

丁德平, 张爱英, 韩超, 等. 2010. 2009年11月北京极端低温和强降水事件分析 [J]. 气候与环境研究, 15 (4): 395–404. Ding Deping, Zhang Aiying, Han Chao, et al. 2010. Analysis of the low temperature and heavy snowfall events in November 2009 in Beijing [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 15 (4): 395–404.

2009年11月北京极端低温和强降水事件分析

丁德平¹ 张爱英¹ 韩超¹ 任国玉² 谢庄¹

¹ 北京市气象科技服务中心, 北京 100089

² 中国气象局气候研究开放实验室, 北京 100081

摘要 2009年10月底到11月底, 包括北京在内的华北地区连续出现2次较强冷空气过程, 造成大范围的低温、雨雪天气。利用北京地区11个气象站近50年逐日气温、降水资料, 对全市历年11月低温雨雪事件的演变特征进行了分析。结果表明, 2009年11月全市月平均气温、月平均最低气温均突破了50年的最低记录, 月平均最高气温位列1981年11月之后, 接近历史极值; 2009年11月降雪量也位列有记录以来第一位, 冰冻日数历史排位第三; 从气温和降水极端事件发生的频次来看, 2009年11月日平均气温、日最高气温和日最低气温通过5%分位值标准的极端低温事件频次都明显偏多, 在50年中居于第2位, 降水量通过95%分位值标准的极端强事件频次在50年中居于第四位。2009年11月的严重低温雨雪事件出现在区域气温总体变暖、低温事件频率总体下降的气候趋势背景下, 在一定程度上放大了负面影响。亚洲中高纬地区500 hPa高度场经向度异常加大、冷暖气流交换活跃, 是造成2009年11月极端低温和大雪的直接环流因子。

关键词 极端事件 低温 大雪 气候变化 北京

文章编号 1006-9585 (2010) 04-0395-10 **中图分类号** P467 **文献标识码** A

Analysis of the Low Temperature and Heavy Snowfall Events in November 2009 in Beijing

DING Deping¹, ZHANG Aiying^{1, 2}, HAN Chao¹, REN Guoyu², and XIE Zhuang¹

¹ *Beijing Meteorological Science and Technology Service Center, Beijing 100089*

² *Open Laboratory of Climate Research, China Meteorological Administration, Beijing 100081*

Abstract From the end of October 2009 to the end of November 2009, two strong cold waves entered North China, including Beijing, and successively brought low temperature, rain and snow event. Based on the climatic data of daily precipitation and temperature of the eleven meteorological stations during 1960–2009 in Beijing area, the characteristics of the low temperature, rain and snow event are analyzed. The result shows both the monthly mean temperature and extreme low temperature in November 2009 broke through the lowest historical record, and the extreme maximum temperature ranked the second only behind that in 1981; the snowfall and the freezing days in the analyzed period respectively ranked the 1st and the 3rd. In November 2009, the frequency of daily extreme temperature that below the level of the fifth percentile all obviously more than normal year, ranked the second in the past

收稿日期 2010-01-21 收到, 2010-03-10 收到修定稿

资助项目 公益性行业科研专项“气候变化对我国水安全影响及对策研究”(200801001)和北京市科委项目“城市突发气象灾害风险防范与快速响应关键技术研究”(Z090506016609001)

作者简介 丁德平, 女, 1963年出生, 高级工程师, 主要从事应用气象研究及气象服务工作。E-mail: zytdp@vip.sina.com

50 years, and the frequency of precipitation that above the level of the 95th percentile, ranked fourth in the past 50 years. The events of the low temperature, rain and snow happened in the background of the temperature rise and the frequency of extreme low temperature decrease, so, accordingly, the negative impact is amplified. The radial gradient of 500 hPa above the Asia high-mid latitude is abnormally increased and the active exchanging of warm and cold air currents were the two mainly direct circulation factor that caused the event in November 2009.

Key words extreme event, low temperature, heavy snow, climate change, Beijing

1 引言

最近几年,我国极端低温和强降雪事件时有发生。2005年山东半岛部分地区遭受百年一遇的暴风雪的袭击(崔晶等,2008);2008年1月我国长江中下游至江南地区发生历史罕见的低温雨雪冰冻灾害(王凌等,2008;王亚非等,2008;王遵娅等,2008);2007年3月3~5日,中国东北地区发生了近50年来最强的一次暴风雪事件(孙建奇,2009)。

2009年10月底到11月底,包括北京在内的华北地区受较强冷空气影响,出现了连续的低温雨雪天气,对社会各行业尤其是交通、电力、通讯以及人们的生产和生活产生了巨大影响。那么,这期间发生的低温雨雪事件到底是否属于极端天气气候事件?它在历史上的地位如何?其形成的原因又有哪些?这些问题值得我们进一步分析与讨论。

在过去10多年,极端天气和气候事件及其变化越来越引起科学界以及社会各界的重视,也吸引着国内外的科学家们对极端事件进行了许多研究(王文辉和徐祥德,1979;翟盘茂和任福民,1997;翟盘茂和潘晓华,2003;张庆云等,2003;Bell et al.,2004;任国玉等,2005;Schmidli and Frei,2005;翟盘茂等,2007;李崇银等,2008;张爱英等,2008)。这些研究多数集中在极端气温和降水变化方面。对于近年的冷季极端低温和大雪事件也有一些研究(王文辉和徐祥德,1979;潘晓华和翟盘茂,2002;王遵娅和丁一汇,2006;布和朝鲁等,2008;崔晶等,2008;丁一汇等,2008;高辉等,2008;纪立人等,2008;孙建华和赵思雄,2008;施宁等,2008;孙建奇,2009;王遵娅等,2008;王凌等,2008;王亚非等,2008;王东海等,2008;卫捷和陶诗言,2008;杨贵名等,2008;赵思雄和孙建华,

2008),但这些研究多集中在对2008年初的南方严重低温雨雪冰冻灾害,对于如何从气候变化角度看待极端低温和强降雪事件的研究还比较少。

本文利用北京地区11个气象台站50年的资料,对1960年以来逐年11月平均气温、降水(包括降雨和降雪)、低温日数、冰冻日数的变化特征进行了分析,确定了历年11月气温和降水极端事件频次,并简要分析了两次降雪过程的天气形势以及2009年11月造成低温雨雪事件的大尺度环流特征。

2 资料及方法

本文所用的资料为来自北京地区至少有50年资料的台站,为了保证资料的连续性,除了2个国家基本基准站(北京观象台和密云)以外,规定其他站迁站次数不多于1次,并且迁站造成的影响不明显。所以本文选用的台站有11个,分别是:观象台、朝阳、门头沟、大兴、房山、昌平、怀柔、密云、平谷、延庆、古北口。资料范围包括逐日平均气温、最高气温、最低气温和逐日降水量,资料年限为1960~2009年,共50年。2个国家基本、基准站的气温资料取自国家气象信息中心经过均一化订正的气温资料集,这2个站的降水以及其他9个一般气象站的气温和降水资料均来自于北京市气象信息中心,没有经过均一化订正,但所有资料均进行了严格的质量控制。

气候平均值(标准值)采用1971~2000年30年同期平均值。评估指标除了采用日平均气温、日最高气温、日最低气温以外,还采用了(王遵娅等,2008)定义的低温日数、冰冻日数、降雪量等指标。其中,低温日数指日平均气温小于1℃的日数,冰冻日数指日平均气温小于1℃且当日出现降水的日数;降雪量指当日有降雪且日平均气温小于1℃的24小时降水量(20时~20时)

(北京时间, 下同)。对极端低温和强降水事件的判别, 还采用了百分位值标准, 定义低于第 5 个百分位阈值的为极端偏低、偏少事件(潘晓华和翟盘茂, 2002; 翟盘茂和潘晓华, 2003; Bell et al., 2004; Schmidli and Frei, 2005)。具体做法是: 将每一个站 1971~2000 年 11 月共 30 日同日的最高、最低气温按升序排列, 得到该日第 5 百分位值, 称之为极端低温事件的阈值。如果某日的气温低于该日极端低温的阈值, 则认为该日出现了极端低温事件。类似地, 对降水量按升序排列, 将降水量大于第 95 百分位值的当日定义为一个极端强降水日。这里降水量包括降雪和降雨量, 同时为了区别绝对界限值定义的低温事件, 把通过百分位值标准获得的极端气温和降水事件才称为气温极端偏低事件和降水极端偏高事件。

由于站点分布大体均匀, 全区平均值为 11 个气象台站各个极端指数的简单算术平均值。

3 低温、强降雪过程概况

从 2009 年 10 月 31 日北京地区夜间 22 时开始降雨, 以后逐渐转为降雪。这是 1961 年以来北京地区出现的最早的初雪(1951 年以来北京和华北最早的初雪出现在 1960 年 10 月 26 日)。不久另一股冷空气入侵北京, 11 月 9 日 08 时 30 分左右, 霰洒落京城, 11 月 10 日凌晨, 北京城漫天白

雪, 还伴有闪电雷鸣。11 日夜间至 12 日北京再次出现降雪天气。

从图 1 可以看到两次冷空气活动带来的降温幅度和降雪量。11 月的低温事件主要由 2 次大幅度降温和 2 次小幅度的降温过程组成, 第一次明显的降温过程出现在 2009 年 10 月 31 日午夜到 11 月 1 日, 最大降温幅度达 10°C 以上; 第二次显著的降温过程出现在 11 月 8~9 日, 最大降温幅度也接近 10°C 。对应这两次显著的降温过程, 北京地区先后出现了 2 次显著的降雪过程, 第 1 次出现在 11 月 1 日, 北京地区平均降雪量为 14.2 mm; 第 2 次出现在 2009 年 11 月 9~12 日的连阴雨过程中, 9~10 日平均降雪量为 5.3 mm; 时隔 1 日后, 11~12 日又出现降雪, 平均降雪量为 4.3 mm。除了 2 次带来显著降温和降雪的冷空气过程以外, 还可以看出在 11 月 13~14 日和 24~25 日还出现了 2 次弱的降温过程, 降温幅度在 5°C 以下。

4 低温降雪事件历史变化

图 2 给出了 1960~2009 年北京地区历年 11 月平均气温、平均最高气温、平均最低气温以及低温日数的变化曲线, 表 1 为北京地区 11 月低温指数的历史排位。2009 年 11 月北京地区平均气温、平均最低气温均突破了 50 年来的最低记录,

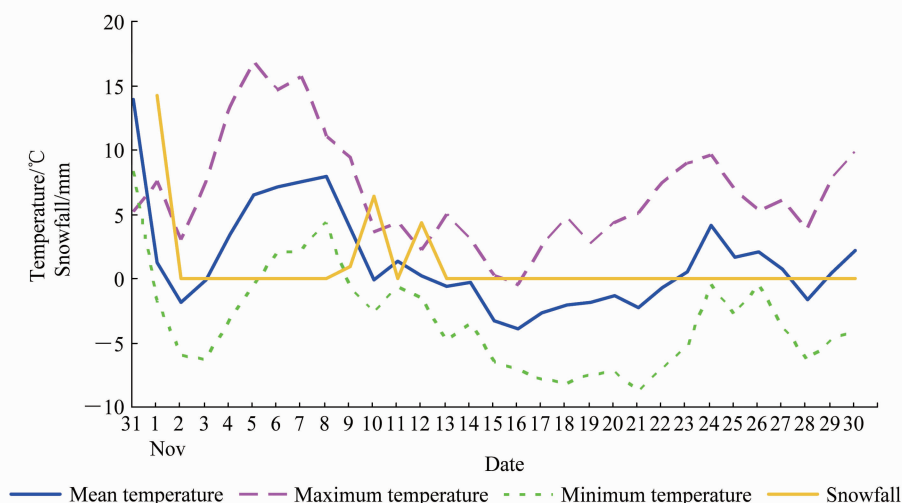


图 1 北京地区 2009 年 10 月 31 日~11 月 30 日逐日平均气温、最高气温、最低气温和降雪量变化

Fig. 1 The change of daily mean temperature, maximum temperature, minimum temperature, and snowfall in Beijing from 31 Oct to 30 Nov in 2009

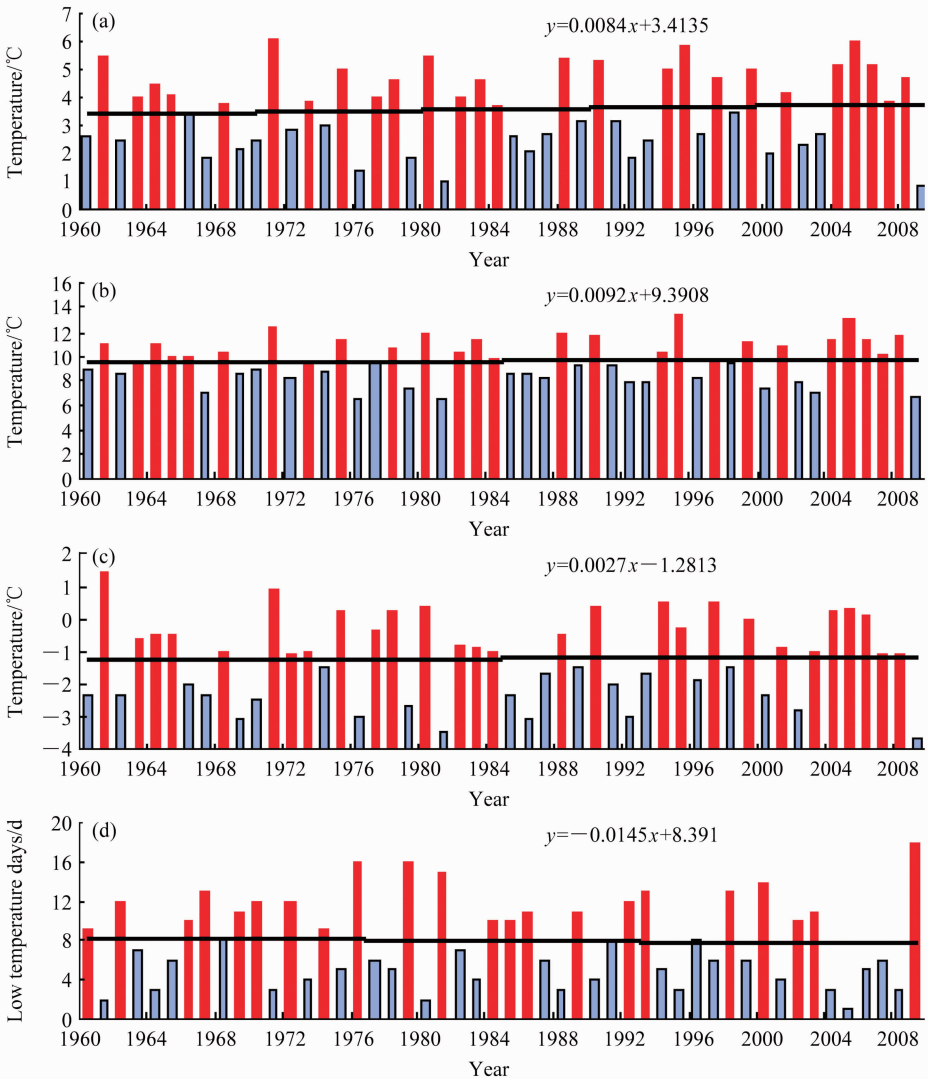


图2 北京地区11月气温的历年变化：(a)平均气温变化；(b)平均最高气温变化；(c)平均最低气温变化；(d)低温日数变化。直线为整个时期线性趋势。其中红色代表该要素值高出平均值，蓝色则代表低于平均值

Fig. 2 Mean temperature series in November over the past years in Beijing: (a) Mean temperature; (b) mean maximum temperature; (c) mean minimum temperature; (d) low temperature days. Linear fitting shows the trend. Red bars denotes values higher than the average, while blue bars denotes values lower than the average

表1 北京地区11月低温指数的历史排位
Table 1 Arranging seats of low temperature days during the past years in November

历史排位	平均气温/出现年份	最高气温/出现年份	最低气温/出现年份	低温日数/出现年份
1	0.9℃/2009	6.5℃/1976、1981	-3.7℃/2009	18 d/2009
2	1.0℃/1981	6.7℃/2009	-3.5℃/1981	16 d/1979、1976
3	1.4℃/1976	7.0℃/1967、2003	-3.1℃/1969	15 d/1981
4	1.9℃/1967、1979、1992	7.4℃/2000	-3.0℃/1976	14 d/2000
5	2℃/2000	7.5℃/1979	-2.8℃/2002	13 d/1998、1993、1967

位居榜首，月平均最高气温虽居分析时期第二位，但比位居第一的1981年和1976年仅高0.2℃，差异非常小；2009年11月的低温日数为18天，也达到50年以来的最大值。

值得指出的是, 2009 年 11 月的气温异常偏低, 但近 50 年来当月平均气温、平均最高气温、平均最低气温总体上均呈现上升趋势 (图 2)。其中, 1960~2008 年, 全区 11 月平均气温、平均最高气温和平均最低气温上升趋势都比较明显, 分别达到 0.159 、 0.173 和 $0.092\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ (图略); 加上 2009 年 11 月, 整个时期 11 月平均气温、平均最高气温和平均最低气温仍呈上升趋势, 但上升趋势值明显变小了, 上升的速率分别为 0.084 、 0.092 和 $0.027\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$; 低温日数在加入和不加入 2009 年的情况下均呈现明显的下降趋势, 下降速率分别为 $0.409\text{ d} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 和 $0.145\text{ d} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 。因此, 2009 年 11 月极端低温事件发生在近半个世纪当月气候总体变暖的大背景下, 更加突显其异常性质。

图 3 给出了 2009 年 11 月平均气温、平均最高、最低气温距平和低温日数距平的分布。

北京地区 11 个气象台站的气温距平全部为较明显的负值, 即所有台站的气温均比历史同期明显偏低。怀柔平均气温距平达到 $-3.7\text{ }^{\circ}\text{C}$, 成为偏冷最明显站点, 平谷和大兴也分别达到了 $-3.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $-3.4\text{ }^{\circ}\text{C}$, 北京南郊观象台为 $-2.2\text{ }^{\circ}\text{C}$; 最高气温下降最为明显的地点在平谷和房山, 距平达到 $-3.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, 怀柔、昌平、大兴、门头沟的最高气温都比常年偏低 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上, 南郊观象台也比常年偏低 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。最低气温相对常年偏低的程度要稍微小一些, 但也均比常年偏低 $1\sim 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。因此, 从这次气温事件来看, 平均气温、平均最高气温偏低程度比平均最低气温更为明显。

图 4 给出了北京地区分析时期降雪量历年变化和降雪量距平的空间分布情况。在 50 年里, 只有 19 年 11 月份全区平均有可测量的降雪记录, 其中 2009 年 11 月平均降雪量最高, 位列第一位,

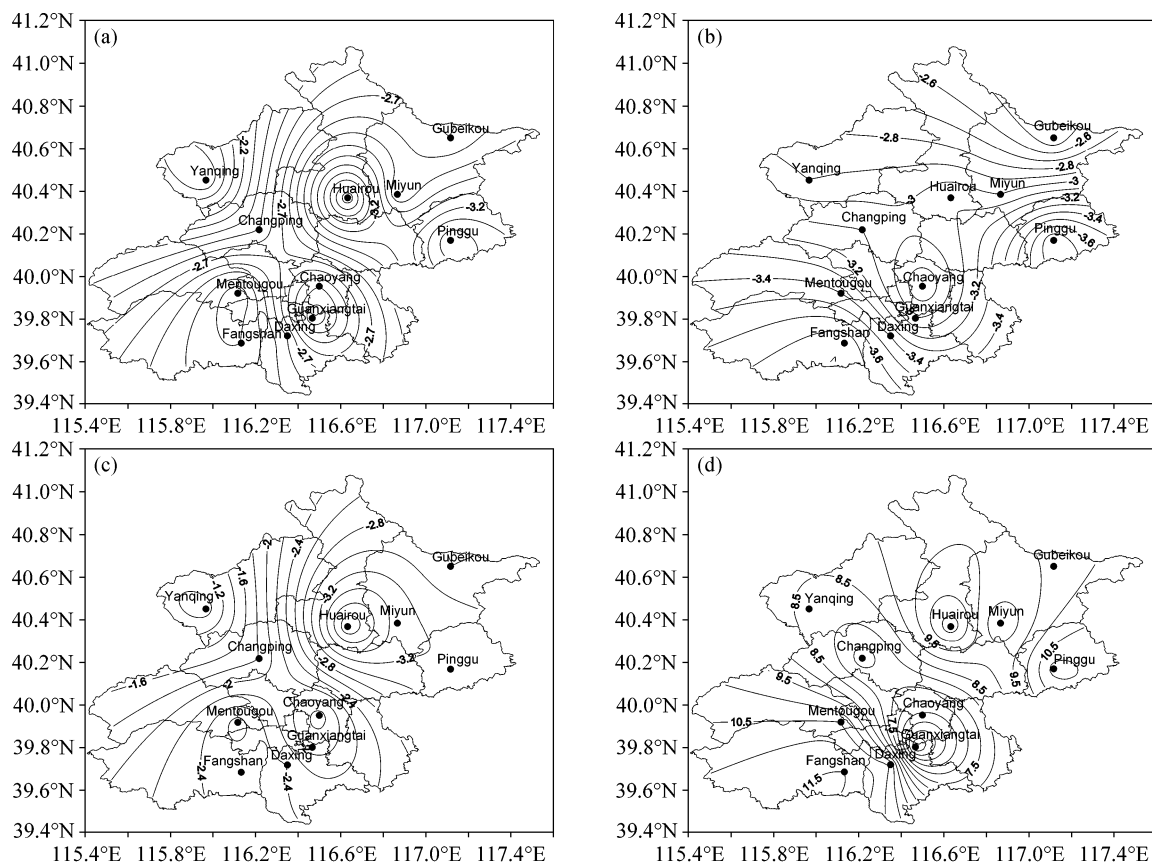


图 3 北京地区 11 月气温距平分布: (a) 月平均气温距平; (b) 月平均最高气温距平; (c) 月平均最低气温距平; (d) 低温日数距平
Fig. 3 The temperature anomaly distribution in Nov 2009 in Beijing: (a) Monthly mean temperature anomaly; (b) monthly mean maximum temperature anomaly; (c) monthly mean minimum temperature anomaly; (d) low temperature days anomaly

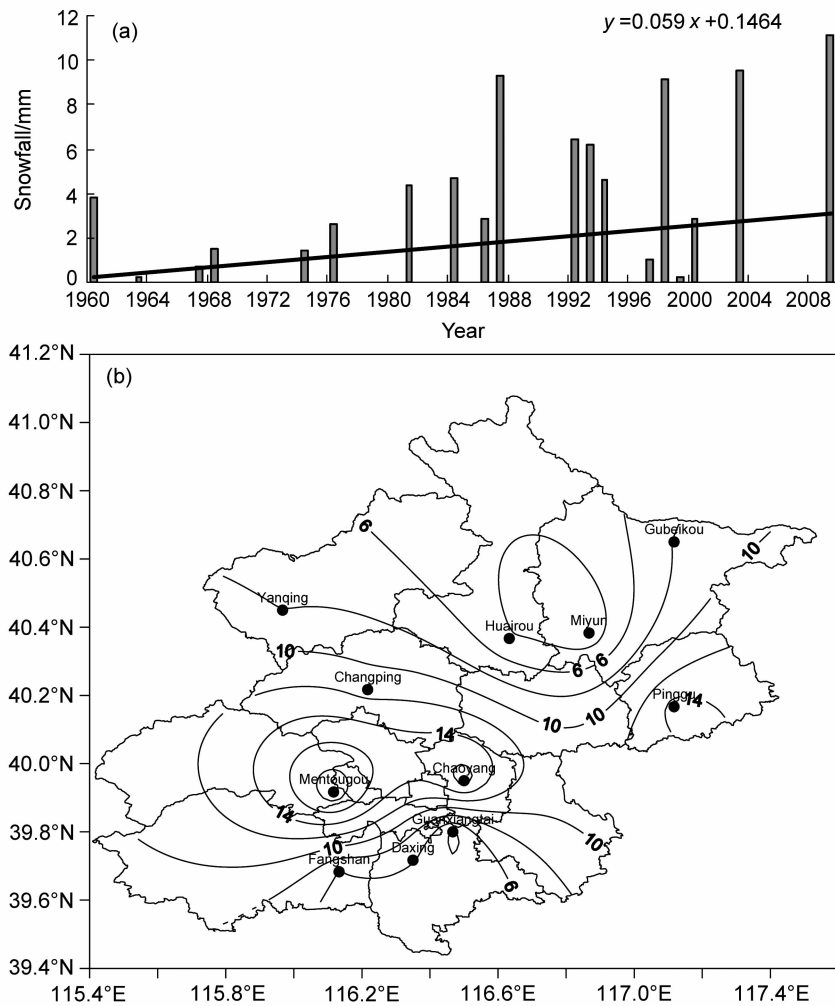


图 4 (a) 北京地区 11 月降雪量的历年变化; (b) 2009 年 11 月各站降雪量距平分布 (单位: mm)

Fig. 4 (a) Mean snowfall in November during the past years; (b) mean snowfall anomalies distribution (mm) in November 2009

达到为 11.1 mm (图 4a 和表 2); 位列第二位的 2003 年 11 月平均降雪量为 9.5 mm。图 4a 还表明, 北京地区 11 月降雪量在 50 年里存在增加趋势, 即使不考虑 2009 年 11 月, 20 世纪 80 年代以来的平均降雪量也有比较明显的增多。2009 年 11 月, 各站降雪量均比历史同期偏多, 偏高最多的为门头沟, 降雪量距平达到 19.6 mm; 朝阳、平谷距平分别为 17 mm 和 14.7 mm; 南郊观象台降雪量比常年偏多 3.5 mm (图 4b)。

与低温和降雪量的异常特征相似, 北京地区 2009 年 11 月冰冻日数也异常偏多 (图略), 平均出现 2 天, 位列 50 年第三位, 排在第一位的 1998 年 11 月平均为 3 天, 第二位的 2001 年 11 月平均为 2.3 天。2000、2003、1994、1981、1976 年冰冻日数也偏多, 平均也出现 2 天。

表 2 北京地区 11 月平均降雪量历史排位

Table 2 Arranging seats of snowfall in Nov in Beijing during the past years

位次	出现年份	降雪量/mm
1	2009	11.1
2	2003	9.5
3	1987	9.3
4	1998	9.1
5	1992	6.4

5 极端气温和降水事件频次历史变化

本文进一步采用百分位界限值标准来判别 2009 年 11 月和历史时期 11 月的极端低温和强降水事件, 并分析其历史地位和时间变化特征。图 5

给出了北京地区平均历年 11 月极端低温和强降水事件频次变化。表 3 给出了北京地区极端低温和强降水事件频次的历史排位。

从图 5 和表 3 可以看出，日平均气温、最高气温极端事件天数都是 1993 年位于首位，分别为 7.2 d 和 6.4 d，2009 年居第二位，分别为 5.7 d 和 4.6 d；日最低气温极端事件天数以 1981 年为最多，为 4.8 d，2009 年居第二位；降水量偏多事件出现年份仍以 1993 年位居榜首，为 3.8 d，2009 年居于第 4 位，为 2.8 d，排在第一、二、三位的出现在 1993 年、2003 年、1961 年，对应的极端降水天数分别为 3.8、3.5、3.1 d。

6 极端低温、强降水事件的环流特征分析

图 6a 为 10 月 31 日 20 时 500 hPa 高度场，从

图中可见亚洲中高纬为一槽一脊型，冷空气从极地区南下到达贝加尔湖；蒙古东部至河套西部为一横槽，河套东部有南支槽东移，蒙古东部、华北北部和西北地区东部形成强气温锋区（北京—20℃，乌兰巴托—35℃，伊尔库次克—40℃；图略）。在横槽东移南下的过程中冷暖空气在华北地区相遇，导致 11 月 1 日北京迎来 1961 年以来最早的降雪。

11 月上旬中期 500 hPa 上极涡再次控制亚洲高纬度地区，从 11 月 9 日 20 时 500 hPa 高度场（图 6b）可见，亚洲冷涡位于俄罗斯远东地区，中心强度为−44℃，从强烈发展的欧洲高压脊中分裂出一个中心，在中西伯利亚北部（60°N，90°E）形成阻塞中心（以下简称中亚阻高），中亚阻高脊前西北气流引导极地冷空气从东路侵袭我国，巴尔克什湖东北部为切断低压（以下简称巴湖低压），中心附近温度为−37~−38℃，底部不断分

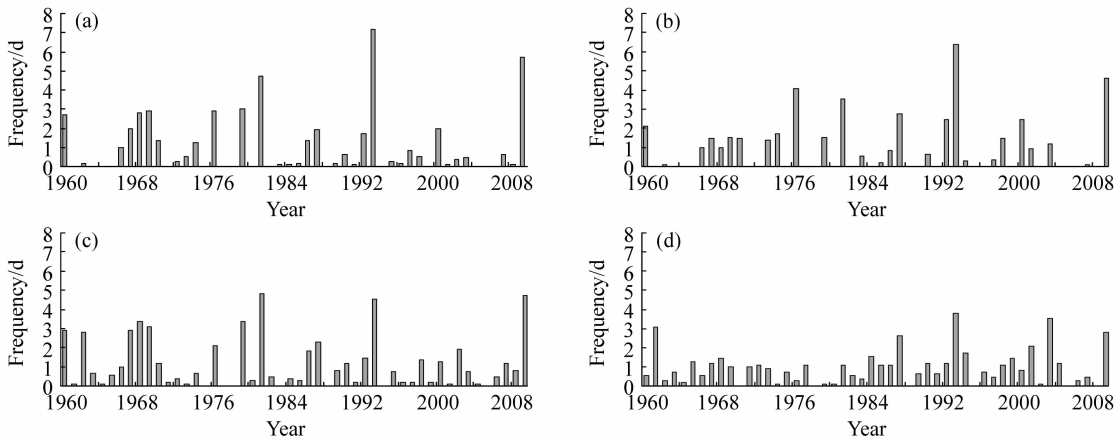


图 5 北京地区平均历年（1960~2009 年）11 月极端气温和降水事件出现频次变化：（a）日平均气温偏低频次；（b）日最高气温偏低频次；（c）日最低气温偏低频次；（d）日降水量偏多频次
Fig. 5 The change of occurrence frequency of the extreme temperature and precipitation in Beijing in Nov from 1960 to 2009: (a) Low mean temperature day; (b) low maximum temperature day; (c) low minimum temperature day; (d) high daily precipitation day

表 3 北京地区平均极端气温和降水事件频次的历史排位
Table 3 Arranging seats of extreme temperature and precipitation in Beijing

历史排位	日平均气温偏低极端事件		日最高气温偏低极端事件		日最低气温偏低极端事件		日降水量偏多极端事件	
	频次/d	出现年份	频次/d	出现年份	频次/d	出现年份	频次/d	出现年份
1	7.2	1993	6.4	1993	4.8	1981	3.8	1993
2	5.7	2009	4.6	2009	4.7	2009	3.5	2003
3	4.7	1981	4.1	1976	4.5	1993	3.1	1961
4	3.0	1979	3.5	1981	3.4	1979	2.8	2009
5	2.9	1976	2.7	1987	3.3	1968	2.6	1987

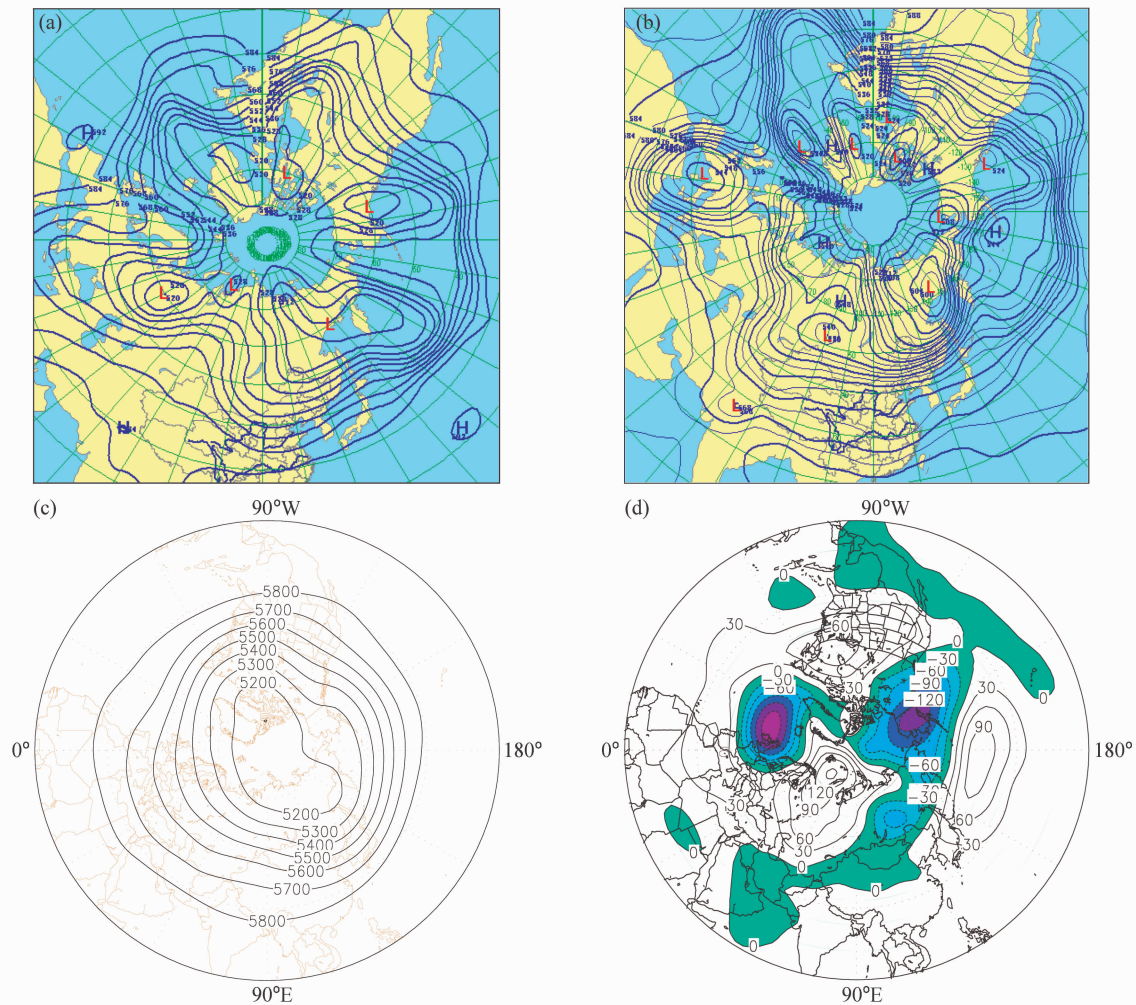


图6 降雪日天气形势和11月平均环流:(a) 10月31日20时500 hPa高度场;(b) 11月9日20时500 hPa高度场;(c) 2009年11月平均500 hPa高度场;(d) 2009年11月平均500 hPa高度距平场

Fig. 6 Synoptic chart of snowfall and mean circulation in November: (a) 500-hPa height field at 2000 LST 31 Oct; (b) 500-hPa height field at 2000 LST 9 Nov; (c) mean 500-hPa height field in Nov 2009; (d) 500-hPa height field anomalies in Nov 2009

裂小股冷空气东移。南支($20^{\circ}\text{N}\sim 30^{\circ}\text{N}$, $70^{\circ}\text{E}\sim 80^{\circ}\text{E}$)有低压发展东移。我国东部中纬度地区($40^{\circ}\text{N}\sim 50^{\circ}\text{N}$, 100°E 以东)为纬向急流区和强气温锋区,该区域受东、西两路冷空气及南支槽前的西南暖湿气流等三股气流的影响。首先受东部冷空气和西南暖湿气流影响,9~10日北京出现了雷、雪天气。随后11日(图略)中亚阻高形势仍然维持,但是槽、脊位置相应东移,巴湖冷空气到达新疆,(兰州 -14°C ,哈密 -24°C),河西地区的低压槽前西南气流到达华北等地,11~12日北京再次出现降雪。

图6c为2009年11月500 hPa的月平均环流场,从图可见极涡呈偶极型,欧亚涡伸向俄罗斯

远东地区,反映了上旬至中旬初的大雪过程中强烈发展的东亚冷涡的形势特征。从2009年11月500 hPa月平均高度距平图(图6d)可见,强负距平区从美洲东北经亚洲大陆东北部、我国华北、西北等地,欧洲东部到中亚的中高纬地区为强正距平区,表明该月的槽脊发展强盛,上述大雪日的天气图与此距平图一致。

7 结论

本文利用11个气象站近50年逐日气温、降水资料,对北京地区历年11月低温雨雪事件的演变特征进行了分析。结论如下:

(1) 11 月全市平均气温、平均最低气温均突破了 50 年的最低记录, 月平均最高气温位列 1981 年 11 月之后, 接近历史极值; 北京地区 2009 年 11 月降雪量位列 50 年的第一位; 北京地区 2009 年 11 月冰冻天气的特征也非常明显, 冰冻日数的历史排位为第三位;

(2) 从气温和降水极端事件发生的频次来看, 2009 年 11 月平均气温、最高气温、最低气温偏低频次都明显偏多, 在 50 年中居于第 2 位。降水偏多极端事件频次在 50 年居于第 4 位;

(3) 2009 年 11 月的严重低温雨雪事件出现在区域气温总体变暖、低温事件频率总体下降的气候趋势背景下, 因此所造成的负面影响更为突出;

(4) 亚洲中高纬地区 500 hPa 高度场经向度异常加大、冷暖气流交换活跃, 是造成 2009 年 11 月极端低温和大雪的直接环流因子。

参考文献 (References)

- Bell J L, Sloan L C, Snyder M A. 2004. Regional changes in extreme climatic events: A future climate scenario [J]. *J. Climate*, 17: 81–87.
- 布和朝鲁, 纪立人, 施宁. 2008. 2008 年初我国南方雨雪低温天气的中期过程分析 I: 亚洲副热带急流低频波 [J]. *气候与环境研究*, 13 (4): 419–433. Bueh Cholaw, Ji Liren, Shi Ning. 2008. On the medium-range process of the rainy, snowy and cold weather of South China in early 2008 part I: Low-frequency waves embedded in the Asian–African subtropical jet [J]. *Climatic and environmental Research (in Chinese)*, 13 (4): 419–433.
- 崔晶, 张丰启, 钱永甫, 等. 2008. 2005 年 12 月威海连续性暴雪的气候背景 [J]. *南京气象学院学报*, 31 (6): 844–851. Cui Jing, Zhang Fengqi, Qian Yongfu. 2008. Climate background of heavy snow in Weihai city in December 2005 [J]. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese)*, 31 (6): 844–851.
- 丁一汇, 王遵娅, 宋亚芳, 等. 2008. 中国南方 2008 年 1 月罕见低温雨雪冰冻灾害发生的原因及其与气候变暖的关系 [J]. *气象学报*, 66 (5): 808–825. Ding Yihui, Wang Zunya, Song Yafang, et al. 2008. Causes of the unprecedented freezing disaster in January 2008 and its possible association with the global warming [J]. *Acta Meteorological Sinica (in Chinese)*, 66 (5): 808–825.
- 高辉, 陈丽娟, 贾小龙, 等. 2008. 2008 年 1 月我国大范围低温雨雪冰冻灾害分析 II: 成因分析 [J]. *气象*, 34 (4): 101–106. Gao Hui, Chen Lijuan, Jia Xiaolong, et al. 2008. Analysis of the severe cold surge, ice-snow and frozen disasters in South China during January 2008 II: Possible climatic causes [J]. *Meteorological Monthly (in Chinese)*, 34 (4): 101–106.
- 纪立人, 布和朝鲁, 施宁, 等. 2008. 2008 年初我国南方雨雪低温天气的中期过程分析 III: 青藏高原—孟加拉湾气压槽 [J]. *气候与环境研究*, 13 (4): 446–458. Ji Liren, Bueh Cholaw, Shi Ning, et al. 2008. On the medium range process of the rainy, snowy, and cold weather of South China in early 2008 part III: Pressure trough over the Tibetan Plateau/Bay of Bengal [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 13 (4): 446–458.
- 李崇银, 杨辉, 顾薇. 2008. 中国南方雨雪冰冻异常天气原因的分析 [J]. *气候与环境研究*, 13 (2): 113–122. Li Chongyin, Yang Hui, Gu Wei. 2008. Cause of severe weather with cold air, freezing rain, and snow over South China in January 2008 [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 13 (2): 113–122.
- 潘晓华, 翟盘茂. 2002. 气温极端值的选取与分析 [J]. *气象*, 28 (18): 28–31. Pan Xiaohua, Zhai Panmao. 2002. Analysis of surface air temperature extremum [J]. *Meteorology (in Chinese)*, 28 (18): 28–31.
- 任国玉, 徐铭志, 初子莹, 等. 2005. 近 54 年中国地表气温变化 [J]. *气候与环境研究*, 10 (4): 717–727. Ren Guoyu, Xu Mingzhi, Chu Ziyang, et al. 2005. Changes of surface air temperature in China during 1951–2004 [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 10 (4): 717–727.
- Schmidli J, Frei C. 2005. Trends of heavy precipitation and wet and dry spells in Switzerland during the 20th century [J]. *Int. J. Climatol.*, 25: 753–771.
- 施宁, 布和朝鲁, 纪立人, 等. 2008. 2008 年初我国南方雨雪低温天气的中期过程分析 II: 西太平洋副热带高压的特征 [J]. *气候与环境研究*, 13 (4): 434–445. Shi Ning, Bueh Cholaw, Ji Liren, et al. 2008. On the medium-range process of the rainy, snowy and cold weather of South China in early 2008 Part II: Characteristics of the western Pacific subtropical high [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 2008, 13 (4): 434–445.
- 孙建华, 赵思雄. 2008. 2008 年初南方雨雪冰冻灾害天气静止锋与层结构分析 [J]. *气候与环境研究*, 13 (4): 368–384. Sun Jianhua, Zhao Sixiong. 2008. Quasi-stationary front and stratification structure of the freezing rain and snow storm over southern China in January 2008 [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 13 (4): 368–384.
- 孙建奇. 2009. 2007 年 3 月中国东部北方地区一次强灾害性暴风雪事件的成因初探 [J]. *气象学报*, 67 (3): 469–477. Sun Jianqi. 2009. A preliminary investigation on causes of the catastrophic snowstorm in March, 2007 in the northeastern parts of China [J]. *Acta Meteorological Sinica (in Chinese)*, 67 (3): 469–477.
- 王东海, 柳崇建, 刘英, 等. 2008. 2008 年 1 月中国南方低温雨雪

- 冰冻天气特征及其天气动力学成因的初步分析 [J]. 气象学报, 66 (3): 405-422. Wang Donghai, Liu Chongjian, Liu Ying, et al. 2008. A preliminary analysis of features and causes of the snow storm event over the southern China in January 2008 [J]. Acta Meteorological Sinica (in Chinese), 66 (3): 405-422.
- 王凌, 高歌, 张强, 等. 2008. 2008 年 1 月我国大范围低温雨雪冰冻灾害分析 [J]. 气象, 34 (4): 95-100. Wang Ling, Gao Ge, Zhang Qiang. 2008. Analysis of the severe cold surge, ice-snow and frozen disasters in South China during January 2008: I. Climatic features and its impact [J]. Meteorology (in Chinese), 34 (4): 95-100.
- 王文辉, 徐祥德. 1979. 锡盟大雪和 77.10 暴雪分析 [J]. 气象学报, 37 (3): 80-86. Wang Wenhui, Xu Xiangde. 1979. The heavy snow process in district Xilingele and the analysis of "77.10" snowstorm [J]. Acta Meteorological Sinica (in Chinese), 37 (3): 80-86.
- 王亚非, 李琰, 李萍云等. 2008. 2008 年初中国南方雪灾大尺度环流背景分析 [J]. 气象学报, 66 (5): 826-835. Wang Yafei, Li Yan, Li Pingyun, et al. 2008. The large scale circulation of the snow disaster in south China in the beginning of 2008 [J]. Acta Meteorological Sinica (in Chinese), 66 (5): 826-835.
- 王遵娅, 丁一汇. 2006. 近 53 年中国寒潮的变化特征及其可能成因 [J]. 大气科学, 30 (6): 1068-1076. Wang Zunya, Ding Yihui. 2006. Climate change of the cold wave frequency of China in the last 53 years and the possible reasons [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 30 (6): 1068-1076.
- 王遵娅, 张强, 陈峪, 等. 2008. 2008 年 1 月我国低温雨雪冰冻灾害的气候特征 [J]. 气候变化研究进展, 4 (2): 63-67. Wang Zunya, Zhang Qiang, Che Yu, et al. 2008. Characters of meteorological disasters caused by the extreme synoptic process in early 2008 over China [J]. Advances in Climate Change Research (in Chinese), 4 (2): 63-67.
- 卫捷, 陶诗言. 2008. 2008 年 1 月南方冰雪过程的可预报性问题 [J]. 气候与环境研究, 13 (4): 520-530. Wei Jie, Tao Shiyan. 2008. Predictability of snow storm and freezing rain disaster in southern China in January 2008 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 13 (4): 520-530.
- 杨贵名, 孔期, 毛春艳, 等. 2008. 2008 年初“低温雨雪冰冻”灾害天气的持续性原因分析 [J]. 气象学报, 66 (5): 837-850. Yang Guiming, Kong Qi, Mao Chunyan, et al. 2008. Analysis of the long-lasting cryogenic freezing rain and snow weather in the beginning of 2008 [J]. Acta Meteorological Sinica (in Chinese), 66 (5): 837-850.
- 翟盘茂, 潘晓华. 2003. 中国北方近 50 年气温和降水极端事件变化 [J]. 地理学报, 58 (增刊): 1-10. Zhai Panmao, Pan Xiaohua. 2003. Change in extreme temperature and precipitation over northern China during the second half of the 20th century [J]. Acta Geographica Sinica (in Chinese), 2003, 58 (Suppl.): 1-10.
- 翟盘茂, 任福民. 1997. 中国近四十年最高最低温度变化 [J]. 气象学报, 55 (4): 418-429. Zhai Panmao, Ren Fumin. 1997. On changes of China's maximum and minimum temperatures in the recent 40 years [J]. Acta Meteorological Sinica (in Chinese), 55 (4): 418-429.
- 翟盘茂, 王萃萃, 李威. 2007. 极端降水事件变化的观测研究 [J]. 气候变化研究进展, 3 (3): 144-148. Zhai Panmao, Wang Cuicui, Li Wei. 2007. A review on study of change in precipitation extremes [J]. Advances in Climate Change Research (in Chinese), 3 (3): 144-148.
- 张爱英, 高霞, 任国玉. 2008. 华北中部近 45 年极端降水事件变化特征 [J]. 干旱气象, 26 (4): 46-50. Zhang Aiyang, Gao Xia, Ren Guoyu. 2008. Characteristic of extreme precipitation events change in central North China in recent 45 years [J]. Arid Meteorology (in Chinese), 26 (4): 46-50.
- 张庆云, 卫捷, 陶诗言. 2003. 近 50 年华北干旱的年代际和年际变化及大气环流特征 [J]. 气候与环境研究, 8 (3): 307-318. Zhang Qingyun, Wei Jie, Tao Shiyan. 2003. The decadal and interannual variations of drought in the northern China and association with the circulations [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 8 (3): 307-318.
- 赵思雄, 孙建华. 2008. 2008 年初南方雨雪冰冻天气的环流场与多尺度特征 [J]. 气候与环境研究, 13 (4): 351-367. Zhao Sixiong, Sun Jianhua. 2008. Multi-scale systems and conceptual model on freezing rain and snow storm over southern China during January-February 2008 [J]. Climatic and environmental Research (in Chinese), 13 (4): 351-367.