

华东地区冬季不同降水相态的时空变化特征

孙 燕^{1,3}, 尹东屏², 顾沛澍³, 金小霞¹

(1.江苏省气象台, 南京 南京 210008; 2.江苏省气象服务中心, 南京 南京 210008;
3.南京信息工程大学气象灾害省部共建教育部重点实验室, 南京 南京 210044)

摘要: 利用1981~2011年华东地区132站逐日气象观测资料、国家气候中心整编的逐月环流特征指数和NCEP / NCAR再分析资料, 统计分析华东地区冬季5种降水相态的时空变化特征, 发现: 华东地区的雨、雪地理分界线在29°N、120°E附近, 在分界线的西北区为主雪区, 而东南区为主雨区; 同时, 沿该分界线附近是雨夹雪的多发区。华东地区冬季不同降水相态都有明显的年际波动。亚洲区极涡指数与华东地区冬季降水相态站日数的相关性好, 特别是亚洲区极涡面积指数与雪、雨夹雪、冻雨、冰粒的相关系数均通过了0.05的信度检验。

关 键 词: 降水相态; 时空分布; 大气环流指数

中图分类号: P467 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2014)03-0370-07

引 言

与夏季降水相比, 目前关于中国冬季降水的研究要少一些^[1-12]。王林等^[5]通过EOF分解的方法分析了中国冬季降水年际变化的主要模态及其对应的大气环流异常和海温异常。彭京备^[6]研究冬季东印度洋海温对中国江南-华南地区同期降水的影响, 发现冬季东印度洋海温和同期的江南-华南降水呈显著的正相关关系。郎咸梅^[7]针对中国东部6个关键气候区冬季降水, 开展了季节尺度气候预测研究工作, 通过相关分析指出中国冬季降水变化中包含了前期和同期气候异常信号的信息, 进而提出了结合两种预测信息来进行气候预测的研究思路。

异常的冬季降水也会造成很大危害, 冬季降水异常偏多可造成冬汛, 异常偏少则可导致干旱, 影响冬季乃至次年春季的农业生产。特别是, 异常偏多的降水若是以雪或冻雨的形式出现, 带来的灾害则更为巨大, 甚至还可能威胁到人民的生命财产安全。2008年年初发生的全国大范围冻雨气候灾害, 属历史罕见, 已引起世人注目, 引发了

一系列关于冻雨的研究^[13-15]。因此, 针对冬季降水的研究, 不能仅仅局限于降水量的分析, 还应该进一步对不同降水的相态进行研究。华东地区是冬季雨、雪、雨夹雪、冻雨、冰粒5类降水相态频繁交替出现的区域。开展5类降水相态时空分布变化特征及其影响因素的研究, 不仅有助于揭示该区域不同降水相态的气候时空分布变化规律, 而且对开展预报和相应的气象服务、减灾防灾等具有重要的现实意义。

1 资料和方法

1.1 资 料

1981~2011年全国逐日气象观测资料, 在消除台站迁移、城市热岛效应、经过均一性检查和严格控制的基础上, 选取资料记录完整、缺测记录少、年代较长的华东地区132个站。根据地面观测1次/3 h所观测的天气现象, 观测到1次以上该现象就记为1 d。采用气象季节划分方法, 即上一年12月至当年2月为冬季, 起始时间为1981年12月, 终止时间为2011年2月。

大气环流资料为美国国家环境预报中心和国

收稿日期: 2013-04-12; 修订日期: 2013-06-09

资助课题: 公益性行业(气象)科研专项经费(GYHY201006010)、江苏省气象科研开放基金(K201002)共同资助。

作者简介: 孙 燕(1976-), 女, 山东潍坊人, 博士研究生, 高级工程师, 主要从事中短期灾害性天气预报与预测研究。E-mail: jsshqxtsy@sina.com

通讯作者: 尹东屏, 正研级高工。E-mail: ydpyl@sina.com

家大气研究中心(NCEP/NCAR)发布的全球逐月再分析数据(20°~40°N, 110°~125°E), 水平分辨率为2.5°×2.5°, 资料时段为1981年1月至2011年2月。

亚洲区极涡指数是国家气候中心气候系统诊断预测室提供的再处理资料, 资料数据为整形。本文所用亚洲区极涡面积指数和强度指数分别为该资料中的第46项和第51项, 亚洲区极涡范围为60°~150°E, 起始时间为1981年12月, 终止时间为2011年2月。

1.2 方 法

1) 站日数。本文定义了“站日数”这个统计量, 并进行相关统计计算。“站日数”为132站中发生降水的各站的降水日数之和, 即: M_{ij} 为第 i 年第 j 站冬季某相态降水发生的日数; N 为第 i 年发生这种相态降水的总站数; $j=1, \dots, N$; M_i 则为第 i 年该相态降水的站日数。“站日数”将时间与空间结合, 与“日数”和“站数”相比, 更能反映此类降水的影响程度。

$$M_{ij} = M_{i,1} + M_{i,2} + M_{i,3} + \dots + M_{i,N}$$

2) 气候趋势系数。计算气候趋势系数 r_{xt} 可了解要素在长期气候变化中升降的定量程度。它定义为 n 个时刻(a)的要素序列与自然数列1, 2, \dots, n 的相关系数。其中, n 是年数; x_i 是第 i 年的值; \bar{x} 为样本均值; $\bar{t} = (n+1)/2$ 。 r_{xt} 的正(负)值表示该要素在计算的 n 年内有线性增(降)的趋势。而 $r_{xt} \sqrt{n-2}/(1-r_{xt}^2)$ 符合自由度 $n-2$ 的 t 分布, 从而可检验这种趋势是否显著。

$$r_{xt} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(i - \bar{t})}{\left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (i - \bar{t})^2 \right]^{1/2}}$$

此外本文还用到了小波分析、相关分析等常用统计方法。

2 华东地区冬季不同降水相态的空间分布特征

1981~2010年冬季华东地区132站雨、雪、雨夹雪、冻雨、冰粒共5种降水相态日数的总和的空间分布如图1所示。首先, 整个华东地区冬季均有降雨发生, 由北向南雨日增加; 其中, 江西、福建、浙江南部为大值区, 最大值出现在南城站, 为1034 d, 平均每年冬季出现降雨约34 d。整个山东雨日相对较少; 另外, 值得注意的是, 雨日超过300

d的基本在淮河以南地区, 而超过400 d的基本位于沿长江及其以南地区。从雪日分布来看, 除福建南部部分站点外, 其他地区均有降雪发生, 由北向南雪日减少; 山东、安徽西部、苏浙皖交界处为雪日大值区, 最大值出现在成山头, 为486 d, 平均每年冬季出现雪日约16 d; 从南北分布上来看, 以29°N为界, 以北地区雪出现较多, 其以南较少。雨夹雪的空间分布较零散, 主要的大值区位于皖赣交界的西南部地区、胶东半岛, 苏浙交界处也是一个相对大值区; 其中, 最大值出现在庐山, 为129 d。而冻雨的发生在华东的大部分地区较少, 30 a平均下来都低于1 d/a; 但是, 皖赣交界的西南部仍然是一个大值中心, 最大值出现在庐山, 为251 d; 另外, 在皖南山区也是一个次大值中心。从冰粒的空间分布来看, 冰粒集中在华东地区26°~32°N的带状区域, 赣西是一个大值中心, 最大值出现在宜春站和庐山站, 都为77 d; 苏浙交界处也是一个相对大值区。

由上述雨、雪、雨夹雪的空间分布, 可以大致将华东地区的雨、雪分界线划分在29°N、120°E附近(图2a中黑实线)。在29°N以北且120°E以西的区域以降雪形态为主, 为主雪区; 在29°N以南且120°E以东的区域以降雨形态为主, 为主雨区, 但是, 山东半岛因其独特的地理位置, 存在冷流降雪、渤海海效应降雪等现象, 山东是华东冬季雪的多发区; 同时, 沿该分界线附近也是雨夹雪的多发区(图2a)。利用NCEP/NCAR 850 hPa温度月平均再分析资料计算出1981~2011年冬季华东区上空850 hPa平均温度场(图2b), 可以发现850 hPa的2℃线与华东地区雨、雪的南北分界线恰好重合, 可见温度是决定降水相态的一个重要因子, 但是地理位置、地形、海陆差异等因素也有很大的影响。

对冻雨和冰粒日数高的站点进行普查(表1、2)。在华东地区冻雨高发区基本都是在皖赣浙闽的高山站, 并且每年冬季都有冻雨出现; 而冰粒出现的范围更广一些, 呈哑铃状分布, 在江西、浙江两省发生较多。

3 华东地区冬季不同降水相态的年际变化和周期特征

针对雨、雪、雨夹雪、冻雨、冰粒这5种降水相态分别计算站日数的标准化距平, 得到其年际变化曲线如图3。华东地区冬季不同降水相态都有

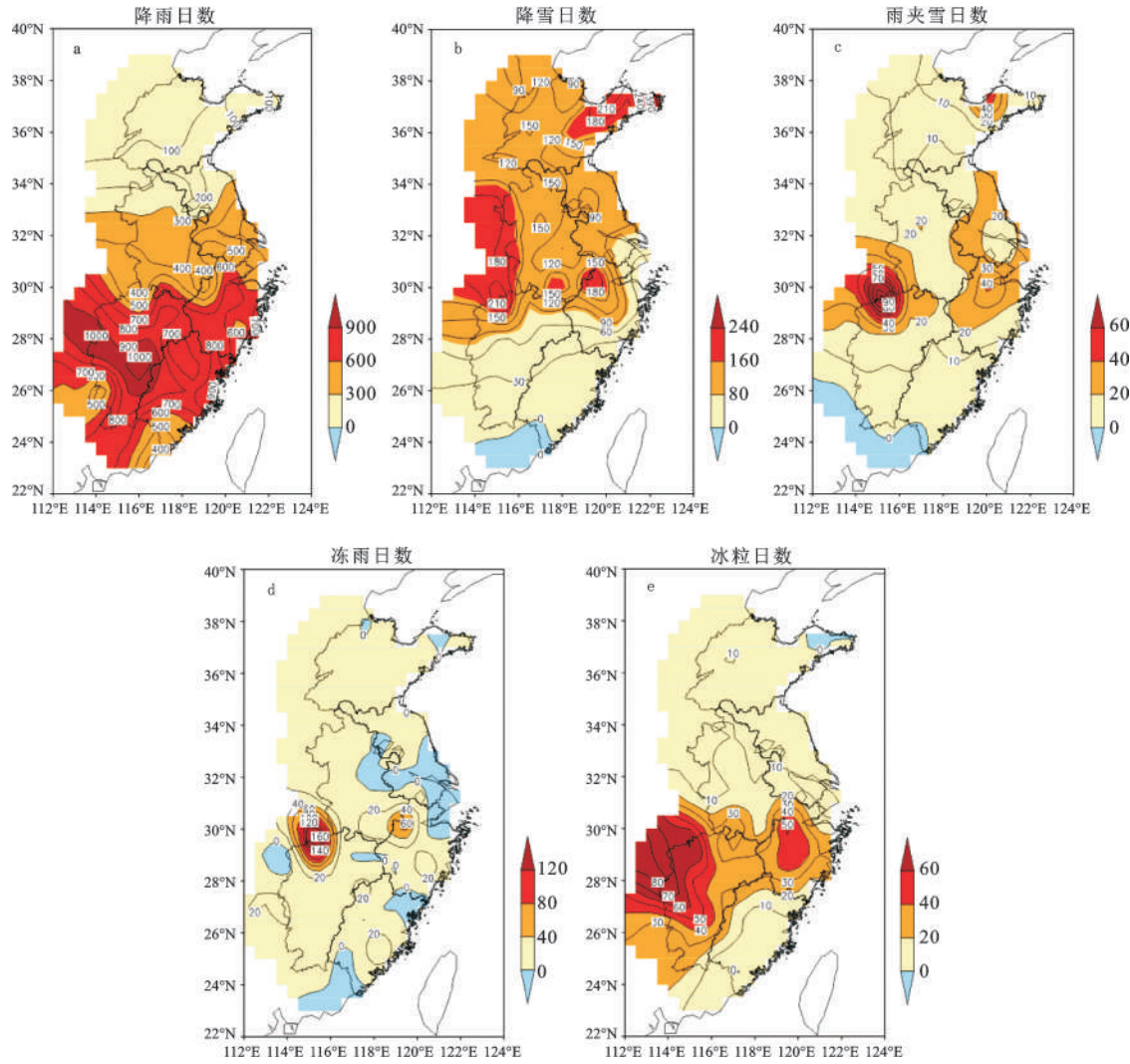


图1 1981~2010年冬季华东地区5种不同降水相态日数的空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of the days of five winter precipitation phases in Eastern China in 1981-2010

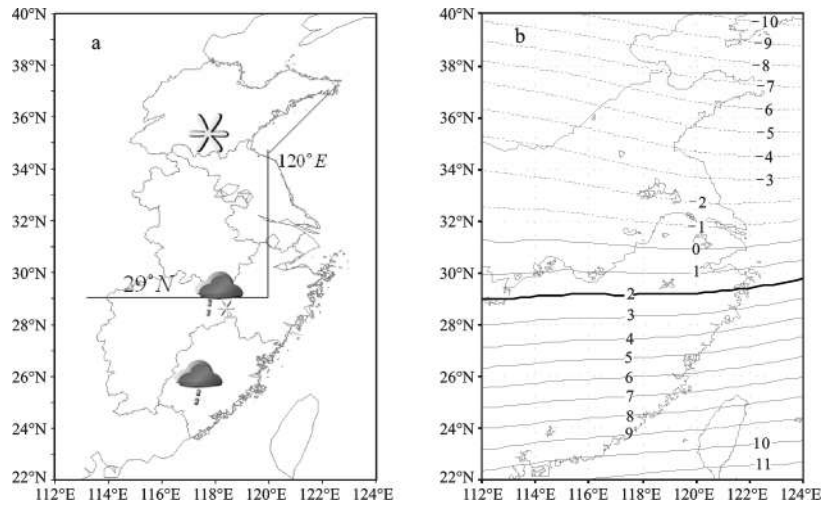


图2 华东地区雨雪分界线(a)和1981~2010年冬季850 hPa平均温度场(b)

Fig. 2 The rain and snow separatrix (a) and average temperature of 850 hPa in winter (b) in Eastern China during 1981-2011

表1 华东地区冻雨高发站点	
Table 1 Stations with higher incidence of freezing rain in Eastern China	
站名	冻雨日数(d)
庐山(赣)	251
黄山(皖)	126
天目山(浙)	109
括苍山(浙)	101
七仙山(闽)	96
九仙山(闽)	60
井冈山(赣)	47

表2 华东地区冰粒高发站点	
Table 2 Stations with higher incidence of ice particle in Eastern China	
站名	冰粒天数(d)
宜春(赣)	77
庐山(赣)	77
吉安(赣)	73
修水(赣)	66
南昌(赣)	65
天目山(浙)	63
衢州(浙)	59
嵊县(浙)	54
丽水(浙)	53
金华(浙)	51

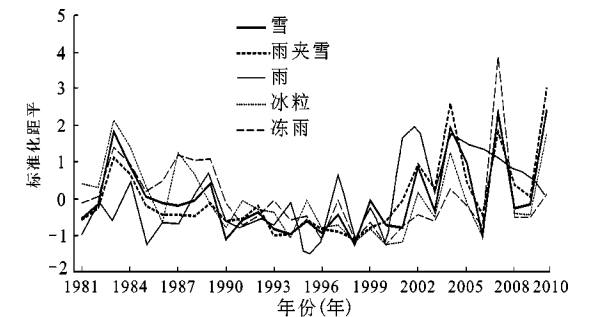


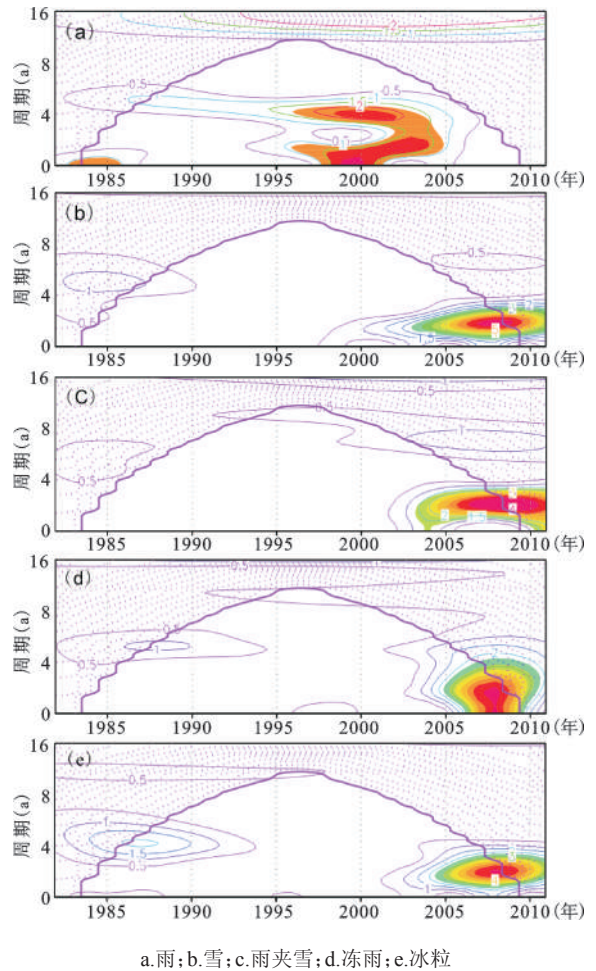
图3 1981~2010年冬季华东地区5种不同降水相态站日数的标准化距平

Fig.3 Normalized anomaly of the station days for five winter precipitation phases in Eastern China in 1981-2010

明显的年际波动,且有一定的差异;雪、雨夹雪、冻雨、冰粒的年际差异更为明显。值得注意的是,2000年以后,雪、雨夹雪、冻雨、冰粒的波动频率逐渐趋于一致。另外,可以看到20世纪80年代末到90年代,华东地区的各种降水相态都相对较少,进入21世纪,各类降水相态都增多,特别是2008年

初(2007冬季),中国南方经历了罕见的大范围低温、雨雪和冰冻天气。这次灾害持续时间长,影响严重,对交通、能源供应,电力传输,通信设施,农业生产,生态系统和人民生活造成了严重影响。2007年冬季华东地区的冻雨和冰粒的站日数也是近30 a来的极大值。

分别对华东地区冬季1981~2010年冬季5类降水相态的站日数进行Morlet小波分析(图4),并且用红或白噪声标准谱进行检验,其中阴影部分为通过95%的显著性检验。由图4可见,雪、雨夹雪、冻雨、冰粒的站日数均存在显著的准3 a的振荡周期,且主要存在于2000年以后的10 a中。雨站日数也存在准3 a的振荡周期,主要发生在1995~2005年的近10 a中。



a.雨;b.雪;c.雨夹雪;d.冻雨;e.冰粒

图4 1981~2010年冬季华东地区5种不同降水相态站日数的小波分析

Fig.4 The wavelet analysis of the days for five different precipitation phases station of winter in Eastern China in 1981-2010

以上分析了华东地区冬季5类降水相态的主要时空分布特征,那么其长期演变趋势又如何呢?计算给出了华东地区冬季5类降水相态的趋势系数值 r_m (表3)。由表3可见,雨、雪、雨夹雪站日数的趋势系数都呈正趋势,冻雨、冰粒则呈负趋势,并且雨和雨夹雪分布通过率0.01和0.05的信度检验,说明华东地区冬季雨和雨夹雪的站日数增长的趋势明显。

表3 1981~2010年冬季华东地区5种不同降水相态站日数的趋势变化

Table 3 Change trend in the station days of five winter precipitation phases in Eastern China in 1981-2010

站日数	雨	雪	雨夹雪	冻雨	冰粒
趋势系数	0.526**	0.204	0.402*	-0.192	-0.144

4 华东地区冬季不同降水相态站日数与环流指数的相关关系

为进一步了解影响华东地区不同降水相态的大尺度环流因子,对雨、雪、雨夹雪、冻雨、冰粒五类降水相态站日数与一些主要大尺度环流指数的相关关系进行分析(表4)。

表4 1981~2010年冬季华东地区5种不同降水相态站日数与环流指数的相关系数

Table 4 The correlation coefficient between the circulation index and the station days of five winter precipitation phases in Eastern China in 1981-2010

	雨	雪	雨夹雪	冻雨	冰粒
东亚冬季风指数	-0.367*	0.230	0.185	0.078	0.243
亚洲区极涡面积指数	-0.172	0.554**	0.416*	0.429*	0.641**
亚洲区极涡强度指数	0.437*	0.323	0.326	0.113	0.122

**表示通过0.01的信度检验; *表示通过0.05的信度检验。

东亚冬季风是东亚季风系统的重要组成部分,是北半球冬季最活跃和影响中国冬季气候最重要的环流系统之一,强东亚冬季风会给中国带来低温冷害、寒潮活动频繁等灾害性天气^[16,17]。考虑到东亚季风主要是由纬向海陆热力差异所形成,施能等^[18]提出用20°~50°N范围内,7个纬带(间隔5°)的纬向标准化海平面气压的差(110°E减去160°E)的和,并将其进行一次标准化处理作为东亚季风的强度。运用这种方法,利用NCEP/NCAR海平面气压场月平均资料,计算出1981~

2010年冬季的东亚冬季风指数。所得到的冬季风强度指数值大时,表示强冬季风。计算了东亚冬季风指数与雨、雪、雨夹雪、冻雨、冰粒站日数的相关系数,发现除了雨站日数与亚冬季风指数呈负相关外,其他4类降水相态的站日数均与亚冬季风指数呈正相关,即东亚冬季风强,雨站日数偏少,而雪、雨夹雪、冻雨、冰粒站日数偏多;但是只有雨站日数的相关系数通过0.05的信度检验。

极涡是与东亚气候关系密切的中高纬环流系统,利用国家气候中心整编的逐月环流特征指数,我们计算了1981~2010年冬季与雨、雪、雨夹雪、冻雨、冰粒站日数的相关系数。雪、雨夹雪、冻雨、冰粒站日数与亚洲区极涡的面积指数呈显著的正相关关系,即亚洲区极涡面积偏大,则华东雪、雨夹雪、冻雨、冰粒站日数多;其中,雪、雨夹雪、冻雨、冰粒站日数与亚洲区极涡面积正相关系数通过了0.05的信度检验,特别是雪站日数和冰粒站日数与亚洲区极涡的面积的正相关系数还通过了0.01的信度检验;雨站日数与亚洲区极涡的面积指数呈负相关关系,但是没有通过0.05的信度检验。而雨、雪、雨夹雪、冻雨、冰粒站日数均与亚洲区极涡的强度指数呈正相关关系,即亚洲极涡强度偏强,则华东雨、雪、雨夹雪、冻雨、冰粒站日数数多;其中,雨站日数与亚洲极涡强度的正相关系数通过了0.05的信度检验。

5 结 论

1) 华东地区的雨、雪地理分界线在29°N、120°E附近,在29°N以北且120°E以西的区域为主雪区,在29°N以南且120°E以东的区域为主雨区,但是山东是华东冬季雪的多发区;同时,沿该分界线附近也是雨夹雪的多发区。

2) 华东地区冻雨高发区基本都是在皖赣浙闽的高山站,并且每年冬季都有冻雨出现;而冰粒出现的范围更广一些,呈哑铃状分布,在江西、浙江两省发生较多。

3) 华东地区冬季不同降水相态都有明显的年际波动,且有一定的差异;雪、雨夹雪、冻雨、冰粒的年际差异更为明显,2000年以后,雪、雨夹雪、冻雨、冰粒的波动频率逐渐趋于一致。20世纪80年代末到90年代,华东地区的各种降水相态都相对较少,进入21世纪,各类降水相态都增多。华东地区冬季雨和雨夹雪的站日数增长的趋势明显。

4) 华东地区冬季5类降水相态均存在显著的准3 a的振荡周期,雨站日数主要发生在1995~2005年的近10 a中,其他四类降水相态主要存在于2000年以后的10 a中。

5) 东亚冬季风和极涡是与东亚气候关系密切的环流系统,通过相关分析,亚洲区极涡指数与华东地区冬季降水相态站日数的相关性更好,特别是亚洲区极涡面积指数与雪、雨夹雪、冻雨、冰粒的相关系数均通过0.05的信度检验。

参考文献:

- [1] 张自银,龚道溢,郭 栋,等.我国南方冬季异常低温和异常降水事件分析[J].地理学报,2008,63(9):899~912.
- [2] 陈海山,许 蓓.欧亚大陆冬季雪深的时空演变特征及其影响因子分析[J].地理科学,2012,32(2):129~135.
- [3] 帅嘉冰,郭品文,庞子琴.中国冬季降水与AO关系的年代际变化[J].高原气象,2010,29(5):1126~1136.
- [4] 房巧敏,龚道溢,毛 睿.中国近46年来冬半年日降水变化特征分析[J].地理科学,2007,27(5):711~717.
- [5] 王 林,冯 娟.我国冬季降水年际变化的主模态分析[J].大气科学,2011,35(6):1105~1116.
- [6] 彭京备.东印度洋海温对中国南方冬季降水的影响[J].气候与环境研究,2012,17(3):327~338.
- [7] 郎咸梅.中国东部冬季降水的动力结合统计预测方法研究[J].气象学报,2012,70(2):174~182.
- [8] 张 强,孙 鹏,陈 喜,等.1956~2000年中国地表水资源状况:变化特征、成因及影响[J].地理科学,2011,31(12):1430~1436.
- [9] 袁 为,杨海军.Madden-Julian 振荡对中国东南部冬季降水的调制[J].北京大学学报(自然科学版),2010,46(2):207~214.
- [10] 马洁华,王会军,张 颖.我国未来冬季降水会增加吗? 北极夏季无海冰情景时的模拟试验[J].科学通报,2012,57(9):759~764.
- [11] 伍国凤,郝志新,郑景云.1736年以来南京逐季降水量的重建及变化特征[J].地理科学,2010,30(6):936~942.
- [12] 汪言在,苟诗薇.重庆市降雨侵蚀力空间格局及其变化[J].地理科学,2013,33(1):116~122.
- [13] 许 丹,罗喜平.贵州凝冻的时空分布特征和环流成因分析[J].高原气象,2013,22(4):401~404.
- [14] 严小冬,吴战平,古书鸿.贵州冻雨时空分布变化特征及其影响因素浅析[J].高原气象,2009,28(3):694~701.
- [15] 曾明剑,陆维松,梁信忠,等.地形对2008年初中国南方持续性冰冻灾害分布影响的数值模拟[J].高原气象,2009,28(6):1376~1387.
- [16] 王会军,姜大膀.一个新的东亚冬季风强度指数及其强弱变化之大气环流场差异[J].第四纪研究,2004,24(1):19~27.
- [17] 王绍武.中国冷冬的气候特征[J].气候变化研究进展,2008,4(2):68~72.

The Spatial and Temporal Variations of Different Precipitation Phases in Eastern China During Winter

SUN Yan^{1,3}, YIN Dong-ping², GU Pei-shu³, JIN Xiao-xia¹

(1. Jiangsu Meteorological Observatory, Nanjing, Jiangsu 210008, China; 2. Jiangsu Meteorological Service Center, Nanjing, Jiangsu 210008, China; 3. Key Laboratory of Meteorological Disaster of Ministry of Education, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing, Jiangsu 210044, China)

Abstract: Based on the daily surface observation data, circulation features indices reorganized by National Climate Center and the reanalysis data of the US National Center for Atmospheric Research of National Centers for Environmental Prediction (NCEP/NCAR), detailed investigation is conducted of the temporal and spatial variations of different precipitation phases (rain, snow, sleet, freezing rain, ice particle) in Eastern China during winter in 1981-2011. The results show that: in Eastern China, the region to the north of 29°N and to the west of 120°E is called main snow region, where the majority of the precipitation phases is snow. On the other hand,

the region to the south of 29°N and to the East of 120°E is called main rain region, where the majority of the precipitation phase is rain. Besides, along the 29°N and 120°E , the sleet occurs frequently, and the freezing rain and ice particle are mostly concentrated in the stations which are in the mountains. The different precipitation phases in Eastern China during winter have obvious and different interannual fluctuations. Compared to that in the 21st century, the statistical data of all kinds of precipitation phases are relatively small in the late 1980s to 1990s. Except rain, the fluctuation frequency of snow, sleet, freezing rain, and ice particle tend gradually to the same since 2000. We define a new statistic 'station-days' to describe the influence of the precipitation, which combines the temporal and spatial variation characteristics. In Eastern China during the past 30 winters, the station-days of rain and sleet have increased evidently with the positive trend coefficient 0.526 and 0.402 respectively. The station-days of the precipitation phases also have close relationships with the general atmospheric circulation, especially with East Asian Winter Monsoon and polar vortex over Asian. The results of correlation analysis show that the station-days of rain during winter has an obvious negative correlation with the strength of East Asian Winter Monsoon, that is to say, when the East Asian Winter Monsoon is stronger, there is less rain in Eastern China, but the station-days of the other four phases of precipitation have the opposite situation. At the same time, the station-days of snow, sleet, freezing rain, and ice particle are positively correlated with the Asian polar vortex area index, in other words, when the area of polar vortex over Asian is bigger, there are more solid phases of precipitation, especially more snow and ice particle in Eastern China than usual, which can pass the 99% confidence level of T test. The station-days of rain is positively correlated with the Asian polar vortex strength index too, it means that, when the polar vortex over Asian is stronger, there is more rain in Eastern China, which can pass the 95% confidence level of T test.

Key words: precipitation phase; spatial and temporal distribution; atmospheric circulation index