

房一禾, 龚志强, 陈海山. 2016. 东北冷涡降水集中期的客观识别研究. 气象, 42(1): 80-88.

# 东北冷涡降水集中期的客观识别研究<sup>\* 1</sup>

房一禾<sup>1,2,3</sup> 龚志强<sup>4</sup> 陈海山<sup>1,3</sup>

1 南京信息工程大学气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 气象灾害教育部重点实验室, 南京 210044

2 沈阳区域气候中心, 沈阳 110166

3 南京信息工程大学大气科学学院, 南京 210044

4 国家气候中心, 中国气象局气候研究开放实验室, 北京 100081

**提 要:** 基于区域关键天气过程客观化识别和监测的需求及东北雨季应包括冷涡降水的事实, 采用东北三省及内蒙古东四盟共 147 站逐日降水量资料, 通过对东北区域多年平均 5 点平滑处理的逐日降水量序列的综合分析及对历年逐日滑动平均雨量的对比试验, 确定了判别东北冷涡降水集中期开始日期的阈值及持续时间, 进而研制了东北冷涡降水集中期开始日期的客观识别方法。基于该方法的客观识别, 得到 1981—2010 年气候平均态的东北冷涡降水集中期的开始日期为每年的 5 月 26 日。同时, 定义盛夏降水集中期开始日的前一日为冷涡降水集中期的结束日期, 发现冷涡降水集中期的结束日期为 6 月 25 日。在此基础上, 采用 NCEP/NCAR 逐日再分析的风场、位势高度场资料, 通过对东北冷涡降水集中期前、中和后期各层大气环流场及各系统的逐日变化特征的对比分析, 验证了该客观识别方法的合理性。

**关键词:** 东北冷涡, 降水集中期, 开始日期, 客观识别

**中图分类号:** P466

**文献标志码:** A

**doi:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2016.01.010

## Objective Identification Research on China Northeast Cold Vortex Precipitation Period

FANG Yihe<sup>1,2,3</sup> GONG Zhiqiang<sup>4</sup> CHEN Haishan<sup>1,3</sup>

1 Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Key Laboratory of Meteorological Disaster, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

2 Regional Climate Center of Shenyang, Shenyang 110166

3 College of Atmospheric Science, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

4 Laboratory for Climate Studies of CMA, National Climate Center, Beijing 100081

**Abstract:** Based on the requirement of objective identification and monitoring to key weather process, and the fact that the rainy season of Northeast China includes cold vortex precipitation, and using the daily precipitation data of 147 observing stations in Northeast China, this paper comprehensively analyzed the daily precipitation series disposed by 5 d moving average. Also, the contrast test of the daily moving average precipitation in the former years was designed. The threshold, duration as well as the criterion of onset and end dates cold vortex precipitation period in the Northeast China were confirmed. Then, based on the NCEP/NCAR daily reanalysis data of wind field and geopotential height field, the atmospheric circulation fields at different levels before, during and after the cold vortex precipitation period were analyzed, and the rationality of the criterion was validated. The objective identification method shows that the average onset

\* 辽宁省气象局科学技术研究项目(201502)、辽宁省科技厅农业攻关及产业化项目(2015103038)、公益性行业(气象)科研专项(GY-HY201306049 和 GYHY201306050)共同资助

2014 年 12 月 23 日收稿; 2015 年 8 月 18 日收修定稿

第一作者: 房一禾, 主要从事短期气候预测研究. Email: 49954570@qq.com

通信作者: 龚志强, 主要从事气候系统复杂网络的应用和动力-统计相结合的季节降水预测等研究. Email: gongzq@cma.gov.cn

date of the cold vortex r precipitation period in Northeast China is 26 May. The analysis of midsummer precipitation period reveals that the average end date of the cold vortex precipitation period is 25 June.

**Key words:** Northeast China cold vortex, precipitation duration, onset date, objective identification

## 引 言

中国处于东亚季风区,受东亚季风等系统影响,各地大范围、集中降水开始和结束的时间有较大差别,例如江南春雨、华南前汛期、梅雨及华西秋雨等天气气候现象都表明了中国不同区域降水的独特性。东北三省及内蒙古东四盟各自的雨季监测指标也不尽相同,目前东北地区雨季起止日期尚没有一个统一的、定量的划分标准,通常只是按一年中雨带的大致变化,粗略划分雨季的大概时间。然而,精确的雨季起止日期监测是气象服务的重要内容,对农业生产和政府决策等均有重要的作用。因此,开展东北雨季或降水集中期的客观识别研究有着重要的现实意义。

早在 20 世纪 30 至 40 年代,就有学者开展了关于降水集中期或雨季的相关研究。如:5—8 月自南海夏季风爆发后,雨带的逐渐北移形成华南前汛期、江淮梅雨和华北雨季(竺可桢,1934;涂长望等,1944),该结论可作为各地雨季客观识别工作的总体参考。赵汉光(1994)采用旬降水量定义华北雨季,揭示了华北雨季开始期主要集中在 7 月中旬左右,结束期主要集中在 8 月中旬左右。林之光(1985)和张家诚(1991)也采用旬雨量研究了雨季起止日期。同时,强学民等(2008)指出:雨季开始和结束与大气环流的季节转换相联系,因此用候作为划定标准的时间单位较为合适。晏红明等(2013)采用候雨量为单位对中国西南区域雨季开始和结束日期划分标准进行了研究。东北雨季方面,王学忠等(2006)采用 9 个测站的旬降水量资料,研究了东北雨季的划分,结果表明:东北雨季平均在 7 月中上旬开始,8 月中上旬结束。孙欣等(2007)曾对辽宁雨季和多雨季标准的划分进行过研究,指出:以副热带高压脊线位置作为多雨季划分标准,可得出辽宁各地雨季、多雨季常年起止时间。沈柏竹等(2011)指出:初夏(5 和 6 月)东北地区降水主要受东北冷涡的影响。随着西太平洋副热带高压的北进,东北冷涡的影响逐渐减

弱,东亚夏季风在盛夏(7 和 8 月)开始对东北地区降水产生影响。以往对于东北冷涡(孙力等,2000;李辑等,2014)和夏季风(Feng et al,2001;施能等,1996;廉毅等,2004;张庆云等,2007;Gong et al,2014)有较多有意义的研究成果。如:分析了东北冷涡和夏季风成员在各层环流场上的体现,也分析了东北冷涡和夏季风与东北夏季降水的密切关系。其他学者也在相关领域开展了研究,并得到了有意义的结论(Huang et al,1998;He et al,2008;Wang et al,2012;卢明等,2013)。

综上所述,东北降水集中期(或雨季)应包括冷涡降水集中期和盛夏降水集中期两个阶段。当前的气候监测业务中尚无统一的东北降水集中期监测指标,且以往对于雨季起止日期的研究多采用旬雨量或候雨量,这两个时间尺度不如日雨量精确;而且以往的研究并没有把冷涡降水集中期和盛夏降水集中期区分进行研究。因此,本文在秉承夏季风对东北盛夏降水有重要贡献的基础上,着重分析东北冷涡对东北地区夏季降水的影响。采用 1961—2011 年的逐日降水量资料,基于东北区域 5 点平滑后的逐日降水量序列研究东北冷涡降水集中期开始日期的客观识别方法,并通过对比试验和环流分析来验证其可靠性,以期为国家气候监测业务提供技术支撑。由于东北盛夏降水集中期的客观识别已在另文中研究(房一禾等,2014),本文主要针对冷涡降水集中期的内容展开分析。

## 1 资料和方法

### 1.1 资料

站点资料方面:采用由国家气候中心提供的全国 2400 站高分辨率逐日降水量资料,经过质量控制,得到 1961—2011 年东北三省及内蒙古东四盟共 147 站逐日降水量资料,站点分布如图 1 所示。格点资料方面:采用 NCEP/NCAR 再分析的逐日位势高度场和风场资料(分辨率:2.5°×2.5°)。

在研究雨季客观识别方法时,需对雨季开始或结束日期的雨量进行分析和界定。目前,关于雨季起止日期标准的研究多采用日雨量和候雨量的变化来定义(强学民等,2008)。日雨量相对候雨量来说更加精确,但日尺度降水的波动较大。因此,本文采用 5 点平滑方法对东北区域多年平均的逐日降水量序列进行 5 点平滑处理,得到 5 天滑动平均的候资料。文中提到的多年平均均指 1981—2010 年的气候平均值。

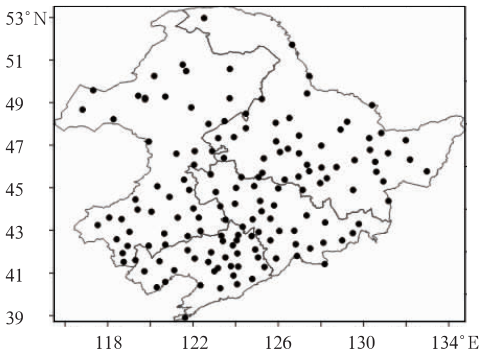


图 1 东北区域 147 站站点分布图

Fig. 1 The geographic distribution of 147 stations in Northeast China

## 1.2 方法

### 1.2.1 东北区域冷涡降水集中期的客观识别方法

用  $R$  表示东北区域多年平均的逐日 5 天滑动平均雨量(共 365 d,剔除闰年 2 月 29 日); $r_i$  表示第  $i$  日的 5 天滑动平均雨量。则定义:当  $r_i$  (4 月 1 日  $< i < 7$  月 31 日) 稳定大于  $R$  的第一日为东北区域多年平均冷涡降水集中期的开始日期。

初夏东北地区受夏季风影响较弱,冷涡对降水的影响起主导作用,而盛夏冷涡的发生频次有所减少,冷涡对东北地区降水的主导作用明显减弱,夏季风的影响显著加强。因此,定义盛夏降水集中期开始日期的前一日为东北冷涡降水集中期的结束日期。多年平均的盛夏降水集中期的开始日期为 6 月 26 日(房一禾等,2014),则多年平均的东北冷涡降水集中期的结束日期为 6 月 25 日。

### 1.2.2 东北区域历年冷涡降水集中期客观识别的对比试验方案

定义: $r_{yi}$  为东北区域平均的某年逐日 5 天滑动平均雨量序列( $y$  为年份; $i$  为日期); $r_s$  为  $r_{yi}$  对应日

期的某日单站逐日 5 天滑动平均雨量; $\bar{r}$  为  $r_{yi}$  对应年份的单站逐日 5 天滑动平均雨量的年平均值; $n$  为  $r_{yi}$  第一天通过阈值以后,连续通过阈值的天数。历年东北冷涡降水集中期的客观识别是在多年平均冷涡降水集中期识别方法的基础上,进一步通过对比试验确定连续超过阈值的天数  $n$ ,从而得到的客观识别方法。

对历年冷涡降水集中期开始日期的识别采用以下的对比试验:从 5 月 1 日开始,当某年某日的  $r_{yi} > R$ ,且东北区域内有 50% 以上站点的  $r_s > \bar{r}$ ,则将 该日作为冷涡降水集中期开始的待定日,如果之后连续  $n$  天都满足  $r_{yi} > R$ ,则将待定日确定为冷涡降水集中期的开始日。其中, $n=0\sim 5$  分别对应冷涡降水集中期的 6 组对比试验。

### 1.2.3 东北冷涡降水集中期前、中、后期的时间段划分方法

为分析降水集中期前、中、后期的环流差异,我们把降水集中期的前、中、后期分为 3 个时段,时段 1 为冷涡降水集中期的开始日之前一个月(4 月 26 日至 5 月 25 日);时段 2 为冷涡降水集中期的开始日至冷涡降水集中期的结束日(5 月 26 日至 6 月 25 日);时段 3 为冷涡降水集中期的结束日之后一个月(6 月 26 日至 7 月 25 日)。

### 1.2.4 各种逐日指数的定义方法

东北冷涡频次的计算方法:统计 1961—2010 年每日出现东北冷涡的总频次,经标准化处理后再求 5 天滑动平均,得到逐日东北冷涡频次。经向风指数定义方法:由于众多夏季风指数与东北地区降水的关系不是很密切,本文将东北地区( $38^\circ\sim 54^\circ\text{N}$ 、 $115^\circ\sim 135^\circ\text{E}$ )平均的,850 hPa 经向风场求多年平均,求 5 天滑动平均后再做标准化处理,得到逐日经向风指数。该指数可从一定程度上反映东亚夏季风对东北地区夏季降水的影响。西伯利亚高压区海平面气压指数定义方法:将( $45^\circ\sim 70^\circ\text{N}$ 、 $80^\circ\sim 120^\circ\text{E}$ )区域平均的,海平面气压场求多年平均,求 5 天滑动平均后再做标准化处理,得到逐日西伯利亚高压区海平面气压指数。

## 2 东北地区月降水量分布和演变的气候态特征

在确定东北区域冷涡降水集中期的开始和结束

日期之前,有必要首先分析 5—10 月逐月东北地区降水量的分布和演变特征。图 2a~2f 分别为多年平均的 5—10 月东北地区逐月降水量的气候分布,可见东北地区月降水量分布的区域差异比较明显,降水量总体呈现东南部多于西北部,即沿海大于内陆的分布特征。5 月东北地区没有出现 100 mm 以上降水量的站点,东北地区东南部降水量大于西北部地区,即东北地区东南部可能率先进入雨季;6 月降水量较 5 月整体增加,辽宁东部和吉林东部降水量最先超过了 100 mm;7 和 8 月东北地区降水量较 5 和 6 月明显增加,是降水量最多的两个月。9 和

10 月全区降水量较 7、8 月整体减少。从 5—10 月东北地区逐月降水量的变化来看,降水量的增加首先出现在东北地区东南部(即辽宁东部和吉林东部),然后逐渐向西北扩展,这在一定程度上反映了东北地区雨季首先从东南沿海开始,然后逐渐向西北内陆推进的过程。由于东北冷涡在 5 月已经开始对东北地区降水开始产生影响(沈柏竹等,2011),因此,冷涡降水集中期的开始日期应大致出现在 5 月,而盛夏降水集中期则主要集中在 7 和 8 月,对应冷涡降水集中期的结束日期应大致出现在 6 月下旬。

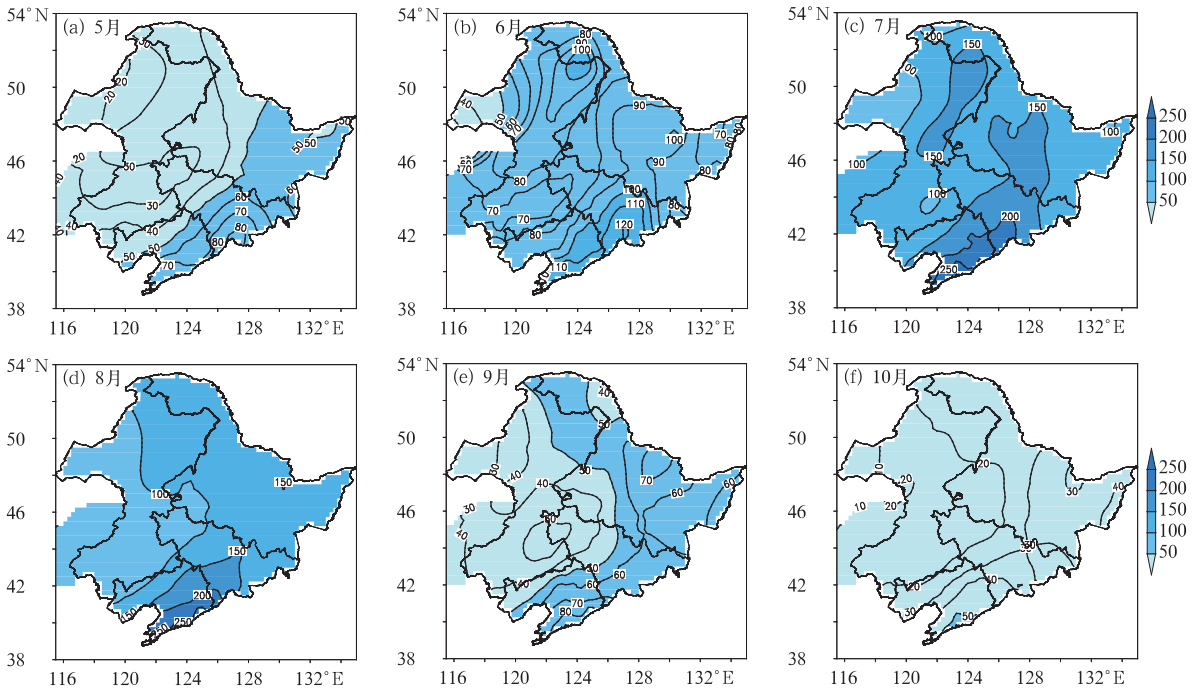


图 2 东北区域 5—10 月多年气候平均降水量分布(单位:mm)

Fig. 2 Distribution of climatic mean precipitation from May to October in Northeast China (unit; mm)

尽管东北地区东南部和西北部月降水量有一定差异,但全区域 5—10 月逐月降水量变化在空间上却有明显的一致性特征。图 3a~3f 分别给出 1961—2011 年东北区域 5—10 月降水量标准化距平的经验正交函数展开(EOF),各月第一模态方差贡献率大致在 30%~40%之间,各月降水量 EOF 第一模态的空间向量均体现了东北全区域一致的异常变化特征。因此,从整个东北区域的角度来研究东北地区雨季开始和结束日期的划分标准在一定程度上是合理的。

### 3 东北区域多年平均冷涡降水集中期的客观识别

东北区域多年平均降水集中期的客观识别中,主要分析多年平均的逐日 5 天滑动平均雨量变化曲线( $r_t$ )的年内演变特征。图 4a 给出  $r_t$  的变化曲线,可以看出,4 月 1 日至 5 月 18 日,在波动中缓慢上升;5 月 19 日至 6 月 30 日, $r_t$  有两次陡升,第一次陡升与  $R$  出现交点,交点出现在 5 月 26 日。第二次陡升以后,

$r_t$  仍在上升,并在 7 月下旬到 8 月初达到峰值。8 月 9 日至 10 月 31 日,  $r_t$  出现两次陡降和一次缓降,其中前两次为陡降。第一次陡降后,逐日滑动平均雨量仍较大,而第二次陡降过程中,降水量明显减少。结合对  $r_t$  和阈值的比较分析,初步把冷涡降水集中期的开始日期定义为第一次陡升过程中,逐日 5 天滑动平均雨量稳定超过  $R$  的日期,即东北区域多年平均冷涡降水集中期的开始日期为 5 月 26 日。

定义一个区域的降水集中期的开始和结束日期,除考虑降水量的变化外,很大程度上还要考虑降水范围的大小。图 4b 给出东北区域 147 站单站降水量超过  $R$  的站点数占东北区域总站数的百分比。由图 4b 可见,百分比稳定超过 50% 的日期出现在 5 月 27 日,这与图 4a 中  $r_t$  稳定超过阈值  $R$  的日期基本一致。这也进一步证明了对于东北冷涡降水集中期开始日期定义的合理性。

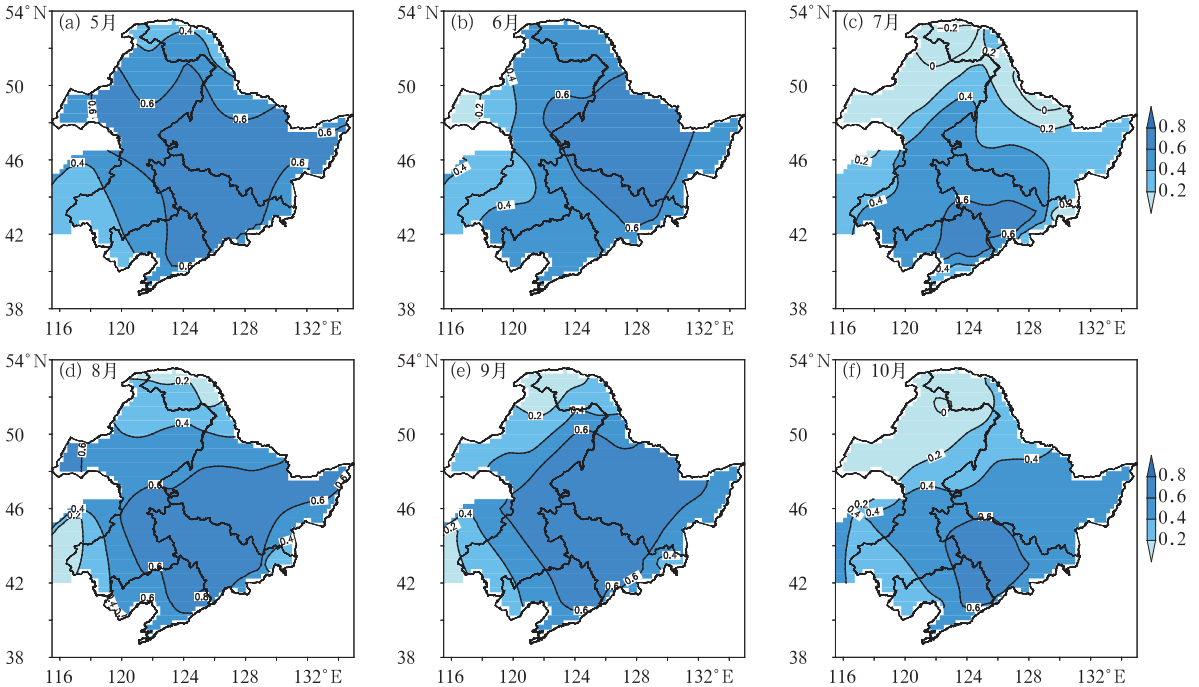


图 3 1961—2011 年 5—10 月降水标准化距平 EOF 第一模态空间分布

Fig. 3 Distribution of the first EOF mode of precipitation standardized anomaly from May to October

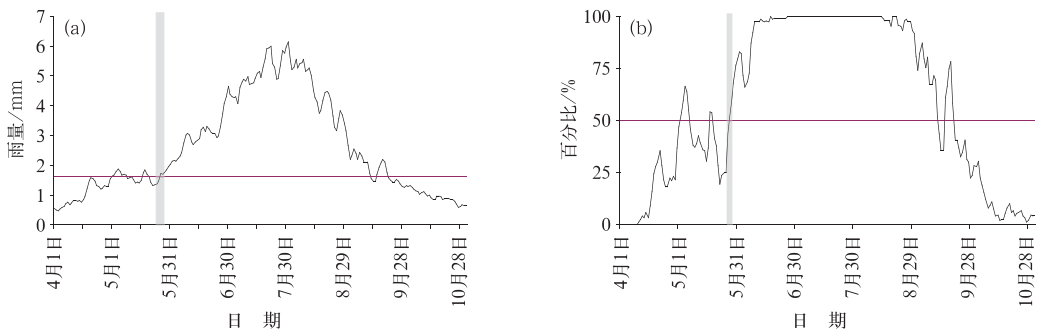


图 4 4 月 1 日至 10 月 31 日东北区域多年平均逐日 5 天滑动平均雨量曲线(a)及单站逐日 5 天滑动平均雨量超过  $R$  的站数占总站数的百分比(b)

Fig. 4 (a) The 5 d moving average curve of daily precipitation from 1 April to 31 October and (b) the percentages of the station number of daily 5 d moving average precipitation exceeding  $R$  to total station number in Northeast China

此外,多年平均的逐日 EOF 第一模态时间系数变化也可以在很大程度上反映季节变化特征。图 5 给出东北区域 1981—2010 年平均的逐日(365 d)滑动平均雨量 EOF 第一模态标准化时间系数曲线。可见,EOF 第一模态空间(图略)向量反映了全区一致的变化特征。逐日标准化时间系数的变化曲线与图 4a 给出的东北区域多年平均逐日雨量的变化几乎是一致的。由图 5 可见,标准化时间系数在 5 月 26 日稳定大于 0,这与之前判别的东北冷涡降水集中期开始日期完全一致。因此,逐日雨量 EOF 第一模态空间分布及相应多年平均逐日标准化时间系数的变化进一步说明本文定义的东北区域多年平均冷涡降水集中期的开始日期是合理的。

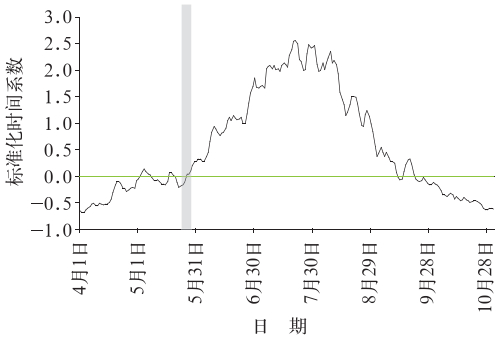


图 5 多年平均逐日滑动平均雨量 EOF 第一模态对应的标准化时间系数  
Fig. 5 The first EOF mode's standardized time coefficient of the climatic mean daily moving average precipitation

综上所述,1.2.1 中给出了客观识别方法能有效地实现东北冷涡降水集中期的客观识别方法,对东北区域多年平均逐日 5 天滑动平均雨量曲线进行识别可知,东北区域多年平均冷涡降水集中期开始日期为 5 月 26 日,结合另文对盛夏降水集中期的分析,认为多年平均冷涡降水集中期结束日期为 6 月 25 日。

#### 4 历年东北区域冷涡降水集中期的客观识别

由于上述分析的  $r_i$  经过了区域平均之后再求多年平均,两次平均后的结果平滑掉了降水量演变的区域差异和年际波动的信息。从图 4a 中  $r_i$  的变化曲线可见,在 5 月 26 日超过  $R$  之后, $r_i$  一直稳定地大于  $R$ 。但实际业务中,东北区域历年逐日 5 天滑动平均雨量围绕  $R$  的上下波动是比较明显的。因此,要确定历年降水集中期起止日期的划分标准时,日滑动平均雨量超过阈值  $R$  的持续时间是必须考虑的问题。为此,本文根据日滑动平均雨量大于  $R$  并连续超过  $R$  的日数准备了不同标准的对比试验,通过对比试验来进一步确定持续天数  $n$  的判定标准。根据 1.2.3 中给出的 6 组对比试验方案,对历年东北冷涡降水集中期进行客观识别。分别计算了不同对比试验下,1961—2011 年东北冷涡降水集中期的开始日期。

图 6a 分别给出,基于不同对比试验得到的历年

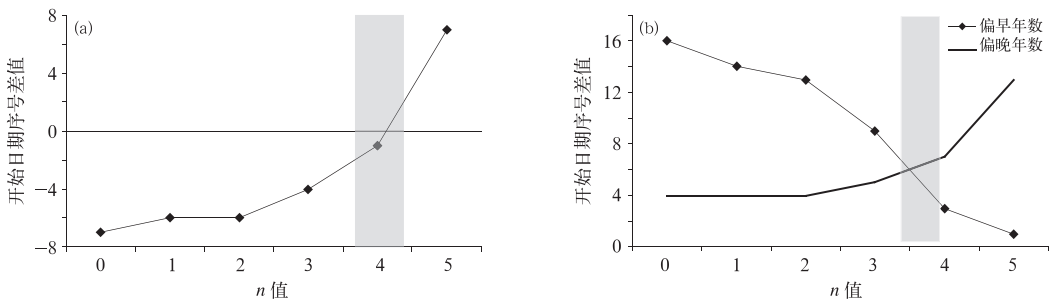


图 6 历年平均冷涡降水集中期的开始日期序号与多年平均冷涡降水集中期的开始日期序号的差值曲线(a)及历年冷涡降水集中期的开始日期明显偏早及明显偏晚的年数曲线(b)

Fig. 6  $n$ -value curve between average onset date sequence number in former years and climatic mean date sequence number of cold vortex rainy season (a) and the number of obviously earlier and later years of the onset of cold vortex rainy season in former years (b)

平均冷涡降水集中期的开始日期序号与多年平均冷涡降水集中期开始日期序号的差值曲线,其中降水集中期的开始日期序号为起止日期距离 4 月 1 日的天数加 1,横坐标为不同对比试验的  $n$  值。由图 6a 可见,当连续通过阈值的天数  $n$  由 0 到 5 变化时,历年平均冷涡降水集中期的开始日期序号与多年平均冷涡降水集中期的开始日期序号的差值曲线(后文简称差值曲线)呈上升趋势,差值曲线值由负转正,即历年平均开始日期较多年平均开始日期由偏早向偏晚过渡。其中  $n=4$  为“穿 0 点”,对应历年平均开始日期与多年平均(气候态)开始日期最为接近,适合作为冷涡降水集中期开始日期的客观识别标准。

为了进一步验证采用  $n=4$  作为冷涡降水集中期开始日期客观识别标准的合理性,我们还计算了由各组对比试验得到的历年冷涡降水集中期的开始日期明显偏早或偏晚的年数。这里规定:若某年冷涡降水集中期的开始日期比多年平均开始日期早 15 d 以上或晚 15 d 以上,则该年冷涡降水集中期的开始日期明显偏早或偏晚。图 6b 给出基于不同对比试验计算得到的历年冷涡降水集中期的开始日期明显偏早及明显偏晚的年数曲线,横坐标为不同对比试验的  $n$  值。由图 6b 可见,冷涡降水集中期的开始日期的偏早(晚)年数随着  $n$  值的增大,呈现下降(上升)趋势。当  $n$  约为 4 时,偏早和偏晚年数曲线出现交点,即偏早和偏晚年数相等,这说明  $n=4$  这个标准比较适中。这与图 6a 中冷涡降水集中期的开始日期差值曲线的“穿 0 点”一致。由此,选取  $n=4$  作为东北冷涡降水集中期开始日期的标准之一是合理的。

表 1 为基于以上客观识别方法计算的东北冷涡降水集中期历年的起止日期及冷涡降水集中期的长度。可以看出,历年东北冷涡降水集中期的起止日期较多年平均起止日期有一定的偏差(偏差范围一般在 30 d 以内)。其中 1982 和 2008 年开始日期出现最早,均为 5 月 1 日;1972 年结束日期出现最晚,为 7 月 17 日。1972 年东北冷涡降水集中期的持续时间最长,为 67 d。1966、1991 和 2003 年东北冷涡降水集中期的持续时间最短,均为 1 d。类似梅雨定义中的“空梅”,这里认为长度小于 5 d 的年份定义为冷涡降水集中期的“空冷涡降水”。“空冷涡降水”的意义在于,达到冷涡雨季标准后,后期降水量持续大于冷涡降水的常年值,并达到了盛夏降水集中期开始标准的情况。

表 1 历年东北冷涡降水集中期起止日期及冷涡降水集中期长度

Table 1 The onset and ending dates of cold vortex rainy season and its duration

年份	开始 / 月	开始 / 日	结束 / 月	结束 / 日	冷涡降水集中期长度/d
1961	5	17	6	28	43
1962	5	13	7	4	23
1963	6	6	6	18	13
1964	5	31	7	1	32
1965	6	24	6	25	2
1966	6	1	6	1	1
1967	5	22	7	9	19
1968	5	22	6	27	37
1969	5	26	7	11	47
1970	5	23	7	11	50
1971	5	22	6	7	17
1972	5	12	7	17	67
1973	5	16	6	14	30
1974	5	29	6	14	17
1975	5	29	6	28	31
1976	5	9	6	5	28
1977	5	28	6	14	18
1978	5	23	6	7	16
1979	6	4	6	22	19
1980	5	24	6	11	19
1981	5	9	6	18	41
1982	5	1	7	8	69
1983	5	9	6	25	48
1984	5	26	7	5	41
1985	6	6	6	25	20
1986	5	12	6	22	42
1987	5	14	6	26	44
1988	5	22	6	28	38
1989	5	11	6	24	45
1990	5	1	6	3	34
1991	6	5	6	5	1
1992	5	4	6	1	29
1993	5	5	6	6	33
1994	5	2	6	22	52
1995	5	8	6	16	40
1996	5	6	6	17	43
1997	5	14	6	30	48
1998	5	19	6	7	20
1999	6	1	7	14	44
2000	5	19	7	14	67
2001	5	5	6	27	54
2002	6	5	7	9	35
2003	6	6	6	6	1
2004	5	1	6	17	48
2005	5	4	6	6	34
2006	6	2	6	4	3
2007	5	14	7	4	52
2008	5	1	5	24	24
2009	6	3	6	5	3
2010	5	3	6	28	57
2011	5	4	5	28	25

## 5 各环流系统指数的逐日变化与东北冷涡降水集中期起止日期的关系

### 5.1 东北冷涡频次的年内变化特征

东北冷涡降水集中期顾名思义,降水会受到东北冷涡活动的影响。本节中,我们计算了逐日东北冷涡频次,目的是分析东北冷涡活动与降水量的对应关系。图7给出4月1日至9月30日逐日东北冷涡频次的标准化时间序列,可见4月下旬冷涡频次开始大于0,此时冷涡对降水的作用初步开始体现;5月初,冷涡频次第一次大于1,随后又围绕1波动,此时东北地区日降水量较小;5月20—24日冷涡频次出现一次较大幅度的下降;除5月30日至6月1日又一次较小的波动外,5月25日开始冷涡频次相对稳定地大于1,该日期与之前定义的冷涡降水集中期开始日期仅相差1d;5月末到7月初,冷涡频次围绕1上下波动,其中在6月初达到峰值;7

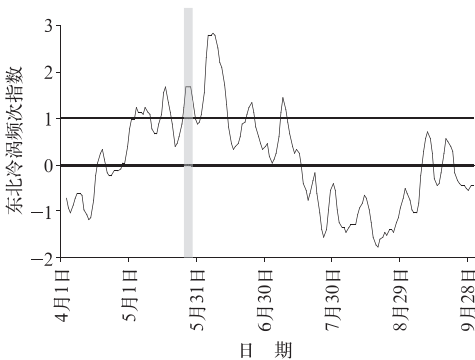


图7 逐日东北冷涡频次的标准化时间序列

Fig. 7 Standardized time series of daily frequency of Northeast China cold vortex

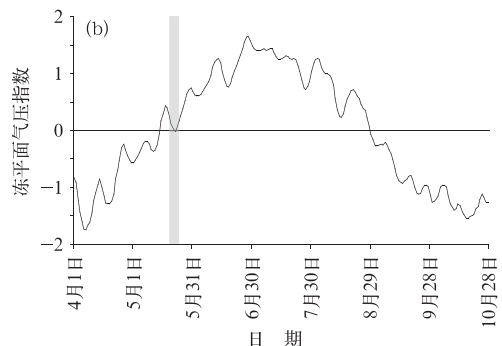
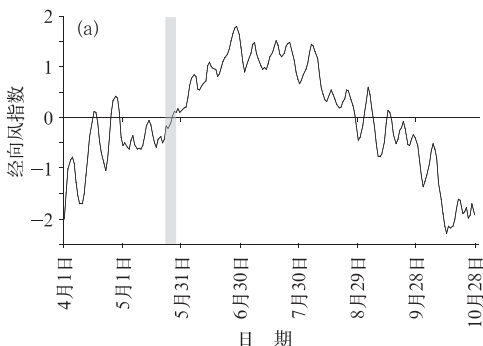


图8 逐日经向风指数(a)和西伯利亚高压区海平面气压指数(b)的时间序列

Fig. 8 Standardized time series of meridional wind index (a) and Siberian high pressure zone SLP index (b)

月中旬至8月末,冷涡频次急剧下降,恰好对应东北地区盛夏降水主要受夏季风影响(沈柏竹等,2011);8月底夏季风对东北地区影响明显减弱,季风撤退。这条曲线不但反映了冷涡频次的变化特征,即6月下旬以后冷涡的发生频次较前期明显减少,也初步说明了定义冷涡降水集中期的意义和前文定义的开始日期的合理性。

### 5.2 经向风和西伯利亚高压区海平面气压指数的变化特征

由于东北地区上空的850 hPa经向风在一定程度上可以表征东北地区的水汽输送情况,而且东北地区降水还与高纬的系统有一定对应关系(沈柏竹等,2011)。因此,我们计算了经向风和西伯利亚高压区海平面气压指数,并对这两种环流系统逐日指数进行了标准化处理。两者与东北地区多年平均逐日降水量经5天滑动平均处理后的序列的相关系数均通过了0.01显著性检验。两条曲线中出现持续超越0值的日期与图4有很好的对应关系。

图8分别给出逐日经向风和西伯利亚高压区海平面气压指数的时间序列。由图8a可见,经向风指数稳定大于0的日期为5月28日,该日期与冷涡降水集中期的开始日期偏差仅为2d;由图8b可见,西伯利亚高压区海平面气压指数稳定大于0的日期为5月25日,与冷涡降水集中期的开始日期仅偏差1d。

因此,逐日的东北冷涡指数、经向风指数和西伯利亚高压区海平面气压指数的年内变化与本文定义的东北冷涡降水集中期的开始日期均对应较好。这进一步证明了本文对东北冷涡降水集中期开始日期的客观识别是合理的。



## 6 结论与讨论

本文研究了东北冷涡降水集中期开始的客观识别方法,并通过对各环流系统指数的年内逐日变化与东北冷涡降水集中期关系的分析,得到以下结论:

(1) 研发了东北区域历年冷涡开始的客观识别方法:从每年的 5 月 1 日开始,若某日的  $r_{yi} > R$ ,且东北区域内至少有 50% 站点的  $r_s > \bar{r}$ ,且之后连续 4 d 都满足  $r_{yi} > R$ ,则认为该日是东北冷涡降水集中期的开始日期。同时,基于对 1981—2010 年东北区域逐日降水气候态的分析,确定了东北区域多年平均冷涡降水集中期的开始日期为 5 月 26 日。定义盛夏雨季开始日前一日为冷涡降水集中期的结束日,则多年平均冷涡降水集中期的结束日期为 6 月 25 日。

(2) 通过对环流异常分析,发现逐日的东北冷涡指数、经向风指数和西伯利亚高压区海平面气压指数的年内变化与本文定义的东北冷涡降水集中期的开始日期均对应很好,进一步验证了本文研发的东北冷涡降水集中期客观识别方法的合理性。

### 参考文献

房一禾,龚志强,赵连伟,等. 2014. 中国东北区域盛夏雨季的客观识别. 物理学报, 63(20):209202-1-209202-12.

李辑,房一禾,李菲,等. 2014. 辽宁初夏降水大尺度环流影响因子及 2012 年初夏异常多雨成因分析. 气象, 40(9):1114-1122.

廉毅,沈柏竹,高枫亭. 2004. 关于确定东亚夏季风强度指数的探讨. 气象学报, 62(6):782-789.

林之光. 1985. 中国气候. 上海:上海科学技术出版社,76-80.

卢明,谭桂荣,陈海山,等. 2013. 江淮夏季降水异常与西印度洋地区大气环流异常的关系. 气象科学, 33(5):510-518.

强学民,杨修群,孙成艺. 2008. 华南前汛期降水开始和结束日期确定方法综述. 气象, 34(3):10-15.

沈柏竹,林中达,陆日宇,等. 2011. 影响东北初夏和盛夏降水年际变化的环流特征分析. 中国科学:地球科学, 41(3):402-412.

施能,朱乾根,吴彬贵. 1996. 近 40 年东亚夏季风及我国夏季大尺度天气气候异常. 大气科学, 20(5):575-583.

孙力,安刚,廉毅. 2000. 夏季东北冷涡持续性活动及其大气环流异常特征的分析. 气象学报, 58(6):704-714.

孙欣,陈传雷,卢娟. 2007. 辽宁雨季和多雨季标准的划分研究. 气象与环境学报, 23(5):62-66.

涂长望,黄士松. 1944. 中国夏季风之进退. 气象学报, 18(1):1-20.

王学忠,孙照渤,谭言科,等. 2006. 东北雨季的划分及其特征. 南京气象学院学报, 29(2):203-208.

晏红明,李清泉,孙丞虎,等. 2013. 中国西南区域雨季开始和结束日期划分标准的研究. 大气科学, 37(5):1111-1128.

张家诚. 1991. 中国气候总论. 北京:气象出版社,140-141.

张庆云,吕俊梅,杨莲梅,等. 2007. 夏季中国降水型的年代际变化与大气内部动力过程及外强迫因子关系. 大气科学, 31(6):1290-1300.

赵汉光. 1994. 华北的雨季. 气象, 20(6):3-8.

竺可桢. 1934. 东南季风与中国之雨量. 地理学报, 1(1):1-27.

朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等. 2007. 天气学原理与方法. 北京:气象出版社,193-194.

Feng G L, Cao H X, Gao X Q, et al. 2001. Prediction of precipitation during summer monsoon with self-memorial model. Adv Atmos Sci, 18:701-709.

Gong Z Q, Zhao J H, Feng G L, et al. 2014. Dynamic-statistics combined forecast scheme based on the abrupt decadal change component of summer precipitation in East Asia. Science China: Earth Sciences, 57: 1-6, doi: 10.1007/s11430-014-4967-4.

Huang, J P, Higuchi K, Shabbar A. 1998. The Relationship between the North Atlantic oscillation and El Nino-Southern Oscillation. Geophys Res Lett, 25: 2707-2710.

He W P, Feng G L, Wu Q, et al. 2008. A new method for abrupt change detection in dynamic structures, Nonlinear Processes in Geophysics, 15(4): 601-606.

Wang X J, Feng A X, He W P, et al. 2012. Collective behavior of climate indices in the North Pacific air-sea system and its potential relationships with decadal climate changes. Chin Phys B, 21(2): 029201.