

闵晶晶,曹晓钟,段宇辉,等. 近 30 年京津冀地区冰雹的气候特征和突变分析[J]. 气象,2012,38(2):189-196.

近 30 年京津冀地区冰雹的气候特征和突变分析^{* 1}

闵晶晶¹ 曹晓钟² 段宇辉³ 刘还珠⁴ 王式功¹

1 兰州大学大气科学学院半干旱气候变化教育部重点实验室,兰州 730000

2 中国气象局气象探测中心,北京 100081

3 河北省气象台,石家庄 050021

4 国家气象中心,北京 100081

提 要: 基于 1979—2008 年京津冀地区 175 个气象站的冰雹观测资料,应用气候趋势系数、倾向率、集中度和集中期,以及连续功率谱等方法,分析了京津冀地区及 4 个划分关键区冰雹发生的多时间尺度变化特征和变化趋势,并运用蒙特卡罗方法检验了气候趋势系数的显著性。结果表明:近 30 年该地区的冰雹有明显减少趋势,北部地区比南部地区减少幅度要大,山地区域比平原地区减少幅度大;基本上都存在 2.0~2.5 年的变化周期,该地区冰雹的发生具有准两年周期振荡的特征;南部平原冰雹发生的集中度最大,该区冰雹在年内发生时间最为集中;南部平原集中期较早,出现在 6 月初,其他几个关键区冰雹主要发生在 6 月底到 7 月初。应用气候要素累计距平曲线、Yamamoto 方法进行了气候突变分析,结果表明京津冀地区冰雹在 1993 年发生了减少的突变,山地区域尤为显著。

关键词: 气候特征, 突变分析, 气候趋势系数, 倾向率, 集中度, 集中期

Analysis on the Climate Characteristics of Hail and Its Break in Beijing, Tianjin and Hebei During Recent 30 Years

MIN Jingjing¹ CAO Xiaozhong² DUAN Yuhui³ LIU Huanzhu⁴ WANG Shigong¹

1 Key Laboratory for Semi-Arid Climate Change of Ministry of Education, College of Atmospheric Sciences,
Lanzhou University, Lanzhou 730000

2 Meteorological Observation Centre of CMA, Beijing 100081

3 Hebei Provincial Meteorological Observatory, Shijiazhuang 050021

4 National Meteorological Centre, Beijing 100081

Abstract: Based on the daily hail data at 175 stations in Beijing, Tianjin and Hebei Province (BTH for short hereinafter) during 1979 to 2008, using climate trend coefficient, trend rate, concentration degree (CD), concentration period (CP), and continuous power spectrum, the multiple time-scale variation characteristics and trend variation of hail in BTH area are analyzed. It focuses on the four different key regions. Meanwhile, the significance of trend coefficient is tested by Monte Carlo scheme. The results show that the hail during last 30 years has increased obviously, the negative trend of hail is that reduction is larger in the northern areas than the southern areas, and larger in the mountain regions than the plain regions; there are 2.0—2.5 year periodic oscillations for interannual variations in all key regions, the inter-annual change of the occurring frequency of hail is characteristic of quasi-biennial oscillation (QBO); The hail-concentration degree (HCD) in the southern area was the biggest, indicating that the time when hail occurred in this key region was relatively concentrated; The hail-concentration period (HCP) in all regions

* 中国气象局多轨道业务建设项目“精细化解释应用方法改进与系统建设”及国家科技支撑项目(2007BAC29B03 和 2009BAC53B02)共同资助

2011 年 1 月 25 日收稿; 2011 年 8 月 3 日收修定稿

第一作者: 闵晶晶,从事数值产品释用和强对流天气短时临近预报研究. Email:minjj06@163.com

except southern area being in pentad 31 (about early June), was pentads 36—37, indicating that hail mainly occurred from late June to early July. Analysis on abrupt climate change using accumulated anomaly method and Yamamoto method shows that an abrupt decreasing occurred in 1993, especially in mountain regions.

Key words: climatic characteristics, abrupt change analysis, climate trend coefficient, trend rate, concentration degree, concentration period

引 言

冰雹是在强对流云中生成的固态降水物,由强对流系统引发的剧烈天气现象,通常发生在暖背景下^[1-2],具有局地性强、突发性和阵发性的特点,给人民生命财产造成了巨大损失。近年来,针对各地区冰雹时空分布特征的研究逐渐增多,而进一步研究冰雹的气候态特征有助于更好地了解该地区冰雹活动规律和宏观特征,为短时临近预报提供大的预报背景,更好地开展冰雹的预测、预警工作。

政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)第四次评估报告^[3]指出,近几十年来,由于气候发生变化,一些极端天气事件显著增多,如高温热浪和局地强暴雨,但也有一些事件的变化趋势不是很清楚,其中就包含冰雹,这是因为它的发生具有很强的局地性。Etkin等^[4]基于1977—1993年的资料研究发现加拿大绝大部分地区雹日没有明显的变化趋势;Changnon等^[2]利用1896—1995年的资料发现,在美国高原地区、落基山中部及美国东南部,雹日数有显著的增加趋势,但在其他地区,雹日数则呈现出下降趋势。这些研究表明不同地区冰雹的发生会存在不同的变化趋势。

国内针对一些极端灾害天气的发生做了大量研究,证实了这些特殊天气在近几十年来都有较大的变化趋势,比如:高温天气^[5-6]、极端强降水^[7-8]、暴雪^[9]等。对冰雹的分布特征以及变化规律也开展了许多相关工作,徐桂玉等^[10]基于我国南方61个气象观测站1956—1995年月冰雹日数资料,应用三维EOF和小波统计分析方法揭示了我国南方冰雹的主要空间分布类型及季节、年际和年代际变化规律。张芳华等^[11]基于1971—2000年中国614个台站的冰雹观测资料,分析了冰雹日数的分布特征及时间变化规律。杨贵名等^[12]应用1991—2000年华北地区基本站资料,统计了华北地区降雹的时空分布特征。刘德祥等^[13]研究近41年来西北地区冰雹的气

候特征发现,北疆、南疆和秦岭南部年冰雹日数总体呈多雹—少雹—多雹趋势;柴达木盆地和青藏高原东北侧总体呈少雹—多雹—少雹趋势;天山、青藏高原东南部、河套南部总体呈减少趋势。

虽然针对冰雹发生分布特征的研究很多,但对于京津冀地区冰雹多年分布和变化趋势的研究较少,同时,上述研究主要是分析了冰雹天气的时空分布特征,对冰雹气候态特征分析较为简单。本文采用趋势系数、集中度和集中期、周期和突变分析等方法,对北京、天津、河北3个地区(以下统称为京津冀地区)175个气象站1979—2008年近30年的冰雹日资料进行了分析,同时针对不同地形而划分的气候关键区也做了相应的研究,有助于更好地了解该地区冰雹天气发生的历史演变规律,对进一步了解该地区冰雹的气候特征提供参考依据。

1 资料、方法和关键区划分

1.1 资料和方法

选用京津冀地区(以下称为:全区域)175个气象观测站1979—2008年冰雹日资料,所用资料已经过质量控制,具有较好的代表性。其中,规定在某日(00—00北京时),某个测站出现一次冰雹天气,记为一个冰雹站次。为了详细分析该地区不同地形上冰雹的变化趋势和特征,本文把研究区域划分为4个关键区,分别为:西部山区、东北山区、北部平原、南部平原,其中西部山区再细分为西北山区、太行山区。由于所选的4个关键区所包含的站点总数不一样,为了更好地比较它们之间的差异,下文主要分析各区域的冰雹平均站次数(关键区冰雹发生的总站次数/本区域涵盖的站点总数)的变化规律。

目前,研究主要侧重于不同地区冰雹的时空分布,很少有人分析其年内的非均匀分配特征,而研究这种特征是分析冰雹发生时间集中程度演变规律的关键。张录军等^[14-15]把候降水量看作矢量提出一种

度量降水年内非均匀分配的方法,很好地反映了年总降水量年内非均匀分配特性。为此,本文拟在文献[14-15]原理基础上,提出一种冰雹年内的非均匀分配特征的方法,并利用该方法探讨京津冀近 30 年来冰雹年内发生时间的集中程度及变化规律。

冰雹集中度(HCD)和集中期(HCP)定义为:

$$HCD_i = \sqrt{R_{xi}^2 + R_{yi}^2} / R_i \quad (1)$$

$$HCP_i = \arctan(R_{xi} / R_{yi}) \quad (2)$$

$$R_{xi} = \sum_{j=1}^N r_{ij} \sin\theta_j \quad (3)$$

$$R_{yi} = \sum_{j=1}^N r_{ij} \cos\theta_j \quad (4)$$

式中 HCD_i 和 HCP_i 分别为研究时段(第 i 年)内冰雹集中度和集中期, R_i 为某测站第 i 年冰雹的总平均站次数。 r_{ij} 为第 i 年第 j 候冰雹的总平均站次数, θ_j 为研究时段内第 j 候所对应的方位角(整个研究时段的方位角设为 360°), i 为年份(1979, 1980, 1981, ..., 2008), j 为研究时段内的候序($j=1, 2, 3, \dots, 72$)。

根据式(1)的计算公式可以看出:在研究时段内, HCD 能够表示出各候的集中程度,如果冰雹发生的时间集中在某一候内,则它们合成向量的模与冰雹的平均站次数之比等于 1,表示 HCD 为极大值;如果每个候冰雹的平均站次数都相等,各个分量累加后为 0,则 HCD 等于极小值。同时,根据式(2)的计算公式可以看出: HCP 就是各个合成向量的方位角,表示了各候冰雹的平均站次数合成后的总体效应。

采用气候趋势系数和倾向率^[16-17]分析了冰雹发生时间的长期变化趋势。气候趋势系数一般可以用来表示在气候变化中升降的定量程度,它是一个无量纲的量,消除了气象要素的均方差对线性回归系数大小的影响,从而可以在不同地理位置或者不同气象要素之间进行长期趋势变化大小的比较。并应用蒙特卡罗模拟方法^[18-19]来检验气候趋势系数是否有意义。

应用连续功率谱方法^[20]分析了该地区冰雹发生的变化周期,并结合累计距平曲线^[21]和 Yamamoto 方法^[20-21]进行冰雹天气的气候突变分析。

1.2 关键区分

京津冀地区处于中纬度沿海与内陆交接地带,地势西北高、东南低,从西北向东南呈半环状逐级下降。山地、丘陵、盆地、平原类型齐全,从西北向东南

依次为内蒙古高原南缘、燕山和太行山地、河北平原三大地貌单元。

从近 30 年京津冀地区冰雹年均日数的空间分

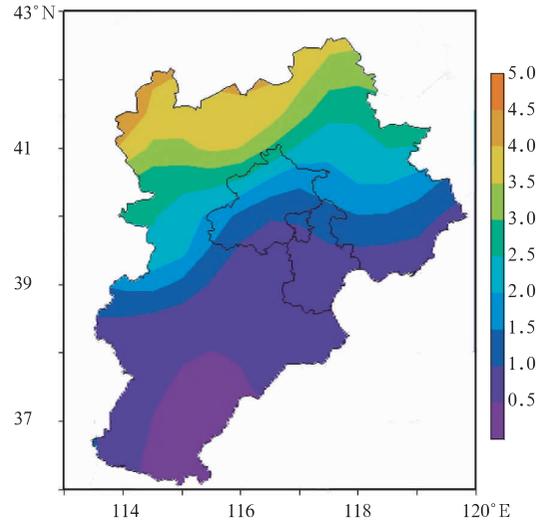


图 1 1979—2008 年京津冀地区冰雹年均日数的空间分布(单位:天)

Fig. 1 Spatial distribution of annual mean hail day numbers in Beijing, Tianjin and Hebei Province from 1979 to 2008 (unit: d)

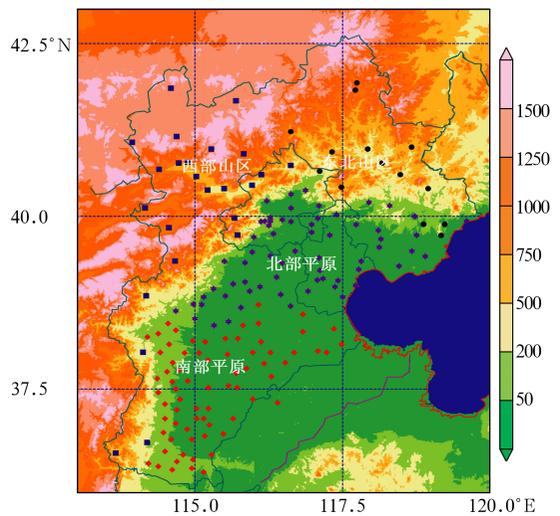


图 2 京津冀地区 4 个关键区的站点分布图

(■、●、★、◆分别表示西部山区、东北山区、北部平原、南部平原;色标表示海拔高度)

Fig. 2 Schematic diagram of 4 key areas of Beijing, Tianjin and Hebei Province
(■ section for the western mountains, ● section for the northeast mountains, ★ section for the northern plains, ◆ section for the southern plains; Colour code section for altitude)

布(图 1)可看出,冰雹的发生次数由西北向东南逐渐减少,结合京津冀地区的冰雹空间分布和地势分布(图 2)可以看出,冰雹的发生与地理位置有很大的关系,海拔越高,冰雹发生的可能性越大。为了更好地分析京津冀地区近 30 年冰雹的气候特征和突

变,本文不仅分析了京津冀整个区域冰雹发生的气候特征,而且依据该地区冰雹的空间分布和地形分布,划分了 4 个不同的关键区(图 2,表 1)进行对比分析,研究不同地形上近 30 年冰雹发生的气候特征是否存在差异。

表 1 关键区及涵盖区域

Table 1 The key areas and their coverage areas

关键区	西部山区		东北山区	北部平原	南部平原
	西北山区	太行山区			
涵盖区域	张家口市 北京市西部	保定市西部 石家庄市西部 邢台市西部 邯郸市西部	承德市 秦皇岛市	唐山市 北京市中东部 天津市 廊坊市 保定市东部	沧州市 衡水市 石家庄市东部 邢台市东部 邯郸市东部
涵盖站点数	19	5	14	65	72

2 冰雹的长期变化趋势

图 3 为不同区域冰雹平均站次数的时间序列演变图,可以看出,全区域和 4 个关键区均呈明显的波状减少趋势。为了详细地说明这种趋势,下文分别计算了各区域不同时间尺度的气候趋势系数和倾向率进行分析。

根据蒙特卡罗模拟方法可以得到通过信度 $\alpha = 0.1, \alpha = 0.05, \alpha = 0.01$ 显著性检验所对应的相关系数临界值,依次为:0.3058、0.3653、0.4543。规定当气候趋势系数绝对值大于上述临界值时,分别认为气候趋势系数较显著、显著、很显著。其中,在蒙特卡罗模拟实验中,随机试验确定为 1000 次。

近 30 年来,全区域、西部山区、东北山区、北部平原和南部平原冰雹平均站次数与年份的相关系数,即气候趋势系数分别为 $-0.6392, -0.6913, -0.5506, -0.5509, -0.5777$,均通过 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验(表 2)。可以看出,整个区域冰雹减少

的趋势较为明显,而 4 个关键区中西部山区冰雹减少的趋势最显著。而气候倾向率分别为 $-0.3730 \cdot (10a)^{-1}, -0.9666 \cdot (10a)^{-1}, -0.8186 \cdot (10a)^{-1}, -0.3221 \cdot (10a)^{-1}, -0.2137 \cdot (10a)^{-1}$,表明全区域和各关键区冰雹都是呈减少趋势,其中西部山区和东北山区减少的幅度尤其显著,而平原区域减少的幅度相对较小。上述分析表明京津冀地区近 30 年冰雹的发生存在较明显的减少趋势,其中,北部地

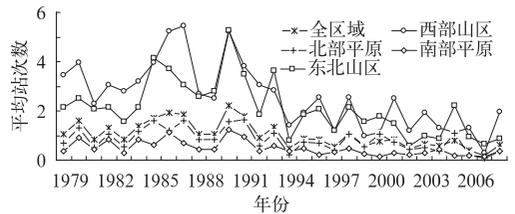


图 3 1979—2008 年不同区域冰雹平均站次数的逐年变化

Fig. 3 The interannual variation of the average station number of hail in different regions from 1979 to 2008

表 2 不同区域冰雹平均站次数的气候趋势系数(CTC)和气候倾向率(CTR)[单位: $(10a)^{-1}$]Table 2 Climate trend coefficients and trend rates of the average station number of hail in different regions [unit: $(10a)^{-1}$]

	1979—2008		1979—1988		1989—1998		1999—2008	
	CTC	CTR	CTC	CTR	CTC	CTR	CTC	CTR
全区域	-0.6392**	-0.3730	0.4112*	0.5531	-0.5758**	-1.0306	-0.4372*	-0.2913
西部山区	-0.6913**	-0.9666	0.3765*	1.4370	-0.6099**	-2.2409	-0.1235	-0.8850
东北山区	-0.5506**	-0.8186	0.5167**	1.0920	-0.6118**	-2.5258	-0.4224*	-0.7841
北部平原	-0.5509**	-0.3221	0.4203*	0.5391	-0.4424*	-0.8786	-0.5072**	-0.4831
南部平原	-0.5777**	-0.2137	0.1552	0.3746	-0.5608**	-0.5980	0.0898	-0.1393

* 通过 $\alpha = 0.05$ 的显著性水平检验, ** 通过 $\alpha = 0.01$ 的显著性水平检验

* is $\alpha = 0.05$ significance level of test, ** is $\alpha = 0.01$ significance level of test

区比南部地区减少的幅度要大,山脉附近比平原地区减少幅度大。

同时,根据 10 年的年际变化趋势结果看出(表 2),1979—1988 年冰雹的发生主要是呈上升趋势,而 1989—1998、1999—2008 年这两个时期均呈减少趋势,其中 1989—1998 年是冰雹发生次数减小幅度最大的时间段,山区尤其明显。这表明京津冀地区冰雹发生次数在近 30 年虽然整体上时呈减少趋势,但实际上是从 20 世纪 90 年代以后才开始真正减少,之前近 10 年还是呈增加趋势。赵红岩等^[22]在研究西北冰雹变化时也发现,20 世纪 90 年代冰雹日数比以前明显减少。陈洪武等^[23]在分析新疆冰雹天气的气候特征时也得到,新疆的降雹高峰期多在 20 世纪 60 和 70 年代,90 年代以来有减少的趋势。

3 冰雹的周期分析

京津冀地区近 30 年冰雹发生的平均站次数随时间的演变趋势是呈波状变化(图 3),可以看出这种变化存在一定的规律。为了进一步论证京津冀地区 1979—2008 年近 30 年来冰雹的发生是否真的存在变化周期,本文对全区域以及 4 个关键区冰雹年平均站次数序列进行了连续功率谱估计,其中取最大落后长度 $M=9$ 。同时根据计算结果可知这些序列的滞后相关系数 $r(1)$ 都为较大的正值,基本都接近 1,表明序列具有持续性,所以采用 $\alpha=0.05$ 的红噪声标准谱进行检验。

根据全区域冰雹年平均站次数功率谱图(图 4),可以看出其对应周期为 4.5 和 2.57 a 的主峰值,其中次峰值 2.57 a 通过了 $\alpha=0.05$ 的红噪声检验。

依次分析了 4 个关键区的功率谱(图略),可以得到每个区域通过 $\alpha=0.05$ 红噪声检验的主周期

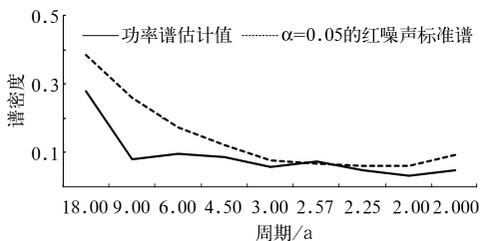


图 4 全区域冰雹平均站次数的功率谱
Fig. 4 Power spectrum test of the average station number of hail in the whole region

表 3 不同区域冰雹的主周期(单位:年)

Table 3 Main period of hail in different regions (unit: a)

	全区域	西部山区	东北山区	北部平原	南部平原
主周期	2.57	2.57	2.57	2.57	2.25
				2.25	2.00

(表 3)。对比分析可以看出,全区域、西部山区、东北山区均存在 2.5 a 的主周期,而北部平原和南部平原都存在两个显著周期,周期大约为 2.0~2.5 a。

准两年周期振荡(QBO)是大气环流和气候年际尺度变化的一种非常显著而很重要的特征,而且许多观测事实证明,在对流层大气环流以及地面气象要素的变化中普遍存在 QBO 现象,所以人们通常把季风环流、降水、海温等具有 2~3 a 周期的年际变化称之为对流层准两年振荡(TBO)^[24]。本文根据功率谱方法得出的主周期均 2.0~3.0 a 之间,表明该地区冰雹发生次数的年际变化也表现出 TBO 特征。

4 冰雹的集中度和集中期分析

图 5 给出了 1979—2008 年京津冀全区域、西部山区、东北山区、北部平原和南部平原 HCD 和 HCP 的年际变化曲线(折线)及多年平均曲线(粗实线)。

HCD 主要是反映了每个候冰雹的平均站次数是否相等,HCD 越小表明每个候所发生的站次数越接近,即冰雹在年内的发生时间越均匀,相反,HCD 越大表明每个候所发生的站次数差异越显著,即冰雹在年内的发生时间越集中。

结合 30 年的平均 HCD(图 5a,粗实线)及 HCD 的气候趋势系数和倾向率分析结果(表 4),可以很明确得知,全区域及各关键区的集中度呈增大趋势,京津冀地区近 30 年整体上冰雹的发生在年内不均匀分配的特性逐渐显著,但是这种年际变化不是很明显。其中,南部平原的平均 HCD 虽然最大,为 0.38,但气候趋势系数没有通过显著性检验,HCD 增大趋势不是很明显;东北山区和北部平原次之,均为 0.3,分别通过 $\alpha=0.1$ 和 $\alpha=0.05$ 显著性检验;西部山区为 0.21,通过 $\alpha=0.05$ 显著性检验。表明除南部平原外,其他 3 个关键区的 HCD 都有较为明显的增大趋势,即这些区域近 30 年冰雹在年内的发生时间不均匀分布特性越来越明显。

HCD 近 30 年的时间演变图(图 5a,折线)显

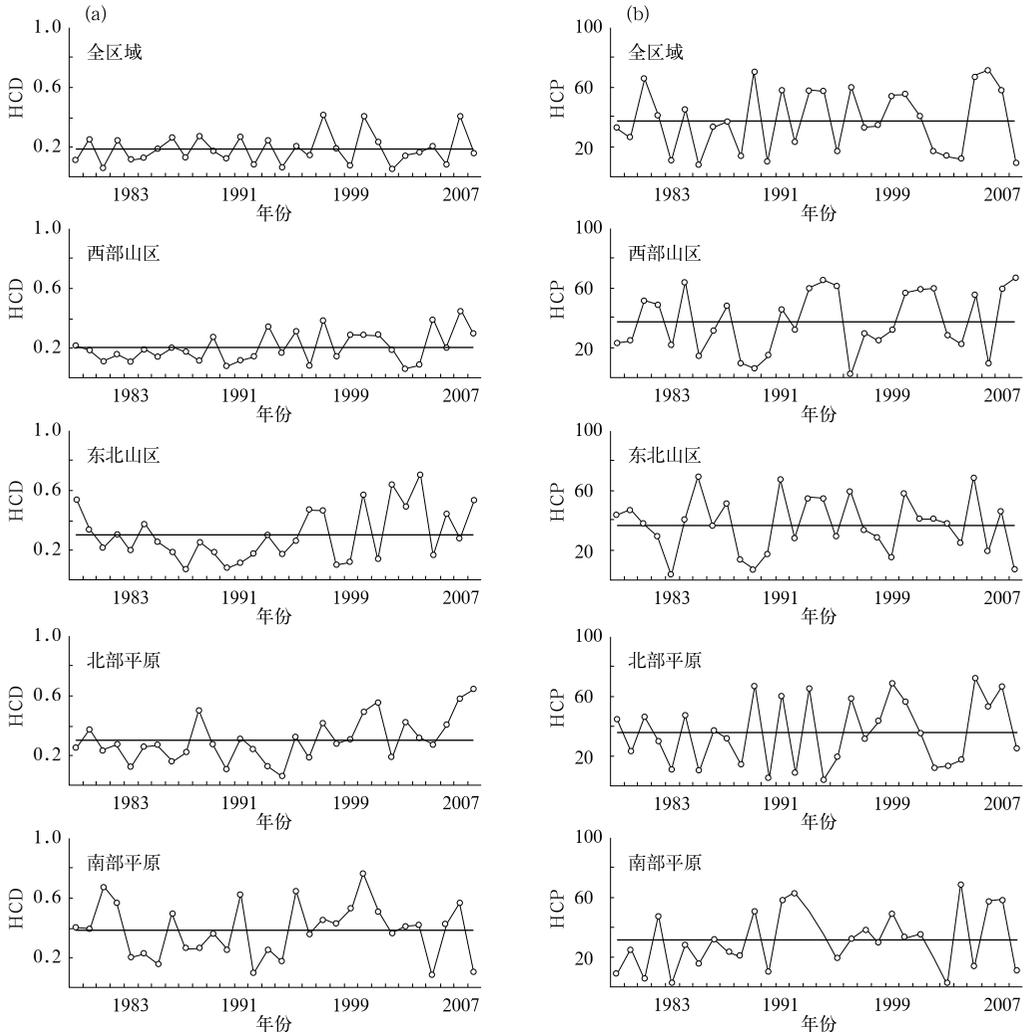


图 5 1979—2008 年全区域、西部山区、东北山区、北部平原和南部平原 HCD(a) 和 HCP(b) 的年际变化

Fig. 5 The interannual variations of the HCD (a, left panel) and HCP (b, right panel) in the whole region, western mountains, northeast mountains, northern plains, and southern plains from 1979 to 2008

示,南部平原 HCD 逐年变化幅度较大,该区冰雹在年内发生时间的年际差异显著。而其他 3 个关键区在 1990 年之前 HCD 变化较为平缓,随后都有增大的趋势,即这些关键区冰雹在年内发生时间开始变得更为集中。

综上所述,南部平原冰雹在年内发生时间整体上最为集中,且年际差异较大,没有明显趋势变化;东北山区和北部平原相对较为集中,西部山区冰雹的发生较为均匀,但这几个区域近 30 年 HCD 的变化趋势很明显,趋势系数均通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性水平检验。对比这 4 个关键区的分析结果,可以看出京津冀地区冰雹在年内发生时间段由西北到东南越来越集中。

HCP 近 30 年的平均 HCP(图 5b,粗实线)可看出,全区域所得平均 HCP 最大,为 37.7,表明京津冀地区冰雹发生的平均时间一般出现在 7 月中旬;其中,南部平原平均 HCP 最小,为 31.0,即该地区冰雹年内集中发生的时间最早,一般出现在 6 月初;北部平原次之,为 35.7,冰雹集中发生的时间为 6 月底;而西部山区和东北山区较为接近,大约为 37,冰雹集中发生的时间分布在 7 月初。这表明该地区冰雹发生时间与纬度、海拔高度等都有一定的关系。

HCP 近 30 年的时间演变(图 5b,折线)以及 HCP 的气候趋势系数和倾向率分析结果(表 4)可以看出,西部山区和东北山区 HCP 的变化趋势较为一致,而北部平原和南部平原 HCP 的变化曲线较

表 4 不同区域冰雹集中度和集中期的趋势系数和倾向率

Table 4 Climate trend coefficients and trend rates of HCD and HCP in different regions

区域	集中度		集中期		平均值/候
	趋势系数	倾向率/(10 a) ⁻¹	趋势系数	倾向率/(10 a) ⁻¹	
全区域	0.1357	0.0155	0.1035	2.4650	37.7
西部山区	0.4002**	0.0159	0.2242	2.4286	37.4
东北山区	0.3128*	0.0273	-0.0330	2.1810	37.0
北部平原	0.4918**	0.0222	0.1872	2.5633	35.7
南部平原	0.0185	0.0277	0.2658	2.2950	31.0

* 通过 $\alpha=0.1$ 的显著性水平检验, ** 通过 $\alpha=0.05$ 的显著性水平检验
 * is $\alpha=0.1$ significance level of test, ** is $\alpha=0.05$ significance level of test

为一致。同时,这 4 个关键区除了东北山区外,其他 3 个关键区的 HCP 都具有一定程度的增长趋势,即冰雹在年内集中发生的时间有往后推迟的趋势。

5 冰雹的气候突变分析

突变分析可以反映气候变化过程中气象要素存在某种不连续现象,可采用气象要素累积距平方法来表示。通过对气象要素的累积距平曲线的演变,来判断突变的阶段性。若在某年份的累积距平值中,绝对值达到最大值,其对应的年份可能是突变年份。

为了检验转折是否达到气候突变的标准,可以用 Yamamoto 方法来检验突变分析结果。Yamamoto 方法是通过计算信噪比 S/N 判断 2 个相邻子序列的均值是否存在差异来检验突变。

信噪比 S/N 定义为: $S/N = \frac{|\bar{X}_1 - \bar{X}_2|}{\sigma_1 + \sigma_2}$, 其中, \bar{X}_a , \bar{X}_b 和 σ_1 , σ_2 分别为转折年份前后两个阶段要素的平均值和标准差。规定 $S/N > 1.0$ 时,可认为该要素在这个年份存在气候突变,否则不突出。

从京津冀不同区域累积距平曲线图(图 6)可以看出,全区域及各关键区累积距平的绝对最大值均出现在 1993 年,可以判断 1993 年是京津冀地区冰雹发生次数出现转折的年份。同时可以明显看出,全区域和 4 个关键区在 20 世纪 90 年代之前冰雹基本都是呈增加的趋势,而从 20 世纪 90 年代开始出现转折,冰雹由多发期转为少发期。再次证实了上文得到的该地区冰雹发生的趋势变化,即 1979—1988 年冰雹的发生主要是呈增加趋势,1989—1998、1999—2008 年这两个时期基本都是呈减少趋势。

根据累积距平方法得到了该地区冰雹的发生次数在近 30 年存在由多发到少发的转折,但并不能完全说明这个转折点就是突变。为了检验上述转折是



图 6 京津冀不同区域冰雹发生的累积距平曲线图

Fig. 6 Diagram of cumulative anomaly of the hail in the different regions

否达到气候突变的标准,本文采用 Yamamoto 方法来检验突变分析结果。

本文取转折年前后 10 年来计算信噪比,表 5 列出了全区域和 4 个关键区在 S/N 最大时的转折年和信噪比结果,计算结果和累积距平法一样,转折点均在 1993 年。其中,除了北部平原的信噪比 S/N 略小于 1.0 外,其他区域计算得到的信噪比 $S/N > 1.0$,表明这些区域都存在突变。虽然上述规定 $S/N > 1.0$ 时,才认为该要素在这个年份存在气候突变。但是一般要达到这个标准非常难,有些研究者有时会降低这个标准,而本文北部平原计算得到的信噪比非常接近 1.0,表明该区域在 1993 年也极有可能发生了突变。

比较累积距平法和 Yamamoto 方法得到的结果可以很明显的证实,全区域和西部山区、北部山区、南部平原近 30 年来冰雹的发生在 1993 年出现

表 5 Yamamoto 方法对不同区域气候突变的检测
 Table 5 Analysis on abrupt climate change using Yamamoto method in different regions

	全区域	西部山区	东北山区	北部平原	南部平原
转折年	1993**	1993**	1993**	1993*	1993**
S/N	1.33	1.23	1.24	0.92	1.08

** 表示为突变年, * 表示极有可能为突变年
 ** is the year of abrupt change, * is the year of probable abrupt change

了由多到少的突变,而北部平原在这一年发生突变的可能性也非常大。

6 小 结

通过分析近 30 年京津冀地区 175 个站点冰雹日资料,得出以下结论:

(1) 京津冀地区及划分的 4 个关键区在近 30 年来冰雹的发生有明显减少的趋势,北部地区比南部地区减少的幅度要大,山地区域比平原地区减少幅度大。1979—1988 年冰雹的发生主要是呈上升趋势,1989—1998、1999—2008 年这两个时期基本都是呈减少趋势,其中 1989—1998 年这 10 年是冰雹发生次数减小幅度最大的时间段,山地区域尤其明显。

(2) 近 30 年来京津冀地区冰雹的发生存在一个 2.5 a 的变化周期。其中西部山区、东北山区均存在一个 2.5 a 的主周期,而北部平原和南部平原都存在两个显著周期,大约为 2.0~2.5 a。表明该地区冰雹的发生频率具有准两年周期振荡的特征。

(3) 南部平原冰雹在年内发生时间整体上最为集中,且年际差异显著,变化趋势不明显;东北山区和北部平原相对较为集中,西部山区冰雹的发生比较零散,但这几个区域近 30 年 HCD 的变化趋势很明显。京津冀地区冰雹在年内发生时间段由西北到东南越来越集中。

(4) 京津冀地区冰雹平均发生时间集中在第 37.7 候,即 7 月中旬;其中,除南部平原集中期较早外,为第 31 候大约在 6 月初,其他 3 个关键区基本发生在第 36~37 候,即 6 月底到 7 月初。同时,除了东北山区外,其他 3 个关键区的 HCP 都具有一定程度的增长趋势,即冰雹在年内集中发生的时间存在延后的趋势。

(5) 累积距平法和 Yamamoto 法分析结果表明,全区域和西部山区、东北山区、南部平原近 30 年来冰雹的发生在 1993 年出现了由多到少的突变,而北部平原在这一年发生突变的可能性也非常大。

致谢:感谢中国气象局国家气象中心郑永光研究员对本文提出了宝贵的修改意见。

参考文献

- [1] Knight C A, Knight N C. Hailstones[J]. Scientific American, 1971, 224(4): 40-47.
- [2] Changnon S A, Changnon D. Long-term fluctuations in hail incidences in the United States [J]. J Climate, 2000, 13(3): 658-664.
- [3] IPCC. Climate change 2007[M]. // The physical basis climate, The Report of IPCC. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [4] Etkin D, Brun S E. A note on Canada's hail climatology: 1977-1993[J]. Int J Climatol, 1999, 19(12): 1357-1373.
- [5] 郝立生, 张婧, 姚学祥. 河北省极值气温变化特征[J]. 气象, 2010, 36(8): 26-31.
- [6] 史印山, 谷永利, 林艳. 京津冀高温天气的时空分布和环流特征分析[J]. 气象, 2009, 35(6): 63-69.
- [7] 罗伯良, 张超, 林浩. 近 40 年湖南省极端强降水气候变化趋势和突变特征[J]. 气象, 2008, 34(1): 80-85.
- [8] 高霞, 王宏, 于成文, 等. 近 45 年来河北省极端强降水时间的变化研究[J]. 气象, 2009, 35(7): 10-15.
- [9] 董啸, 周顺武, 胡中明, 等. 近 50 年来东北地区暴雪时空分布特征[J]. 气象, 2010, 36(12): 74-79.
- [10] 徐桂玉, 杨修群. 中国南方冰雹气候特征的三维 EOF 分析[J]. 热带气象学报, 2002, 18(4): 383-392.
- [11] 张芳华, 高辉. 中国冰雹日数的时空分布特征[J]. 南京气象学院学报, 2008, 31(5): 687-693.
- [12] 杨贵名, 马学款, 宗志平. 华北地区降雹时空分布特征[J]. 气象, 2003, 29(8): 31-34.
- [13] 刘德祥, 白虎志, 董安祥. 中国西北地区冰雹的气候特征以及异常研究[J]. 高原气象, 2004, 23(6): 795-803.
- [14] Zhang Lujun, Qian Yongfu. Annual distribution features of the yearly precipitation in China and their interannual variations[J]. Acta Moteologica Sinica, 2003, 17(2): 146-163.
- [15] 张录军, 钱永甫. 长江流域汛期降水集中中期程度和洪涝关系研究[J]. 地球物理学报, 2004, 47(4): 622-630.
- [16] 施能, 陈家其, 屠其璞. 中国近 100 年四个年代际的气候变化特征[J]. 气象学报, 1995, 53(4): 531-539.
- [17] 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.
- [18] 施能, 马丽, 袁晓玉, 等. 近 50a 浙江省气候变化特征分析[J]. 南京气象学院学报, 2001, 24(2): 207-213.
- [19] Livezey R E, Chen W Y. Statistical field significance and its determination by Monte Carlo techniques[J]. Mon Wea Rev, 1983, 111(1): 46-59.
- [20] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 2009: 61-63, 71-76.
- [21] 黄嘉佑. 气候状态变化趋势与突变分析[J]. 气象, 1995, 21(7): 51-58.
- [22] 赵红岩, 汤懋苍, 杨瑜峰, 等. 西北地区冰雹分布及与地温场的相关性分析[J]. 高原气象, 2004, 23(6): 781-786.
- [23] 陈洪武, 马禹, 王旭, 等. 新疆冰雹天气的气候特征分析[J]. 气象, 2003, 29(11): 25-28.
- [24] 郑斌, 林爱兰, 谷德军, 等. 对流层准两年振荡最新研究进展[J]. 热带气象学报, 2010, 26(4): 504-508.