

吉林省冬季极端低温变化特征

花瑞阳, 毛文书, 赵海玲

成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都
Email: 850412268@qq.com

收稿日期: 2020年9月25日; 录用日期: 2020年10月12日; 发布日期: 2020年10月19日

摘要

为研究吉林冬季极端低温的变化规律, 利用吉林省15个气象观测站1970~2009年逐日平均、日最高气温及日最低气温观测资料, 采用气候变化检测与指数专家组(ETCCDI)推荐的极端低温指数方法, 计算出寒潮持续日数、冷昼日数、冷夜日数、霜冻日数、结冰日数、月最低气温极大值和月最低气温极小值等7个极端低温指数的年际序列。应用线性倾向估计法、Mann-Kendall检验和小波分析等方法分析了1970~2009年吉林省冬季极端低温变化特征。结果表明, 空间上霜冻日数和结冰日数都从南到北呈递减趋势, 冷夜日数、寒潮持续日数的高值区和月最低气温极小值低值区都在白山市、柳河一带, 最低气温极大值又从北向西南成递增趋势, 符合南暖背冷的特点; 时间演变特征表现为: 结冰日数、冷夜日数、冷昼日数、寒潮持续日数都分别以1.7 d/10a、1.9 d/10a、0.9 d/10a、0.2 d/10a显著下降, 月最低气温极大值和月最低气温极小值以0.6°C/10a、0.8°C/10a显著上升; 极端指数的突变基本发生在20世纪80年代到90左右; 各极端指数1970~2009年时间尺度周期变化都显著集中在20~24a。

关键词

吉林省, 极端指数, 空间分布, M-K检验

Characteristics of Extreme Low Temperature Change in Jilin Province in Winter

Ruiyang Hua, Wenshu Mao, Hailing Zhao

College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan
Email: 850412268@qq.com

Received: Sep. 25th, 2020; accepted: Oct. 12th, 2020; published: Oct. 19th, 2020

Abstract

In order to study the variation of extreme low temperature in Jilin in winter, this paper uses the daily average, the highest temperature, the lowest temperature series data of 15 meteorological stations in Jilin Province from 1970 to 2009. Using the extreme low temperature index method recommended by the Climate Change Monitoring and Index Expert Group (ETCCDI) to calculate the number of cold wave lasting days (CSDI), cold days (TX10p), cold nights (TN10p), frost days (FDO), ice days (IDO), maximum and minimum of monthly minimum temperatures (TNx and TNn). The methods of linear tendency estimation, Mann-Kendall test and wavelet analysis were used to analyze the characteristics of extreme low temperature change in Jilin Province in winter. The results show that the number of frost days (FDO) and icy days (IDO) in space is decreasing from south to north. The high-value areas of cold days (TX10p) and cold wave lasting days (CSDI) wave duration and the low-value areas of the monthly minimum temperature (TNn) are all in Baishan City and Liuhe area. In line with the characteristics of south warm and cold; the characteristics of time evolution: the number of icy days (IDO), cold nights (TN10p), cold days (TX10p), and cold wave duration days (CSDI) have decreased at rates of 1.7 d/10a, 1.9 d/10a, 0.9 d/10a and 0.2/10a, and the maximum and minimum monthly minimum temperatures (TNx and TNn) have increased at rates of 0.6°C/10a and 0.8°C/10a; the abrupt change of the extreme index basically occurred in the 1980s to 1990s; the periodical changes of each extreme index from 1970 to 2009 on the time scale are significantly concentrated in 20 - 24a.

Keywords

Jilin Province, Extreme Index, Spatial Distribution, Mann-Kendall Test

Copyright © 2020 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

IPCC 第五次评估报告指出,近百年来全国平均气温处于持续长上升状态,气候变暖导致海平面上升,同时也对极端气候事件造成了很大影响,使得极端气候事件频率和强度都有所增强[1][2]。极端低温一直是一个困扰已久难题,对于农业来说,不仅会使林果种植大幅度减产、花粉活动减弱或丧失,影响果树坐果率,还会对各种作物受到严重伤害,重则植株死亡,导致绝产[3]。低温冻害对于牲畜和人类的影响也有很多,如低温冻伤以及由于低温而诱发的各种疾病,特别是心脑血管与呼吸道疾病。冻害包括结冰、冻雨、雾凇和凌汛等,路面与河水结冰对交通运输造成阻碍,暴风雪会降低能见度,容易发生车祸等安全事故,气温极低时还可使自来水管、煤气管结冰或使油管凝固爆裂。极端低温天气也会导致电力通信线路结冰,当结冰程度超过电线承受范围时,会使线路压断,造成停电和电讯中断。

近年来,在我国内蒙和东北地区也发生过极端降雪时间,给当地人民生活 and 生命财产安全都带来了严重影响。可见,极端低温对农业、城市交通、通信、电力、建筑等行业造成严重危害。翟盘茂,任富民等[4]利用对国家气象中心整理的 369 个测站资料数据,研究发现了最高温度在黄河以南呈现降温趋势,黄河以北以及 95°E 以西呈增温趋势。最低温度普遍呈现增温趋势,尤其是在高纬度地区。最低温度的显著升高进一步反映了温室效应不断增强的迹象。同时日较差表现出减少趋势。谢星昉等[5]利用国家气象

中心提供的从 1961 年 1 月至 2014 年 12 月 691 个无缺测站点资料, 研究发现全国大部分地区, 极端低温指数如冷昼日数、冷夜日数、霜冻日数等均呈现明显下降趋势, 其中西北东部、东北南部、华中、华东、华北较为明显, 极端低温在全国范围内主要呈上升趋势。中国冬季气温与北半球的极涡有密切联系, 极涡的不同移动路径和转向可能会导致计算低温和平均气温出显不同类型。任景全等[6]认为大部分极端气温指数主要周期为 3a, 气温日较差、霜冻日数、冷持续日数、冷夜日数和冷昼日数分别以 $-0.23^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $-3.15\text{d}/10\text{a}$ 、 $-1.67\text{d}/10\text{a}$ 、 $-2.34\text{d}/10\text{a}$ 和 $-0.75\text{d}/10\text{a}$ 的趋势下降; 极端气温指数在 20 世纪 80 年代发生了突变, 其中霜冻日数、暖持续日数等极端指数都在突变后呈上升趋势。朱红蕊等[7]采用世界气象组织公布的极端气候方法对黑龙江从 20 世纪 60 年代到 21 世纪 00 年代的 8 个极端指数进行分析, 研究发现黑龙江省最低气温在 20 世纪 80 年代开始显著升高, 最高气温在 20 世纪 90 年代以后也有明显的上升趋势。同时发现, 夜间增温幅度明显大于日间增温幅度, 可以说明夜间对整体增暖趋势贡献更大。黄小燕等[8]研究发现, 地区的经度、纬度和海拔都会影响极端气温指数的变化, 在沿海地区 4 个绝对指数都有明显上升趋势, 冷昼日数、冷夜日数等相对指数都呈下降趋势。在气温突变后, 整体上极端气温指数都成增高趋势, 显而易见的是不同极端指数对气候变暖的影响是有所不同的。闫慧敏等[9]通过 46 个内蒙古自治区内国家级气象站点逐日想想数据, 分析了过去 50 年内蒙古自治区内气温和降水的空间演变特征。研究发现, 20 世纪 90 年代后, 内蒙古自治区极端温度时间发事的频率和持续时间都有所上升。在 21 世纪后, 农牧交错区的部分站点极端降水事件高于以前, 而其他地区极端降水事件较以前是有所减少的。王常顺等[10]用过 1961~2015 年呼伦贝尔地区 16 个站点气温数据分析了这段时间呼伦贝尔地区极端低温时间的空间分布特征。研究发现, 极端气温阈值与纬度、下垫面、地形等息息相关, 因此在呼伦贝尔区极端低温阈值有着明显的东西向差异和南北向差异, 高纬地区的四季极端低温时间也比低位地区要多。在呼伦贝尔区内, 极端低温事件的发生频率也随着时间的推移逐渐减少, 呼伦贝尔也是全球变暖的正响应区。李德等[11]利用安徽省 1960 到 2010 年的冬季气象数据分通过数理统计方法分期极端气温发生概率, 进而确定农业设施布局类型, 发现安徽因低于 -5°C 的事件概率较高, 因此不采用塑料小拱棚, 沿淮河以南, 极端低温气候概率较小, 适合用塑料大棚。沿淮河以北, 极端低温事件概率逐渐增多, 更推荐日光温室。同时还提出通过极端气候的概率波动以及发生低温事件的强度, 还可以构建农业设施低温综合风险指数。罗忠红等[12]采用实际概率分布阈值法利用我国 195 个站点从 1961 年到 2008 年冬季日最低气温资料, 分子极端低温时间和温度距平分布特征。发现 48 年中, 内蒙和东北在 12 月、1 月易发生积寒。易发生长时间极端低温时间的地区有东北、内蒙、青藏高原等偏北或海拔较高地区。

全球变暖给各个国家的经济、环境、农业和社会都带了深远影响。我国政府和国人也越来越重视全球气候变暖问题, 因为这不但不关系到人们的衣食住行、生活环境, 同时也关系着各个国家政府间的公约谈判、军事和安全等诸多方面[13]。中国境内随着温室气体的增多, 年平均气温上升速度和全球变化基本一致[14]。日最低气温和日最高气温都有所升高, 日较差逐渐减小[15]。利用 IPCC-AR4 模式资料对 21 世纪极端指数的变化形势的预估, 已经取得了很多有意义的成果[16], 但对于我国极端温度事件的研究和特定地区极端指数的变化形势分析还很少, 尤其对我国东北地区有关极端低温指数的研究尚不充足。受全球变暖应影响, 极端指数也在发生着显著变化, 对于极端指数的研究, 更有利于我们对我国气候演变整体趋势的把握。

2. 资料与方法

2.1. 资料

本文利用了吉林省 15 个站点从 1970 年到 2009 年共 39a 逐日平均、最高、最低气温数据。因要研究的吉林冬季的情况, 所以筛选出 12 月、1 月、2 月的数据。1970 年 1 月、2 月和 2009 年 12 月的数据因

不能构成完整冬季,所以省略不计。挑选出的吉林省站点如图一所示,分别是白城、通榆、乾安、农安、扶余、长春、双阳、辽源、桦甸、靖宇、集安、东岗、汪清、延吉、敦化等 15 个站点,均匀分布在吉林省内部(见图 1)。

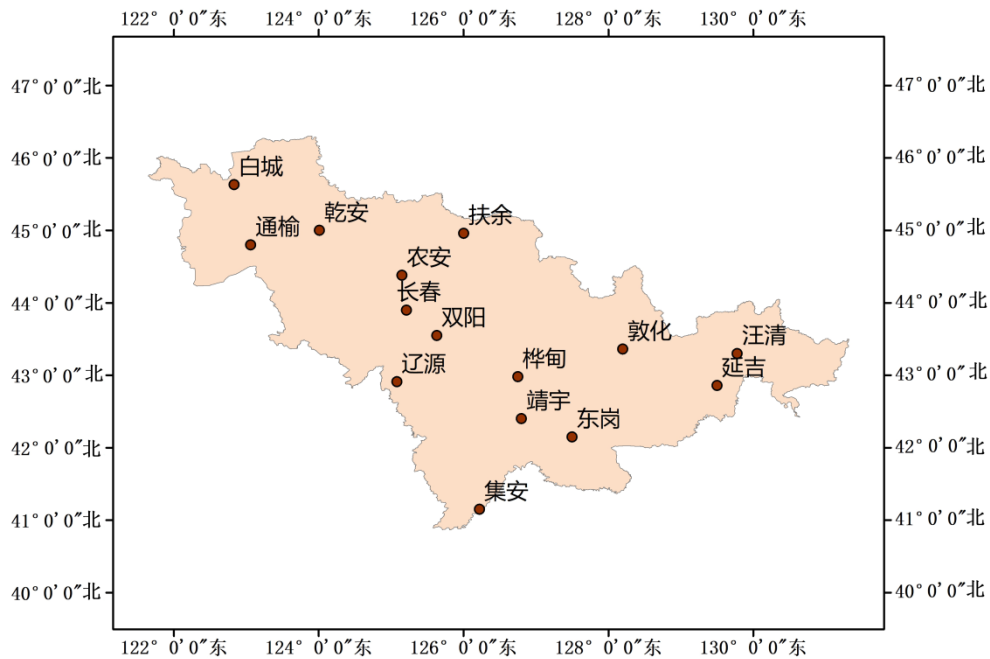


Figure 1. Site map of Jilin Province
图 1. 吉林省站点分布图

2.2. 研究方法

采用百分位阈值法来定义极端低温时间,首先对吉林省 1970 年~2009 年间每一年每个站点日最低气温按升序排序,然后取每年第五个百分为日最低气温平均值为极端低温事件的阈值,当最低温度小于这个阈值是视为极端低温事件。本文采用了气候变化监测与指数专家组(ETCCDI)推荐的极端低温指数[17],从中选取了可以 7 个表征极端低温的指数分别为霜冻日数、结冰日数、冷昼日数、冷夜日数、月最低气温极大值、月最低气温极小值、寒潮持续日数(见表 1)。并将 7 个极端低温指数分为 4 个类别即绝对阈值指数、相对阈值指数、极值指数、其他指数,然后用 RCLimDex 软件计算出各个极端低温指数。对于绝对阈值指数,将各个站点从 1970 年~2009 年共 39 年每一年数据中筛选出日最低气温小于 0°C 的日数求和作为该年霜冻日数,在每一年数据中筛选出日最高气温小于 0°C 的日数求和作为该年霜冻日数。对于相对阈值指数,将各个站点从 1970 年~2009 年共 39 个冬季逐日最高气温按升序排列,然后取第十个百分位的值作为冷昼阈值,小于冷昼阈值的日数定义为冷昼日数。同理,将 39 个冬季逐日最低气温按升序排列,然后去第十个百分位的值作为冷夜阈值,小于冷夜阈值的日数定义为冷夜日数。百分位阈值的计算方法,假设某个气温变量的值有 n 个值,将这 n 个值按升序排列,某个小于或等于序号为 m 的事件出现概率为[18]:

$$P = \frac{m - 0.31}{n + 0.38}$$

其中 m 表示 x_m 对应的序号。

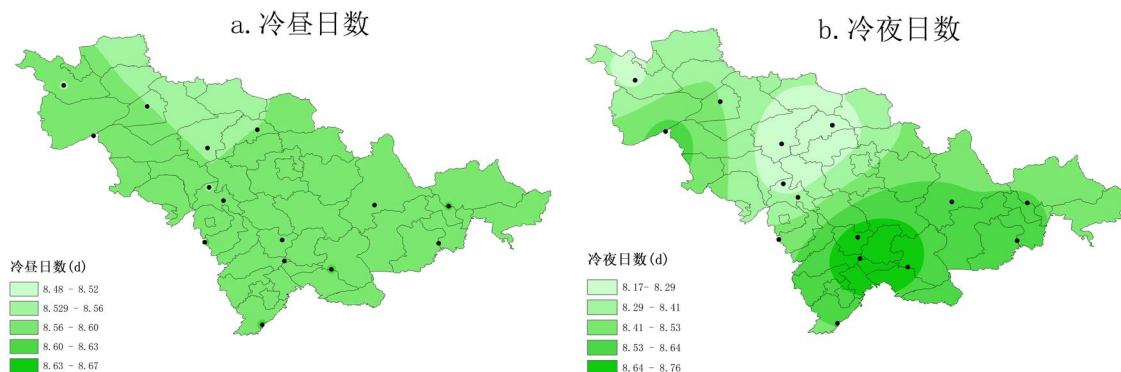
Table 1. Extreme low temperature index [19]**表 1.** 极端低温指数[19]

指数类别	符号	指数名称	含义
绝对阈值指数	FDO	霜冻日数/d	日最低气温小于 0℃ 的日数
	IDO	结冰日数/d	日最高气温小于 0℃ 的日数
相对阈值指数	TX10p	冷昼日数/d	日最高气温小于 10%分位值的日数
	TN10p	冷夜日数/d	日最低气温小于 10%分位值的日数
极值指数	TNx	月最低气温极大值	每月中日最低气温的最大值
	TNn	月最低气温极小值	每月中日最低气温的最小值
其他指数	CSDI	寒潮持续日数	每年至少连续 6 d 日最低气温小于 10%分位值的日数

3. 吉林冬季极端指数的空间分布和随时间的演变特征

3.1. 7 个极端指数的空间分布

根据筛选出的吉林地区 15 个站点从 1970 年 12 月到 2009 年 2 月共 49 个冬季的平均气温、最高气温、最低气温等数据；计算出霜冻日数、结冰日数、冷昼日数、冷夜日数、最低气温极大值、最低气温极小值、霜冻日数等极端指数的多年平均，分别研究其个极端指数在冬季吉林地区的空间分布(见图 2)。吉林省冬季冷昼日数变换范围在 8.48~8.67 d，松原市与大安市一侧是低值区。吉林省冬季冷夜日数的变化取值范围在 8.17~8.76 d 大值区位于白山市、辉南、柳河一带，低值区位于德惠、扶余、农安一带。低值区在公主岭市、和龙市。吉林省寒潮持续日数变换范围在 2.3~20.4 d，高值区在白山市柳河一带吉林省冬季霜冻日数的多年平均分布并不均匀，基本由南向北呈递增趋势，总体大值区位于白城市、松原市、长春市，变换范围为 64.1~82.8 d。吉林冬季结冰日数变换范围为 89.7~90.2 d，跨度较小，结冰日数由南向北依次递增，和霜冻日数相像，较大值区位于白城市、松原市、吉林市，占比面积较大，变换范围为 89.7~90.2 d 跨度较小。吉林省月最低气温极大值由西向东逐步递增，其取值范围为-0.6℃~3.2℃。吉林省月最低气温极小值的低值区位于白山市，几个高值区位于延边朝鲜族自治州龙井县，白山市、长岭等地区，取值范围在-43.6℃~-30.3℃。



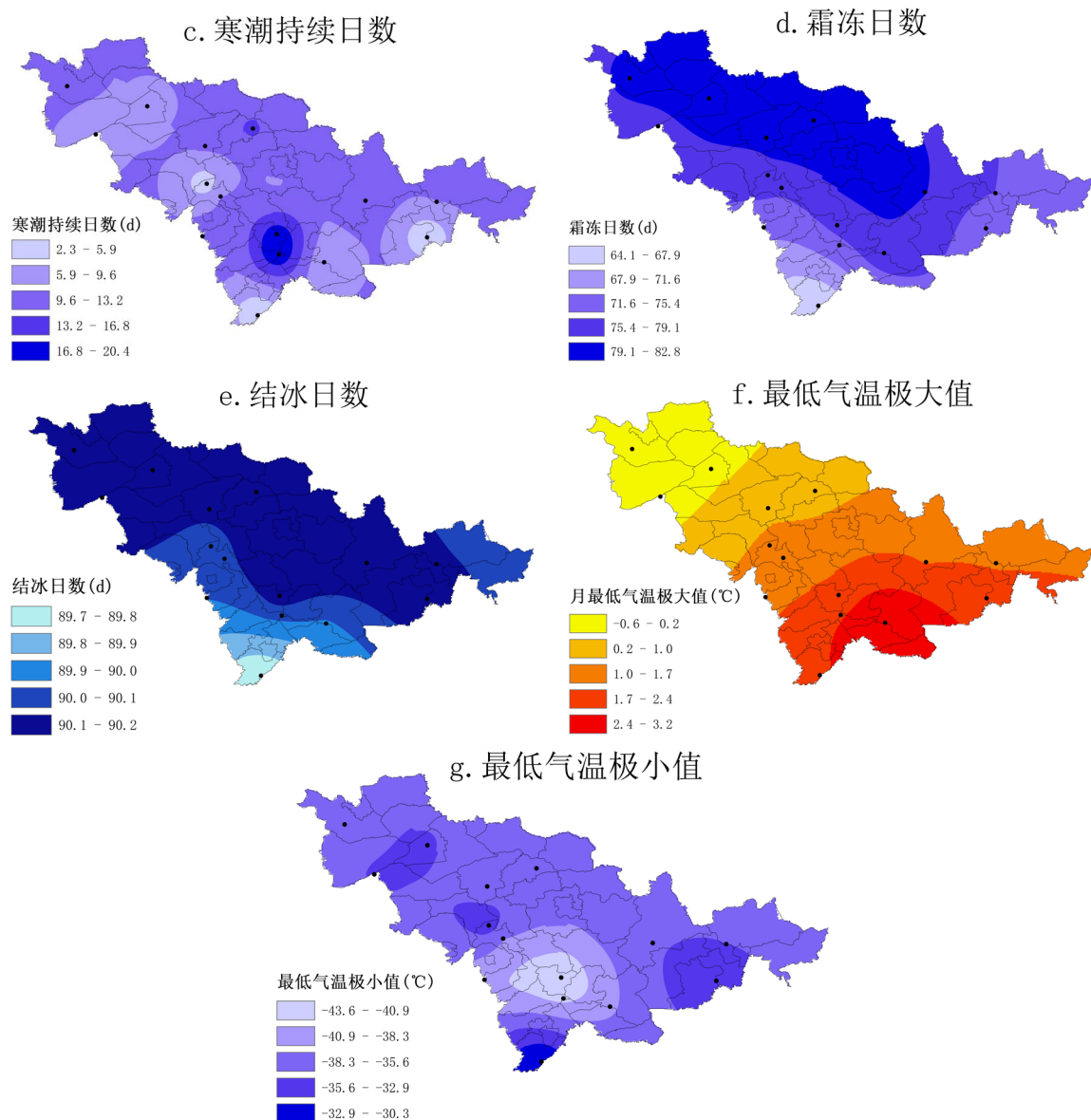


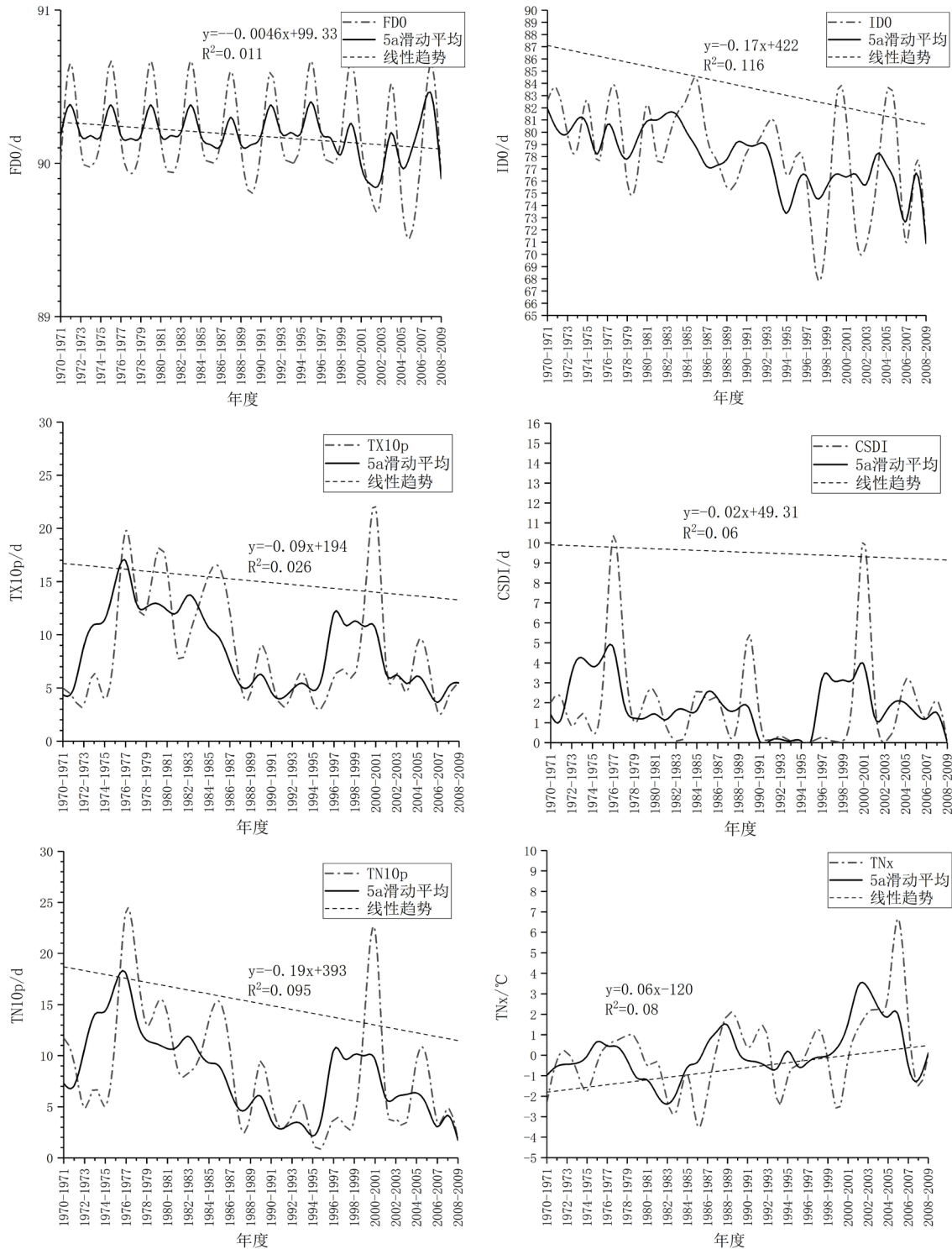
Figure 2. The spatial distribution of seven extreme index in Jilin Province in winter
图 2. 吉林省冬季 7 个极端指数空间分布图

3.2. 7 个极端指数随时间演变趋势

通过线性倾向估计, 吉林地区冬季结冰日数、冷夜日数、冷昼日数、寒潮持续日数都有显著的下
 降(见图 3), 其线性倾向率分别为: 1.7 d/10a、1.9 d/10a、0.9 d/10a、0.2 d/10a。从累计距平来看, 结
 冰日数、冷昼日数、冷夜日数在 1987 年前都有显著下降趋势, 霜冻日数下降趋势不明显, 其线性倾
 向 0.046 d/10a, 月最低气温极大值和月最低气温极小值有着显著上升趋势, 线性倾向率分别是: 0.6°C
 /10a、0.8°C/10a, 可见月最低气温极小值比月最低气温极大值上升幅度更大。其中 1976 年、1980 年
 和 2000 年的冷昼日数、冷夜日数和霜冻日数都明显增加, 日最低气温极小值也有明显的下降, 为异
 常低温年, 主要是受下垫面海冰密集度的影响。巴伦支海和喀拉海下垫面海冰密集度小, 导致北极吸
 收的太阳辐射与往年相比增多, 冷空气不易堆积, 而是会向中纬地区扩散, 进而中纬地区经向环流增

强, 乌拉尔山脊增强, 东亚大槽加深, 近地面西伯利亚高压加强, 冬季风明显增强, 进而影响了东北吉林地区, 造成异常低温[20]。

总体而言, 吉林地区 1970 年到 2009 年变暖特征明显, 属于全球气候变暖的正响应地区。这一结果也与任景全等在 1961~2015 年吉林省极端气温指数时空变化特征的研究结果基本一致。



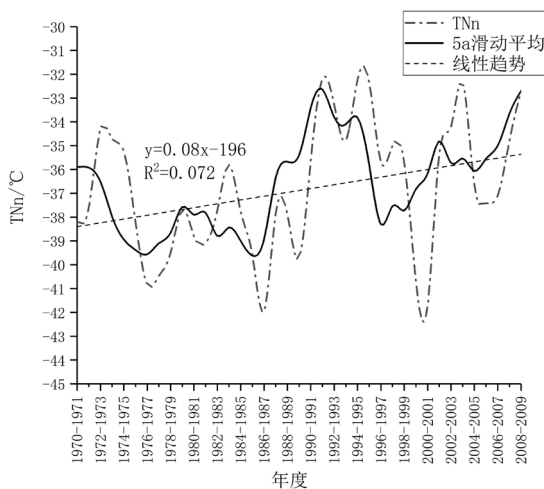


Figure 3. Interannual change trend of 7 extreme index in winter in Jilin Province
图 3. 吉林省冬季 7 个极端指数年际变化趋势

3.3. 7 个极端指数的突变检验

由图 4 可知,通过分析 UF 曲线和 UB 曲线,从 UF 曲线可以看出 1970 年至 1976 年霜冻指数基本呈上升趋势,但是曲线没有超过 5%显著性检验区间,只能认为是缓慢上升,1976 年至 1981 年呈缓慢下趋势。19 世纪 80 年代到 2004 年吉林冬季霜冻指数基本成上升趋势,2004 年至 2008 年又开始呈缓慢下降趋势。根据 UF 曲线和 UB 曲线的交点位置,2001 年、2006 年和 2007 年分别有三个突变点,2001 年突变后,吉林冬季霜冻指数缓慢下降,由于 2009 年后我们数据较少,所以临近终止点的两个突变点检验结果不具有代表性,所以此处不认为发生突变。

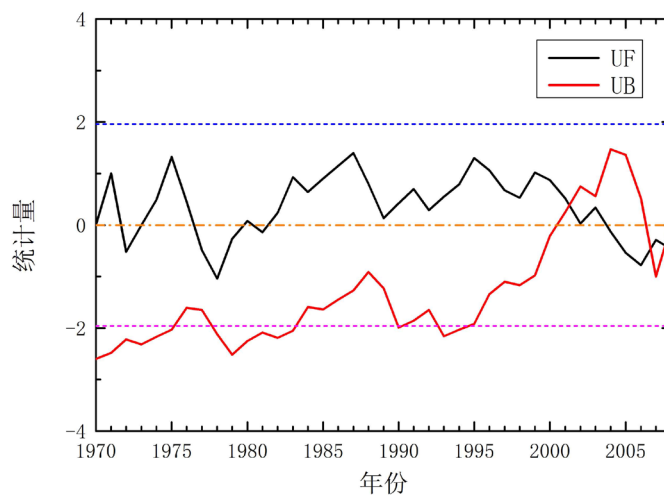


Figure 4. Mann-Kendall test of frost index in Jilin area (the straight line is the 0.05 critical level critical line)
图 4. 吉林地区霜冻指数 Mann-Kendall 检验(直线为 0.05 显著性水平临界线)

由图 5 可知,从 UF 曲线上可以看出,19 世纪 70 年代结冰日数波动较大,但是曲线没有超过 5%显著性检验区间,所以是吉林地区冬季结冰日数缓慢上升或下降。1979 年到 1985 年结冰日数呈缓慢下降趋势,1985 年到 1986 年稍有上升,1986 年后结冰日数不断下降,1997 年到 1999 年和 2001 年至 2004 年都超过了 5%显著性检验区间,可以认为结冰日数呈快速下降趋势。根据 UF 曲线和 UB 曲线的交点位置,

突变点在 1986 年, 突变之后, 吉林省冬季结冰日数呈下降趋势, 且下降趋势不断加快, 这可能全球气候变暖的大趋势有关。

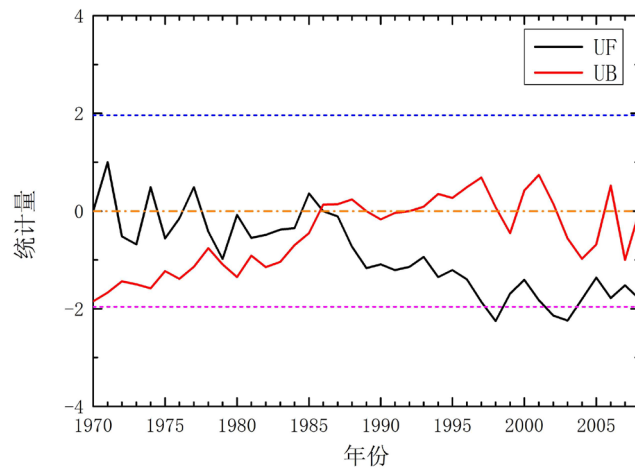


Figure 5. Mann-Kendall test of ice days in Jilin area (the straight line is the 0.05 critical level critical line)

图 5. 吉林地区结冰日数 Mann-Kendall 检验(直线为 0.05 显著性水平临界线)

由图 6 可知, 从 UF 曲线上可以看出, 1970 年至 1975 年吉林省冬季冷昼指数呈缓慢下降趋势, 1975 年至 1994 年, 冷昼日数持续升高, 1979 年~1981 年和 1983 年~1987 年超过了 5%显著性检验区间, 说明这两个时间段的冷昼日数呈现快速上升趋势。1994 年之后, 冷昼日数呈缓慢下降趋势。通过分析 UF 曲线和 UB 曲线在 1992 的交点可已看出, 在突变前, 吉林地区冬季冷昼日数基本呈上升趋势, 在突变后冷昼日数开始缓慢下降。

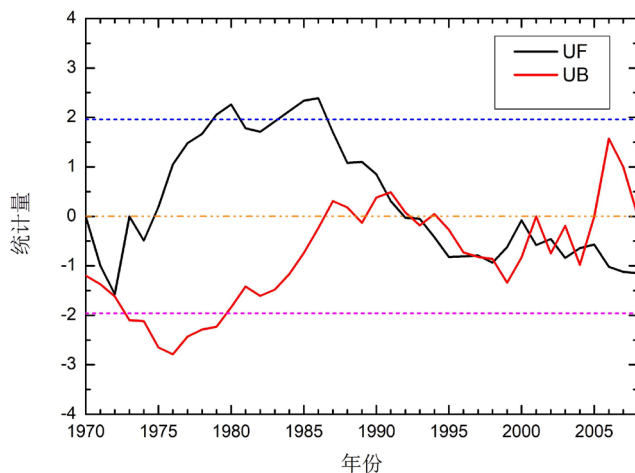


Figure 6. Mann-Kendall test of cold days in Jilin area (the straight line is the 0.05 critical level critical line)

图 6. 吉林地区冷昼日数 Mann-Kendall 检验(直线为 0.05 显著性水平临界线)

由图 7 可知, 根据分析 UF 曲线可以看出, 1970 年~1975 年间吉林地区冷夜日数呈下降趋势, 1975 年~1990 年, 冷夜日数基本呈现上升趋势, 因为没有超过 5%显著性检验区间, 所以只能认为是缓慢上升, 1990 年后, 冷夜数呈下降趋势, 1995 年之后, UF 曲线基本都超过 5%显著性检验区间, 说明 1995 年后的吉林地区冷夜日数下降明显。根据 UF 曲线和 UB 曲线的交点位置, 可以看出突变发生在 1990 年, 突变之后, 冷夜日数基本呈下降趋势。冷夜日数的变化趋势和冷昼日数变化趋势基本相似。

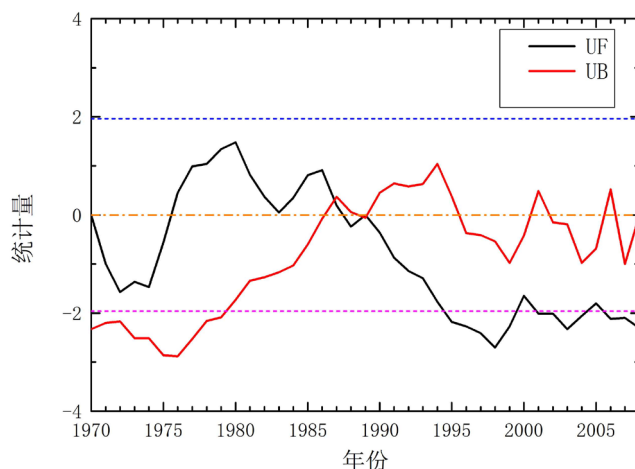


Figure 7. Mann-Kendall test of cold nights in Jilin area (the straight line is the 0.05 critical level critical line)
图 7. 吉林地区冷夜日数 Mann-Kendall 检验(直线为 0.05 显著性水平临界线)

由图 8 可知, 通过 UF 曲线可以看出, 1991 年~1976 年寒潮持续日数呈缓慢下降趋势, 1976 年~1981 年呈上升趋势, 1986 年之后吉林地区冬季寒潮持续日数基本呈下降趋势, 因为没有超过 5% 显著性检验区间, 表明下降趋势不甚明显。根据 UF 曲线和 UB 曲线的交点位置, 可以看出突变发生在 1990 年。与冷昼日数和冷夜日数趋势大致相同。

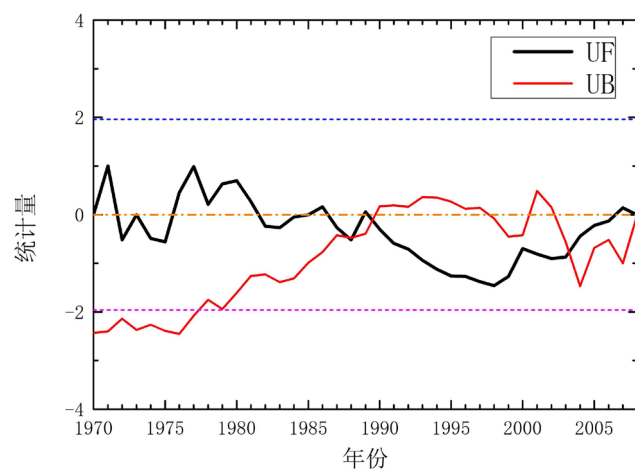


Figure 8. Mann-Kendall test of cold wave lasting days in Jilin area (the straight line is the 0.05 critical level critical line)
图 8. 吉林地区寒潮持续日数 Mann-Kendall 检验(直线为 0.05 显著性水平临界线)

由图 9 可知, 通过 UF 曲线可以看出, 从 1970 到 2008 年, 吉林地区最低气温极大值一直呈上升趋势, 1990 年后, UF 曲线通过了 5% 显著区间检验, 说明上升趋势明显。根据 UF 曲线和 UB 曲线的交点位置, 可以看出突变发生在 1989 年, 1989 年后月底气温及最大值呈上升趋势更见明显。

由图 10 可知, 从 UF 曲线可以看出 1972 年~1975 年, 最低气温极小值呈缓慢上升趋势, 1975 年到 1991 年吉林地区月最低气温极小值呈下降趋势, 因为没有超过 5% 显著性检验区间, 表明下降趋势不甚明显。根据 UF 曲线和 UB 曲线的交点位置可以看到, 在 1990 年发生突变后, 月最低气温极小值就一直呈上升趋势。除去个别存在异常低温的年份, 总体来说 1976 年到 2009 年, 吉林变暖趋势明显, 与刘学华等人在中国近 40 年极端气温和降水的分布特征及年代际差异研究结果即 1976 年~2000 年我国有变暖趋势这一结果完全符合[21]。

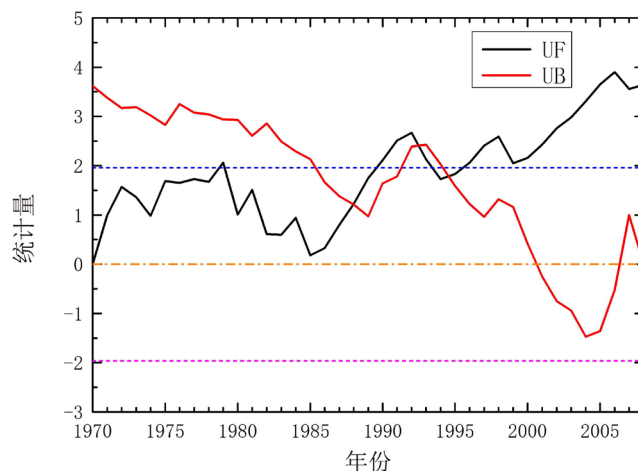


Figure 9. Mann-Kendall test of maximum of monthly minimum temperatures in Jilin area (the straight line is the 0.05 critical level critical line)

图 9. 吉林地区月最低气温极大值 Mann-Kendall 检验(直线为 0.05 显著性水平临界线)

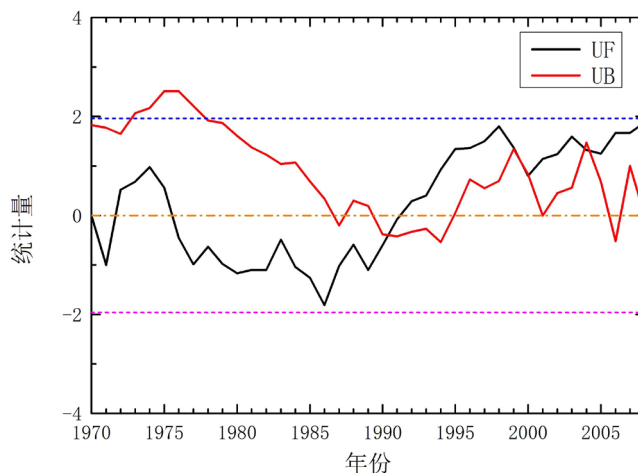


Figure 10. Mann-Kendall test of minimum of monthly minimum temperatures in Jilin area (the straight line is the 0.05 critical level critical line)

图 10. 吉林地区月最低气温极小值 Mann-Kendall 检验(直线为 0.05 显著性水平临界线)

3.4. 7 个极端指数的周期分析

为更进一步研究吉林地区冬季 7 个极端指数的周期变化特征, 我们采用 Morlet 小波对冷昼日数、冷夜日数、霜冻日数、结冰日数、月最低气温极大值、月最低气温极小值、寒潮持续日数 7 个极端指数进行小波分析。下图分别给出了 7 个极端指数的小波方差图和 Morlet 小波实部时频分布等高线。

根据吉林地区霜冻指数小波分析图(见图 11), 可以看出有三个峰值, 分别对应 7a、21a、34a。最高峰值位于 21a 的时间尺度, 说明吉林地区冬季霜冻日数在 21a 震荡最强, 为主要周期, 且 21a 周期峰值较高存在于整个事件序列。

根据吉林地区结冰日数小波分析图可知(见图 12), 存在 21a(第一主周期), 34a(第二主周期), 9a(第三主周期)的显著周期。小波指数 >0 表示吉林地区冬季结冰日数多的年份, 小波指数 <0 表示吉林地区冬季结冰日数少的年份。其中结冰日数在 21a 的震荡最强为主要周期。且 9a 出现在于 1970~1980 年和 2000 年~2009 年间。

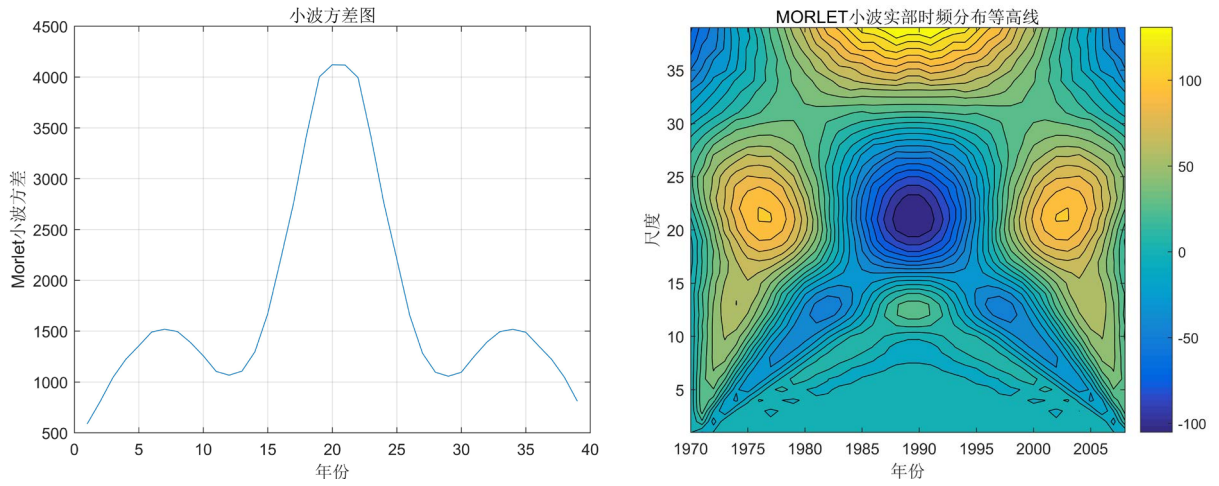


Figure 11. Wavelet analysis of frost days
图 11. 霜冻日数小波分析

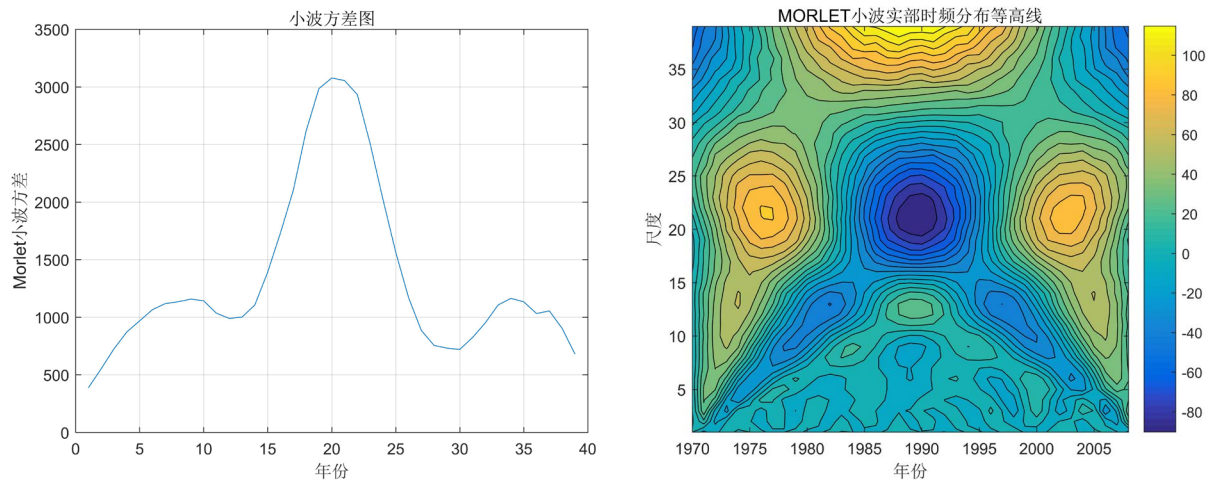


Figure 12. Wavelet analysis of ice days
图 12. 结冰日数小波分析

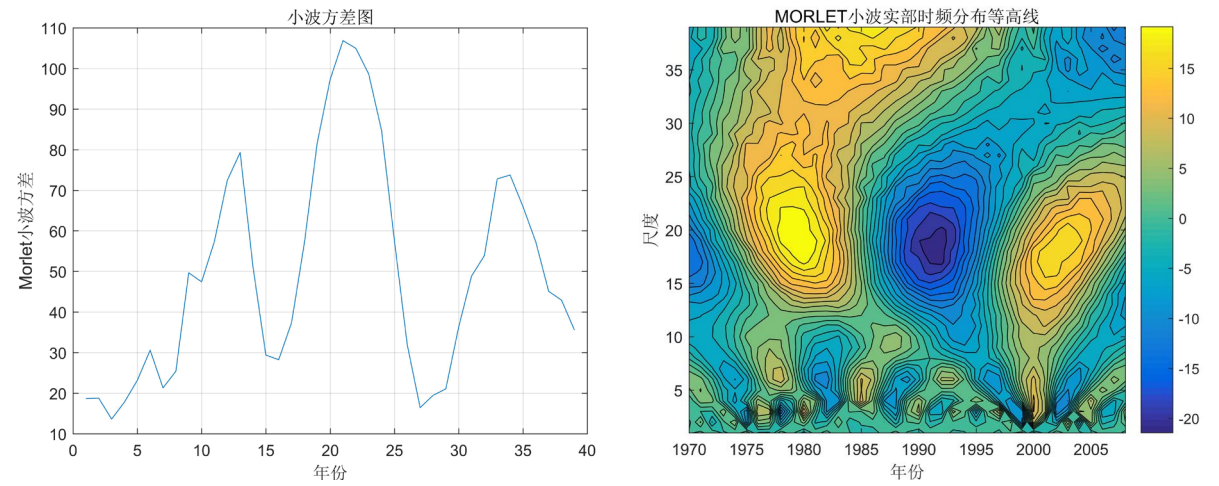


Figure 13. Wavelet analysis of cold days
图 13. 冷昼日数小波分析

根据吉林地区冷昼日数小波分析图可知(见图 13), 存在 22a (第一主周期)、13a (第二主周期)、34a (第三主周期)的显著周期。在 19~22a 振荡周期里, 20 世纪 80 年代初期、20 世纪 90 年代初期小波实部为负值区, 表明这段期间属于吉林地区冬季冷昼日数偏少期; 20 世纪 70 年代末期、20 世纪 80 年代初期、21 世纪 00 年代初期小波实部为正值区, 表明这段期间属于吉林地区冬季冷昼日数偏多期。

根据吉林地区冬季冷夜日数小波分析图可知(见图 14), 存在 21a (第一主周期)、34a (第二主周期)、12a (第三主周期)、6a (第四主周期)的显著周期。在 19~22a 振荡周期里, 20 世纪 80 年代初期小波实部为负值区, 表明这段时间属于吉林地区冷夜日数偏少期; 20 世纪 70 年代末、21 世纪 00 年代初期小波实部为正值区, 表明这段时间属于冷夜日数偏多期。

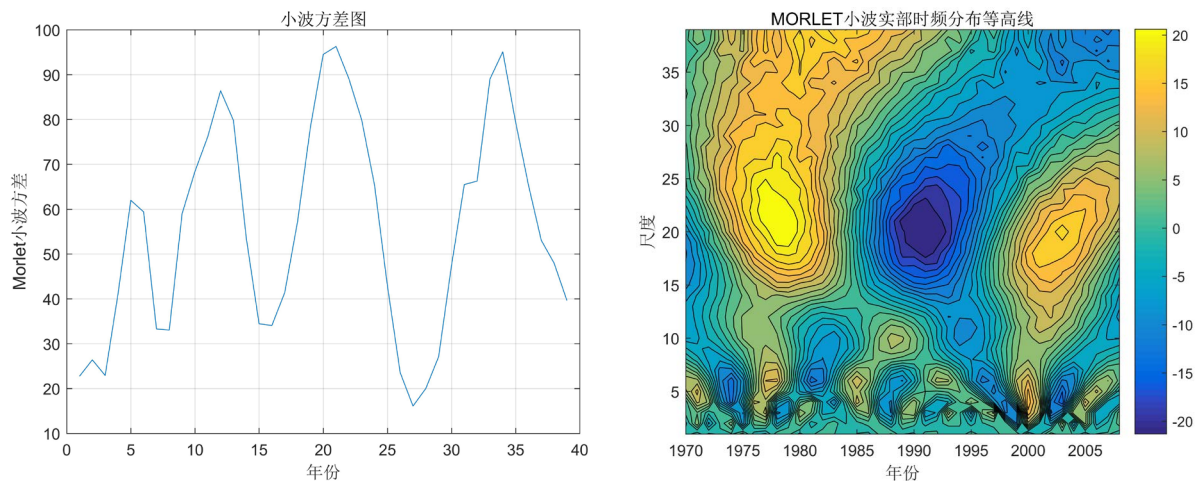


Figure 14. Wavelet analysis of cold nights
图 14. 冷夜日数小波分析

根据吉林地区寒潮持续日数小波分析图可知(见图 15), 存在 20a (第一主周期), 34a (第二主周期)、5a (第三主周期)、13a (第四主周期)的显著周期。由小波实部时频分布等高线图可以看出, 在 20~25a 振荡周期里, 20 世纪 70 年代后期、21 世纪 00 年代初期小波实部为正值区, 表明这段时间吉林冬季寒潮持续日数偏多; 在 20 世纪 80 年代初期小波实部为负值区, 表明这段时间吉林冬季寒潮持续日数较少。

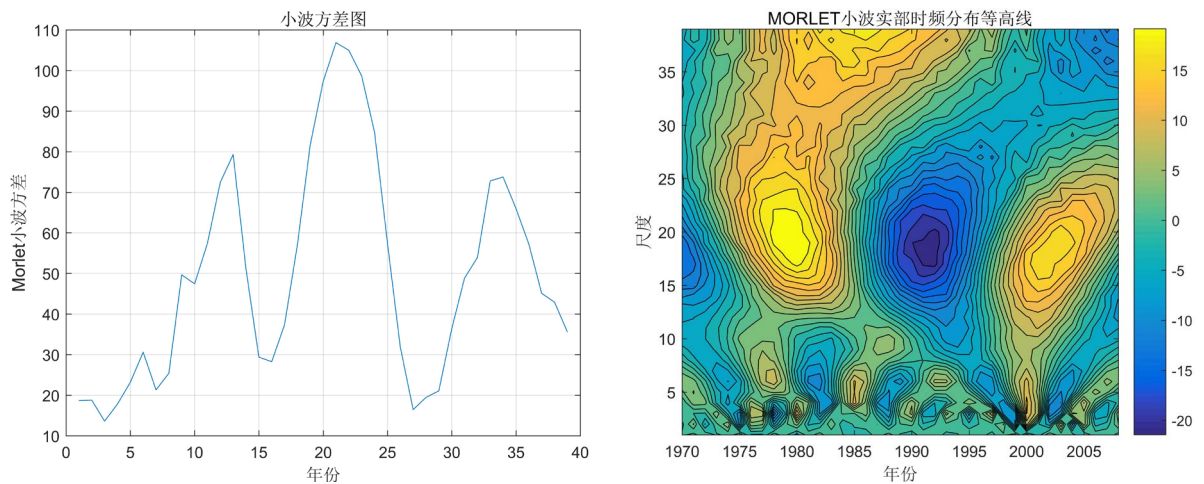


Figure 15. Wavelet analysis of cold wave lasting days
图 15. 寒潮持续日数小波分析

根据吉林地区月最低气温极大值小波分析图可知(见图 16),存在 28a (第一主周期)、21a (第二主周期)、10a (第三主周期)、15a (第四主周期)的显著周期。在小波实部时频分布等高线图上可以看出在 10~12a 振荡区间里,20 世纪 70 年代初期、20 世纪 80 年代中期、20 世纪 90 年代后期小波实部为负值区,表明这段时间月最低气温极大值较小;20 世纪 70 年代后期、20 世纪 80 年代后期、21 世纪 00 年代中期小波实部为正值区,表明这段时间月最低气温极大值较大。

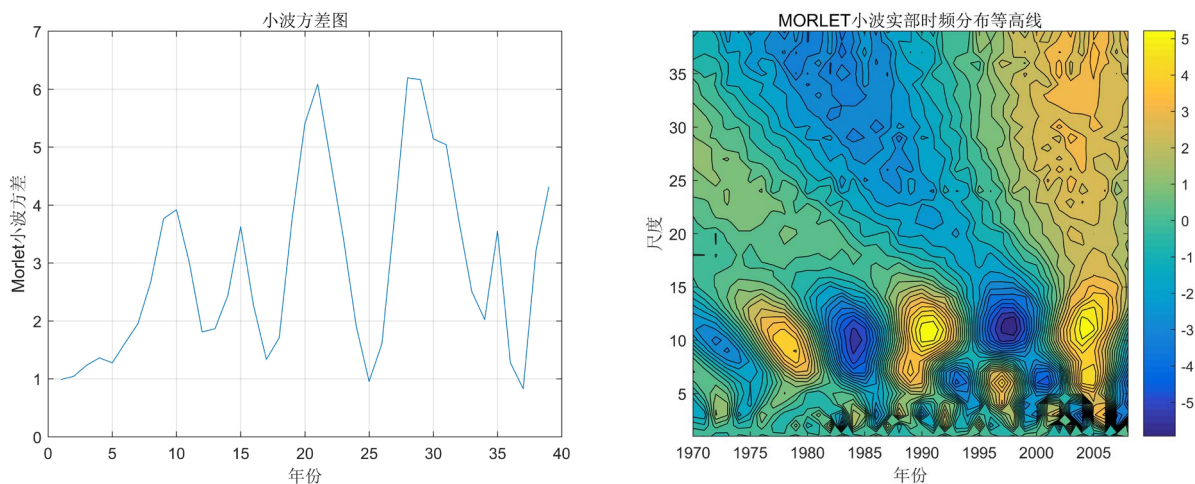


Figure 16. Wavelet analysis of maximum of monthly minimum temperatures

图 16. 月最低气温极大值小波分析

根据吉林地区月最低气温极小值小波分析图可知(见图 17),存在 21a (第一主周期)、34a (第二主周期)的显著周期。在 21~22a 振荡区间里,20 世纪 70 年代末期、21 世纪 00 年代中期小波实部为负值区,表明这段时间月最低气温极小值偏小;20 世纪 80 年代末期、90 年代初期小波实部为正值区,表明此时吉林冬季月最低气温极小值偏大。

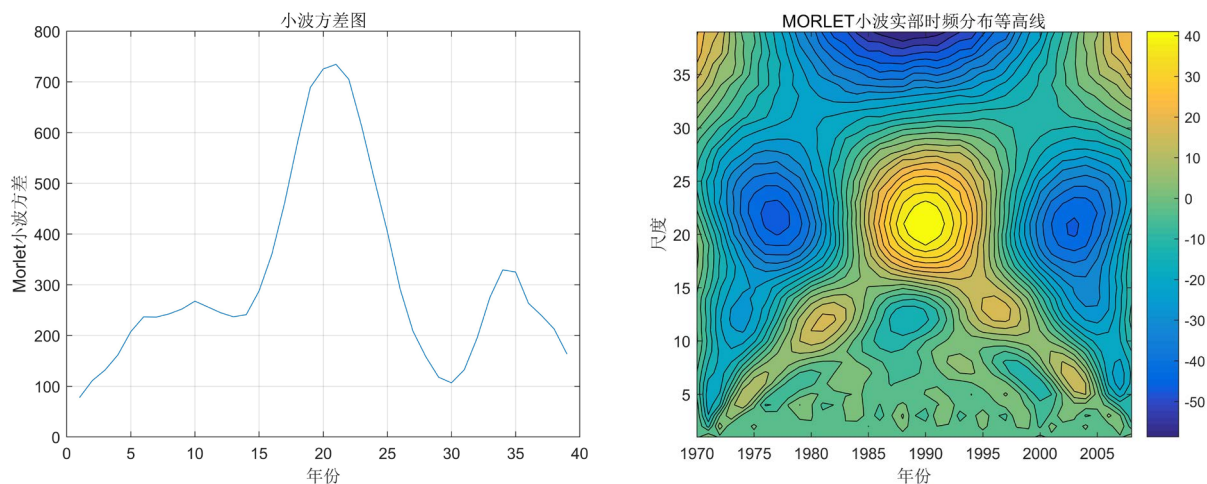


Figure 17. Wavelet analysis of minimum of monthly minimum temperatures

图 17. 最低气温极小值小波分析

4. 结论

通过处理吉林地区 1970~2009 年 39a 冬季的平均气温、最高气温、最低气温等数据,选取冬季结冰

日数、霜冻日数、冷昼日数、冷夜日数、寒潮持续日数、月最低气温极大值等 7 个极端指数进行分析，得出结论如下：

(1) 吉林冬季 7 个极端指数的空间分布情况如下：冷昼日数、冷夜日数、寒潮持续日数、月最低气温极小值空间分布十分不均匀，冷夜日数、寒潮持续日数的高值区和月最低气温极小值低值区都在白山市、柳河一带，霜冻日数和结冰日数都从南到北呈递减趋势，最低气温极大值又从北向西南成递增趋势，符合南暖背冷的特点。

(2) 吉林地区冬季结冰日数、冷夜日数、冷昼日数、寒潮持续日数都有显著的下降，其线性倾向率分别为：1.7 d/10a、1.9 d/10a、0.9 d/10a、0.2 d/10a。月最低气温极大值和月最低气温极小值有着显著上升趋势，线性倾向率分别是：0.6℃/10a、0.8℃/10a。

(3) 根据 M-K 检验的 UF 曲线霜冻日数、结冰日数、寒潮持续日数、冷昼日数、冷夜日数都呈不断下降趋势，月最低气温极大值和月最低气温极小值呈上升趋势。霜冻日数突变出现在 21 世纪 00 年代初期，剩下的六个极端指数的突变基本发生在 20 世纪 80 年代到 90 年代左右。其中结冰日数、冷夜日数、寒潮持续日数和月最低气温极大值突变发生在 20 世纪 80 年代末期；月最低气温极小值和冷昼日数的突变在 20 世纪 90 年代初期。

(4) 7 个极端指数均出现明显的周期振荡，各个极端指数 1970~2009 年时间尺度周期变化都显著集中在 20~24a；冷昼日数、冷夜日数、霜冻日数、结冰日数和寒潮持续日数发生的 1980 年突变，基本集中在 20~24a 振荡区间中。

参考文献

- [1] 张存杰, 黄大鹏, 刘昌义, 刘起勇. IPCC 第五次评估报告气候变化对人类福祉影响的新认知[J]. 气候变化研究进展, 2014, 10(4): 246-250.
- [2] 王怀军, 潘莹萍, 陈忠升. 1960~2014 年淮河流域极端气温和降水时空变化特征[J]. 地理科学, 2017, 37(12): 1900-1908.
- [3] 岳高峰, 韩志强. 临夏地区农林业春季极端低温灾害研究分析[J]. 现代农业科技, 2015(16): 238-239.
- [4] 王冀, 蒋大凯, 张英娟. 华北地区极端气候事件的时空变化规律分析[J]. 中国农业气象, 2012, 33(2): 166-173.
- [5] 谢星昶, 游庆龙, 王雨泉. 1961~2014 年中国冬季极端低温变化特征分析[J]. 气候与环境研究, 2018, 23(4): 429-441.
- [6] 任景全, 郭春明, 刘玉汐, 穆佳, 李建平, 李琪. 1961~2015 年吉林省极端气温指数时空变化特征[J]. 生态学杂志, 2017, 36(11): 3224-3234.
- [7] 朱红蕊, 刘赫男. 黑龙江省 1961~2009 年极端气温事件变化特征分析[J]. 气候变化研究进展, 2011, 7(2): 110-115.
- [8] 黄小燕, 王小平, 王劲松, 冯建英, 王圣杰. 1960~2013 年中国沿海极端气温事件变化特征[J]. 地理科学, 2016, 36(4): 612-620.
- [9] 闫慧敏, 陈伟娜, 杨方兴, 刘纪远, 胡云锋, 冀咏赞. 过去 50 年内蒙古极端气候事件时空格局特征[J]. 地理研究, 2014, 33(1): 13-22.
- [10] 王常顺, 王慧清. 近 55 年呼伦贝尔地区极端低温事件时空变化特征研究[J]. 呼伦贝尔学院学报, 2020, 28(1): 83-89.
- [11] 李德, 杨太明, 刘瑞娜, 马晓群. 安徽省设施农业冬季低温风险分析和区划[J]. 中国农业气象, 2013, 34(6): 703-709.
- [12] 罗忠红, 黄嘉佑, 江航东. 我国冬季持续极端低温分布特征[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(24): 14945-14947.
- [13] 赵宗慈. 全球气候变化预估最新研究进展[J]. 气候变化研究进展, 2006(2): 68-70+97.
- [14] 丁一汇, 戴晓苏. 中国近百年来的温度变化[J]. 气象, 1994(12): 19-26.
- [15] 孙颖. 用于 IPCC 第四次评估报告的气候模式比较研究简介[J]. 气候变化研究进展, 2005(4): 161-163.
- [16] 王冀, 江志红, 丁裕国, 张金玲, 张霞. 21 世纪中国极端气温指数变化情况预估[J]. 资源科学, 2008(7):

- 1084-1092.
- [17] Peterson, T.C. and Manton, M.J. (2008) Monitoring Changes in Climate Extremes. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **89**, 1266-1271. <https://doi.org/10.1175/2008BAMS2501.1>
- [18] Bonsal, B.R., Zhang, X., Vincent, L.A., *et al.* (2001) Characteristics of Daily and Extreme Temperatures over Canada. *Journal of Climate*, **5**, 1959-1976. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2001\)014<1959:CODAET>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014<1959:CODAET>2.0.CO;2)
- [19] 东北低温科研协作组. 东北地区冷夏、热夏长期预报的初步研究[J]. 气象学报, 1979(3): 44-58.
- [20] 张丽, 石大明, 姜忠宝, 李宇凡. 吉林省冬季气温异常的环流特征及其与北极涛动、北极海冰的关联[J]. 气象灾害防御, 2017, 24(2): 1-5+25.
- [21] 刘兴华, 季致建, 吴洪宝, 等. 中国近 40 年极端气温和降水的分布特征及年代际差异[J]. 热带气象学报, 2006(6): 618-624.