

文章编号: 1003 - 7578(2013) 01 - 142 - 07

1961 - 2010 年东北地区寒潮活动的时空特征分析*

孟祥君^{1, 2}, 吴正方¹, 杜海波¹, 王雷¹

(1. 东北师范大学城市与环境科学学院, 长春 130024; 2. 吉林财经大学工商管理学院, 长春 130117)

提 要: 利用东北地区 90 个气象站点 1961 - 2010 年逐日平均温度和最低温度数据, 分析东北地区寒潮发生时空规律, 包括寒潮、强寒潮、特强寒潮的空间分布、趋势分析、M - K 检验和 Morelet 小波分析。结果表明: 东北地区三种类型寒潮发生频次存在“高纬度和高海拔地区较大, 低海拔和平原区较小”的特征; 三种类型寒潮发生频次空间差异较大, 从多到少依次是寒潮、强寒潮、特强寒潮; 三种类型寒潮在上世纪 70 年代发生突变, 在 70 年代后都呈现减弱的趋势, 并在 80 年代中期达到 0.05 的显著水平; 三种类型寒潮都呈现一个短周期特征, 但特强寒潮中周期特征不明显; 三种类型寒潮变化趋势空间差异明显, 高海拔地区减弱趋势较大, 但只有少数站点趋势明显。

关键词: 寒潮; 时空特征; M - K 检验

中图分类号: P425.5⁺4

文献标识码: A

我国东北地区寒潮发生频次是世界最频繁地区之一, 剧烈的降温和伴生的其他极端气候事件对国民经济造成巨大的损失。国内外学者对其进行了广泛研究, 包括: 1) 寒潮过程方面: 陶诗言^[1] (1957) 研究了影响中国大陆的冷空气源地和路径; 刘怡等^[2] (1992) 用轨迹法研究了个例寒潮; 丁一汇等^[3] (1992) 进一步证实了侵袭中国的寒潮的确切源地和路径。2) 寒潮发生机理: 张淮等^[4] (1957) 分析了东亚反气旋活动规律; 仇永炎^[5] (1983) 分析了寒潮中期过程中正压能量转换机理; 王为德等^[6] (1983) 从物理过程角度初步分析了东亚寒潮的发生机理; 丁一汇^[7] (1992) 探讨了寒潮源地之一的东西伯利亚的结构; 谢安^[8] (1992) 分析了冬季风爆发前西伯利亚高压的演变过程。3) 寒潮预报方法: 章基嘉^[9] (1982) 利用球谐函数方法探讨寒潮中期预报; 徐龔慧^[10] (1982) 探讨了寒潮中期预报方案, 并于 1983 年提出了中长期预报的方法和方案; 余鹤书^[11] (1987) 基于天气统计而提出了预报模型; 陈静等^[12] (1996) 将数值产品动力 - 统计释用方法应用到寒潮预报中; 车怀敏等^[13] (2006) 使用矩阵回归方法来预报寒潮。在对寒潮不同角度的大量研究中, 有效地夯实了经典寒潮理论^[14]。区域尺度上寒潮的时空变化各不相同, 而且在区域尺度上分析气候变化背景下寒潮的变化特征能使我们进一步认识气候变化。在东北地区的长时间尺度上以三种寒潮等级的时空差异分析的文章很少见, 因此, 文中对 1961 - 2010 年东北地区三种类型的寒潮发生的时空特征进行详细的分析, 为东北地区的防灾减灾提供依据。

1 寒潮标准与分析方法

1.1 寒潮标准

依据《中华人民共和国国家标准》中《冷空气等级》(GB/T20484 - 2006) 规定的单站寒潮强度等级, 并结合东北地区的气候特点, 将寒潮等级分为三个强度类型(表 1), 进行时空特征分析。

1.2 分析方法

利用中国气象数据中心提供的 1961 - 2010 年东北地区(图 1) 90 个台站地面观测资料, 对逐日最低温

表 1 寒潮等级

Tab. 1 Level of cold wave

	寒潮	强寒潮	特强寒潮
温度降幅	≥8℃	≥10℃	≥12℃
降幅时间	24h	24h	24h
日最低温度	≤4℃	≤2℃	≤0℃

* 收稿日期: 2012 - 1 - 13

基金项目: 国家自然科学基金项目(41171038) 资助。

作者简介: 孟祥君(1975 -), 男, 吉林敦化人, 博士研究生, 主要从事全球气候变化研究。E-mail: mengxj@126.com

通讯作者: 吴正方(1960 -), 男, 辽宁桓仁人, 教授, 博士研究生导师, 从事生态气候研究。E-mail: wuzf@nenu.edu.cn

度、24h 以及 48h 日最低气温的降幅进行处理。首先依据寒潮标准,确定三种类型寒潮频次的时空变化;以非参数检验方法(Mann - Kendall 检验方法)对寒潮进行突变及趋势检验;再对其周期性利用 Morlet 小波进行分析;利用 Kriging 方法将数据空间插值,进行寒潮趋势空间分析。以下主要介绍非参数检验方法(M - K 方法)。

非参数检验方法(Mann - Kendall 检验)通常用来检测序列的突变和趋势,因而被广泛应用分析降水、径流、气温等要素时间序列的趋势变化^[13-16]。不需要样本遵从一定的分布,也不受少数异常值的干扰。在 Mann - Kendall 检验中,原假设 H_0 : 时间序列数据 (x_1, \dots, x_n) 是 n 个独立的、随机变量同分布的样本;备择假设 H_1 是双边检验;对于所有的 $k, j \leq n$ 且 $k \neq j, x_k$ 和 x_j 的分布是不相同的,检验的统计变量 S 计算如下式:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{Sgn}(x_j - x_k) \quad (1)$$

$$\text{式中: } \text{Sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1 (x_j - x_k) > 0 \\ 0 (x_j - x_k) = 0 \\ -1 (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中: S 为正态分布,其均值为 0,方差 $\text{Var}(S) = (n(n-1)(2n+5) - \sum_t t(t-1)(2t+5)) / 18$ 。这里 t 为任意给定结点的范围, \sum_t 是所有结点的和,当 $n > 10$ 时,标准的正态统计变量 z 通过下式计算:

$$z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} S > 0 \\ 0 S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} S < 0 \end{cases} \quad (3)$$

这样,在双边的趋势检验中,在给定的 α 置信水平上,如果 $|z| \geq z_{1-\alpha/2}$,则原假设是不可接受的,即在 α 置信水平上,时间序列数据存在明显的上升或下降趋势。对于统计变量 $z > 0$ 时,是上升趋势, $z < 0$ 时,则是下降趋势。

当 Mann - Kendall 检验进一步用于检验序列突变时,检验统计量同上述 z 有所不同,通过构造 - 秩序列: $s_k = \sum_{i=1}^k \sum_{j=i+1}^n a_{ij} \quad (k=1, 2, 3, \dots, n)$

$$\text{式中: } a_{ij} = \begin{cases} 1 x_i > x_j \\ 0 x_i \geq x_j \end{cases} \quad 1 \leq j \leq i \quad (5)$$

$$\text{定义统计变量: } UF_k = \frac{s_k - E(s_k)}{\sqrt{\text{Var}(s_k)}} \quad (k=1, 2, 3, \dots, n) \quad (6)$$

$$\text{式中: } E(s_k) = k(k+1) / 4, \text{Var}(s_k) = k(k-1)(2k+5) / 72 \quad (7)$$

式中: UF_i 为标准正态分布,给定显著性水平 α ,若 $|UF_i| > U_{\alpha/2}$,则表明序列存在明显的趋势变化。将时间序列 x 按逆序排列,再按上式计算,同时使:

$$\begin{cases} UB_k = -UF_k \\ k' = m+1-k \end{cases} \quad k=1, 2, 3, \dots, n \quad (8)$$

通过分析统计序列 UF_k 和 UB_k 可以进一步分析序列 x 的趋势变化,而且可以明确突变的时间,指出突变的区域。若 UF_k 值 > 0 ,则表明序列呈上升趋势, $UF_k < 0$ 则表明呈下降趋势,当它们超过临界直线时,表明上升或下降趋势显著。如果 UF_k 和 UB_k 两条曲线出现交点,且交点在临界直线之间,那么交点对应的时刻就是突变开始的时刻。

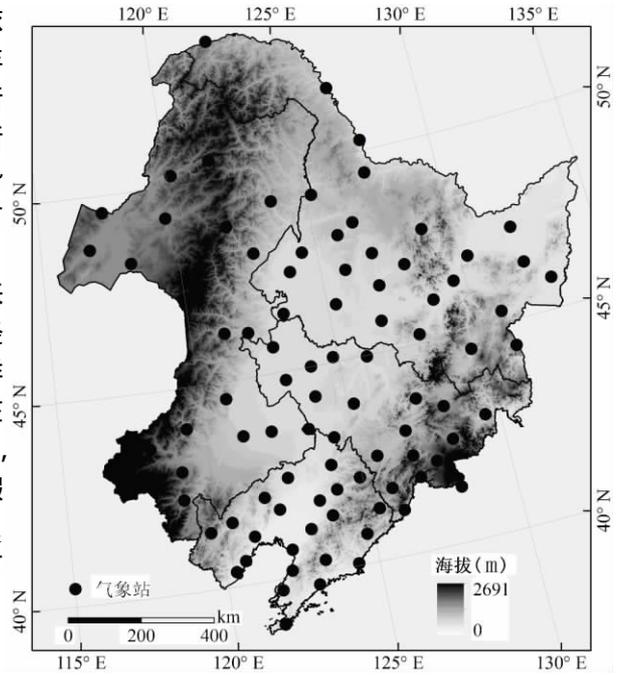


图 1 研究区域及气象站空间分布
Fig. 1 The study area and the weather stations distribution

2 结果

2.1 寒潮频次空间分析

利用 Kriging 方法,对东北地区 90 个台站近 50 年三种类型寒潮发生频次进行空间插值,形成寒潮频次空间分布图(图 2 a 代表寒潮, b 代表强寒潮, c 代表特强寒潮)。由图可见,东北地区近 50 年发生的寒潮、强寒潮和特强寒潮的频次相差很大。一般性寒潮发生频次很大,90 个站发生频次在 6.2/10a - 169/10a 之间,而特强寒潮的发生频次要小得多,为 0.2/10a - 46/10a。但相对于全国其他地区而言^[18-22],东北地区仍然属于频发区^[15,17,23]。三种类型寒潮发生频次在空间分布上比较相似,基本符合“高纬度和高海拔地区相对较大,低海拔和平原地区较小”的特征。大兴安岭、小兴安岭和长白山地区属于三种类型寒潮频发区域,特别是漠河及额尔古纳左旗地区,由于地理纬度和地势(位于额尔齐斯河流域的东坡)的双重影响,三种类型的寒潮发生频次非常高而且强度大。长白山西坡虽然地理纬度较低,但是由于海拔高度和迎合风向的原因,也是三种寒潮频发的地区,而且呈现发生频次随地势的升高而增加的趋势。而松辽平原和三江平原地区寒潮发生频次较小,三江平原东北部寒潮、强寒潮和特强寒潮近五十年来分别只发生了 31 次、6 次和 1 次。东北地区寒潮发生频次空间分布规律由寒潮过境的路线决定^[1]。我国寒潮三大源地的冷空气从东、中、西三条路线进入时,大兴安岭和长白山西侧受影响较大,位于大兴安岭东侧松辽平原由于焚风效应及海拔低的因素的影响,冷空气逐渐变性,影响程度减弱或减少;三江平原受局域流域气候的影响以及小兴安岭和长白山对冷空气的阻滞作用,寒潮的影响相对较弱,发生频次较少。

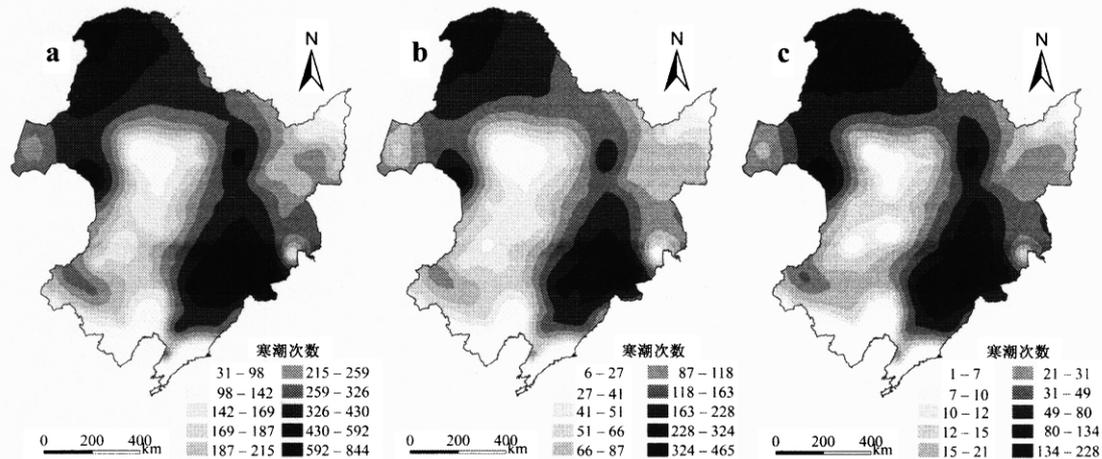


图 2 近 50 年东北地区三种类型寒潮发生频次空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of three kinds of cold wave frequencies during recent five decades over Northeast China

2.2 寒潮突变分析

将近 50 年东北地区三种类型寒潮在 0.05 的置信水平下进行 M - K 检验(图 3 a: 寒潮; b: 强寒潮; c: 特强寒潮)。结果显示,三种类型的寒潮在上世纪 70 年代中期发生突变,整体呈现下降的趋势。其中寒潮(a)在 1966 - 1973 年呈现短期的增多趋势,70 年代中期发生突变后一直减弱,特别是 1992 年后,下降趋势达到显著水平;强寒潮(b)在 1965 - 1973 年期间呈现增多趋势,70 年代中期之后表现出减弱的趋势,1993 年后减弱趋势达到 0.05 的显著水平;而特强寒潮(c)的规律与强寒潮基本相同,只是特强寒潮在 2008 年后减弱的趋势表现出不显著的特点。值得一提的是,东北地区三种类型寒潮频次的减少呈现由显著向不显著变化的趋势,2005 年是转折年。

2.3 寒潮周期特征分析

用 Morlet 小波对近 50 年东北地区寒潮进行周期分析,其中 a、b、c 分别代表寒潮、强寒潮和特强寒潮(图 4)。由图可见,近 50 年东北地区寒潮(a)存在 4 - 6 年的短周期和 13 - 15 年左右的中周期的规律。短周期在上世纪 70 年代至本世纪初呈现的规律性更强一些,而中周期特征比较稳定。强寒潮(b)在上世纪 70 年代中期后直到现在 3 - 5 年的短周期规律比较稳定,在 70 年代前短周期现象不明晰,90 年代前期还呈现微弱的 15 年左右的中周期特征,但 1990 年后,这种特征变得模糊,特别是 2000 年后,中周期特征更加不明显,预计这种现象还会持续一段时间。特强寒潮(c)在上个世纪 70 年代中期前呈现出 5 - 8 年的

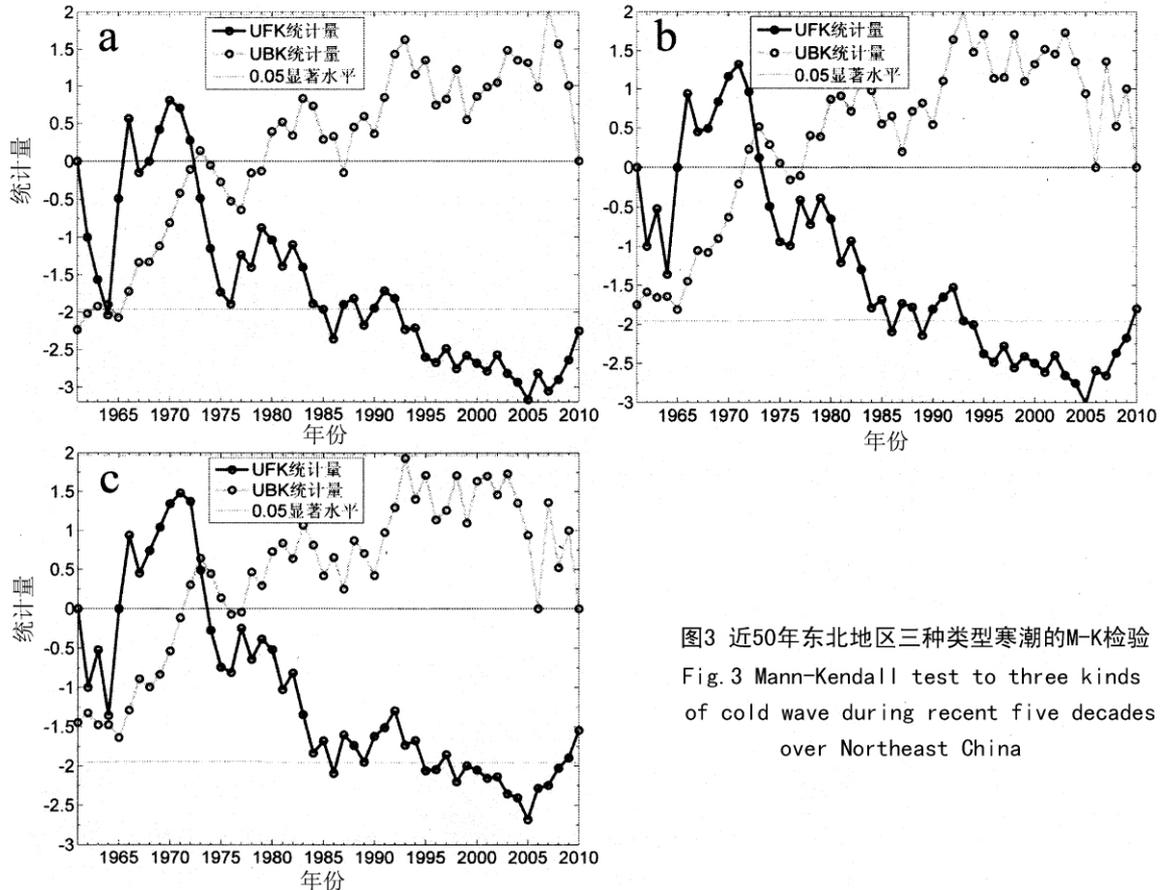


图3 近50年东北地区三种类型寒潮的M-K检验
Fig.3 Mann-Kendall test to three kinds of cold wave during recent five decades over Northeast China

短周期现象,70年代中期以后则呈现出弱的3-4年的短周期现象,50年来特强寒潮的中周期现象十分不明显,可能与数据时间序列不够有关。

2.4 寒潮变化趋势空间分析

将东北地区90个站点近50年的寒潮发生趋势进行逐一分析,发生趋势值的绝对值用圆点的大小进行表示,通过0.05置信度的空心方框加以标注。其中a-c分别代表寒潮、强寒潮和特强寒潮(图5)。由图可见,三种类型寒潮的趋势均为负值,表示近50年东北地区三种类型寒潮趋势都在减弱。寒潮(a)减弱趋势显著的地区主要集中在长白山地区和内蒙古呼伦贝尔盟和黑龙江省的中北部地区,其中长白山地区及呼伦贝尔盟的满洲里、海拉尔、新巴尔虎左旗和乌兰浩特以及黑龙江的哈尔滨、绥化等地减弱趋势更加明显。辽东山地、松辽平原、内蒙古西南部以及三江平原没有明显的减弱趋势。强寒潮(b)减弱趋势最显著的地区主要集中在长白山附近、呼伦贝尔盟地区,减弱趋势没有寒潮的减弱趋势表现的更强烈。而特强寒潮(c)减弱趋势显著的地区主要集中在长白山地区和大兴安岭与东北平原过渡区上,辽宁中部的辽中地区也表现出明显的减弱趋势,其他地区没有显著减弱的现象。

3 讨论与结论

到目前为止,学者对全国性寒潮和单次寒潮过程的研究比较多^[14],而对区域性寒潮的研究较少。对寒潮进行全国性、大尺度分析,得出的结论不一定能完全反应某一区域的实际情况,比如王遵娅等^[14]分析寒潮在20世纪70年代后期发生突变,而伍红雨等^[16]研究发现华南地区的寒潮在20世纪80年代后期发生突变。文中研究发现东北地区寒潮在20世纪70年代中期发生突变,与王遵娅等^[14]的结论基本一致。而就寒潮发生频次来讲,康志明等^[24]得出全国寒潮发生频次为年均7.5次,这个结论与文中研究结果不同,分析原因为寒潮采用标准不同,统计方法不一致所致,文中研究按一定时间内降温幅度的不同,将寒潮分等级进行区域内单站发生频次的时空特征分析,可更加清楚不同类型寒潮在区域上的分布规律。研究中发现,地理纬度和地势是东北地区寒潮发生频次的主要影响因素,高纬度地区和高海拔地区的寒潮发生频次一般比较多。而地形对寒潮过境的阻滞作用也是寒潮的另一个重要影响因素。三江平原地理纬度虽

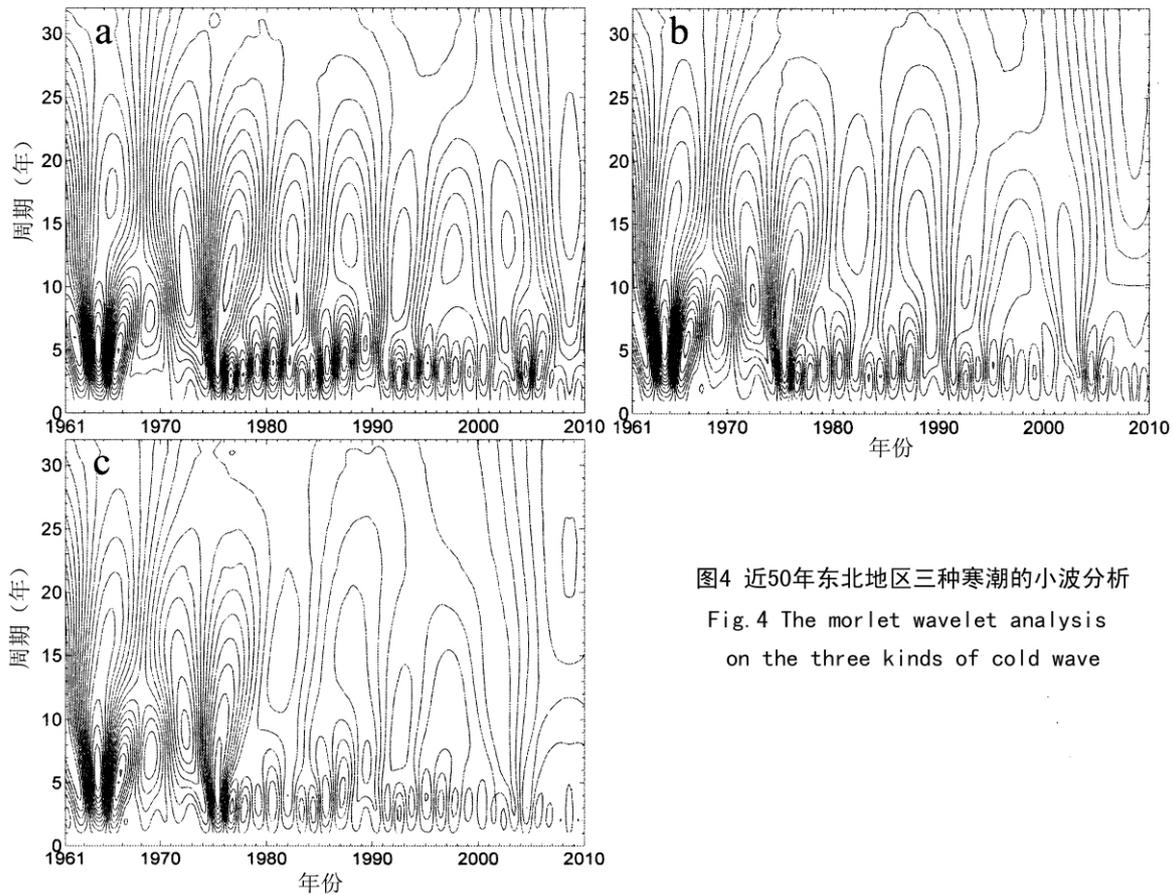


图4 近50年东北地区三种寒潮的小波分析
 Fig. 4 The morlet wavelet analysis on the three kinds of cold wave

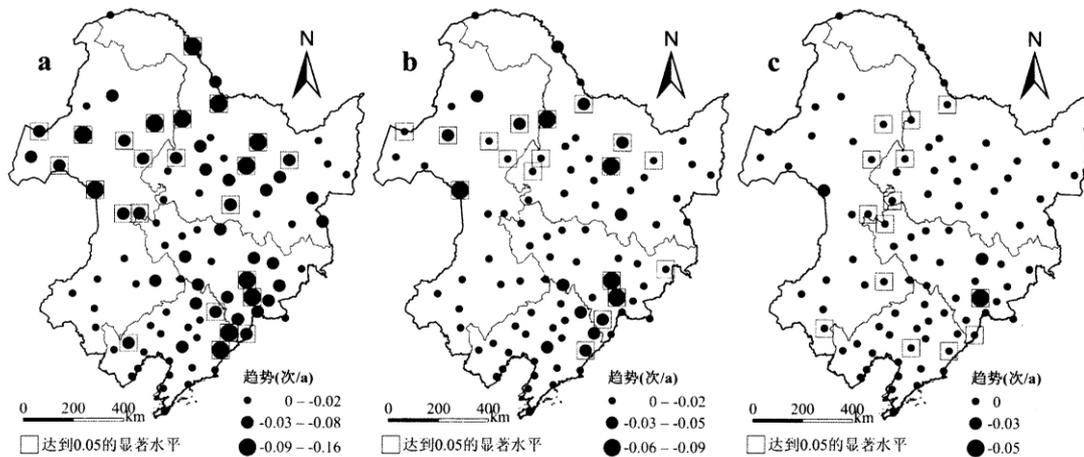


图5 近50年东北地区三种寒潮发生趋势的空间特征
 Fig. 5 Spatial characteristics of the cold wave occurrence trend

然较高,但受小兴安岭和长白山对寒潮过境的阻滞作用,其三种类型寒潮发生的频次都比较小。另外,焚风效应也是寒潮发生频次的另一个重要影响因素,比如,齐齐哈尔地理纬度较高,但由于其位于大兴安岭东侧,是西风带的焚风效应区,其三种类型寒潮发生频次都非常少。漠河、额尔古纳左旗和长白山地区是三种类型寒潮频发区,给当地的农业和牧业及中药材种植业带来很大的影响,应该引起足够重视,科学制定防御对策。

(1) 东北地区三种类型寒潮发生频次相差很大,空间分布规律符合“高纬度和高海拔地区频次较大,低海拔和平原地区较小”的特点。大小兴安岭和长白山地区是三种类型寒潮发生频次较高的地区,而松辽平原和三江平原三种类型寒潮发生频次较小。

(2) 东北地区三种类型寒潮在上世纪70年代中期发生突变,都呈减弱的趋势。

(3) 东北地区三种类型寒潮分别存在 4 - 6、3 - 5 和 5 - 8 年的短周期现象,一般性寒潮还呈现较强的 13 - 15 的中周期特征,而强寒潮在上世纪 90 年代前呈现 15 年左右的中周期特征,但特强寒潮不存在明显的中周期现象。

(4) 从趋势上看,三种类型寒潮近 50 年来基本呈现减弱的趋势,但空间上分布存在较大差异,大小兴安岭和长白山等高海拔地区,三种类型寒潮减弱趋势较明显。

参考文献

- [1] 陶诗言. 阻塞形式破坏时期的东亚一次寒潮过程[J]. 气象学报, 1957, 28(1): 63 - 74.
- [2] 刘怡, 仇永炎. 用轨迹法研究寒潮个例[J]. 气象学报, 1992, 50(1): 60 - 71.
- [3] Zhao Qiang, Ding Yihui. Study of physical processes affecting the transformation of cold air overland after outbreak of cold waves in East Asia[J]. Acta Meteorologica Sinica, 1992, 6(2): 198 - 212.
- [4] 张淮, 史久恩. 东亚的反气旋活动[J]. 气象学报, 1957, 28(3): 167 - 174.
- [5] 仇永炎, 赵其庚. 1978 年 10 月份寒潮前后的正压能量转换与季节过度[J]. 气象学报, 1983, 41(2): 159 - 166.
- [6] 仇永炎, 王为德. 寒潮中期预报研究进展[J]. 气象科技, 1983(4): 7 - 12.
- [7] 高守亭, 陶诗言, 丁一汇. 寒潮期间高空波动与东亚急流的相互作用[J]. 大气科学, 1992, 16(6): 718 - 724.
- [8] 谢安, 卢莹, 陈受钧. 冬季风爆发前西伯利亚高压的演变[J]. 大气科学, 1992, 16(6): 677 - 685.
- [9] 章基嘉, 彭永清, 王鼎量. 球谐函数展开在寒潮中期预报上的应用[J]. 南京气象学院学报, 1982, 5(1): 9 - 14.
- [10] 徐羹慧. 寒潮中期预报方案[J]. 气象, 1985, 11(3): 6 - 10.
- [11] 余鹤书, 李晓东, 张芬馥等. 寒潮中期过程的天气 - 统计特征及其预报模型[J]. 气象, 1987, 13(10): 33 - 36.
- [12] 陈静, 桑志勤. 数值预报产品动力 - 统计释用方法与寒潮预报[J]. 气象, 1998, 24(2): 34 - 38.
- [13] 车怀敏, 尤潜, 雍朝吉. 矩阵回归方法作德阳春季寒潮预报[J]. 四川气象, 2006, 95(1): 11 - 13.
- [14] 王遵亲, 丁一汇. 近 53 年中国寒潮的变化特征及其可能原因[J]. 大气科学, 2006, 30(6): 1068 - 1076.
- [15] 刘传凤. 我国寒潮气候评价[J]. 气象, 1990, 16(12): 40 - 43.
- [16] 伍红雨, 杜尧东. 1961 - 2008 年华南区域寒潮变化的气候特征[J]. 气候变化研究进展, 2010, 6(3): 192 - 198.
- [17] 严中伟, 杨赤. 近几十年中国极端气候变化格局[J]. 气候与环境研究, 2000, 5(3): 267 - 272.
- [18] Zhou Cuifang, Zhang Guangping, Yang Haishan. Contrastive analysis of two cold wave weather processes in Winter of Ningxia Region[J]. Journal of Arid Meteorology, 2009, 27(2): 142 - 148.
- [19] Ding Yihui, Ma Xiaoqing. Analysis of isentropic potential vorticity for a strong cold wave during 2004/2005 Winter[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2008, 22(2): 129 - 141.
- [20] Zhao Ming, Fan Qinhuo, Zhan Ligang, et al. Analysis on the temporal and spatial characteristics and causes of cold wave in Qinhuangdao[J]. Meteorological and Environmental Research, 2011, 2(5): 12 - 15.
- [21] Li Xinyi, Xie Na, Shi Juan et al. Analysis of a cold wave weather process in Chengdu in March 2010[J]. Meteorological and Environmental Research, 2011, 2(6): 1 - 5.
- [22] 陈豫英, 陈楠, 马金仁等. 近 48a 宁夏寒潮的变化特征及可能影响的成因初步研究[J]. 自然资源学报, 2010, 25(6): 939 - 949.
- [23] 严晓瑜, 赵春雨, 王颖等. 近 50 年东北地区极端温度变化趋势[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(1): 81 - 87.
- [24] 康志明, 金荣花, 鲍媛媛. 1951 - 2006 年期间我国寒潮活动特征分析[J]. 高原气象, 2010, 29(2): 420 - 428.

Spatio - temporal characteristics of cold wave over northeast China during 1961 - 2010

MENG Xiangjun^{1, 2}, WU Zhengfang¹, DU Haibo¹, WANG Lei¹

(1. College of Urban and Environmental Sciences, Northeast Normal University, Changchun 130024, P. R. China;

2. Tourism Management, Jilin University of Finance and Economics, Changchun 130117, P. R. China)

Abstract: Based on the daily minimum and mean temperature of 90 stations in Northeast China from 1961 to 2010, the spatial and temporal characteristics of the frequencies of cold wave, strong cold wave and exceptionally strong cold wave were analyzed, including the spatial distribution, trend analysis, Mann - Kendall test and Morlet wavelet analysis. The results indicated that the frequencies of the three kinds of cold wave were stronger at higher altitudes and latitudes, whereas they were smaller at lower altitudes and low plains; There were obvious variations in the frequencies of the three kinds of cold wave, with the cold wave being the strongest, while the exceptionally strong cold wave being the least; Three kinds of cold wave underwent mutation in the 1970s, and then had a negative trend and were significant at the 0.05 confidence level in the mid - 1980s; All of them showed a short - period characteristic, whereas that of the exceptionally strong cold wave was not obvious; The spatial trends in the frequencies of the three categories of cold wave was various, with the strong negative trend at high altitudes, while a few sites were significant at the 0.05 confidence level.

Key words: cold wave; spatio - temporal characteristic; Mann - Kendall test