

吉林省极端严寒事件时空分布特征及评估方法研究

袭祝香¹, 纪玲玲¹, 高晓菽¹, 张 硕²

(1.吉林省气象台, 吉林 长春 130062; 2.辽宁省气象灾害监测预警中心, 辽宁 沈阳 110161)

摘要:利用1951~2013年最低气温资料和灰色关联度、气候倾向率、Gumbel极值分布等方法分析了吉林省严寒的时空分布特征和气候变化规律,给出了严寒过程的等级评估指标和异常气候重现期指标,对2011~2013年的严寒过程进行了评估。结果表明:吉林省严寒主要在冬季出现,在1月中旬前后达到峰值;中南部地区为严寒多发区,其它地区出现较少;吉林省年平均严寒发生次数呈下降的趋势,其中中西部地区呈上升的趋势,东南部地区呈下降的趋势;吉林省严寒次数的阶段性变化明显,1951~1980年呈偏多的阶段,1981~2013年处于偏少阶段;吉林省严寒过程主要出现在1月;利用序位以及等级评估、异常气候重现期评估指标对严寒过程进行评估,可满足快速、及时评估的气象服务的需求。

关键词:吉林省;极端严寒事件;时空特征;评估方法

中图分类号:P49 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-0690(2015)10-1341-06

20世纪80年代以来,极端天气气候事件频繁发生,给社会经济和人民生活造成了严重的影响和损失,2012年2月份北半球欧洲、亚洲部分国家和地区遭遇极端严寒天气,有数百人被冻死,经济损失惨重^[1]。根据最近的统计,全球气候变化及相关的极端天气气候事件所造成的经济损失在过去40 a平均上升了10倍^[2]。科学认识极端天气气候事件发生及气候变化规律,开展极端天气气候事件评估方法研究,在极端天气气候事件发生前进行有效的预评估,对于各级政府科学组织防灾减灾,保证突发气象灾害应急工作高效、有序进行,最大限度地减轻或避免突发气象灾害造成人员伤亡和财产损失意义重大。

吉林省处于温带大陆性季风气候区,对气候变化非常敏感,属气候脆弱区,各季节经常突发极端天气气候事件和灾害,如暴雨、暴雪、严寒、霜冻、寒潮、强降温、大风、沙尘、干旱等。严寒是极端天气气候事件,是吉林省冬季的主要气象灾害,对人民的生产生活影响极大,尽管由于气候变暖,生态及气候带有所北移^[3-6],但严寒天气在冬季仍时有发生,例如2000年冬季吉林省出现罕见的持续严寒天气,造成延边苹果梨(*Pyrus bretschneideri*)

等越冬果树发生严重冻害,苹果梨产量比上一年减产达70%^[7]。2012年12月至2013年1月的寒冷天气,吉林省一些供水、供气、供油管线由于严寒天气发生冻裂或冻堵,采暖用煤量大幅增加。

对于霜冻、寒潮、强降温等低温灾害,有关专家及学者进行了大量的分析和研究,但对严寒分析和研究的较少,Wang等^[8-10]研究了严寒与大气环流的响应关系,凌正州^[11]分析了严寒与积雪的相关关系,左梅英^[12]对严寒气候进行了分析,周鸣盛等^[13,14]对严寒天气成因与严寒天气过程进行了研究。本文对吉林省严寒的时空分布特征、气候变化规律以及严寒过程的等级评估指标和异常气候重现期指标进行分析和研究,以期提高对极端严寒灾害的应急响应和服务能力。

1 资料与方法

1.1 资料

本文研究区域为吉林省,大致位于121°E~132°E, 41°N~47°N之间。气象资料采用1951~2013年1~12月50个气象站逐日最低气温资料。站点选取考虑到资料连续、资料序列长等因素,基本含有吉林省所有具有长年代资料的站点。研究

收稿日期:2014-01-25;修订日期:2014-07-30

基金项目:中国气象局关键技术集成与推广项目(CMAGJ2014M13)和吉林省地方标准项目(DBXM130-2014)资助。

作者简介:袭祝香(1963-),女,吉林长岭人,高级工程师,主要从事气象灾害评估、决策气象服务工作。E-mail:xxz6310@126.com

区域及站点分布见图1。

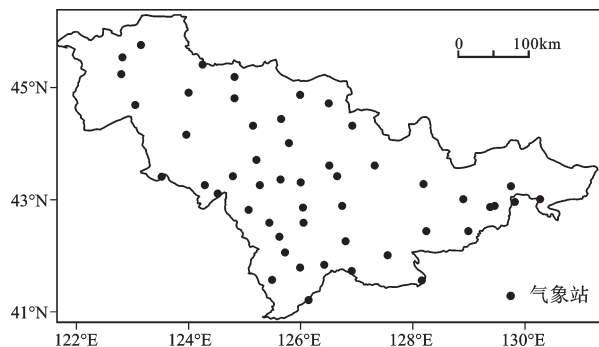


图1 吉林省严寒分析站点分布

Fig.1 The stations of the bitter cold analysis in Jilin Province

1.2 严寒、严寒过程及严寒过程指数

定义连续3 d日最低气温在 -30°C 以下,或1 d日最低气温低于 -35°C ,即为出现严寒^①。连续1 d以上所评估区域1/4站以上出现严寒,定义为一个严寒过程。

为了全面反映整个严寒过程的程度,严寒过程指数采用严寒过程持续日数、严寒覆盖范围、严寒过程最低气温、严寒过程平均最低气温4个方面作为分项指标来进行衡量。

$$\text{严寒过程持续日数指标: } I_a = t_2 - t_1 + 1 \quad (1)$$

$$\text{严寒覆盖范围指标: } I_b = \frac{n}{N} \quad (2)$$

$$\text{严寒过程最低气温指标: } I_c = \min(P24_j), j = 1, \dots, n \quad (3)$$

严寒过程平均最低气温指标:

$$I_d = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n P_{24_j}, j = 1, \dots, n \quad (4)$$

式中, t_2 为严寒终止时间, t_1 为严寒开始时间, n 为区域内达到严寒标准的观测站次数, N 为区域内观测站点总数, $\min()$ 为取最小值函数, $P24_j$ 为 n 个达到严寒标准站次中最低气温。 P_j 为其中第 j 个观测站点的达到严寒标准的最低气温,这里所说的区域是指吉林省。

由于灰色关联方法在进行多指标综合时,可以避免人为的主观任意性,具有明显的优势^[15-17],因此,本文参照灰色关联方法计算严寒过程指数,首先对严寒过程4项分项指标采用对应的历史最大值相除做无量纲处理,然后设定 U_0 为参考序列,

各分项指标皆为1,即最重严寒过程,计算严寒各分项指标经过转换的无量纲序列和参考序列的关联系数 $\lambda_{0i}(i)$:

$$\lambda_{0i}(i) = \frac{1}{1 + \Delta_{0i}(i)} \quad (5)$$

式中, $\Delta_{0i}(i) = |U_0 - U(x_{mi})|$, ($m=1,2,\dots,M; i=1,2,\dots,I$),表示参考序列 U_0 与比较序列 U 的第 m 项指标的第 i 个绝对差值,依据各分项指标的关联系数,求灰色关联度:

$$\alpha_{0i} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \lambda_{0i}(i) \quad (6)$$

式中, α_{0i} 为灰色关联度, M 是选取的分项指标个数。对于本文的严寒过程, M 为4,即上述4种分项指标,严寒过程指数 z 即为上述4种分项指标的灰色关联度 α_{0i} 。

1.3 气候倾向率

对严寒进行气候变化分析时采用了气候倾向率的方法^[18],具体如下:

某要素的趋势变化通常用一元线性回归方程:

$$x_t = a + bt \quad t=1,2,\dots,n \text{ 为自然数列} \quad (7)$$

式中, t 表示时间, x_t 表示要素逐年值, a 是常数, b 定义为气候倾向率,计算公式如下:

$$b = r \cdot \sigma_x / \sigma_t \quad (8)$$

式中, r 是 x_t 和 t 序列的相关系数, σ_x 、 σ_t 分别是 x_t 和 t 序列的均方差。

1.4 严寒过程评估等级划分

考虑到实际业务的应用^[19-20],这里按严寒过程指数出现的频率将吉林省严寒过程等级划分为4个等级,即一般严寒过程(占50%),较强严寒过程(占20%),偏强严寒过程(占20%),特强严寒过程(占10%),在界限附近进行合理的微调。

1.5 极端严寒事件历史重现期评估方法

根据概率统计学,对一组严寒过程指数随机样本,找出其概率分布表达式,可计算出历史重现期,从而对严寒过程进行历史分析和定位。对于严寒、最大风速、雨雪冰冻等极端事件一般利用Gumbel极值分布方法^[21,22],方法如下:

严寒过程指数 z 的分布服从分布函数:

$$F(z) = P(z_{\max} < z) = e^{-e^{-\alpha(z-u)}} \quad (9)$$

公式(9)为Gumbel分布函数,则超过某个特定值(例如 T_a 一遇的重现期)的函数为:

① 吉气发[2010]81号-关于印发《吉林省气象灾害预警信号发布标准及防御指南》的通知。

$$P(z_{\max} \geq z) = 1 - e^{-e^{-(z-\mu)/\alpha}} \quad (10)$$

式中 α 和 μ 是参数,计算公式为:

$$\alpha = S_z / S_y \quad (11)$$

$$\mu = \bar{z} - (S_z / S_y) \bar{y} \quad (12)$$

其中 S_z 和 \bar{z} 为严寒过程指数样本序列 (Z_1, Z_2, \dots, Z_n) 的均方差和平均值, S_y 和 \bar{y} 为序列 $(y_m = -\ln(-\ln(1 - m/(n+1))), m=1, 2, \dots, n)$ 的均方差和平均值。对(10)式进行变换,可以得到对于给定的历史重现期 T 的严寒过程指数值为:

$$z_T = \mu - \frac{1}{\alpha} (-\ln(-\ln(1 - \frac{1}{T}))) \quad (13)$$

利用(13)式即可计算 T a一遇的极端严寒过程指数值。

2 结果与分析

2.1 吉林省严寒时空分布特征和气候变化特点

2.1.1 吉林省严寒时间分布

从吉林省严寒出现的时间来看,3~10月没有严寒出现,11月、12月、1月、2月均有严寒出现,呈单峰型变化,在隆冬的1月达到峰值。11月上、中旬很少出现;11月下旬虽有出现,但全省年平均严寒出现次数仅为0.03次/a,即30 a出现1次;12月上、中旬和2月下旬出现较少,分别为0.20次、0.53次和0.10次,基本是10 a出现1~5次;12月下旬和2月上、中旬分别为2.9次、5.3次和1.1次,即1 a出现1~5次;1月上旬、下旬相当,处于次峰值,分别为8.23次和9.13次,即1 a出现8~9次左右;1月中旬出现最多,达17.23次,即1 a出现17次左右,基本相当于1月上旬和下旬出现次数的总和,见图2。

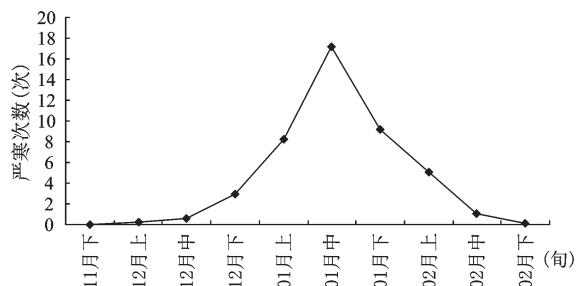


图2 11月上旬至次年2月下旬逐旬吉林省年平均严寒出现次数

Fig.2 The annual average numbers of the bitter cold from early November to late February in next year every ten days in Jilin Province

2.1.2 吉林省严寒的空间分布特点

从吉林省各站年平均严寒出现的次数来看,

吉林中南部地区为严寒多发区,严寒年平均出现次数在4次以上,最大出现在靖宇,达7.6次;中西部地区大部、延边地区大部、通化地区南部严寒出现次数较少,在1次以下,延吉、图们最少,出现次数为0,即该区域不出现严寒;其它地区严寒出现次数在1~3次之间。

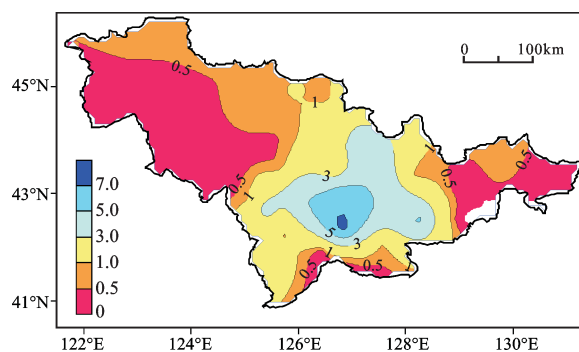


图3 吉林省各地年平均严寒出现次数(次)

Fig.3 The annual average numbers of the bitter cold in various sites of Jilin Province

2.1.3 吉林省严寒的气候变化特点

1) 吉林省严寒次数气候倾向率。计算了吉林省全省年平均严寒发生次数的气候倾向率和相关系数,气候倾向率为-0.33,即每10 a下降0.3次,相关系数为-0.34,通过了0.01的信度检验。为了了解吉林省各地严寒次数气候变化的地域差别,计算了各站严寒出现次数的气候倾向率和相关系数,相关系数除西部少部分地方外,其它地方都通过了0.05的信度检验,由严寒出现次数的气候倾向率可以看出(图4),吉林省中西部地区大部严寒次数呈上升的趋势,其中中部地区的农安上升趋势最大,每10 a严寒次数上升0.6次,白城地区北部,长春地区北部每10 a上升0.1~0.3次,中西部其它地区每10 a上升不足0.1次。东南部地区大部严寒次数呈下降的趋势,其中吉林大部、通化大部、白山大部严寒次数每10 a下降0.5次以上,靖宇严寒次数下降幅度最大,达每10 a下降2.5次,东南部其它地区严寒次数每10 a下降0~0.5次。

2) 吉林省严寒次数的年际及年代际变化特点。由1951~2013年吉林省逐年严寒次数变化曲线分析可知(图5),吉林省严寒的阶段变化比较明显。1951~1980年为偏多的时段;而1981年以来严寒处于偏少阶段,这和20世纪80年代以来全

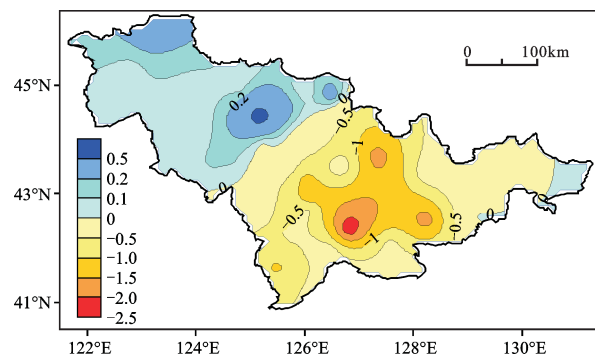


图4 吉林省各地年严寒出现次数气候倾向率(次/10a)

Fig.4 The climatic trend rate of annual numbers of the bitter cold in various sites (time/10a) in Jilin Province

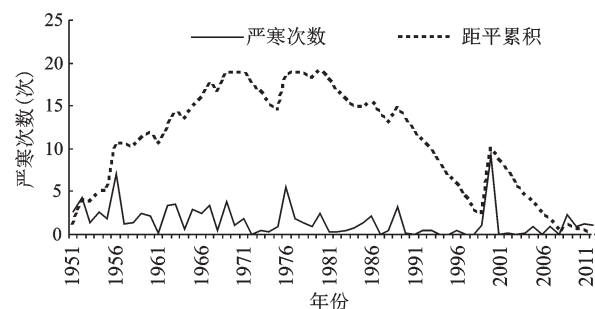


图5 逐年严寒次数、严寒次数距平累积曲线

Fig.5 The annual strong cold weather numbers, anomaly of the bitter cold numbers and accumulative anomaly of the bitter cold numbers

球变暖的趋势^[23]是一致的,但值得注意的是尽管目前是气候变暖阶段,且严寒处于偏少阶段,但仍有年份严寒次数异常多,例如2000年吉林省平均严寒次数达到9.2次,较常年同期多了7.7次,突破历史极值,因此,在全球变暖的背景下,极端突发严寒事件仍有异常多的可能性。严寒次数距平累积曲线所反映的严寒阶段性变化规律和严寒次数逐年变化曲线基本一致,在1980年前严寒次数累积距平波动性上升,表明严寒处于偏多阶段,1981年后严寒次数累积距平波动性下降,严寒处于偏少阶段。

2.1.4 吉林省严寒过程气候特点

1951~2010年,吉林省共出现严寒过程58次,平均每年出现1次左右。从月份上看,主要出现在1月,出现38次,占总次数的66%,12月和2月出现的次数相当,均出现10次,均占总次数的17%,11月没出现过严寒过程。从严寒过程持续时间看,一般在2~8 d,出现了53次,占91%,10 d以上只出现5次,占9%,持续时间最长出现在1963年、

2000年,都为15 d。

2.1.5 吉林省严寒过程评估等级指标

按照本文1.4节严寒过程等级划分方法,对严寒过程指数进行了划分,得到严寒等级指标: $z \leq 0.74$ 一般严寒过程; $0.74 < z \leq 0.76$ 较强严寒过程; $0.76 < z \leq 0.80$ 偏强严寒过程; $z > 0.80$ 特强严寒过程。

利用上述严寒过程评估等级划分指标,对吉林省1951~2010年的58个严寒过程的评估等级进行了划分,其中特强严寒过程6个,位居历史第1位的特强严寒过程是2001年1月10日~24日的严寒过程,严寒过程指数达0.985,持续时间为15 d,出现范围为43站(266站次),严寒过程平均最低气温为-36.9℃,严寒过程最低气温为-44.1℃;偏强严寒过程12个;较强严寒过程12个,一般严寒过程28个。

2.1.6 吉林省严寒过程异常气候重现期评估

按照本文利用Gumbel极值分布计算异常气候重现期方法计算了吉林省严寒过程的历史重现期指标,见表1

表1 严寒过程异常气候重现期评估指标

Table 1 The evaluating index of return period of abnormal climate of the bitter cold process

重现期	评估指标	重现期	评估指标	重现期	评估指标
5 a	0.7791	50 a	0.8997	500 a	1.0159
10 a	0.8168	100 a	0.9348	1000 a	1.0507
20 a	0.8529	200 a	0.9698	10000 a	1.1664
30 a	0.8737	300 a	0.9902		

按照严寒过程重现期评估指标,考察吉林省历史上58个严寒过程,达到5 a一遇的严寒过程有8次,达到10 a一遇以上的严寒过程有1次,达到20 a一遇的严寒过程有1次,没有出现30 a、50 a、100 a一遇的严寒过程,2001年1月10日~24日的严寒过程,严寒过程指数达0.985,达到200 a一遇。

2.1.7 2011~2013年冬季严寒过程评估

利用上述严寒过程等级评估指标以及异常气候重现期评估指标,对2011~2013年冬季出现的严寒过程进行了评估,见表2。

3 结论与讨论

3.1 主要结论

1) 吉林省严寒在冬季的11月~2月出现,时间分布呈单峰型变化,在1月中旬前后达到峰值;

表2 2011~2013年冬季严寒过程评估

Table 2 Assessment of the bitter cold process during 2011-2013

	2011年1月 14日~18日	2012年1月 20日~2月2日	2012年12月 23日~26日	2013年1月 2~4日	2013年1月 8~12日
持续时间(d)	5	12	4	3	5
出现站次	29	59	16	15	22
最低气温(℃)	-39.3	-36.9	-39.8	-37.1	-33.6
平均最低气温(℃)	-34.8	-33.5	-38.1	-35.6	-33.6
严寒过程指数	0.7311	0.7809	0.7424	0.7108	0.6998
等级评估	一般严寒过程	偏强严寒过程	较强严寒过程	一般严寒过程	一般严寒过程
序位评估	47位	11位	30位	58位	60位
异常重现期评估		5 a一遇			

2) 吉林省中南部地区为严寒多发区,严寒年平均出现次数在4次以上,其它地区出现较少,在3次以下。

3) 吉林省年平均严寒发生次数呈下降的趋势(-0.3次/10a),其中吉林省中西部地区大部严寒呈上升的趋势,东南部地区大部严寒呈下降的趋势。

4) 吉林省严寒的阶段变化明显,1951~1980年呈偏多的时段;而1981年以来处于偏少阶段。

5) 吉林省严寒过程主要出现在1月。利用严寒过程持续日数、严寒覆盖范围、严寒过程最低气温、严寒过程平均最低气温4项分项指标建立了严寒过程指数,确定了吉林省严寒过程等级评估指标和异常气候重现期评估指标。

3.2 讨论

1) 吉林省严寒及严寒过程主要出现在1月,这一季节也是隆冬季节,严寒天气对人们的身体健康以及煤、电、供暖、供气、供水、设施农业影响都较大,人们在这一季节应加强防寒保暖,同时应加强相关设施的维护以及防寒物资的储备。

2) 吉林省中南部地区为严寒多发区,应重点加以防御,严寒和降雪天气结合往往造成路面结冰,需要严防冰雪路面造成交通事故,尤其长白山区等高寒山区需要注意严寒等造成人员冻伤事件的发生。

3) 尽管目前是气候变暖阶段,且严寒处于偏少阶段,但仍有年份严寒次数异常多,例如2000年吉林省平均严寒次数突破历史极值。另外,虽然吉林省东南部地区大部严寒次数呈减少的趋势,但中西部地区大部严寒次数呈增加的趋势,因此,在全球变暖的背景下,极端突发严寒事件仍有异

常多的可能,人们在应对气候变化的时候,仍然要注意极端严寒事件的防御。

4) 经试用,利用气象资料采用数理统计等方法对严寒过程进行评估,方法实用可行,可操作性强,可以满足快速、及时评估等气象服务的需求,对于提高决策气象服务的及时性意义重大。

参考文献:

- [1] 潮 轮.欧亚大陆遭受极端严寒地球气候警钟再次敲响[J].生态经济,2012,(4):8~14.
- [2] 丁裕国,郑春雨,申红艳.极端气候变化的研究进展[J].沙漠与绿洲气象,2008,2(6):1~5.
- [3] 杜海波,吴正方,李 明.近50年东北地区生态地理界线的代际变化[J].地理科学,2011,31(9):1144~1150.
- [4] 赵昕奕,张惠远,万 军.青藏高原气候变化对气候带的影响[J].地理科学,2002,22(2):190~195.
- [5] Wang F T. Impact of climate change on cropping system and its implication for agriculture in China[J]. Acta Meteorological Sinica, 1997,11(4): 407-415.
- [6] 房一禾,周 放,张运福,等.东北冬季气温年际、年代际影响因子的比较[J].地理科学,2013, 33(7):844~850.
- [7] 王文跃,袭祝香,纪玲玲.吉林延边苹果梨冻害指标研究[J].吉林农业科学,2012, 37(1):57~60.
- [8] Wang L, Chen W. Downward Arctic Oscillation signal associated with moderate weak stratospheric polar vortex and the cold December 2009 [J].Geophys. Res. Lett., 2010,37(9): L09707.
- [9] 兰晓青,陈 文.2011~2012年冬季欧亚大陆低温严寒事件与平流层北极涛动异常下传的影响[J].大气科学,2013,37(4): 863~872.
- [10] 刘 斌,徐保华,胡剑文,等.2012年欧亚寒冷天气过程与北极涛动异常活动的联系[J].气象与减灾研究, 2012,35(2):17~22.
- [11] 凌正州.拜城盆地冬季严寒与积雪的相关关系[J].新疆气象, 1990,13(2):10~12.
- [12] 左梅英,宋福民.上海西部地区冬季严寒气候简析[J].上海农业

- 学报,1993,9(4):79~80.
- [13] 周鸣盛,张 廷.一次雪面降温引起的异常寒冷天气分析[J].气象学报,1997,55(2):219~229.
- [14] 邱海龙.一次阻塞形势下的严寒天气过程分析[J].黑龙江气象,1995,(4):19~23.
- [15] 陈亚宁,杨思全.自然灾害的灰色关联灾情评估模型及应用研究[J].地理科学进展,1999,18(2):158~162.
- [16] 刘伟东,扈海波,程丛兰,等.2007.灰色关联度方法在大风和暴雨灾害损失评估中的应用[J].气象科技,35(4):563~566.
- [17] 王秀荣,王维国,张建忠,等.全国气象服务规范技术手册[M].北京:气象出版社,2012.
- [18] 施 能.北半球冬季大气环流遥相关的长期变化及其与我国气候变化的关系[J].气象学报,1996,54(6):675~683.
- [19] 袭祝香.吉林省重大暴雨过程评估方法研究[J].气象科技,2008,36(1):78~81.
- [20] 袭祝香,孙 力,刘 实.东北地区重大暴雨过程评估方法研究[J].灾害学,2009,24(2):61~64.
- [21] 胡基福,姜宏川,周庆满,等.用Gumbel极值分布推算气候极值的方法[J].青岛海洋大学学报,1993,23(1):43~51.
- [22] 万素琴,周月华,李 兰,等.低温雨雪灾害冰冻极端气候事件的多指标综合评估技术[J].气象,2008,34(11):40~46.
- [23] 沙万英,邵雪梅,黄 玫.20世纪80年代以来中国的气候变暖及其对自然区域界线的影响[J].中国科学(D 辑),2002,(4):317~325.

Spatial-temporal Characteristics and Assessment of the Bitter Cold Event in Jilin Province

XI Zhu-xiang¹,JI Ling-ling¹,GAO Xiao-di¹,ZHANG Shuo²

(1. *Jilin Meteorological Observatory, Changchun, Jilin 130062, China*; 2. *Liaoning Meteorological Disaster Monitoring and Warning Center, Shenyang, Liaoning 110161, China*)

Abstract: The bitter cold, an extreme weather event, is the main climate disaster in the winter in Jinlin Province and has deeply influenced on the production and people's living. Analysis on spatial-temporal distribution and climate change pattern of the bitter cold, research on evaluation index of the bitter cold and effective pre-assessment before the event are of great significance on improving the emergency response and service capability. In this study, through using some index, such as grey correlation, climatic trend rate and Gumbel extreme value distribution, on the daily lowest temperature of 50 meteorological stations in Jilin Province from 1951 to 2013, the spatial-temporal distribution and climate change pattern of the bitter cold in Jinlin Province were analyzed. Then index on rating bitter cold process and on the return period of abnormal weather were proposed. Finally, the evaluation was conducted on the bitter cold process from 2011 to 2013. The results showed that in Jinlin Province, the bitter cold event mainly occurred in winter and reached a peak in about mid-January. This bitter cold event mostly happened in the central and southern regions and rarely occurred in other regions. The annual occurrence number of the bitter cold in the whole Jinlin Province showed the tendency of decline. However, the number of occurrences in central and western regions was increasing and the number in southeastern areas was decreasing. The occurrence number of the bitter cold in Jinlin Province had significantly periodic changes: the number was on the 'large' phase from 1951 to 1980 but it was on the 'small' phase from 1981 to 2012. The bitter cold process in Jinlin Province mainly occurred in January. Therefore, the defense against bitter cold should mainly been implemented in January and in the central and southern areas. Although it is in warming period now and the occurrence number of bitter cold is on the 'small' phase, bitter cold still abnormally occurred many times in some years. Therefore, attention should always be paid to the defense against the bitter cold. In this study, the methods that using index of orders, rating and the return period of abnormal weather to evaluate the process of the bitter cold are practical and feasible, which can meet the demands of meteorological services for timely and fast assessment.

Key words: Jilin Province; the extreme bitter cold event; spatial-temporal characteristics; assessment method