波传播有利于白令海地区高压形成和维持。

5 结 论

本文利用内蒙古牧区 34 个地面气象站近 50 a 冬季逐日降雪资料,采用百分位阈值方法计算了极端降雪指数,并利用多种统计方法分析并讨论内蒙古东部牧区极端降雪时空变化特征及形成机制,得出结论:

1) 内蒙古牧区极端降雪量呈自西向东逐渐增多趋势,其中内蒙古中东部为极端降雪大值区。内蒙古牧区大部分地区极端降雪呈下降趋势。内蒙古高海拔地区极端降雪下降趋势更为明显。近 20 a 变化表明,低海拔地区(内蒙古东部牧区)极端降雪呈显著增加趋势。

2) 内蒙古东部牧区极端降雪偏多年,在欧亚大陆上空高度场呈“+ - +”分布,500 hPa 高度场上贝加尔湖附近存在明显的负距平中心引导北方冷空气南下东移,白令海地区有阻高存在,使得东移的冷空气在内蒙古东部不断堆积,为极端降雪的发生提供冷空气。

3) 内蒙古东部牧区极端降雪发生时主要水汽来源于欧亚大陆,贝加尔湖低槽维持引导北冰洋上空水汽不断输入内蒙古东北地区。乌拉尔山附近形成波作用通量的辐合引起高压脊的维持,Rossby 波动继续东传过程中在贝加尔湖附近加强并传播至白令海附近,有利白令海阻高的建立和维持,并最终在欧亚的中高纬地区形成有利于内蒙古东部牧区极端降雪产生的“(乌拉尔山高压)+

(贝加尔湖低槽)-(白令海阻高)+”型波列。

参考文献:

- [1] 宫德吉,李彰俊.内蒙古大(暴)雪与白灾的气候学特征[J].气象,2000,26(12): 24~28.
- [2] Frederick Sanders,F Lance.Bosart mesoscale structure in the Megalopolitan Snowstorm of 11-12 February 1983 Part I: Frontogenetical forcing and symmetric instability[J].J Atmos Sci, 1985,4:1050-1061.
- [3] Frederick Sanders.Frontogenesis and symmetric instability in a major New England snowstorm[J].Mon Wea Rev,1986,114: 1847-1862.
- [4] James T, Moore,D Pamela,et al.The role of frontogenetical forcing and conditional symmetric instability in the midwestsnowstorm of 30-31 January 1982[J].Mon Wea Rev,1983,111: 2016-2023.
- [5] 王文辉,徐祥德.锡盟大雪过程和“77·10”暴雪分析[J].气象学报,1979,37(3): 80~86.
- [6] 张小玲,程麟生.“96·1”暴雪期中尺度切变线发生发展的动力诊断 I: 涡度和涡度变率诊断[J].高原气象,2000,19(3):285~294.
- [7] 张小玲,程麟生.“96·1”暴雪期中尺度切变线发生发展的动力诊断 II: 散度和散度变率诊断[J].高原气象,2000,19(4):459~466.
- [8] 隆 霄,程麟生.“95·1”高原暴雪及其中尺度系统发展和演变的非静力模式模拟[J].兰州大学学报:自然科学版,2001,37(2):141~148.
- [9] 刘宁微.“2003·3”辽宁暴雪及其中尺度系统发展和演变[J].南京气象学院学报,2006,29(1):129~135.
- [10] 迟竹萍,龚佃利.山东一次连续性降雪过程云微物理参数数值模拟研究[J].气象,2006,32(7):25~32.
- [11] 王建忠,丁一汇.一次华北强降雪过程的湿对称不稳定性研究[J].气象学报,1995,53(4):451~459.
- [12] 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子分析[J].地理科学,2012,32(2):129~135.
- [13] 洪 雯,魏文寿,刘明哲,等.季节性积雪区不同遮挡条件下深霜发育比较[J].地理科学,2012,32(8):979~985.

- [14] 刘玉莲,任国玉,于宏敏.中国降雪气候学特征[J].地理科学,2012,32(10):1176~1185.
- [15] 陈长胜,王盘兴,杨秀峰,等.东北地区暴雪天气的统计学划分方法及其时空分布特征[J].地理科学,2012,32(10):1275~1281.
- [16] 郭元喜,龚道溢,汪文珊,等.中国东部夏季云量与日气温统计关系[J].地理科学,2013,33(1):104~110.
- [17] 康玲,李彰俊,祁伏裕,等.内蒙古大、暴雪环流类型及物理场特征[J].内蒙古气象,2000,3:13~18.
- [18] 宫德吉,李彰俊.内蒙古暴风雪灾害及其形成过程[J].气象,2001,27(8):19~23.
- [19] 翟盘茂,潘晓华.中国北方近50年温度和降水极端事件变化[J].地理学报,2003,58(增):1~10.
- [20] Bonsal B R,Zhang X B,Vincent L A,et al.Characteristic of daily and extreme temperature over Canada[J].J Climate,2001,14(14):1959-1976.
- [21] 杨素英,孙风华,马建中.增暖背景下中国东北地区极端降水事件的演变特征[J].地理科学,2008,28(2):224~228.
- [22] 张耀存,张录军.东北气候和生态过渡区近50年来降水和温度概率分布特征变化[J].地理科学,2005,25(5):561~566.
- [23] 唐蕴,王浩,闫登华,等.近50年来东北地区降水的时空分异研究[J].地理科学,2005,25(2):172~176.
- [24] 田红,郭品文,陆维松.夏季水汽输送特征及其与中国降水异常的关系[J].南京气象学院学报,2002,25(4):497~502.
- [25] 张人禾. El-Nino 盛期印度夏季风水汽输送在我国华北地区夏季降水异常中的作用[J].高原气象,1999,18(4):567~574.
- [26] 崔玉琴.东北地区上空水汽平衡状况及其源地[J].地理科学,1995,15(1):81~87.
- [27] Nakamura H.Rotational evolution of potential vorticity associated with a strong blocking flow configuration over Europe[J]. Geophys. Res. Lett., 1994,21:2003-2006.
- [28] Nakamura H,Nakamura M,Anderson J L.The role of high and low frequency dynamics in the blocking formation[J]. Mon. Wea. Rev,1997,125:2074-2093.

Characteristics and Mechanism Analysis of Extreme Snow Change in Eastern Inner Mongolia Pasturing Area

LI Xi-cang¹, WANG Ji², YANG Jing¹

(1. Inner Mongolia Autonomous Region Climate Center, Hohhot, Inner Mongolia 010051, China;

2. Beijing climate center, Beijing 100089, China)

Abstract: Spatial-temporal characteristics and the formation mechanisms of extreme heavy snow over Inner Mongolia parish were analyzed using techniques of trend analysis and composite analysis, as well as data including NCEP reanalysis data and station snow data in winter over the parish. It was indicated that snowfall over the Inner Mongolia parish appeared to get increased from the west to the east during the past 20 years, with the big value area of snowfall in the mid-east area of Inner Mongolia. During the years of extreme heavy snow in the east parish, there was negative anomaly center in 500hPa height field near Baikal Lake. Cold air can be transported to the northeast parish of Inner Mongolia and accumulated when there is a “Ural High (+)-Baikal Trough(-)-Bering Sea Blocking(+)” pattern in 500 hPa height field, which favors the extreme heavy snow. The Arctic areas turned out to be the major moisture sources of heavy snow over east parish of Inner Mongolia. Land-sea thermal difference resulting from Positive SST anomaly of the North Atlantic Ocean becomes Wave-Activity Flux and moves eastward, forming convergence of Wave-Activity Flux and thus leading to the persistence of high pressure range. Also, the persistence of eastward transmission of Rossby waves was conducive for the formation and persistence of the Ural High, Baikal Trough and Bering Sea Blocking, and the favorable distribution of extreme heavy snow over Euro-Asian Continent.

Key words: eastern Inner Mongolia pasturing area; extreme snowfall; SST; Rossby wave