

东北夏季极端低温天气事件的定义 及其冷空气路径分析

李尚锋^{1,2}, 孙钦宏³, 姚耀显⁴, 廉 毅^{1,2}

(1. 中高纬度环流系统与东亚季风研究开放实验室, 吉林 长春 130062; 2. 吉林省气象科学研究所, 吉林 长春 130062;
3. 吉林省气象台, 吉林 长春 130062; 4. 吉林省气象局科技与预报处, 吉林 长春 130062)

摘要: 采用东北三省150个测站1961~2010年的逐日温度资料和同期美国环境预报中心(NCEP)以及国家大气研究中心(NCAR) 2.5°×2.5°分辨率的全球再分析资料, 定义了东北夏季极端低温天气事件(extreme low-temperature event 以下简称ELTE事件), 统计给出了ELTE事件的发生、峰值和持续时间的日历表。根据该日历分析, 发现了影响东北地区夏季ELTE事件的最主要的2条冷空气路径(西北路径和东北路径), 1961~2010年期间, 影响东北地区的ELTE事件最主要是受西北路径的冷空气的影响, 其次是东北路径。同时也发现, ELTE事件20世纪80年代发生频率最高, 90年代后开始减少, 但是东北路径的ELTE事件在90年代以后开始明显的增加。还发现, ELTE事件发生的前4 d, 贝加尔湖地区若是被低压槽覆盖, 易发生西北路径的ELTE事件, 若该区域被一个东北-西南走向的高压斜脊控制, 同时鄂霍次克海区域存在一个低压中心, 形成西北“+”东南“-”的跷跷板形态, 易发生东北路径的ELTE事件。

关 键 词: 极端低温事件; 偶极子; 斜脊; 东北地区

中图分类号: P434+.1; P466

文献标识码: A

文章编号: 1000-0690(2014)02-0249-08

东北地区是中国商品粮的主产区之一, 东北粮食生产在全国粮食供需平衡中具有重要地位^[1,2]。但是, 由于东北地区地处较高纬度, 夏季热量条件有较大的年际波动, 致使该地区粮豆产量年际变化较大, 变化幅度可从百分之几到20%~30%, 产量的年际差异从几十亿斤到几百亿斤, 例如, 1972年夏季东北气温明显偏低, 致使该年水稻减产57.1%, 大豆减产43%; 1976年是另一个明显的低温冷害年份, 该年水稻减产43%, 大豆减产26.4%^[3]。20世纪50~70年代, 中国东北地区夏季低温冷害频发, 由东北三省气象部门与中央业务、科研院所等单位组成的东北低温协作研究组, 对东北夏季低温的成因以及长期预报方法, 进行了系统的研究, 发现东北地区持续低温时, 自亚洲大陆到太平洋东部, 除亚洲南部、青藏高原和西伯利亚中部外, 几乎都是负距平, 同时还发现东北夏季低温具

有群发性的特点, 另外还发现500 hPa盛行经向环流, 高纬度有阻高, 副高消弱, 东北有低槽和冷涡^[4-7]。东北夏季低温冷害出现的频率自20世纪80年代以来明显减少^[8]。尤其是90年代以后, 全球进入了百年以来最暖的时期^[9], 受全球变暖的影响^[10], 中国东北地区也成为显著变暖的地区之一^[11], 但是并不是意味着东北低温事件已经完全消失, 2009年夏季, 东北地区中部和北部出现一次较为严重低温事件, 再次引起了人们的关注^[12]。

东北亚地区夏季大气环流盛行阻高和东北冷涡活动(偶极子)^[13,14], 本文拟对在这种环流背景下, 分别给出辽宁、吉林和黑龙江(以下简称东北三省)ELTE事件的定义, 揭示影响东北夏季极端低温的冷空气路径, 探讨不同路径ELTE事件的年代际变化, 试图通过对其前期信号场的提取, 找到有一定预报意义的关键区和关键系统。

收稿日期: 2013-01-05; **修订日期:** 2013-04-20

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(41175083、41275096、41175084)和公益性行业(气象)科研专项(GYHY: 201006006, 201106016, 201106015)资助。

作者简介: 李尚锋(1981-), 男, 湖北襄樊人, 工程师, 主要从事天气与气候研究。E-mail: ice-lsf@163.com

1 资料和方法

本文采用东北三省(黑、吉、辽三省,不包括内蒙古东四盟)150个测站1961~2010年的逐日温度资料和1961~2010年美国环境预报中心(NCEP)和国家大气研究中心(NCAR) $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 分辨率的全球再分析资料。

将同时满足下述3个条件的,定义为东北三省夏季一次极端低温天气事件:①任一测站日平均气温 $\bar{T}_d \leq \beta$ 为一个极端低温天气日,并持续 ≥ 5 d,其中 β 为夏季东北地区该测站的日平均气温变化的第10个百分位的值;②东北三省某一区域(测站比较集中),达到条件①的测站数 ≥ 20 个,并且定义第一天达到上述标准的日期为极端低温天气事件的开始日期;③极端低温天气事件峰值(低温影响范围最大的那一天)时,东北三省达到上述标准的测站数超过总站数的60%(包括60%)。

统计发现(表1),夏季影响东北地区的冷空气绝大多数都来自2种路径,一种是在西风带环流的作用下,冷空气从高纬度的极地地区向下游的东北地区传播(即:西北路径冷空气),另外一种是从上游的冷空气被贝加尔湖地区强大的阻塞高压所阻挡,使得上游的冷空气无法在东北地区所在的纬度上向下游传播。同时,下游地区由极地向南爆发的冷空气在鄂霍次克海地区堆积,当贝加尔湖地区的高压脊发展成东北-西南向的斜脊时,鄂霍次克海地区堆积的冷空气在脊前的东北气流的作用下,从东北路径影响东北地区(即:东北路径冷空气)。选取($55^{\circ}\text{N} \sim 85^{\circ}\text{N}$, $100^{\circ}\text{E} \sim 120^{\circ}\text{E}$)为关键区,该地区位于影响东北地区夏季天气的大气环流的上游地区,同时该地区是高压系统还是低压系统控制,对于高纬度的极地冷空气能否由西北路径影响到东北地区有着决定性的作用。为了便于描述夏季影响东北地区的冷空气的路径,定义了一个指数 Z : 该区域内格点的500 hPa距平的平均值。当 $Z < 0.0$ 时,表示冷空气是从西北路径影响东北地区,当 $Z > 0.0$ 时,表示冷空气从东北方向影响东北地区。此外,再确定冷空气路径时除了依据指数 Z ,同时也结合大气环流场进行综合判断。

2 ELTE事件的冷空气路径和分布日历

根据上述标准,统计得到影响东北地区的ELTE事件共41次,将ELTE事件按照发生时间的

前后进行排序,即第1次事件到第41次事件(见表1)。通过对该41次ELTE事件整个发生过程(即事件发生的前5 d到整个事件结束)的逐日环流场(500 hPa环流场、500 hPa距平场以及850 hPa的风场距平)进行分析,发现影响东北地区的ELTE事件的冷空气路径主要有2条(见图1),第一条路径的冷空气一般由极地分裂出来,在西风急流的作用下由高纬度地区经过贝加尔湖区域,经过内蒙古然后影响东北,即西北路径冷空气(图1a),第二条路径冷空气主要在下流的白令海峡、库页岛即日本海一带堆积,在贝加尔湖地区生产的东北-西南走向的大型斜脊的作用下(该类斜脊的北部脊点可达中西伯利亚高原一带),冷空气由鄂霍次克海地区经外兴安岭地区然后影响东北地区的冷空气,即东北路径冷空气(图1b)。

结合500 hPa的环流场和850 hPa的风场以及地表温度距平场,发现图2中除了西北路径的2次事件即第17次事件(1981-08-03)和第39次事件(2004-08-11)外,其余的39次ELTE事件, Z 指数均能很好的反应冷空气的路径。同时,从图2中也可以看出,ELTE事件的冷空气路径年代际特点很明显,90年代前冷空气多来自于西北方路径,90年代后东北路径的冷空气开始活跃。

由图3可以看出,夏季影响东北的冷空气路径中,来自西北方路径的最多,多达28次,其次是东北路径,次数达13次。ELTE事件在20世纪80年代发生的最多,其后发生频率逐渐减少,这一特点与由西北方路径冷空气产生的ELTE事件的年代际变化特点相似,而由东北路径冷空气产生的ELTE事件的年代际变化特点相反。这一现象说明,影响ELTE事件的冷空气路径逐渐由80年代前的西北路径冷空气占主导,转变成由东北路径的冷空气为主,尤其是全球变暖的20世纪90年代以后,东北路径的冷空气产生的ELTE事件开始首次超过西北路径。

3 不同冷空气路径的ELTE事件前期和同期的环流演变特征

由图4可以看出,在西北路径ELTE事件发生的前4 d(-4 d),冷空气主要由极地分裂出来,在西北气流的作用下西移南压,贝加尔湖地区被一个负距平区域覆盖,即东亚地区的冷空气主体在-4 d的时候聚集在贝加尔湖地区(-2°C 的覆盖区域),

表1 东北三省夏季(6~8月)ELTE事件分布表

Table 1 Calendar of ELTE events' occurrence, peak value time and time-duration in Heilongjiang, Jilin and Liaoning

序号	开始时间	结束时间	峰值时间	持续天数(d)	冷空气路径
1	1962-06-04	1962-06-09	1962-06-05	6	(西北路径)
2	1964-06-01	1964-06-06	1964-06-05	6	(西北路径)
3	1964-07-12	1964-07-20	1964-07-18	9	(西北路径)
4	1966-07-06	1966-07-11	1966-07-09	6	(西北路径)
5	1967-06-06	1967-06-11	1967-06-09	6	(东北路径)
6	1969-06-25	1969-07-03	1969-07-01	9	(西北路径)
7	1969-08-23	1969-08-27	1969-08-26	5	(西北路径)
8	1971-07-17	1971-07-23	1971-07-21	7	(东北路径)
9	1972-06-14	1972-06-23	1972-06-17	10	(西北路径)
10	1972-08-16	1972-08-20	1972-08-17	5	(西北路径)
11	1972-08-27	1972-09-06	1972-08-31	11	(西北路径)
12	1973-08-27	1973-08-31	1973-08-30	5	(东北路径)
13	1974-05-31	1974-06-05	1974-06-04	6	(西北路径)
14	1974-06-18	1974-06-25	1974-06-22	8	(西北路径)
15	1976-08-19	1976-08-30	1976-08-22	12	(西北路径)
16	1978-07-11	1978-07-15	1978-07-12	5	(西北路径)
17	1981-08-03	1981-08-13	1981-08-04	11	(西北路径)
18	1982-07-16	1982-07-20	1982-07-17	5	(西北路径)
19	1983-06-05	1983-06-18	1983-06-12	14	(西北路径)
20	1983-06-27	1983-07-07	1983-07-04	11	(西北路径)
21	1983-07-19	1983-07-23	1983-07-20	5	(西北路径)
22	1986-07-13	1986-07-18	1986-07-16	6	(东北路径)
23	1986-07-31	1986-08-08	1986-08-05	9	(东北路径)
24	1987-07-31	1987-08-08	1987-08-05	9	(西北路径)
25	1989-06-14	1989-06-18	1989-06-17	5	(西北路径)
26	1989-06-30	1989-07-04	1989-07-02	5	(西北路径)
27	1989-07-24	1989-07-28	1989-07-26	5	(西北路径)
28	1990-07-24	1990-07-28	1990-07-26	5	(东北路径)
29	1991-07-10	1991-07-15	1991-07-11	6	(西北路径)
30	1992-06-04	1992-06-12	1992-06-08	9	(西北路径)
31	1992-08-12	1992-08-16	1992-08-14	5	(东北路径)
32	1995-06-29	1995-07-06	1995-07-03	8	(东北路径)
33	1996-08-19	1996-08-26	1996-08-22	8	(西北路径)
34	1997-05-29	1997-06-03	1997-05-31	6	(西北路径)
35	1999-06-19	1999-06-24	1999-06-20	6	(东北路径)
36	2002-06-10	2002-06-15	2002-06-12	6	(西北路径)
37	2002-06-20	2002-06-25	2002-06-21	6	(东北路径)
38	2002-08-05	2002-08-11	2002-08-09	7	(东北路径)
39	2004-08-11	2004-08-16	2004-08-13	6	(西北路径)
40	2006-07-21	2006-07-26	2006-07-24	6	(东北路径)
41	2009-07-20	2009-07-25	2009-07-23	6	(东北路径)

在 500 hPa 的环流场上该区域开始出现一个低槽，同时，该低槽的出现使得西北路径的冷空气气团

与极地冷空气相连，极地的冷空气可以在前期通过这条路径，源源不断的向贝加尔湖地区的冷空

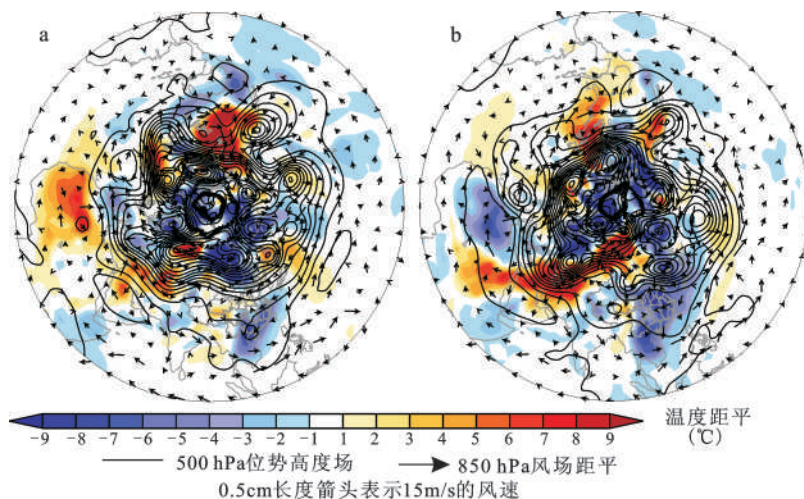


图1 ELTE事件的环流场样本(a.西北路径ELTE事件,b.东北路径ELTE事件)

Fig.1 Distribution of 500 hPa height, 500 hPa height anomalies, and 850 hPa wind anomalies (a. north-west, b. north-east cold path ELTE event)

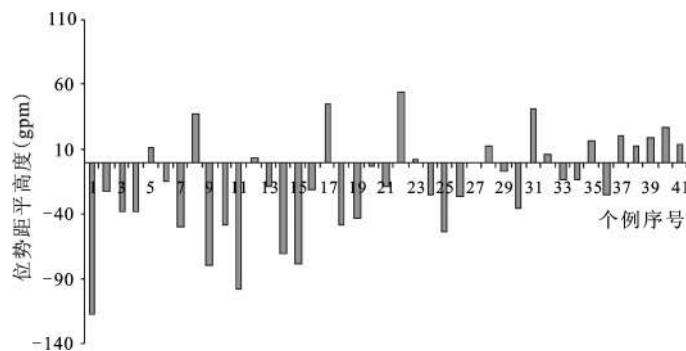


图2 ELTE事件Z指数时间分布序列

Fig.2 Time evolution of Z index of ELTE event

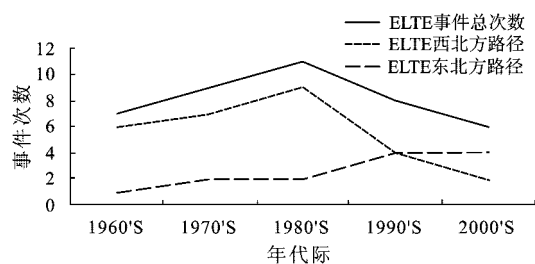


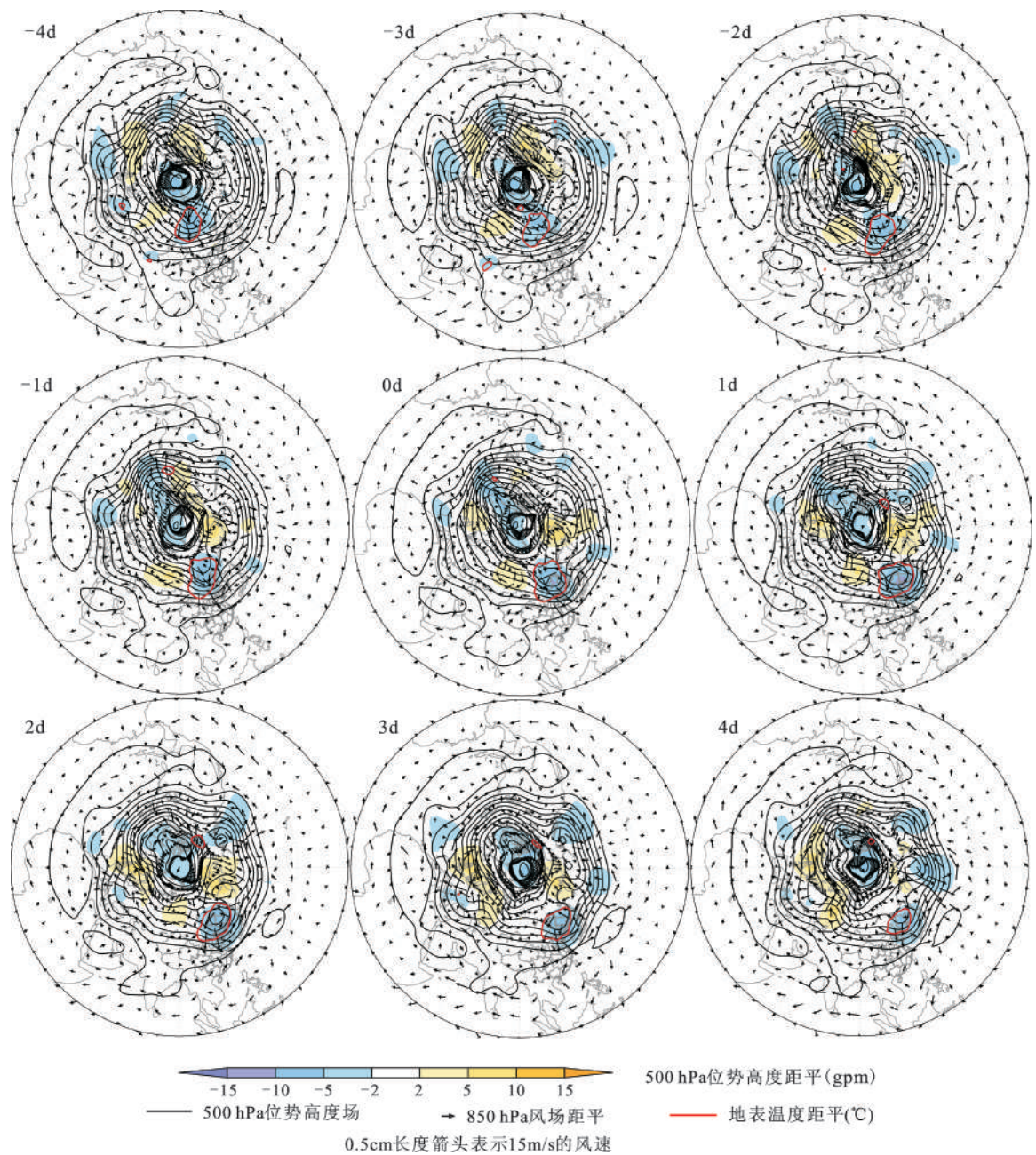
图3 ELTE事件的年代际变化特征

Fig.3 Decadal variation characteristics of ELTE event

气团补充能量。随着时间的演变,在-2 d的时候,强的西北气流将该低槽进一步的加深,使得该股冷空气团的前端开始影响内蒙的东四盟地区,在第0天即ELTE事件开始发生的时间,该冷气团主体移动到东北地区上空,低槽底部抵达渤海湾一带,低层850 hPa的风场距平场上一个类似气旋的环流中心开始在东北上空形成,-2℃等值线也覆

盖了东北地区大部分区域,在下游地区库页岛一带一个强的高压脊开始出现,该脊的出现阻止冷空气随着西风急流向下游频散,同时随着东北上空空气旋性环流的形成,冷空气开始在东北地区聚集堆积和持续,这种堆积和持续造成了西北路径的ELTE事件的发生和持续。

由图5可以看出,在东北路径ELTE事件发生的前4 d(-4 d),东亚地区的冷空气主要位于鄂霍次克海一带,此时该冷空气团并不是很强,冷空气由东北方向影响东北地区的迹象亦不是很明显,同时东北地区的上游的贝加尔湖地区有一个弱的高压脊开始发展,东北地区的南部地区渤海湾一带有一个明显的高压系统,该高压系统在东北路径ELTE事件发生前一直存在于该地区。随着时间的演变,贝加尔湖地区的南方的暖气流在东南暖气流的作用下,这个高压脊开始加强北伸。同



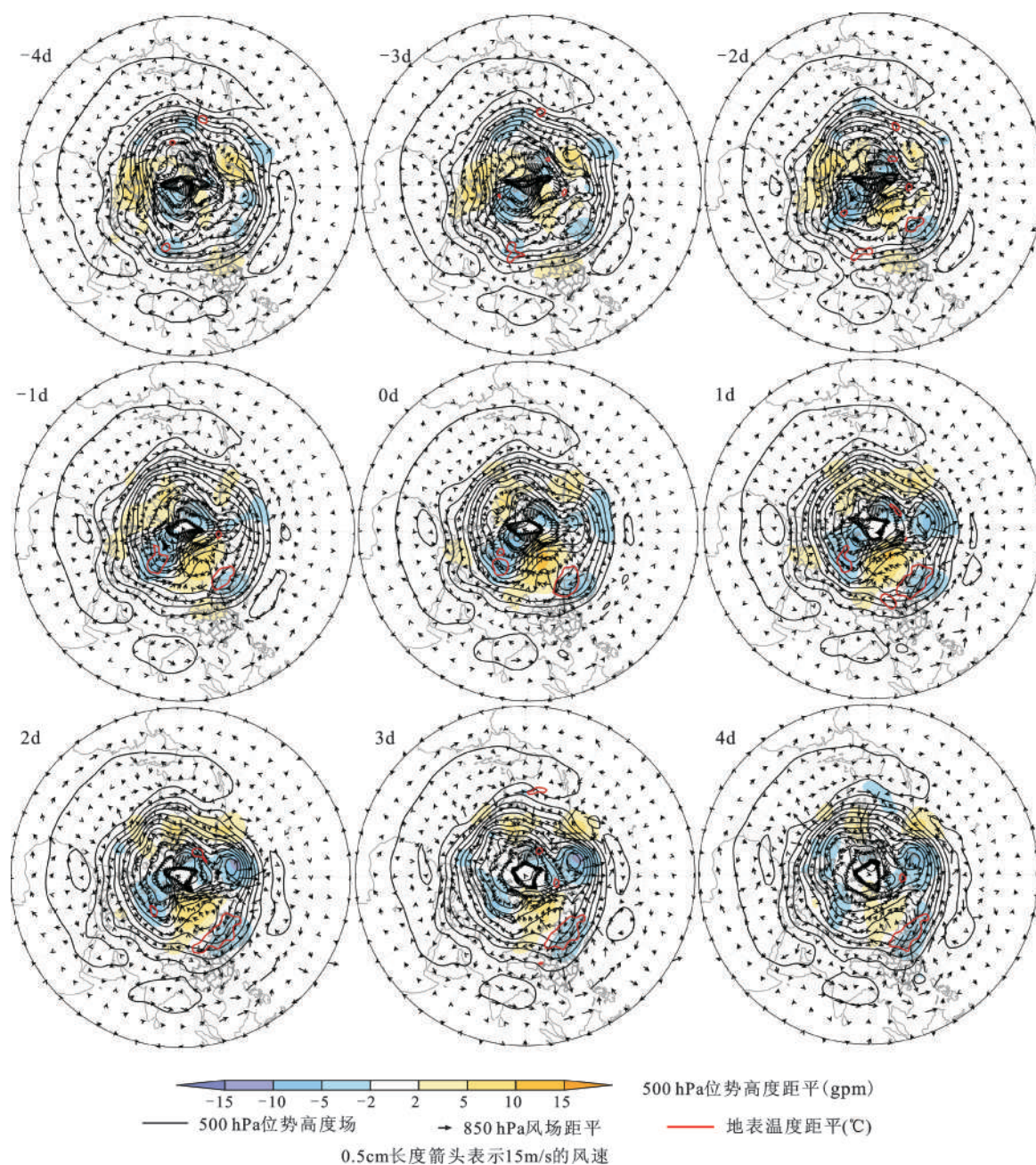
注:等值线表示500 hPa的环流场,阴影区表示500 hPa的距平区,红色线条的覆盖区表示地表温度距平小于-2℃的区域,箭头表示850 hPa的风场距平场。

图4 西北路径ELTE事件的环流合成场

Fig.4 Composite distribution of 500 hPa height (black contour), 500hPa height anomalies (shading), and 850hPa wind anomalies (vector), and temperature anomalies (red line means the surface temperature anomalies less than -2℃) of north-west cold path ELTE event

时华北至渤海湾一带的高压系统,在东南暖气流的作用下开始同贝加尔湖高压脊相融合。在-2 d的时候,该高压脊进一步的发展加强,其脊轴已经开始向东北倾斜,有形成东北-西南走向的斜脊的迹象。随着该脊的加强,该脊的北部脊点达中西伯利亚高原一带,其东北侧的东北气流,将高纬度极地的冷空气源源不断的输送、补充到与之相邻

的下游的鄂霍次克海地区的冷空气团中,-2℃等温线控制的区域面积开始增大,该冷气团也逐渐的加强,开始形成西北“+”东南“-”的跷跷板形态。在-1 d的时候,该东北-西南走向的斜脊已经成型,并且于第0天的时候达到最强,同时与之相邻的冷气团也在东北路径的冷空气下增强,并开始影响到东北部的区域。随着贝加尔湖斜脊的东



注:等值线表示500 hPa的环流场,阴影区表示500 hPa的距平区,红色线条的覆盖区表示地表温度距平小于 -2°C 的区域,箭头表示850 hPa的距平场。

图5 东北路径ELTE事件的距平场合成场

Fig.5 Composite distribution of 500 hPa height (black contour), 500 hPa height anomalies (shading), and 850 hPa wind anomalies (vector), and temperature anomalies (red line means the surface temperature anomalies less than -2°C) of north-east cold path ELTE event

北-西南走向的斜率的加大,加之影响东北地区的冷气团的南下的华北地区的其南部的高压系统的消散,由鄂霍次克海地区而来的冷空气经外兴安岭经东北地区开始影响到华北乃至山东半岛地区。由于贝加尔湖斜脊的出现和维持,造成该对西北“+”东南“-”跷跷板形态的出现和持续,使得

东北路径ELTE事件发生和维持。此外,也可以说该类低温事件的发生与欧洲阻塞型环流及其激发的Rossby波有关,且有两条传播路径,其中中纬度波列与东北地区南部的高压脊有关,偏高纬度波列与东北亚斜脊或阻高有关,在-1 d到0 d二者重叠,形成了大型脊,引发东北持续性低温。

4 结 论

1) ELTE事件最主要的冷空气路径主要有2条,第一条是西北方向的冷空气,另一条冷空气是东北方向的冷空气,ELTE事件最主要是由西北路径的冷空气影响而产生。

2) ELTE事件发生频率最大的是20世纪80年代,90年代后开始减少,该特点与西北路径ELTE事件的年代际变化特点一致,但东北路径的ELTE事件自20世纪60年代开始一直处于稳步上升的趋势中,其事件发生率自90年后开始超过西北路径的ELTE事件,成为主要影响东北地区的冷空气路径。

3) 西北路径的ELTE事件发生、发展和维持的主要原因是由于前期(-4 d左右)贝加尔湖地区的低压槽的加深和发展,使得极地的冷空气南下,在西南急流的作用下影响东北地区,同时由于东北地区的下游库页岛一带,一个强的高压脊一直存在,使得该股冷空气不能及时的向下游频散,只能在东北地区上空堆积和维持。而东北路径的ELTE事件的发生、发展和持续的原因是由于前期(-4 d左右)贝加尔湖地区的形成一个东北-西南走向的倾斜高压脊,下游地区的鄂霍次克海地区出现一个低压中心,该斜脊和该低压中心相互影响耦合,最后形成西北“+”东南“-”跷跷板形态,使得东北路径ELTE事件发生和维持。

鉴于篇幅的原因,有关2种不同路径的ELTE事件发生前期、发展和峰值的动力机制的研究在以后的文章中将做详细的探讨。

参考文献:

- [1] 程叶青,张平宇.中国粮食生产的区域格局变化及东北商品粮基地的响应[J].地理科学,2005,25(5):513~520.
- [2] 王书裕.农作物冷害的研究[M].北京:气象出版社,1995:246.
- [3] 姚佩珍.近四十年东北夏季低温冷害的气候特征[J].灾害学,1995,10(1):51~56.
- [4] 崔 锦,李 辑,张爱忠,等.东北夏季低温的研究进展[J].气象,2007,33(4):3~9.
- [5] 东北低温长期预报方法和理论的研究技术组.对东北夏季低温长期预报问题的初步认识[C]//东北夏季低温长期预报文集.北京:气象出版社,1983:1~8.
- [6] 东北低温科研协作组.东北地区冷、热夏季的环流特征和海温状况的初步分析及长期预报[C]//东北夏季低温长期预报文集.北京:气象出版社,1983:103~126.
- [7] 东北低温长期预报方法和理论的研究技术组.我国东部地区夏季温度场与500hPa高度场的关系[C]//东北夏季低温长期预报文集.北京:气象出版社,1983:127~134.
- [8] 廉 毅,安 刚.东亚季风El Nino与中国松辽平原夏季低温关系初探[J].气象学报,1998,56(6):724~735.
- [9] IPCC. Summary for policymakers of the synthesis report of the IPCC Fourth Assessment Report[R]. Cambridge, UK: Cambridge University Press,2007.
- [10] 沈柏竹,廉 毅,杨涵洧,等.中国东北夏季温度年代际变化特征[J].地理科学,2012,32(6):739~745.
- [11] 《气候变化国家评估报告》编写委员会.气候变化国家评估报告[R].北京:科技出版社,2007:422.
- [12] 沈柏竹,刘 实,廉 毅,等.2009年中国东北夏季低温及其与前期海气系统变化的联系[J].气象学报,2011,69(2):320~333.
- [13] 李尚锋,廉 毅,陈圣波,等.东北夏季极端低温事件的空间分布特征及其成因机理分析[J].地理科学,2012,32(6):752~758.
- [14] 刘 刚,沈柏竹,廉 毅,等.亚洲阻塞高压分类及其与东北冷涡活动和东北夏季低温的联系[J].地理科学,2012,32(10):1269~1274.

Definition of Extreme Low-temperature Events over Northeastern China in Summer and the Related Cold Air Path

LI Shang-feng^{1,2}, SUN Qin-hong³, YAO Yao-xian⁴, LIAN Yi^{1,2}

(1. *Laboratory of Research for Middle-High Latitude Circulation and East Asian Monsoon, Changchun, Jilin 130062, China;*

2. Jilin Meteorological Science Institute, Changchun, Jilin 130062, China; 3. *Jilin Meteorological Observatory,*

Changchun, Jilin 130062, China; 4. *Department of Science & Technology and Forecast of*

Jilin Meteorological Bureau, Changchun, Jilin 130062, China)

Abstract: In this article, the 1961-2010 global reanalysis data was acquired from the National Centers for Environmental Prediction/National Centers for Atmospheric Research (NCEP/NCAR), which has a horizontal resolution of 2.5° Lon. $\times 2.5^{\circ}$ Lat. The daily temperature data of 150 observatory stations in Northeast China was employed in the article too. A definition of extreme low-temperature event (ELTE) was given in the article, and the calendar of ELTE' occurrence, peak value time and time-duration were investigated. It unveiled that: the occurrence of ELTE were mainly influenced by two major cold air tracks (i.e., north-west cold path ELTE and north-east cold path ELTE). Focusing on the tracks of ELTE events, it was found that during the period of 1961 to 2010, the north-west cold path was dominated compared with north-east cold track. Meanwhile, it should also be noted here that the maximum frequency was occurred in 1980's, and after 1990's it was declining significantly. However, it was clear that the north-east cold path ELTE was increasing obviously after 1990's. Additionally, once the district of Baikal was dominated by low pressure trough, four days before ELTE occurrence (i.e., -4 d), north-west cold path ELTE was easy to take place. Moreover, while a blocking high in Baikal area and matched a low-pressure center in Okhotsk, a dipole of “+,-” wave train, north-east cold path ELTE was prone to take place.

Key words: extreme low-temperature event; dipole;skewed toward ridge;Northeast China