

文章编号:1004-4574(2012)05-0197-10

江苏省近30年冰雹灾害的时空变化规律

包云轩^{1,2},覃文娜^{1,2},高苹^{1,3},申双和^{1,2},蒋义芳³

(1. 南京信息工程大学 江苏省农业气象重点实验室,江苏 南京 210044; 2. 南京信息工程大学 应用气象学院,江苏 南京 210044; 3. 江苏省气象局,江苏 南京 210008)

摘要:利用江苏省70个气象台站1980-2009年间的冰雹观测资料,分析了江苏省冰雹灾害发生的时空变化特征,并结合Mann-Kendall方法探讨了气候变暖对江苏省冰雹发生趋势的影响。研究表明:(1)江苏省上世纪80年代为降雹多发期,90年代明显减少,本世纪初以来又有明显回升趋势;(2)江苏省一年中降雹多发季为春、夏两季,降雹日约占全年总降雹日数的94.7%;(3)全省降雹空间分布的总体特征是:东部沿海多,西部内陆少;中北部多,南部少;(4)这30a中发生在江苏省的降雹路径主要有四条;(5)与江苏省冰雹灾情年际不稳定性成正相关的雹日空间变异系数自东北向西南递增;(6)导致这30a江苏省冰雹时空变化格局的主要成因是全球气候变暖、大气环流背景、局地中小尺度大气动力场、地形起伏和下垫面热力属性等。

关键词:冰雹;时空分布;降雹路径;Mann-Kendall方法;气候变暖

中图分类号:P49

文献标志码:A

Spatiotemporal change patterns of hail disaster in Jiangsu Province during recent 30 years

BAO Yunxuan^{1,2}, QIN Wenna^{1,2}, GAO Ping^{1,3}, SHEN Shuanghe^{1,2}, JIANG Yifang³

(1. Jiangsu Key Lab of Agricultural Meteorology, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China;

2. College of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China;

3. Meteorological Bureau of Jiangsu Province, Nanjing 210008, China)

Abstract: Based on the observed hail data of 70 meteorological stations in Jiangsu Province from 1980 to 2009, this paper analyzed the temporal and spatial distribution characteristics of hails, and discussed the influence of the climate warming on the occurrence tendency of hail disasters in the province using Mann-Kendall method, a tool of detecting the extraordinary climate variations. The results show that: (1) the highest frequency of hailing occurred in the 1980s, and reduced significantly in the 1990s, while since 2000, the occurrence had a remarkable raising tendency. (2) The main seasons for hails to occur in Jiangsu Province are spring and summer, which account for 94.7 percent of the total hailing days in a year. (3) The spatial distribution of hailing in the province is that, eastern coastal regions are more often attacked than the western inland regions, and the middle and north parts of the province got more hailing days than the south parts. (4) In recent 30 years, the hailing paths appearing in the province has four routes. (5) The spatial variance coefficient of hailing days which is positive correlative to the annual instability of hailing calamity increases progressively from northeast to southwest of the province. (6) The

收稿日期:2011-11-22; 修回日期:2012-03-12

基金项目:江苏省科技支撑计划(BE2009680);江苏高校优势学科建设工程

作者简介:包云轩(1963-),男,教授,博士,主要从事应用气象、气象防灾减灾、农业病虫害测报、资源遥感与环境信息系统研究。

E-mail:baoyx@nuist.edu.cn

通讯作者:申双和,教授,博士,博士生导师。E-mail:yqzhr@nuist.edu.cn

main mechanisms that result in this spatio-temporal change situation of hails in the province are the global climate warming, the backgrounds of atmospheric circulation, the local atmospheric dynamic fields, the landforms undulation and the thermodynamics attributes of the surface.

Key words: hail; spatiotemporal distribution; hailing path; Mann-Kendall method; climate warming

近百年来全球气候正经历一次以变暖为主要特征的显著变化,其引发的极端天气、气候灾害呈明显上升趋势,对经济社会发展和生态环境产生了严重的影响^[1-2]。冰雹是江苏省重要的灾害性天气之一,虽然发生范围小、时间短促,但来势迅猛、强度大,并常伴随狂风、暴雨,易给局部地区造成重大损失。由于冰雹多出现在农作物生长的关键期,十几分钟的降雹即可使农作物遭受毁灭性损害,甚至威胁到人民生命财产^[3]。2007年5月5日江苏省出现了一次全省范围的强雷电和大风天气,瞬时最大风速达到了 $24.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,有13个市县出现了冰雹,最大冰雹直径达4 cm。这次雹灾仅连云港市受灾人口就达到75 920人,农作物受灾面积4 916 hm^2 ,绝收面积77 hm^2 ,倒塌房屋21间,损坏房屋244间,因雹灾造成的直接经济损失达1 777万元,其中农业直接经济损失就达1 715万元。据江苏省民政厅的统计数据显示,从2000年到2003年,4 a中江苏省因冰雹带来的直接经济损失就高达13.7亿元。如何掌握冰雹发生的时空变化规律、准确发布降雹预警预报信息、及时采取消雹防雹措施、减轻雹灾损失,是广大气象工作者面临的一项重大课题。

近几十年来,国内外在冰雹研究方面取得了许多进展。国外,Cao^[4]利用回归方程分析验证了加拿大安大略省冰雹发生频率与大气对流不稳定、可降水量的关系,并且发现降雹频率变化与气候变暖密切相关。Michalis等^[5]分析了希腊北部1930-1990年冰雹发生频率、时空分布、强度等级的划分以及冰雹下落动能对农作物造成的伤害。Tracy等^[6]通过分析冰雹差分反射参数HDR、线性去极化比率LDR与冰雹特征指标的关系,发现直径大于19mm的结构破损的冰雹的HDR在21~30dB,而LDR与冰雹直径大小关系不大。Chatterjee等^[7]通过修改中尺度数值模式MM5的云微物理方案,对印度西孟加拉邦的恒河平原两次冰雹过程进行了模拟,结果表明适当修改后的方案不仅能很好地模拟冰雹,而且改善了反射模式,提高了24 h降雨量和风场的模拟效果。国内,周崑等^[8]研究了西北地区冰雹的天气特征、气候规律,探讨了产生冰雹天气的环流形势和诱发冰雹天气的局地因素,综合分析了雷达观测、卫星观测、闪电定位和数值模拟等手段在西北地区冰雹研究领域的新进展;纪晓玲等^[9]分析了宁夏冰雹发生的大气环流背景和主要影响系统,得出在不同环流背景下,不同影响系统造成的冰雹落区有较大的差异;巴特尔等^[10]研究了雹云发展不同阶段大气重力波演变特征,开发了重力波冰雹预警系统;吴剑坤等^[11]分析了强冰雹天气的有利环境背景,探讨了强雹暴的多普勒天气雷达识别和预警技术。

有专家和学者对江苏省冰雹的时空分布、气候特征、天气分析及数值模拟等作了研究,取得了明显的进展。赵燕生^[12]分析了江苏省1953-1979年冰雹的气候特征。沈树勤^[13]对一次连续性的沿海槽后西北气流冰雹发生条件进行对比分析,提出了“优势层结稳定度指数”,为预报冰雹落区提供了重要信息。此外,沈树勤^[14]还分析了江苏省下垫面热力非均匀性及其对降雹的影响,结果表明海陆锋、较大水体、不同种类的土壤构成的热力非均匀性对冰雹等强对流天气有一定的作用与影响;尹东屏等^[15]利用自动气象站、多普勒天气雷达等多种观测资料,分析了2009年6月5日在江苏省出现的罕见大范围强冰雹天气,同时利用WRFV3模式对导致冰雹形成的海风锋的发生、发展过程进行了模拟。结果表明,由于地面加热不均和海陆温湿差异导致的变形场锋生所形成的海风锋,是造成这次强对流天气过程的主要中尺度激发和强化系统。本文在诸多国内外研究的基础上,利用江苏省70个常规气象台站1980-2009年30 a冰雹观测资料,深入分析江苏省冰雹时空分布特征及春夏雹暴发生的环境条件,旨在提高江苏省冰雹天气预警预报服务水平,为防雹减灾决策提供科学依据。

1 资料和方法

1.1 资料

冰雹观测资料是由江苏省气候中心提供的,包括全省70个地面气象台站1980-2009年历年冰雹发生日数及各雹日降雹起止时间。

1.2 方法

1.2.1 距平百分率

距平是气候要素值与多年平均值的偏差,它在气象上是用来确定某个时段或时次的数据相对于该数据的某个长期平均值(如30 a平均值)是高还是低。距平百分率就是对距平进行标准化处理,利用它可以反映某一气候要素的相对变率^[16]。

1.2.2 Mann-Kendall法

M-K法(Mann-Kendall法的缩写)是检测气候突变的新方法,它以检测范围宽、定量化程度高而富有生命力,也是目前世界气候变化研究流域较流行的一种突变检测方法^[17]。

1.2.3 空间插值分析

本研究在对冰雹空间分布规律分析时采用了反距离权重插值法,反距离权重插值(inverse distance weighted, IDW)是GIS软件中一种常用而简便的空间插值计算方法,它以插值点与样本点间距离为权重进行加权平均,离插值点越近的样本点赋予的权重越大,通过距离加权值可以求出各插值点的值^[18-19]。

1.2.4 空间变异系数

变异系数(coefficient of variance)又称“标准差率”,是衡量资料中各观测值变异程度的另一个统计量,可以消除单位、平均数不同对两个或多个站点资料变异程度比较的影响,这也是空间分析中常用的一个参数^[20]。

2 结果与分析

2.1 江苏省冰雹发生概况

以一个测站在一天内出现冰雹,不论其时间的长短都算作一个雹日为标准,统计各测站降雹日数,结果显示江苏省1980-2009年期间共计出现雹日433 d,全省年平均出现雹日为14.4 d,各站30年平均出现雹日为6.2 d。年内最早出现冰雹的时间是3月5日(1981年),最迟为11月10日(2004年)。降雹于3-4月份自北向南依次出现,9-10月份结束,结束时间南北年际间不一致且没有明显规律可循,11月以后一般不出现降雹。连续将雹以1~2d较为多见,3d以上的较为少见。一天出现降雹最大范围达14站,次大范围也有12站,最小范围仅1站。

2.2 降雹时间变化特征

2.2.1 年代际变化

分别统计出1980~2009年江苏省各气象台站发生的雹日数,按1980-1989,1990-1999,2000-2009,3个时期绘制GIS空间分布图(见图1),从图1中可以看出:20世纪80年代全省雹日最多,90年代最少,21世纪前10 a居中; ≥ 6 d/10 a的多雹区面积在这30 a中经历了大→小→大的演变过程。将江苏省均匀分布的70个气象观测台站分为4个区域:沿海(连云港、盐城、南通)、淮北(徐州、宿迁、淮安北部)、苏中(淮安南部、扬州、泰州)、苏南(镇江、南京、常州、无锡、苏州),分别计算出各个区域及全省20世纪80年代、90年代和21世纪前10 a的雹日距平百分率(见表1)。结果表明:江苏省20世纪80年代为冰雹多发期,全省各个区域都有较大的正距平,尤其是淮北地区的雹日正距平百分率显著高于其他区域。到了90年代,全省各区域均为负距平,雹日呈明显减少的趋势,其中淮北、苏南减少趋势最为明显。21世纪前10 a的全省雹日与20世纪90年代相比,出现了明显的增加趋势,沿海为正距平,距平百分率比前10 a增加了0.46%;苏南正距平较小,雹日基本与往年持平,但比20世纪90年代明显增多;淮北、苏中虽为负距平,雹日少于多年平均值,但比20世纪90年代分别增加了0.31%和0.09%,表明这10 a的降雹日比前10 a还是增多的。

表1 江苏省各区域1980-2009年雹日的年代际变化

Table1 Decadal variations of hailing days in different regions of Jiangsu Province from 1980 to 2009

年代	雹日距平百分率				
	全省	沿海	淮北	苏中	苏南
1980-1989年	0.35	0.12	0.75	0.36	0.50
1990-1999年	-0.37	-0.29	-0.53	-0.23	-0.51
2000-2009年	0.02	0.17	-0.22	-0.14	0.01

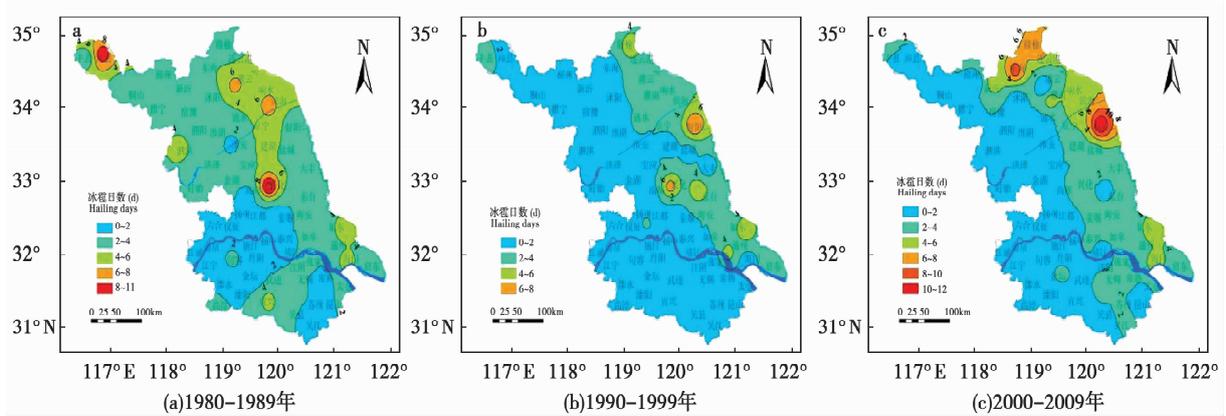


图 1 江苏省 1980 - 1989 年、1990 - 1999 年和 2000 - 2009 年降雹日数的空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of hailing days during 1980 to 1989, 1990 to 1999 and 2000 to 2009 in Jiangsu Province

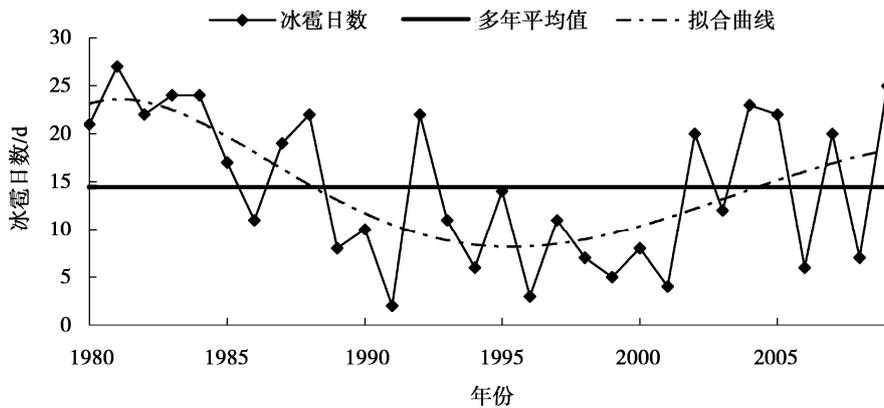
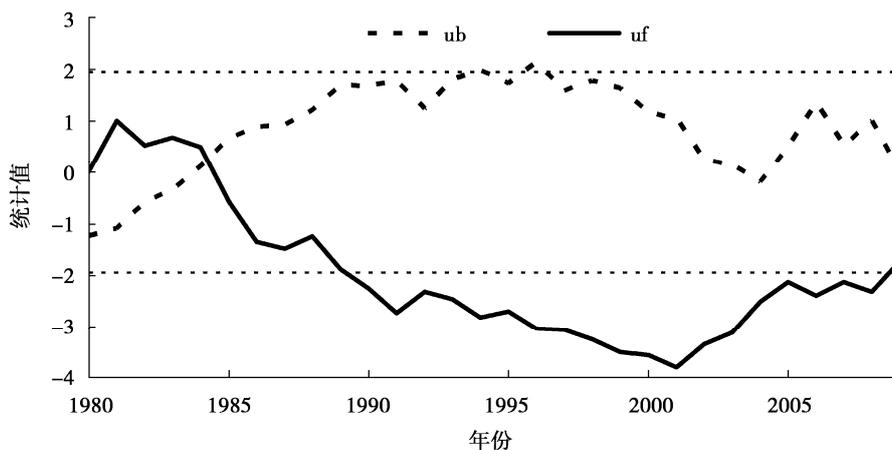


图 2 江苏省 1980 - 2009 年雹日年际变化

Fig. 2 Inter-annual variations of hailing days in Jiangsu Province from 1980 to 2009



注:uf 为顺时序变化的雹日距平标准化值;ub 为逆时序变化的雹日距平标准化值

图 3 江苏省 1980 - 2009 年雹日数演变的 Mann - Kendll 突变检测

Fig. 3 Climatic tendency test map of hailing days in Jiangsu Province from 1980 to 2009 based on Mann-Kendll method

2.2.2 年际变化

根据雹日统计结果绘制江苏省雹日数的历年演变曲线,并进行 5 阶多项式拟合后,得到图 2。图中显示:江苏全省 30 a 中每年都有冰雹发生,年平均雹日为 14.4 d,其中降雹日数最多的年份是 1981 年,达 27

d;次多年份是2009年,为25 d;降雹最少的年份是1991年,雹日仅2 d,次少的年份为1996年,雹日为3 d。从各年雹日数拟合曲线的变化趋势看,1980-2009年这30年中,前15 a雹日数在明显减少,后15 a雹日数在明显增加,前15 a减幅大,后15 a增幅小;雹日的年际变化起伏大,差异明显:1980-1985年期间是全省降雹最频繁的时期,每年雹日都在17 d以上,多的年份达27 d;1986年雹日骤减,只有11 d;1987,1988年雹日数回升,分别达19 d、22 d;1989,1990,1991年连续3 a少雹,雹日均不足10 d;1992年骤增,达22 d;之后连续9 a处于30 a雹日数的低值期,2002年开始进入30 a中的第二个冰雹多发期。

从图2中直观看来,雹日数年际变化的实际趋势(折线)不像年际变化的拟合趋势(虚线)那样特征明显,很难确定演变的趋势和突变点,但通过对历年雹日数的Mann-Kendll气候序列突变检测(见图3)发现:江苏省降雹日年际变化趋势的突变点出现在1984-1985年之间,1980年至突变点期间,冰雹多发,雹日数明显偏多;突变点之后至2001年期间,雹日数呈减少趋势;2001年之后,又有回升。这30 a中,1989-2008年期间雹日数增减趋势显著,趋势线超过信度线,其中1989-2001年期间雹日数呈减少趋势,2001-2008年期间雹日数呈增加趋势,这与图2拟合虚线反映的演变特征基本吻合。

2.2.3 年内季节变化

江苏省的冰雹具有季节性强、雹日高度集中的特征,根据江苏省降雹日的统计,将出现降雹的主要季节型分为两类:

(1)春雹期:降雹时间为3-5月,降雹日数占全年总雹日的40%,其中4-5月较为多见,占全年的37.6%。由此可见,春季是江苏省冰雹较主要的发生季。这与春季江苏省有冷空气不断自北向南入侵、西南暖湿气流北上活跃、冷暖空气交绥频繁、多锋面活动有关。

(2)夏雹期:降雹时间为6-8月,雹日占全年的54.7%,其中6-7月最为多见,占全年的46.4%。夏季之所以是江苏省冰雹最主要的高发期,原因有二:一是初夏本省处副高北侧或西北侧与西风带交绥地带,多系统性对流活动,易导致冰雹、飑线等强对流性天气的形成;二是盛夏本省受庞大的副高系统控制或影响,水网密布的下垫面受太阳辐射加热剧烈,迅速增温后,若低层大气很不稳定,易产生局地热对流,对流发展到一定强度后会触发冰雹的产生。

图4为江苏省春、夏季节冰雹日数的空间分布图,从中可以看出:不同季节、不同地区具有不同的降雹特点。春雹期中,多雹区在沿海及苏南东南部一带,雹日达4 d以上,连云港、盐城分别有高值中心(7 d以上);洪泽湖周边地区、南京西部地区、徐州铜山和新沂为少雹区,雹日在1 d以内(见图4 a)。夏雹期的降雹日数要比春雹期明显的多,分布虽然不均,但是特征比较明显。整个江苏省一分为二,连云港、盐城、南通沿海地区及与盐城地区毗邻的里下河地区为多雹区,雹日达5 d以上,其中有两个高值中心,分别是射阳16 d和兴化14 d。宁镇丘陵、扬州地区西部以及苏州地区大部为最少雹区,雹日在3 d以下(见图4 b)。

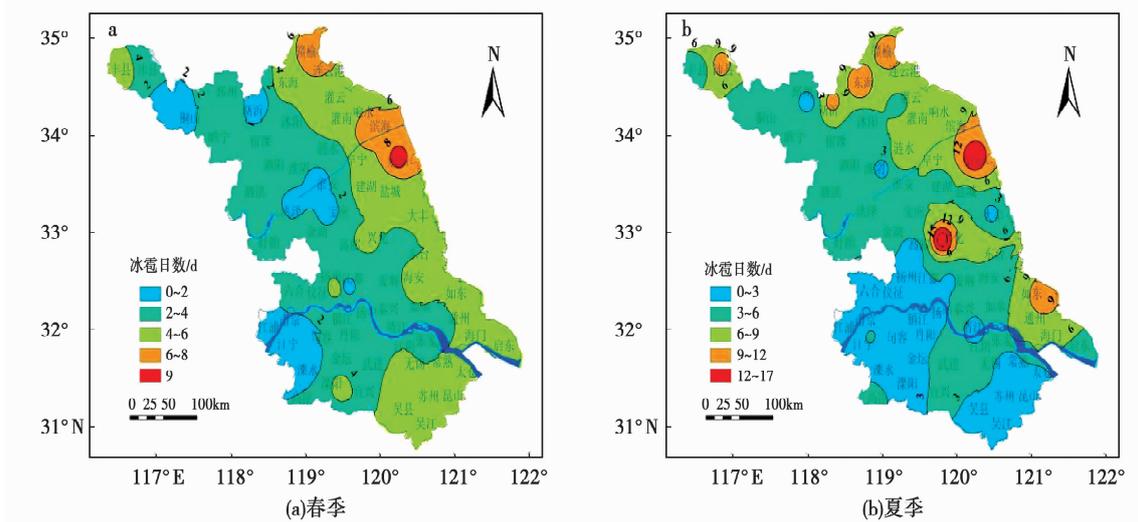


图4 江苏省春季和夏季平均降雹日数的空间分布图

Fig. 4 Spatial distribution of average hailing days during spring and summer in Jiangsu Province

2.2.4 降雹的年内月变化

江苏省各地降雹有明显的月变化,其变化和大气环流的月变化及季风气候的特点相一致。近 30 a 来,江苏省最早降雹时间出现在 3 月 5 日(1981 年),最晚为 11 月 10 日(2004 年)。降雹的盛行期是 4-8 月,占 92.4%,其中尤以 5 月最多,共有雹日 121 d,占 27.9%,平均每年有 4 d 之多。其次是 6 月,雹日达 113 d,平均每年 3.8 d。冬季(12-2 月)为降雹最少的季节,30 a 中基本没有出现过降雹。沿海、淮北、苏中、苏南四个区域冰雹的月变化特征也有差异。从图 5 中可以看出,淮北地区降雹从 4 月份开始出现,而沿海、苏中、苏南则从 3 月份开始,降雹始见期明显要比淮北地区早 1 个月。这与李吉顺研究的“从春至夏我国降雹带从南向北推移”的结论基本吻合^[21]。降雹盛发期淮北地区多出现在 6 月,苏中、苏南地区则出现在 5 月,南部地区的降雹盛期也比北部地区早 1 个月。

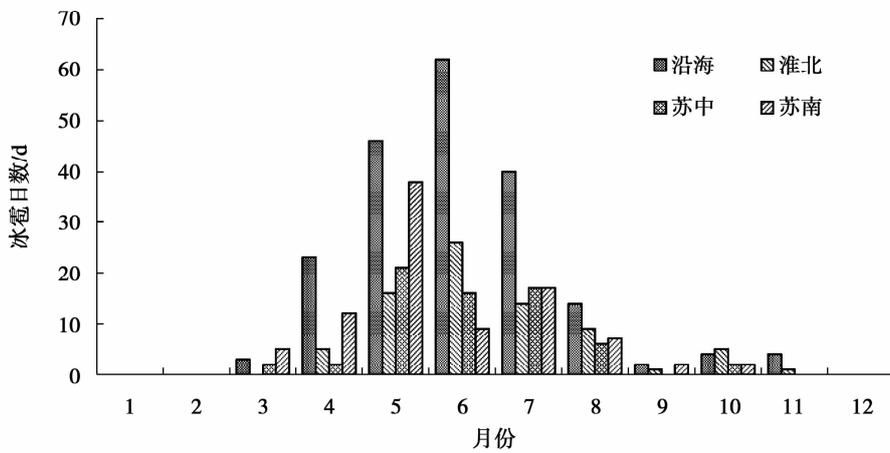


图 5 江苏省各区域雹日的月变化

Fig. 5 Monthly variations of hailing days in different regions of Jiangsu Province

与赵燕生^[12]统计的江苏省 1953-1979 年的 27a 冰雹日数相比,1980-2009 年期间的各月降雹日数出现了一些明显的变化,见图 6。这种变化体现在:1980-2009 年期间 5 月份的降雹日数显著增加,成为一年中冰雹日数最多的月份,其它各月冰雹日数均呈减少趋势,其中 6 月份降雹日数减少最明显。若考虑两个时期多年平均的雹日增减,这种变化趋势更明显。从分区变化来看,淮北、苏中、苏南 3 个地区的多雹月从 6 月变为 5 月,沿海地区则从 7 月变为 6 月(图略)。由此可见,气候变暖使这 30 a 江苏省年内冰雹季普遍提前 1 个月左右。

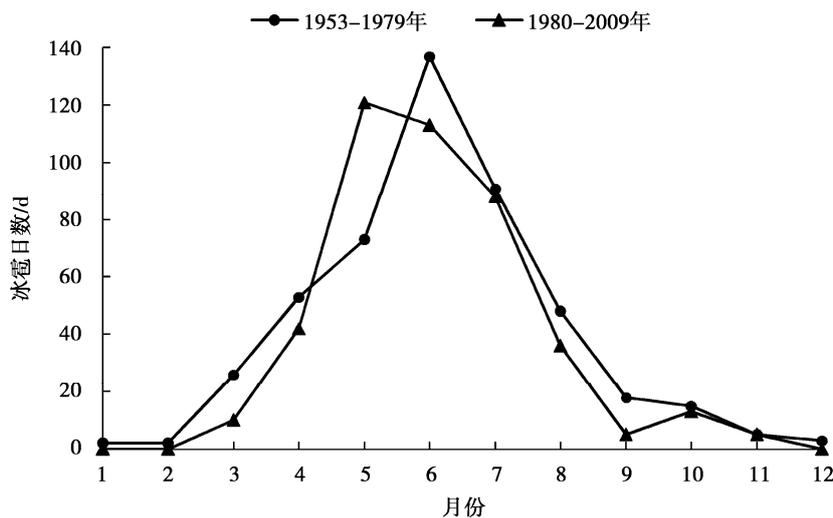


图 6 江苏省 1953-1979 年与 1980-2009 年降雹日数的月变化

Fig. 6 Monthly variations of hailing days in Jiangsu Province during 1953 to 1979 and 1980 to 2009

事实上,根据 IPCC 有关报告^[22],全球气候从上世纪 80 年代开始增暖,北半球中低纬度地区同期暖干化趋势明显。而这种变暖导致全球夏半年(春分至秋分期间)行星风带提前北移、北半球季风区夏季风提前北上、同期这些季风区北部的暖空气势力增强,从而使得春夏过渡季节的冷暖空气交绥频繁,强对流性天气发生频次增多;春末夏初的 5,6 月份,江苏省正好位于东亚夏季风北进的前沿地区,受此影响,冰雹发生概率明显增加。

2.3 空间分布

2.3.1 江苏省冰雹地域分布特征

从江苏省多年统计的降雹日分布图(图 7)中可以看出:多雹区分布在里下河地区的兴化市、盐城地区的射阳县、连云港地区的赣榆县和南通地区的如东县,雹日均在 12 d 以上(单站多年统计,下同),其中有两个多雹中心,分别是射阳(23 d)和兴化(22 d)。这些地区多雹的原因有二:一是临海,一是为河网所环绕。它们都有一些共同的特征:水陆热力差异明显,白天陆地表面因日射受热后升温快,使得陆地空气上升;水体(热容量大)则受热后升温慢,空气多下沉。这样易造成陆地和水体之间明显的温差,并形成垂直环流。对于临海的射阳(类似的有赣榆、如东)而言,这种环流是海风环流,而对于兴化(相似情况的有沛县)而言,则是河(湖)陆风。这样的垂直环流对强对流天气(特别是冰雹)的产生起到了触发或增强触发的作用。

2.3.2 降雹的主要源地和移动路径

冰雹云的移动方向,一般和高空引导气流方向一致。有些雹云自源地产生后,受地形地貌影响,常沿山脉和河谷的走向移动。降雹区宽度达 2~10 km,而长度达 1~100 km。如强对流单体性、传播性和点源性的冰雹云一般以 30~50 km·h⁻¹的速度向下风方移动,有时沿路连续降雹,而有时跳跃性地降雹,较容易确定降雹路径。主要在层结不稳定的气团中生成的弱单体或多单体雹云,移动较少,不易确定降雹路线^[23]。

根据调查,冰雹路径常成带状分布,并有一定的走向,这与“雹打一条线”的民间说法相一致。分析近 30a 来江苏省各台站及其周边地区历次冰雹发生过程也可以看出:有 4 条明显的高频降雹带(或路径)出现在江苏省境内(见图 7)。第 1 条是从山东的沂南、营南开始经江苏的赣榆、连云港、灌云、灌南、响水、滨海到达阜宁(或涟水)一线;第 2 条是由山东的微山湖沿大运河南下,经江苏的邳州、睢宁到达宿迁一线;第 3 条是由江苏省内的东台向南至海安、如皋、靖江到达江阴(或张家港)一线;第 4 条是由无锡向东南经苏州、常熟到达昆山一线。这与赵燕生等从选取冰雹总次数、全年出现 2d 冰雹概率、年冰雹概率及冰雹的数学期望等四个要素,运用模糊聚类分析方法,对全省均匀分布的 26 个站点分区研究所得的结果略有不同^[12]。通过对这两个时期历年降雹日数、各次降雹过程和相应时期气温、相对湿度等气候要素变化的初步分析发现:这些差异是由气候暖干化、环境改变等多重因素所引起的。

第 1 条降雹路径形成的原因是:山东的沂南、营南地处沂蒙山区,地形起伏明显,盛行以日为周期的山谷风环流,特别是白天日出后,山坡受热,其上空气增温快,而同一高度的山谷上空的空气距地面较远,增温较慢,于是暖空气沿山坡上升,风由山谷吹向山坡,形成谷风,而谷底空气大多潮湿,爬升后绝热冷却,易形成云系,这对冰雹云的形成和发展十分有利;江苏的连云港、赣榆、灌云、东海位于沂蒙山区以南,境内多海拔 60~150 m 高的丘陵,地势虽低于沂蒙山系,但沿山坡的空气抬升对冰雹云的形成和发展仍有一定的促进作用;灌南、响水、滨海地势虽平坦,但东临黄海,受海陆风环流影响,白天盛行海风,有来自海上的潮湿空气流向陆地,抬升后易形成云系或降水,对冰雹云的形成和发展也比较有利;江苏、山东两省位于东亚季风气候区内,春夏季节夏季风北上时,在丘陵、山脉的迎风坡会动力抬升,产生对流云系,如遇南下的冷空气,对流增强,云系垂直发展更加旺盛,对冰雹云的形成、发展和冰雹的降落更为有利。在冷空气南下和季风、海陆风、山谷风等不同尺度局地环流的共同作用下,这一地区成为苏鲁两省交界地区的第一多雹带,而高空来自北方的冷空气由于势力强则常常成为冰雹云移动的引导气流,地势走向对这一路径的形成也起了极其重要的铺

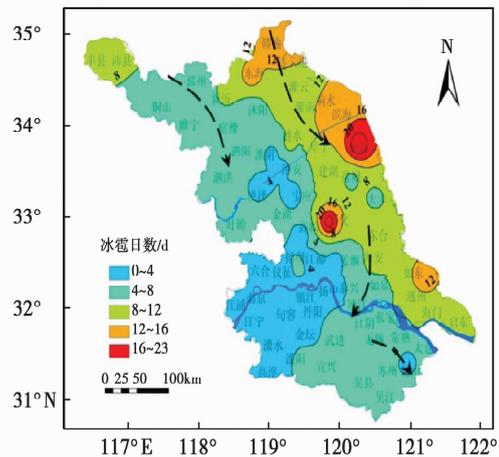


图 7 江苏省 1980—2009 年雹日空间分布及降雹路径

Fig. 7 Spatial distribution of hailing days and hailing paths in Jiangsu Province from 1980 to 2009

垫作用。统计发现:沿这一路径的降雹概率为 27.5% (119/433),是 4 条路径中发生概率最高的。

第 2 条路径的源地在苏鲁交界的微山湖地区,该地区因受前述湖陆间垂直热力环流的影响,易产生冰雹或增强冰雹产生的触发机制。从源地向东南出发后沿大运河河谷前行,沿途不稳定能量因河陆风环流而得到补充、对流动力得到维系和加强,加之地势从西北向东南逐渐走低,如遇冷空气南下与北上暖空气在这一地区对流,则降雹可能性会更大,因此,在冷暖空气对流、湖陆风环流、河陆风环流和地势走低等因素的综合作用下,这一地区成为苏鲁交界地区的第二多雹带,高空南下冷空气则是这一路径冰雹云移动的引导气流,河谷通道和地势走向对这一路径的形成起了重要的支撑作用。沿这一路径的降雹概率为 13.4%,仅次于第 1 条路径。

东台之所以成为第 3 条降雹路径的源地,是因为其所处的特殊的地理环境,该市地处苏北沿海海岸线凹状弧形地段,是海风环流汇入和抬升风力最强的区域,来自海上的潮湿气流在该区域辐合抬升后,会出现具有一定强度的上升气流,形成一些局地对流云系,这常在午后海风环流旺盛时段出现;夏半年夏季风发展和盛行时期这种上升气流要强些,相应的对流云系要深厚和宽大些;一旦有冷空气从西北方向向东南直下与这股海风在这一地区发生强对流时,则对流云系会进一步发展,达到一定程度后,就演变成冰雹云系。这样的冰雹云系在西北气流和偏东气流的挤压下,向西南或偏南方向移动,途径海安县、如皋市、泰兴市、姜堰市、靖江市的部分地区,越江后终止于苏南的张家港市或江阴市的某一地区。这条路径的降雹概率约为 12.7%,略低于第 2 路径。

无锡南靠太湖,北近长江,白天南部受太湖湖风环流影响,有气流从太湖水面吹向岸上,经地形抬升后形成垂直上升气流;北部受江陆风环流影响,有气流从长江水面吹向南面陆地,上岸后的气流常抬升形成上升气流,这两股上升气流如遇一定强度的南(或北)风推动,则常会形成对流,发展成一定强度的对流云系,这种情形在夏半年的午后当西北方向有冷空气向东南方向推进时,会增强并演变为冰雹云系,向下游的常熟市、苏州市、太仓市和昆山市方向移动,这条路径降雹的概率约为 6.2%。

从 30 a 江苏省降雹日的路径统计数据中分析发现:上述 4 条路径的降雹概率占到了近 60%,其余的 40% 左右的降雹日虽然是随机的,但与大尺度天气背景、中小尺度局地环流、地形起伏都不无联系。因此,江苏省的冰雹空间分布存在一定的规律性,有一些明显的源汇关系和移动路径,如果及时考虑到不同尺度的大气环流背景、地形条件、动力场和热力场配置,则可以获得一些可靠的预报依据。

2.3.3 雹日的空间变异特征

利用 1980 - 2009 年江苏省雹日统计结果可以计算出各台站雹日的空间变异系数(见图 8),结果显示:变异系数是内陆大于沿海,自东北向西南递增,其中西南部的宁镇丘陵地区冰雹日数少的地区年变异系数最大(3.2 ~ 5.48),高值中心位于南京、溧水、江都、仪征。这表明西南一带降雹虽然不如沿海地区频繁,但是降雹条件不稳定,年际变化大,导致变异系数大,因而造成有的年份灾情轻,有的年份灾情重;沿海的连云港、盐城、南通地区的各市县变异系数相对较小(0 ~ 2.4),表明这些地区降雹较为频繁,程度大致相当,造成的灾情相对稳定。

江苏省位于长江和淮河的下游,东临黄海,是全国地势最平坦的省份,绝大部分地区在海拔 50 m 以下。地形以平原为主,主要有苏南平原、江淮平原、黄淮平原和东部滨海平原,低山丘陵集中在北部和西南部,它们约占全省总面积的 14.3%,主要有沂蒙山脉(南支)、云台山脉、老山山脉、宁镇山脉、茅山山脉、宜溧山脉。江苏省内水网密布,河湖众多,自北向南有沂沭河、淮河与长江三大水系,境内有太湖、洪泽湖、高邮湖、骆马湖、微山湖等大、中型湖泊,又有沟通南北的大运河以及淮沭河、串场河、盐河、通榆运河、苏北灌溉总渠和通扬运河等支河水系。从整体的地形阶梯来看,西高东低;从地表和植被覆盖的均一性来看,东部单一、西部复杂

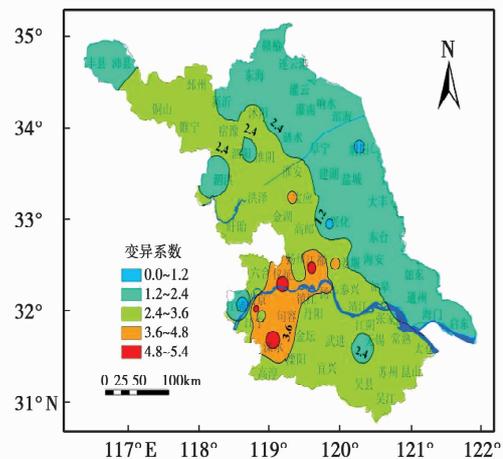


图 8 江苏省 1980 - 2009 年雹日变异系数的空间分布

Fig. 8 Spatial distribution of coefficient of variation of hailing days in Jiangsu Province from 1980 to 2009

(其中西南部地区是最复杂的)。因此,地形地貌的均一度在很大程度上决定了降雹日的空间变异系数大小,也间接决定了冰雹灾情的稳定度。

3 结论

本文通过对江苏省1980-2009年期间70多个气象台站冰雹观测数据的分析,探讨了江苏省冰雹发生的时空变化规律,简析了成因,研究得到以下结论:

(1)江苏省20世纪80年代为降雹多发期,90年代明显减少,本世纪初以来又有明显回升趋势。

(2)江苏省一年中降雹多发季为春、夏两季,降雹日约占全年总降雹日数的94.7%;一年中降雹最集中的时期为4-8月,其中5月份最多,6月份次之,冬季的3个月(12月-次年2月)为降雹最少的季节。

(3)全省降雹空间分布的总体特征是:东部沿海多,西部内陆少;中北部多,南部少;里下河地区的兴化市和东部沿海的射阳县是全省降雹最多的地区,西南部的宁镇丘陵地区是全省降雹最少的地区。

(4)这30a中发生在江苏省的降雹路径主要有4条:第1条从山东的沂南、营南经江苏的赣榆、连云港、灌云、灌南、响水、滨海到达阜宁(或涟水)一线;第2条从山东的微山湖沿大运河南下,经江苏的邳州、睢宁到达宿迁一线;第3条从江苏省内的东台向南至海安、如皋、靖江到达江阴(或张家港)一线;第4条从省内的无锡向东南经苏州到达昆山一线。

(5)与江苏省冰雹灾情年际稳定度成正相关的雹日空间变异系数自东北向西南递增。

(6)近30a的气候变暖使年内降雹集中季比过去的27a提前了1个月左右,除5月以外的各月降雹日数减少。

参考文献:

- [1] 秦大河,孙鸿烈,孙枢,等. 2005~2020中国气象事业发展战略[J]. 地球科学进展,2005,20(3):268-273.
QIN Dahe, SUN Honglie, SUN Shu, et al. The strategy of Chinese meteorological service and development:2005-2020[J]. Advances in Earth Science,2005,20(3):268-273. (in Chinese)
- [2] 戴小苏,高云. 关注气候变化,倡导可持续发展[J]. 地球科学进展,2004,19(5):872.
DAI Xiaosu, GAO Yun. Concern about climate change,promote sustainable development[J]. Advances in Earth Science,2004,19(5):872. (in Chinese)
- [3] 吴孝祥. 江苏省主要气象灾害概况及其时空分布[J]. 气象科学,1996,16(3):291-297.
WU Xiaoxiang. The main meteorological disasters and their spatial and temporal distribution in Jiangsu Province[J]. Scientia Meteorologica Sinica, 1996,16(3):291-297. (in Chinese)
- [4] Cao Z. Severe hail frequency over Ontario, Canada; Recent trend and variability[J]. Geophys Research Letters,2008, 35, L14803:1-3
- [5] Michalis S, Terence M, Jonathan D C. Hail frequency, distribution and intensity in Northern Greece[J]. Atmospheric Research. 2009, 93(1/3):526-533.
- [6] Tracy K D, Patrick C K, Steven A R. Performance of the Hail Differential Reflectivity (HDR) and Polarimetric Radar Hail Indicator[J]. Journal of Applied Meteorology and Climatology,2006,46:1290-1301.
- [7] Chatterjee P, Pradhan D, De U K. Simulation of hailstorm event using Mesoscale Model MM5 with modified cloud microphysics scheme[J]. Annales Geophysicae,2008,26(11):3545-3555.
- [8] 周巍,张强,康凤琴. 我国西北地区降雹气候特征及若干研究进展[J]. 地球科学进展,2005,20(9):1029-1036.
ZHOU Wei, ZHANG Qing, KANG Fengqin. Recent advancements of hail research in Northwest China[J]. Advances in Earth Science, 2005,20(9):1029-1036. (in Chinese)
- [9] 纪晓玲,马筛艳,丁永红,等. 宁夏近40年灾害性冰雹天气分析[J]. 自然灾害学报,2007,16(3):24-28.
JI Xiaoling, MA Shaiyan, DING Yonghong, et al. Analysis of disastrous hail weather in Ningxia in recent 40 years[J]. Journal of Natural Disasters,2007,16(3):24-28. (in Chinese)
- [10] 巴特尔,巩迪,单久涛. 重力波冰雹预警系统应用研究[J]. 自然灾害学报,2007,16(6):21-24.
Bateer, GONG Di, SHANG Jiutao. Application study on gravity wave-based hail early warning system[J]. Journal of Natural Disasters,2007,16(6):21-24. (in Chinese)
- [11] 吴剑坤,俞小鼎. 强冰雹天气的多普勒天气雷达探测与预警技术综述[J]. 干旱气象,2009,27(3):197-206.
WU Jiankun, YU Xiaoding. Review of detection and warning methods for sever hail events by doppler weather radars[J]. Journal of Arid Meteorology,2009,27(3):197-206. (in Chinese)
- [12] 赵燕生. 江苏省冰雹天气气候分析[J]. 气象科学,1982,2(1):140-146.
ZHAO Yansheng. Climatological analysis of haily weather in Jiangsu Province[J]. Scientia Meteorologica Sinica,1982,2(1):140-146. (in Chinese)

- Chinese)
- [13] 沈树勤. 沿海槽后西北气流冰雹发生条件的对比分析[J]. 气象科学, 1985, 5(1): 18-22.
SHEN Shuqin. Contrast analysis of formation conditions of hailing under post-trough's northwest airflow along the coast[J]. Scientia Meteorological Sinica, 1985, 5(1): 18-22. (in Chinese)
- [14] 沈树勤. 下垫面热力非均匀性及其对冰雹等强对流天气影响的初步研究[J]. 气象, 1991, 17(8): 20-25.
SHEN Shuqin. A preliminary study of the thermodynamic heterogeneity of underlying surface and its influence on severe convective weathers[J]. Meteorological Monthly, 1991, 17(8): 20-25. (in Chinese)
- [15] 尹东屏, 吴海英, 张备, 等. 一次海风锋触发的强对流天气分析[J]. 高原气象, 2010, 29(5): 1261-1269.
YIN Dongping, WU Haiying, ZHANG Bei, et al. Analysis on a severe convective weather triggered sea breeze front[J]. Plateau Meteorology, 2010, 29(5): 1261-1269. (in Chinese)
- [16] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999: 17-17.
WEI Fengying. Modern Climate Statistical Diagnosis and Prediction Technology[M]. Beijing: Meteorological Press, 1999: 17-17. (in Chinese)
- [17] 符淙斌, 王强. 气候突变的定义和检测方法[J]. 大气科学, 1992, 16(4): 482-493.
FU Tubin, WANG Qiang. The definition and detection of the abrupt climatic change[J]. Scientia Atmospherica Sinica, 1992, 16(4): 482-493. (in Chinese)
- [18] 张宏, 温永宁, 刘爱利. 地理信息系统算法基础[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 166-166.
ZHANG Hong, WEN Yongning, LIU Aili. The geographic information system of algorithm basis[M]. Beijing: Science Press, 2006: 166-166. (in Chinese)
- [19] 朱求安, 张万昌, 余钧辉. 基于 GIS 的空间插值方法研究[J]. 江西师范大学学报: 自然科学版, 2004, 28(2): 184.
ZHU Qiu'an, ZHANG Wanchang, YU Junhui. The spatial interpolations in GIS[J]. Journal of Jiangxi Normal University: Natural Science, 2004, 28(2): 184. (in Chinese)
- [20] 任国玉. 气候变化与中国水资源[M]. 北京: 气象出版社, 2007: 195.
Ren Guoyu. Climate Change and Chinese Water Resources[M]. Beijing: Meteorological Press, 2007: 195. (in Chinese)
- [21] 李吉顺. 我国冰雹和暴雨的若干气候特征[C]//北方天气文集(2). 北京: 北京大学出版社, 1982: 31-39.
LI Jishun. Some climatic characteristics of hail and heavy rains in China[C]//The Weather Corpus in North(2). Beijing: Beijing University Press, 1982: 31-39. (in Chinese)
- [22] IPCC. Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panels on Climate Change[R]. Cambridge Press, 2000.
- [23] 雷雨顺, 吴宝俊, 吴正华. 冰雹概论[M]. 北京: 科学出版社, 1978: 126-131.
LEI Yushun, WU Baojun, WU Zhenghua. Overview of Hail[M]. Beijing: Science Press, 1978: 126-131. (in Chinese)
- [24] 蔡义勇, 王宏, 余永江. 福建省冰雹时空分布与天气气候特征分析[J]. 自然灾害学报, 2009, 18(4): 43-48.
CAI Yiyong, WANG Hong, YU Yongjiang. Spatiotemporal distribution and weather characteristics of hail in Fujian Province[J]. Journal of Natural Disasters, 2009, 18(4): 43-48. (in Chinese)
- [25] 陈晓燕, 罗松, 杨玲. 黔西南州冰雹时空分布及春夏冰雹环境条件分析[J]. 暴雨灾害, 2010, 29(1): 49-53.
CHEN Xiaoyan, LUO Song, YANG Ling. Analysis of temporal and spatial distribution characteristics and environmental conditions of hail in Southwest Guizhou[J]. Torrential Rain Disasters, 2010, 29(1): 49-53. (in Chinese)
- [26] 张强, 康凤琴. 中国西北冰雹研究[M]. 北京: 气象出版社, 2005.
ZHANG Qiang, KANG Fengqin. Hail research in Northwest China[M]. Beijing: Meteorological Press, 2005. (in Chinese)
- [27] 俞樟孝, 吴仁广, 翟国庆, 等. 浙江冰雹天气与边界层辐合的关系[J]. 大气科学, 1985, 9(3): 268-275.
YU Zhangxiao, WU Renguang, ZHAI Guoqing, et al. The relationship between the boundary layer convergence and occurrence of hail weather in Zhejiang[J]. Scientia Atmospherica Sinica, 1985, 9(3): 268-275. (in Chinese)
- [28] 曾志云, 戴泽军, 彭志超, 等. 近 40 年湖南冰雹时空分布和变化特征及机理分析[J]. 防灾科技学院学报, 2008, 10(3): 23-27.
ZENG Zhiyun, DAI Zejun, PENG Zhichao, et al. Temporal and spatial distributions and mechanism of hails in Hunan in recent 40 years[J]. Journal of Institute of Disaster-Prevention Science and Technology, 2008, 10(3): 23-27. (in Chinese)
- [29] 王瑛, 王静爱, 吴文斌, 等. 中国农业雹灾灾情及其季节分区[J]. 自然灾害学报, 2002, 11(4): 31-36.
WANG Ying, WANG Jing'ai, WU Wenbin, et al. Agricultural hail disaster and its seasonal regionalization in China[J]. Journal of Natural Disasters, 2002, 11(4): 31-36. (in Chinese)
- [30] 王静爱, 史培军, 刘颖慧, 等. 中国 1990~1996 年冰雹灾害及其空间动态分析[J]. 自然灾害学报, 1999, 8(2): 46-53.
WANG Jing'ai, SHI Peijun, LIU Yinghui, et al. Hail disaster in China during 1990-1996 and its dynamic spatial and temporal analysis[J]. Journal of Natural Disasters, 1999, 8(2): 46-53. (in Chinese)
- [31] 邢秀芹. 胶东半岛地区海陆风特征[J]. 气象, 1997, 23(5): 55-57.
XING Xiuqin. Characteristics of land-sea breeze in peninsula area on Bohai Bay[J]. Meteorological Monthly, 1997, 23(5): 55-57. (in Chinese)