

赵佳莹, 陈莉, 班晋, 等. 黑龙江省冬季异常暖气候事件判定及其与环流指数的关系[J]. 灾害学, 2021, 36(2): 84–88, 103. [ZHAO Jiaying, CHEN Li, BAN Jin, et al. Determination of Winter Abnormal Warm Climate Events in Heilongjiang Province and its Relationship with Circulation Index [J]. Journal of Catastrophology, 2021, 36(2): 84–88, 103. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2021.02.015.]

# 黑龙江省冬季异常暖气候事件判定及其与环流指数的关系\*

赵佳莹<sup>1</sup>, 陈莉<sup>1</sup>, 班晋<sup>1</sup>, 刘艳华<sup>2</sup>, 刘泽恩<sup>3</sup>, 李亚滨<sup>1</sup>

(1. 黑龙江省气候中心, 黑龙江 哈尔滨 150030; 2. 黑龙江省公共气象服务中心, 黑龙江 哈尔滨 150030;  
3. 黑龙江省哈尔滨市气象局, 黑龙江 哈尔滨 150028)

**摘要:** 利用1961–2018年黑龙江省61个站冬季逐日平均气温资料, 以连续5 d日平均气温正距平超过1倍标准差为标准, 对黑龙江省冬季异常暖事件进行了判断, 并按照0.3个标准差将其分为一级、二级、三级异常暖气候事件。分析表明黑龙江省在58年间冬季共发生35次异常暖气候事件, 累计天数270 d。异常暖气候事件发生有较明显的周期性变化, 1961–1986年和2009–2018年为低发期、1987–2008年为高发期。71.4%的异常暖事件发生在1986年后, 说明异常暖事件的频繁发生对1980年代中后期该省冬季气温显著升高有直接贡献。1961–2018年该省冬季发生一级、二级、三级异常暖气候事件分别为9次、10次、16次。研究月尺度同期环流指数异常与黑龙江省异常暖气候事件的关系, 发现北半球极涡面积异常偏小、极涡强度异常偏强、东亚槽强度异常偏弱和北极涛动异常正位相与异常暖气候事件发生有较好的对应关系, 为今后黑龙江省冬季异常暖气候事件的预测提供了可靠参考。

**关键词:** 冬季; 异常暖; 气候事件; 环流指数; 黑龙江省

**中图分类号:** P423; X43; X915.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2021)02–0084–06  
doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2021.02.015

在全球变暖大背景下, 欧亚大陆极端气候现象和中国旱涝气候灾害频繁发生<sup>[1–3]</sup>。有研究表明, 全球、北半球和中国近100年的增温主要发生在冬季和春季<sup>[4]</sup>, 尤以冬季更为显著。冬季气温显著升高有利于大气层结稳定度的增加, 使得中国华北、江淮和华南地区冬季霾日增多和维持<sup>[5]</sup>; 同时暖冬使农作物病虫害越冬阶段推迟, 延长病菌冬前侵染、冬中繁殖时间, 降低害虫越冬死亡率, 增加冬后菌源和虫源基数<sup>[6]</sup>; 对于以冰雪景观著称的中高纬地区, 暖冬造成冰雪景观持续时间缩短、加大冰雪景观维持成本。

中国大部分地区冬季极端低温和极端高温事件发生频率不尽相同<sup>[7]</sup>, 对于极端低温气候事件, 已经有许多专家学者用不同的方法进行过研究<sup>[8–10]</sup>。ZHANG Zongjie等<sup>[11]</sup>用百分位法确定单站极端低温事件, 钱维宏等<sup>[12]</sup>以此为基础定义了区域极端低温事件, 龚志强等<sup>[13]</sup>研究得出了影响中国冬季极端低温的三个高度场关键区: 贝加尔湖、乌拉尔山和雅库茨克—鄂克斯克海附近。而目前对于极端高温事件研究较少。虽然冬季气温升高趋势显著, 但是这种趋势是由极端事件造成

的, 还是由逐渐升高的气候态造成的, 需要进一步研究; 并且冬季平均气温只能反映平均状况, 气温变化可能比较平稳, 也可能是季节内异常冷、暖事件交替发生, 那么只对冬季平均气温进行研究, 会有一定的局限性。

本文旨在揭示在气候变暖大背景下, 黑龙江省冬季异常暖事件的气候变化特征, 及其与典型北半球中高纬环流系统的关系, 为今后研究极端气候事件和揭示该省气候变化提供更多科学依据。

## 1 资料和方法

### 1.1 资料

黑龙江省61个气象站1961–2018年冬季逐日平均气温资料来自于黑龙江省气象数据中心。冬季为12月至翌年2月, 如1961年冬季为1961年12月至1962年2月。

北半球极涡面积、北半球极涡强度、东亚槽位置、东亚槽强度、北极涛动(AO)月指数来自国

\* 收稿日期: 2020–08–31 修回日期: 2020–11–12

基金项目: 黑龙江省自然科学基金联合引导项目(LH2020D015); 中国气象局气候变化专项(CCSF202019)

第一作者简介: 赵佳莹(1987–), 女, 汉族, 黑龙江哈尔滨人, 硕士, 工程师, 主要从事气候预测研究。

E-mail: zhaojiaying36@qq.com

通讯作者: 陈莉(1972–), 女, 汉族, 吉林扶余人, 博士, 正研级高级工程师, 从事气候与气候变化研究。

E-mail: climate\_chenli@163.com

家气候中心提供的 130 项环流指数数据集。西伯利亚高压指数参考朱红霞等<sup>[18]</sup>定义, 选取  $40^{\circ} \sim 60^{\circ} \text{N}$ ,  $80^{\circ} \sim 120^{\circ} \text{E}$  的范围内格点的海平面气压平均值, 利用 NCEP/NCAR 逐月再分析资料(空间分辨率  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ ) 计算得出。

### 1.2 黑龙江省平均逐日气温序列的建立

通过对黑龙江省 61 个气象站 1961–2018 年冬季平均气温 EOF 分解, 得到 EOF1 的分布特征为全区一致, 方差为 86.25%, 可以采用逐日气温 61 个气象站平均值代表黑龙江省平均逐日气温序列(以下简称  $t$  序列), 以此为基础进行黑龙江省冬季异常暖气候事件的诊断分析。

### 1.3 冬季异常暖气候事件的定义

本文借鉴文献<sup>[19]</sup>的方法, 定义黑龙江省冬季异常暖气候事件: 对  $t$  序列求得距平序列(平均时段为 1961–2018 年), 连续 5 d 的日平均气温正距平超过 1 倍标准差, 定义为一个异常暖气候事件。

### 1.4 冬季异常暖气候事件等级划分

异常暖气候事件等级包括 3 个要素, 分别是暖事件持续天数、极温暖温度距平和气温累积距平, 分别以  $\tau$ 、 $t_m$  和  $t_a$  表示, 单位分别是 d、 $^{\circ}\text{C}$  和  $^{\circ}\text{C}$ 。

对 35 次异常暖气候事件的  $\tau$ 、 $t_m$  和  $t_a$  进行标

准化处理后, 得到  $S_{\tau}$ ,  $S_{t_m}$ ,  $S_{t_a}$ 。定义异常暖气候事件的强度为  $S$ , 令

$$s = s_{\tau} + s_{t_m} + s_{t_a} \quad (1)$$

由公式(1)可以看出,  $S$  值越大, 暖气候事件强度越强。

参考文献[20], 对于异常暖气候事件划分为 3 个等级:

一级  $s \geq +0.3\sigma$ 。

二级  $-0.3\sigma < s \leq +0.3\sigma$ 。

三级  $s \leq -0.3\sigma$ 。

其中  $\sigma$  代表标准差。

### 1.5 研究方法

使用多种气候统计方法, 主要用到的统计特征量有标准差、变差、回归系数、相关系数和趋势系数等。

## 2 结果分析

### 2.1 异常暖气候事件的确定

经过普查, 1961–2018 年黑龙江省冬季异常暖气候事件为 35 次(表 1)。

表 1 1961–2018 年黑龙江省冬季异常暖气候事件表

序号	年份	事件发生时段 (月. 日–月. 日)	$\tau/\text{d}$	$t_m/^{\circ}\text{C}$	$t_a/^{\circ}\text{C}$	等级
1	1967	2. 18–2. 22	5	10. 49	34. 86	二级
2	1973	12. 31–1. 05	6	12. 11	43. 26	二级
3	1975	12. 28–1. 05	9	10. 40	67. 48	一级
4	1979	12. 02–12. 08	7	8. 39	48. 25	三级
5	1979	12. 16–12. 20	5	12. 79	39. 88	二级
6	1981	12. 18–12. 22	5	10. 06	35. 79	三级
7	1982	2. 16–2. 20	5	7. 85	28. 65	三级
8	1982	12. 20–12. 24	5	10. 89	38. 28	二级
9	1983	1. 23–1. 31	9	13. 13	69. 31	一级
10	1986	12. 07–12. 14	8	9. 08	57. 99	二级
11	1987	12. 23–12. 28	6	11. 60	46. 10	二级
12	1989	1. 05–1. 09	5	10. 62	28. 44	三级
13	1989	2. 03–2. 08	6	6. 50	31. 54	三级
14	1990	2. 15–2. 22	8	10. 46	62. 57	一级
15	1990	12. 04–12. 09	6	13. 52	56. 63	一级
16	1990	12. 17–12. 22	6	7. 73	40. 52	三级
17	1993	1. 31–2. 05	6	9. 08	39. 02	三级
18	1995	12. 01–12. 05	5	6. 52	28. 81	三级
19	1996	1. 10–1. 14	5	9. 07	35. 14	三级
20	1997	12. 14–12. 29	16	11. 44	89. 58	一级
21	1998	1. 29–2. 02	5	6. 75	30. 33	三级
22	1998	2. 22–2. 28	7	10. 19	60. 50	二级
23	1998	12. 12–12. 16	5	11. 35	44. 81	二级
24	1999	1. 11–1. 19	9	7. 15	52. 73	三级
25	2002	1. 19–1. 23	5	8. 68	33. 98	三级
26	2002	2. 01–2. 07	7	7. 31	43. 12	三级
27	2002	2. 20–2. 28	9	11. 27	84. 90	一级
28	2003	12. 21–1. 02	13	8. 84	83. 78	一级
29	2005	1. 11–1. 16	6	6. 45	32. 19	三级
30	2006	12. 20–12. 26	7	8. 98	45. 63	二级
31	2006	12. 31–1. 6	7	7. 77	46. 98	三级
32	2007	1. 13–2. 14	33	10. 89	218. 21	一级
33	2007	12. 26–12. 31	6	7. 26	35. 49	三级
34	2015	2. 14–2. 23	10	10. 59	72. 10	一级
35	2018	12. 15–12. 22	8	9. 52	49. 53	二级

### 2.2 冬季异常暖气候事件频次年际变化特征

黑龙江省 1961–2018 年冬季共发生 35 次异常暖气候事件，累计天数 270 d，平均每年发生 0.60 次，每次 7.71 d。从图中可以看到，1986 年前，异常暖气候事件发生次数较少，共发生 10 次，事件发生的累计天数为 64 d，平均每年发生 0.38 次，每次 6.4 d；1987 年到 2008 年的 22 年间，发生 23 次，发生事件累计天数为 188 d，平均每年发生 1.05 次，每次 8.17 d；2009 年后，异常暖事件发生频率降低，10 年内发生 2 次，累计天数 18 d，平均每年发生 0.2 次，每次 9 d。

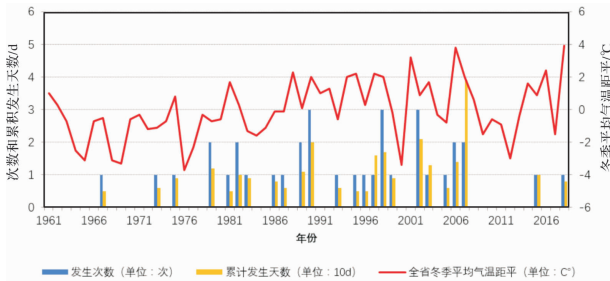


图1 黑龙江省冬季异常暖气候事件逐年发生次数、天数和冬季平均气温变化图

从各年代变化情况看(表 2)，异常暖气候事件在 1980 年代发生次数最多，其次是 2000 年代，1990 年代位居第 3。需要注意的是，1960 年代至 2000 年代冬季平均气温距平与发生的异常暖气候事件次数对应得较好，但 2010 年代冬季平均气温距平为 +0.4℃，发生异常暖气候事件的次数却与冬季气温较低的 1960 年代和 1970 年代相仿。这种现象可能说明，进入 2010 年代，由于极地升温，极涡强度偏弱，导致冷空气南下时常侵扰该省，使得暖空气在黑龙江省稳定性差。

表2 各年代异常暖气候事件年均发生次数和次均发生天数

年代	年均发生次数/ (次/年)	次均发生天数 /(d/次)	冬季气温 距平/℃
1960	0.1	5	-1.3
1970	0.4	6.8	-1.0
1980	1.1	6.3	0.2
1990	0.8	7.3	0.7
2000	0.9	10.3	1.0
2010	0.25	9	0.4

### 2.3 冬季各月异常暖气候事件的年际变化特征

1961–2018 年期间，黑龙江省冬季各月(12 月、1 月、2 月)异常暖气候事件发生次数分别为 15、11、10 次(2007 年冬季异常暖事件从 1 月 13 日持续至 2 月 14 日，在进行逐月分析时，1 月和 2 月各算 1 次，因此以月尺度分析异常暖气候事件发生次数为 36 次)，累计发生天数分别为 108 d、85 d 和 77 d，次均发生天数分别为 7.2 d/次、7.7 d/次和 7.7 d/次。

如图 2 所示，2 月异常暖气候事件发生次数的多年变化特征与冬季相似；而 12 月在 1978 年以前没有发生过异常暖气候事件；1 月在 1960 年代和 2008 年以后没有发生过异常暖气候事件。

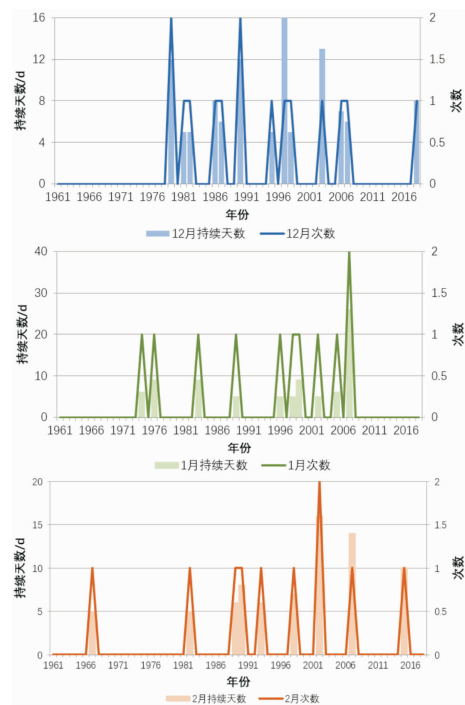


图2 黑龙江省 1961–2018 年冬季各月异常暖气候事件发生次数和天数变化图

通过对黑龙江省冬季、12 月、1 月、2 月气温的回归系数和变差系数分析得出，2 月变暖速率为 0.64℃/10 年，高于 12 月、1 月的 0.28℃/10 年和 0.41℃/10 年；2 月平均气温的变差系数为 -0.16，高于 12 月、1 月的 -0.12 和 -0.11。可以看出 2 月异常暖气候事件集中发生在 1989 年以后，使得 2 月变暖更为显著，造成了尽管 2 月异常暖气候事件发生次数不是最多，但是其年际变化要大于 12 月和 1 月。

### 2.4 各等级异常暖气候事件时间分布特征

如表 1 所示，1961–2018 年黑龙江省冬季发生一级、二级和三级异常暖气候事件分别为 9 次、10 次和 16 次，1986 年后分别发生 7 次、5 次和 13 次。从各级异常暖气候事件逐月分布来看，一级事件在冬季各月分布较均匀、二级事件有 70% 发生在 12 月、三级事件在 1 月发生的次数稍多。最近 10 年虽然气温总体呈现升高趋势，但只发生过 1 次一级异常暖事件和 1 次二级异常暖事件。

### 2.5 异常暖气候事件与环流指数异常的对应研究

为揭示黑龙江省异常暖气候事件发生的气候机制，分析了异常暖气候事件与同期环流指数异常的对应关系。有研究<sup>[21–24]</sup>表明，黑龙江省冬季气温与北半球极涡、东亚槽、北极涛动和西伯利亚高压相关较密切，对这几个环流指数与该省冬季逐月气温做相关分析，结果如表 3。冬季气温与同期东亚槽强度、北半球极涡面积相关最好，其次是北极涛动，相关系数均通过了 0.01 显著性检验，与北半球极涡强度、东亚槽位置、西伯利亚高压的相关系数在冬季的部分月份也通过了 0.05，甚至 0.01 的显著性检验。

表 4 列出了这几个指数在发生异常暖气候事件时的状态。表中“+”代表指数有利于黑龙江省异常暖气候事件的发生，且距平超过 0.5 个标准

差;“+”代表指数有利于黑龙江省异常暖气候事件发生,且距平在 0.5 个标准差之内;“- -”代表指数不利于黑龙江省异常暖气候事件发生,且

距平超过 0.5 个标准差;“-”代表指数不利于黑龙江省异常暖气候事件发生,且距平在 0.5 个标准差之内。

表 3 黑龙江省 1961-2018 年冬季及逐月平均气温与典型环流指数的相关系数

月份/季	北半球极 涡面积	北半球极 涡强度	东亚槽 位置	东亚槽 强度	北极涛动	西伯利亚 高压
12	-0.147	0.290	0.122	0.508	0.257	-0.360
1	-0.458	0.221	0.256	0.327	0.328	-0.215
2	-0.329	0.198	0.257	0.334	0.348	-0.424
冬季	-0.463	0.159	0.161	0.483	0.382	-0.193

表 4 1961-2018 年黑龙江省冬季各月异常暖气候事件与主要环流指数异常的关系

月份	年份	北半球极涡 面积	北半球极涡 强度	东亚槽 位置	东亚槽 强度	北极涛动	西伯利亚 高压
12 月 (15 次)	1979(2 次)	-	++	-	++	++	++
	1981	--	+	-	+	--	-
	1982	++	++	--	--	++	++
	1986	-	++	++	-	-	++
	1987	-	++	--	--	-	++
	1990(2 次)	++	+	-	++	++	++
	1995	--	-	++	+	--	-
	1997	--	++	-	++	-	++
	1998	+	++	+	-	++	++
	2003	++	-	++	--	--	-
	2006	++	++	++	++	++	++
	2007	+	-	+	+	++	++
	2018	-	--	+	+	+	--
	正异常态/(正异常态+正常态)	5/7	8/11	4/7	6/10	8/9	11/11
1 月 (11 次)	1974	--	-	+	++	++	++
	1976	+	++	++	--	+	--
	1983	++	++	++	-	+	--
	1989	++	++	++	++	++	-
	1996	++	-	-	--	-	++
	1998	--	--	--	--	--	+
	1999	++	+	-	-	++	--
	2002	++	++	-	++	++	++
	2005	++	--	-	+	+	-
	2007(2 次)	++	+	++	++	++	--
	正异常态/(正异常态+正常态)	8/9	4/7	5/6	5/6	6/9	3/4
2 月 (10 次)	1967	-	++	-	--	++	--
	1982	-	-	+	+	++	-
	1989	++	++	++	-	++	+
	1990	-	++	--	++	++	-
	1993	++	-	++	-	-	++
	1998	++	++	++	-	--	-
	2002(2 次)	++	++	--	++	++	++
	2007	--	-	-	+	-	--
	2015	++	--	--	++	+	--
	正异常态/(正异常态+正常态)	6/6	6/6	3/4	4/6	6/7	3/4
12-2 月正异常态/(正异常态+正常态)		19/22	18/24	12/17	15/22	20/25	17/19

从表4中可以看到,以月尺度分析的36次异常暖气候事件中,22次北半球极涡面积偏小,其中异常偏小比例为86.4%;24次极涡强度偏强,其中异常偏强比例为75.0%;17次东亚槽位置偏东,其中异常偏东比例70.6%;22次东亚槽偏弱,其中异常偏弱比例为68.2%;25次AO为正位相,其中异常正位相比比例为80%;19次西伯利亚高压偏弱,其中异常偏弱比例为89.5%。

逐月来看,1月、2月的异常暖事件发生时,北半球极涡面积偏小的概率明显高于12月;且在1月和2月发生的21次异常暖事件中,除6次极涡面积偏大外,15次极涡面积均异常偏小。12月和1月北半球极涡强度偏强的比例稍高于2月;且2月发生的6次异常暖事件中,均为异常偏强。1月东亚槽偏东的比例高于12月和2月,但三个月东亚槽偏东概率均在50%左右;12月东亚槽偏弱的概率高于1月和2月,但1月东亚槽偏弱有利于异常暖气候事件发生的年份中,8成年份异常偏弱;1月和2月北极涛动正位相的概率远高于12月,且2月北极涛动正位相年份中,异常正位相的比例高达86%。12月西伯利亚高压偏弱有利于异常暖气候事件发生的年份中,100%年份异常偏弱。

对比表3可以看出,月平均气温与气候指数的相关密切程度,与异常暖气候事件发生时的环流指数关系不尽相同。比如,2月北半球极涡强度与同期黑龙江省气温的相关系数仅为0.198,但在2月发生异常暖气候事件时,极涡强度偏强概率为60%;12月东亚槽强度与同期气温相关系数达0.508,远高于2月二者的相关系数,但12月和2月异常暖气候事件发生时东亚槽偏弱的比例均在6成左右;2月平均气温与西伯利亚高压相关最好,但12月异常暖事件发生时,西伯利亚高压偏弱的比例为73.3%,要远高于2月的40%。

### 3 结论和讨论

以连续5d的日平均气温正距平超过1倍标准差为标准,对黑龙江省冬季异常暖气候事件进行判断。经普查,黑龙江省1961—2018年冬季共发生35次异常暖气候事件,累计天数270d。异常暖气候事件发生有明显的周期性变化,1961—1986年、1987—2008年和2009—2018年异常暖气候事件发生次数占比分别为28.6%、65.7%和5.7%。从年代际来看,异常暖气候事件在1980年代发生次数最多,其次是2000年代,1990年代位居第3。研究发现冬季平均气温距平的正负号及距平值和各年代异常暖事件发生次数对应较一致,但2010年代冬季平均气温距平为+0.4℃,异常暖气候事件的发生次数与冬季气温偏低的1960年代和1970年代相仿。文中对于异常暖事件划分为3个等级,一级最为严重。1961—2018年黑龙江省冬季发生一级、二级、三级异常暖气候事件分别为9次、10次、16次,1986年后分别发生7次、5次、13次。

为揭示黑龙江省异常暖气候事件发生的天气气候机制,分析了异常暖气候事件与月尺度同期环流指数异常的对应关系。北半球极涡面积异常偏小、极涡强度异常偏强、东亚槽强度异常偏弱

和北极涛动异常正位相与异常暖气候事件发生有较好的对应关系,如果算上符号一致的正常态,对应概率百分比超过了60%。尤其是12月的北半球极涡强度和西伯利亚高压,1月北半球极涡面积和北极涛动,2月的北极涛动,对应概率均在70%以上。

我们也发现月平均气温与典型环流指数的相关程度,与异常暖气候事件发生时的气候指数关系不尽相同。例如某月份环流指数与气温的相关系数偏小,但该环流指数却有利于异常暖气候事件的发生。由此可知,月或季平均气候态是极端气候事件形成的背景,但不能简单的用月或季平均气候态的环流成因来替代极端气候事件的环流成因。以本研究为例,研究极端气候事件时,需要构造能够反映异常暖气候事件强弱的月指数,进而采用月环流指数和外强迫因子对其进行分析,得到的结论才更为合理。

### 参考文献:

- [1] 沈永平,王国亚. IPCC第一工作组第五次评估报告对全球气候变化认知的最新科学要点[J]. 冰川冻土, 2013(5): 10-18.
- [2] 谢韶青,卢楚翰. 近16年来冬季欧亚大陆中纬度地区低温事件频发及其成因[J]. 大气科学学报, 2018, 41(3): 423-432.
- [3] 黄荣辉,杜振彩. 全球变暖背景下中国旱涝气候灾害的演变特征及趋势[J]. 自然杂志, 2010, 32(4): 187-195, 184.
- [4] 丁一汇,任国玉,石广玉,等. 气候变化国家评估报告(I): 中国气候变化的历史和未来趋势[J]. 气候变化研究进展, 2006(1): 3-8, 50.
- [5] 吴萍,丁一汇,柳艳菊,等. 中国中东部冬季霾日的形成与东亚冬季风和大气湿度的关系[J]. 气象学报, 2016, 74(3): 352-366.
- [6] 霍治国,李茂松,王丽,等. 气候变暖对中国农作物病虫害的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(10): 1935-1945.
- [7] 任晨辰,段明铿,智协飞. 不同气候背景下我国冬夏两季极端气温特征分析[J]. 大气科学学报, 2017, 40(6): 803-813.
- [8] JONES P D, HORTON E B, FOLLAND C K, et al. The Use of Indices to Identify Changes in Climatic Extremes[J]. Climatic Change, 1999, 42(1): 131-149.
- [9] 赵锐锋,苏丽,祝稳. 1961—2012年西北干旱区极端温度事件季节性时空分析[J]. 中国农学通报, 2017(12): 63-73.
- [10] 迟潇潇,尹占娥,王轩,等. 我国极端降水阈值确定方法的对比研究[J]. 灾害学, 2015, 30(3): 186-190.
- [11] ZHANG Zongjie, QIAN Weihong. Identifying regional prolonged low temperature events in China[J]. Adv. Atmos. Sci., 2011, 28(2): 338-351.
- [12] 钱维宏. 气候变化与中国极端气候事件图集[M]. 北京: 气象出版社, 2011: 172-199.
- [13] 龚志强,王晓娟,任福民,等. 亚欧中纬度关键区正位势高度距平场的配置与中国冬季区域性极端低温事件的联系[J]. 大气科学, 2013, 37(6): 1274-1286.
- [14] 蓝柳茹. 西伯利亚高压的年际和年代际异常特征及其对中国冬季气温的影响[J]. 高原气象, 2016, 3(3): 662-674.
- [15] 韩方红,陈海山,马鹤翟. 冬季北大西洋涛动与中国北方极端低温相关性的年代际变化[J]. 大气科学, 2018, 42(2): 239-250.
- [16] 刘炜,宋文玲. 中国北方冬季气温的年际变化对北太平洋东部海温异常的响应[J]. 气候与环境研究, 2018, 23(3): 275-286.
- [17] 杨萍,刘伟东,侯威. 北京地区极端温度事件的变化趋势和年代际演变特征[J]. 灾害学, 2011, 26(1): 60-64.

(下转第103页)

are studied. The results show that; from 2015 to 2019, the ozone concentration of Changsha Zhuzhou Xiangtan Urban Agglomeration shows an upward trend, with the average annual concentration increase and ozone exceeding rate increasing from high to low in order of Changsha > Xiangtan > Zhuzhou >. The changing characteristics show the structure of Twin Peaks, with the sub-peaks and peaks occurring in May and September, and the ozone high-value zone rising month by month between May and September; the highest ozone concentration is in summer. Average temperature and relative humidity have the highest correlation with ozone change, while precipitation and surface wind speed are weakly correlated.

**Key words:** Chang ZhuTan urban agglomeration; ozone pollution; meteorological factors; correlation analysis

(上接第 88 页)

- [18] 朱红霞, 陈文, 冯涛, 等. 冬季西伯利亚高压的主要年际变化模态及其对东亚气温的影响[J]. 高原气象, 2019, 38(4): 685–692.
- [19] 武炳义. 2012 年 1 月、2016 年 1 月东亚两次极端严寒事件及其与北极增暖的可能联系[J]. 大气科学导报, 2019, 42(1): 14–27.
- [20] 王晓娟, 沈柏竹, 龚志强, 等. 中国冬季区域性极端低温事件分类及其与气候指数极端性的联系[J]. 物理学报, 2013, 62(22): 1–11.
- [21] 宋丽华, 李永生, 张健. 2009 年冬季至 2010 年春季黑龙江省气温持续偏低成因[J]. 气象与环境学报, 2011, 29(2): 14–18.
- [22] 李永生, 巩远发, 王莹. 黑龙江冬季极端低温气候特征与环流异常[J]. 成都信息工程学院学报, 2014, 29(S1): 123–128.
- [23] 班晋, 李永生, 赵佳莹, 等. 2017–2018 年冬季黑龙江省气温异常成因分析[J]. 黑龙江气象, 2019, 36(1): 14–18.
- [24] 侯亚红, 杨修群, 李刚. 冬季西伯利亚高压变化特征及其与中国气温的关系[J]. 气象科技, 2007, 35(5): 646–649.

## Determination of Winter Abnormal Warm Climate Events in Heilongjiang Province and its Relationship with Circulation Index

ZHAO Jiaying<sup>1</sup>, CHEN Li<sup>1</sup>, BAN Jin<sup>1</sup>, LIU Yanhua<sup>2</sup>, LIU Ze'en<sup>3</sup> and LI Yabin

(1. Heilongjiang Climate Center, Harbin 150030, China; 2. Heilongjiang Meteorological Service Center, Harbin 150030, China; 3. Heilongjiang Harbin Meteorological Bureau, Harbin 150028, China)

**Abstract:** Based on the winter daily average temperature data of 61 stations in Heilongjiang Province from 1961 to 2018, the winter abnormal warm climate events in Heilongjiang Province are judged by taking the positive anomaly of daily average temperature over 1 standard deviation for 5 consecutive days as the standard, and are divided into first, second and third abnormal warm climate events according to 0.3 standard deviation. The analysis shows that there are 35 abnormal warm climate events in winter in Heilongjiang Province in 58 years, with a total of 270 days. The occurrence of abnormal warm climate events has obvious periodic changes, with low occurrence period in 1961–1986 and 2009–2018 and high occurrence period in 1987–2008. 71.4% of the abnormal warm climate events occurred after 1986, indicating that the frequent occurrence of abnormal warm climate events contributed directly to the significant increase of winter temperature in the province in the middle and late 1980s. From 1961 to 2018, level I, II and III abnormal warm climate events occurred in the province in winter for 9, 10 and 16 times respectively. By studying the relationship between the monthly scale anomaly of the circulation index and the abnormal warm climate events in Heilongjiang Province, it is found that the abnormal area of polar vortex in the northern hemisphere is smaller, the intensity of polar vortex is stronger, the intensity of East Asian trough is weaker, and the positive phase of Arctic Oscillation anomaly is in good correspondence with the occurrence of abnormal warm climate events. It provides reliable predictions for future abnormal warm climate events in winter in Heilongjiang Province.

**Key words:** Heilongjiang Province; winter; abnormal warm; climate events