

东北强降水时空变化的特征和原因分析

邹立尧^{1,2}, 丁一汇³, 王冀⁴

(1. 南京信息工程大学, 南京 210044; 2. 中国气象局气象干部培训学院, 北京 100081;

3. 国家气候中心, 北京 100081; 4. 北京市气候中心, 北京 100089)

摘要: 利用东北地区近 45 a(1961—2005 年) 4—9 月逐日降水量资料计算了强降水集中度和集中期, 分析了强降水集中度和集中期时空变化特征, 讨论了影响强降水集中度和集中期的环流特征变化。结果发现, 东北强降水集中度与强降水有很好的相关性, 对于强降水有着很好的指示作用。从空间分布上看东北雨季强降水集中度由东向西趋于集中。从时间变化方面来看, 1960 年代中期到 1980 年代初, 强降水集中度处于低值区, 而在 1991 年之后东北地区强降水集中度大多处于高值区。强降水集中期仅在 1970 年代处于低值偏多的时期。对于东北不同区域大部分地区(除东北西北部外)在 1990 年代之后集中度都有所增加, 集中度大值年出现的频率增加, 而东北西北部的变化正好相反。东北地区强降水集中度偏高时, 东北地区整层处于低压中心, 在东北东部海面上有高压存在。东北地区存在着偏西气流和东南暖湿气流的交汇, 在 40~50°N 纬度范围内高度场呈“+ - +”波动。集中度偏高时东北东部地区有上升的垂直速度中心, 并且上升速度随高度升高(300 hPa 以下)而增强。东北地区水汽主要来源于鄂霍次克海冷湿空气。在东北地区存在着水汽通量散度的负距平中心, 形成水汽异常辐合区, 有利于强降水的出现。

关键词: 集中期; 集中度; 环流背景; 水汽通量

中图分类号: P426.6 文献标志码: A 文章编号: 1000-3027(2013)01-0137-11

东北地区地处欧亚大陆东岸, 为我国国土伸向东北方的犄角, 因所处地理位置已是东亚夏季风雨带在暖季北上过程中所能到达的北限, 因此东北降雨主要集中在夏季^[1-2], 并且降水的分布存在非常明显的地域差异, 由于降水分布不均经常导致严重的洪涝灾害, 如松花江流域 1957 年大水、1995 年松辽流域和 1998 年松嫩流域特大洪水造成了重大的社会经济损失。长期以来众多学者对东北地区暴雨的发生规律、形成机制及预测方法做了大量研究。郑秀雅等^[1]指出东北暴雨主要出现在 6—9 月, 尤以 7 月和 8 月最为集中, 地理分布上辽宁省的中南部是暴雨的典型多发区, 自西北向东南有增多趋势。孙凤华等^[3-4]研究发现东北地区暴雨量及强度均呈增强的趋势, 特别是暴雨量的降水极值增加更为显著, 并以内蒙古的赤峰和黑龙江的依兰、佳木斯为正趋势中心, 局部地区暴雨量呈减少趋势, 内蒙古的通辽和黑龙江的鸡西附近地区为负趋势中心; 暴雨日数全区主要表现为减少趋势; 暴雨量主要表现在暴雨强度的增加。最近的研究^[5-6]还表明, 随着全球气候变暖的发展和当地人类活动的

收稿日期: 2011-09-09; 修订日期: 2012-05-10。

基金项目: 国家科技基础条件平台项目“气象科学数据共享试点”(2005DKA31700-08-05); 中国气象局气象新技术推广项目(CMATG2008M12); 国家自然科学基金资助项目(30571079); 公益性行业科研专项“气象科技项目/成果管理评估系统 2 期”(GYHY201206032)。

第一作者简介: 邹立尧(1964-), 男(汉族), 山东烟台人, 博士研究生, 高工, 主要从事气候和气候变化研究。
E-mail: zouliyao1964@yahoo.cn

影响,东北地区近 50 a 来的干旱现象有所发展。但与洪涝事件密切相关的强降水过程时空集中程度是否随气候变暖进一步增加、降水集中度增加是否会导致在降水集中时段洪涝严重等问题已经引起人们普遍关注。Zhang 等^[7-9]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。张录军等^[10]在长江流域旱涝灾害研究方面发现降水集中度和集中期能够定量地表征降水量在时空场上的非均匀性,提取出最大降水重心对应的时段,因此可以比较理想地分析旱涝灾害发生的基本特征及其形成机制。一些研究表明^[11-15]暴雨过程年内集中度与年降水量正相关区与中国降水空间分布有很好的一致性。因此本文拟利用降水集中度(PCD)和集中期(PCP),分析东北地区 45 a 年强降水的集中度(PCD)和集中期(PCP)变化趋势,并分析与之相关的水汽输送特征,期望能够揭示出一些规律,对东北地区强降水的预测起到指示作用。

1 资料和方法

1.1 资料

本文选取东北地区(包括黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古东部)203 个测站 1961—2005 年 4—10 月逐日降水量资料,对这些台站中资料不连续的台站进行插补。插补方法为选用该站周围半径为 200 km 范围内的台站,按线性内插法得到该站缺测值。插补之后有 203 个台站从 1961—2005 年资料连续,这 203 个台站的位置分布见图 1。本文所使用的资料包括:①NCEP/NCAR 全球 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 逐日风场和水汽场,资料年限 1961—2005 年,共计 8 层,分别为 1 000、925、850、700、600、500、400、300 hPa;②NCEP/NCAR 全球 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 逐日地面气压场。

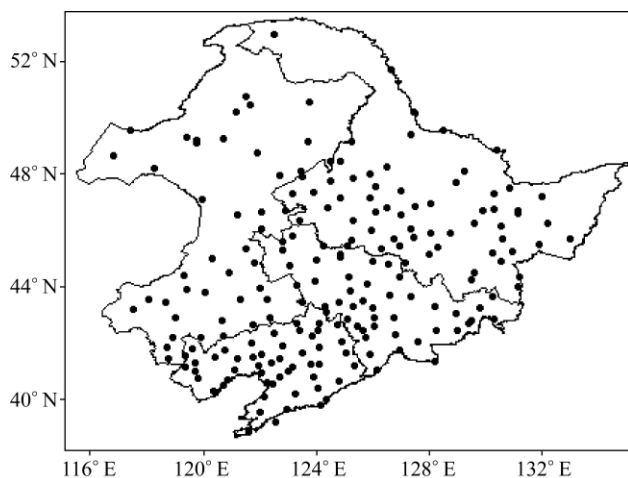


图 1 东北地区测站分布

Fig. 1 Meteorological station distribution in Northeast China

1.2 方法

1.2.1 强降水过程降水集中度(PCD)及强降水集中期(PCP)

王学忠等^[16]在研究中发现东北雨季,东北雨季平均在 7 月中上旬开始,8 月中上旬结束。由于本文主要是研究东北地区强降水集中度,而研究发现东北地区强降水从 4 月开始 9 月结束,因此这里把 4—9 月总共候数(36 候)看作一个圆周(360°),定义超过 20 mm 以上的降水为强降水,从而计算出东北地区强降水的集中度和集中期:

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

$$PCP_i = \arctan \left(\frac{R_{xi}}{R_{yi}} \right) \quad (2)$$

其中: PCD_i 和 PCP_i 分别为研究时段内的集中度和集中期, $R_{xi} = \sum_{j=1}^n r_{ij} \cdot \sin\theta_j$, $R_{yi} = \sum_{j=1}^n r_{ij} \cdot \cos\theta_j$, R 为某测站研究时段内总降水量, r_{ij} 为研究时段内某候的降水量, θ_j 为研究时段内各候对应的方位角(整个研究时段的方位角设为 360°), i 为年份($i = 1961, 1960, \dots, 2005$), j 为研究时段内的候序($j = 1, 2, \dots, n$)。由式(1)和(2)可知, PCD 能够反映降水量在研究时段内各个候的集中程度。如果在研究时段中, 降水量集中在某一候内, 则它们合成向量的模与降水总量之比为 1, 即 PCD 为极大值; 如果每个候的降水量都相等, 则它们各个分量累加后为 0, 即 PCD 为极小值。所谓 PCP 就是合成向量的方位角, 它指示出每个候降水量合成后的总体效应, 也就是向量合成后重心所指示的角度, 反映了一年中最大候降水量出现在哪一个时段内。具体计算方法及原理详见文献[8]。

1.2.2 水汽计算

单位边长整层大气的水汽输送通量矢量 Q 的计算公式为:

$$Q = \frac{1}{g} \int_p^{p_z} \bar{V} q dp \quad (3)$$

式中: V 为该单位气柱内各层大气的风速矢量, q 是各层大气的比湿, p, p_z 分别为大气柱下界气压(即地面气压)和上界气压(取 300 hPa), g 是重力加速度。

矢量 Q 可以分解成纬向水汽通量 Q_λ 和经向水汽通量 Q_φ 。先利用全球 1961—2005 年逐日各层上的水汽和风场资料算出纬向水汽通量和经向水汽通量, 然后进行垂直方向的整层积分, 得到全球 1961—2005 年各月地面至 300 hPa 整层大气的纬向水汽通量 Q_λ 和经向水汽通量 Q_φ , 并可算出多年平均值和逐年距平。

2 东北不同区域强降水集中度与暴雨的关系

为了分析强降水集中度对强降水是否具有指示作用, 笔者研究了东北地区不同区域强降水日数(日降水量在 50 mm 以上的降水日称为强降水日)与集中度的关系, 而东北地区分区参考邹立尧等^[17]的研究结果。

图 2 给出了 1961—2005 年东北强降水集中度与强降水日数的演变图, 4 个区集中度与强降水日数的变化具有较好的相关。其中东北中部区的相关系数为 0.418, 南部区为 0.484, 西北部区为 0.429, 东部区为 0.610, 中部区、西北部区相关均超过 99% 信度检验的相关临界值(0.381), 南部区、东部区相关均超过 99.9% 信度检验的相关临界值(0.475), 表明东北强降水集中度与强降水日数有很好的相关性, 对于强降水有着很好的指示作用。

3 东北地区强降水集中期和集中度的时空分布

3.1 东北地区强降水集中期和集中度的空间分布特征

由于地形复杂, 海拔高度差异较大, 东北强降水集中度和集中期在分布上存在较大差异。图 3(a) 为东北雨季强降水集中度的多年平均(1971—2000 年)气候分布, 可见由东向西雨季降水趋于集中, 西部部分地区降水集中度甚至在 0.55 以上, 明显高于东部。图 3(b)

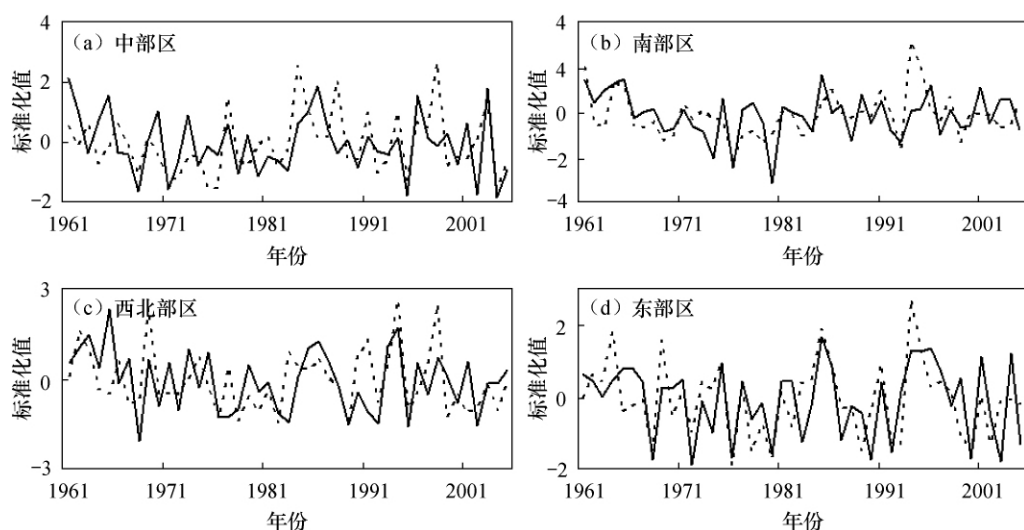


图2 东北强降水集中度标准化序列(实线)和强降水日数标准化序列(虚线)

Fig. 2 The inter-annual variations of the heavy rainfall PCD (solid line) and days (dotted line) over different areas in Northeast China

显示,东北雨季强降水主要集中出现在第39候至43候,即7月中旬至8月上旬。

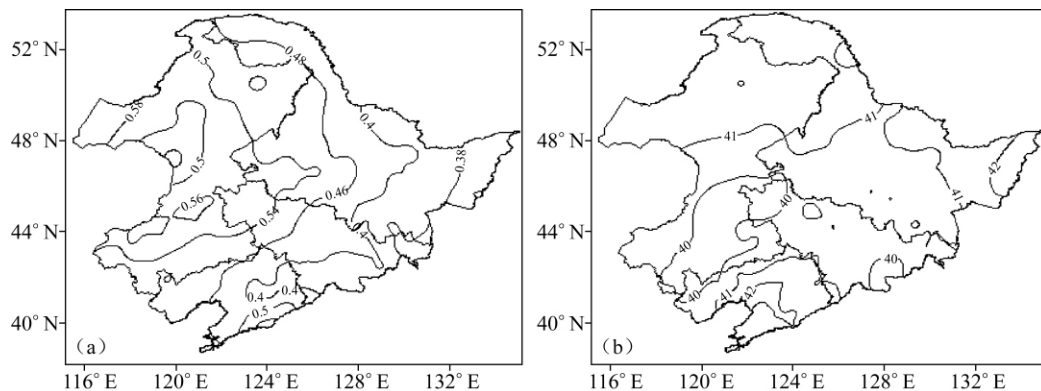


图3 东北地区强降水集中度(a)和集中期(b)的气候分布

Fig. 3 Spatial distribution of the heavy rainfall (a) PCD and (b) PCP over Northeast China from 1961 to 2005

3.2 东北地区强降水集中期和集中度的年际和年代际变化特征

图4为东北地区强降水集中度和集中期的逐年变化曲线,在1960年代中期到1980年代初,强降水的集中度处于低值区,而在1991年之后东北地区强降水集中度大多处于高值区,而强降水集中期仅在1970年代处于低值的时期,而在其他年代集中期均处于偏高时期。以上的分析表明了近10a来东北地区强降水发生的时间更加集中并且开始时间偏后。

3.3 东北地区不同区域强降水集中期和集中度的年际和年代际变化特征

在前面的分析中,发现东北地区强降水的集中度和集中期在不同地区有不同的变化特点,仅分析东北地区强降水的集中度和集中期整体的变化是不够的。因此,在下文中着重分析东北地区不同区域的强降水集中度和集中期变化。

由1961—2005年东北各个区强降水集中度(PCD)与集中期(PCP)的逐年演变曲线

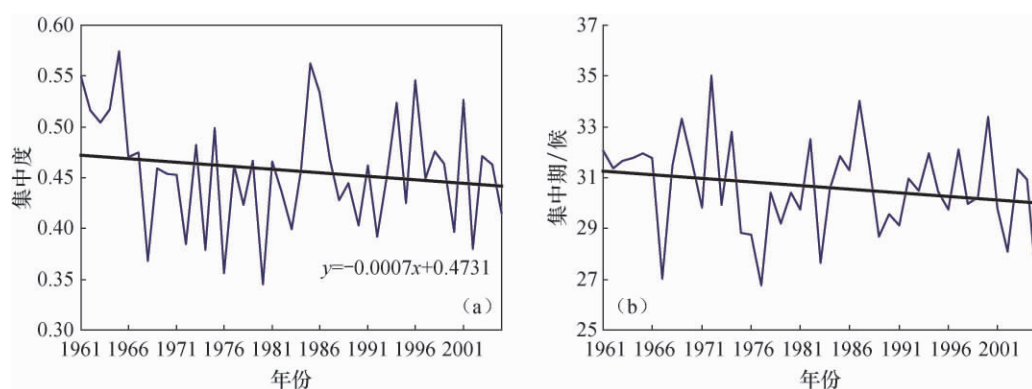


图4 东北地区强降水集中度 (a) 和集中期 (b) 的逐年变化

Fig. 4 The inter-annual variations of the heavy rainfall (a) PCD and (b) PCP over Northeast China

(图略) 可见, 东北中部地区 *PCD* 在 1961—1967 年连续 7 a、1984—1987 年连续 4 a、1993—1999 年连续 7 a 大于多年平均值, 说明降水处于集中时期; 1976—1978、1988—1990 年小于多年平均值, 说明降水连续的不集中。南部区 *PCD* 偏大年份的集中时段与中部区相近, 有两个: 1961—1971、1993—1999 年, 而 1987—1990 年小于多年平均值。西北部区 *PCD* 连续偏大的年份集中在 1961—1965、1973—1975、1984—1988 年, 连续偏小的年份集中在 1966—1972、1976—1983 年。东部区 *PCD* 在 1987 年以前阶段变化明显, 可以划分为偏大、偏小、偏大 3 个时段, 分别为: 1961—1965、1966—1976、1977—1987 年。总体上看东北地区不同区域除西北部地区外, 其他地区在 1990 年代之后集中度都有所增加, 集中度大值年出现的频率增加, 而西北部的变化正好相反。

东北中部区 *PCP* 在 1961—1974、1981—1988 年大多年份都大于或等于多年平均值, 也就是说出现集中降水时间偏晚或正常, 其它年份以小于或等于多年平均值为主。南部区 *PCP* 在 1961—1974、1982—1988、1992—2000 年出现集中降水时间以偏晚或正常为主, 其它时段以偏早或正常为主。西北部区 *PCP* 在 1973—1977 年偏早年份居多, 1978—1984、1990—1992 年基本为正常年份, 其它时段以偏晚为主。东部区 *PCP* 偏早年份主要集中出现在 1973—1983、1988—1992、1999—2005 年 3 个时段, 其它时段以偏晚或正常为主。总体上看, 近 10 a 来东北中部和东部地区集中期偏早, 另外两个地区集中期偏晚。

4 影响东北地区强降水集中度变化的环流背景分析

以往对集中度环流背景的研究一般是对集中度偏高(低)的季节环流背景进行分析, 而本文则是针对集中度和集中期进行综合考虑, 分析在集中度异常时, 强降水集中期期间环流背景的变化, 以便对于强降水预测提供有力依据。1990 年代之后东北地区强降水集中度偏高的年份较多, 集中度偏高时往往伴随着集中期的偏后, 因此选取了 1965、1985、1986、1994 年(上述 4 a 的 *PCD* 标准方差均大于 1) 作为典型年进行合成分析(由于上述年份集中期均在 8 月前 4 候, 因此对该时间段进行分析)。

4.1 影响东北地区强降水集中度变化的高度和风场分布特征

由东北地区强降水集中度偏高 850 hPa 合成图 [图 5(a)] 可见, 东北地区处于低压中心, 中心值在东北的西北部, 为 50 gpm, 在东北东部海面上有高压存在。从风场的合成图上发现, 东北地区存在着偏西风和东南暖湿气流的交汇。而从气候态的平均图 [图 5(b)] 上发

现,东北地区虽然也处于低压控制,但低值中心位于宁夏和甘肃北部地区,为 40 gpm,并且仅受东南风影响。由距平图[图 5(c)]上发现,东北地区处负距平区域内,并存在 6 gpm 的负距平中心,在东北西部的河套地区有 12 gpm 的正距平中心,东北东部的海上为正距平,中心值为 9 gpm。在 40~50°N 呈“+ - +”波动,反映了在强降水集中度偏高的 8 月,在东北地区处于低压中心内,在其西部有高压前的西北干冷空气不断输入,而在其东部海上高压不断增强,导致低压系统滞留东北地区不易东移,而东南暖湿空气沿着高压脊线不断向东北地区输入,与西北冷空气交汇,因此易于产生强降水。

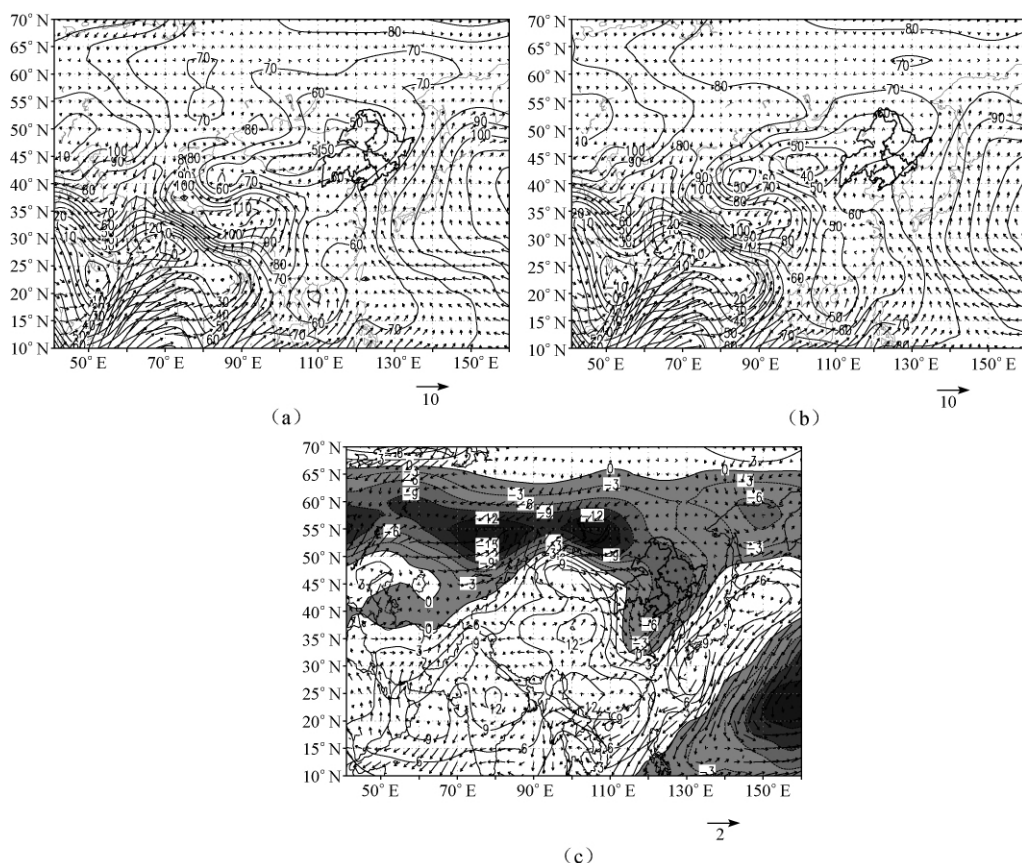


图 5 850 hPa 高度场(gpm)和风场(m/s)合成(a)、气候态(b)和距平场(c)

Fig. 5 Distribution of the high and wind fields composited (a), climatic state (b) and anomaly (c) PCD years corresponding to 850 hPa height field

由东北地区强降水集中度偏高 500 hPa 合成图[图 6(a)]可见,东北地区受西风带控制,有高空槽存在于 110°E 附近,东北地区处于槽前的锋区,在东部鄂霍茨克海上有高压脊存在。从风场的合成图[图 6(a)]上发现,东北地区存在着偏西风 and 东南暖湿气流的交汇。而从气候态的平均图[图 6(b)]上发现,东北地区受平直西风带控制,并且仅受西风影响,海上的暖湿空气在朝鲜半岛附近向东转向,这对于东北地区强降水是非常不利的。由距平图[图 6(c)]上发现东北地区处负距平区域内,并存在 10 gpm 的负距平中心,与底层 850 hPa 距平值相比,高层距平变化更大,在东北西部的河套地区有 10 gpm 的正距平中心,东北东部的海上为正距平,中心值为 15 gpm。在 40~50°N 纬度范围内也呈“+ - +”波动。

总之,近年来影响东北地区强降水集中度 500 hPa 环流特点为两高一低配置。

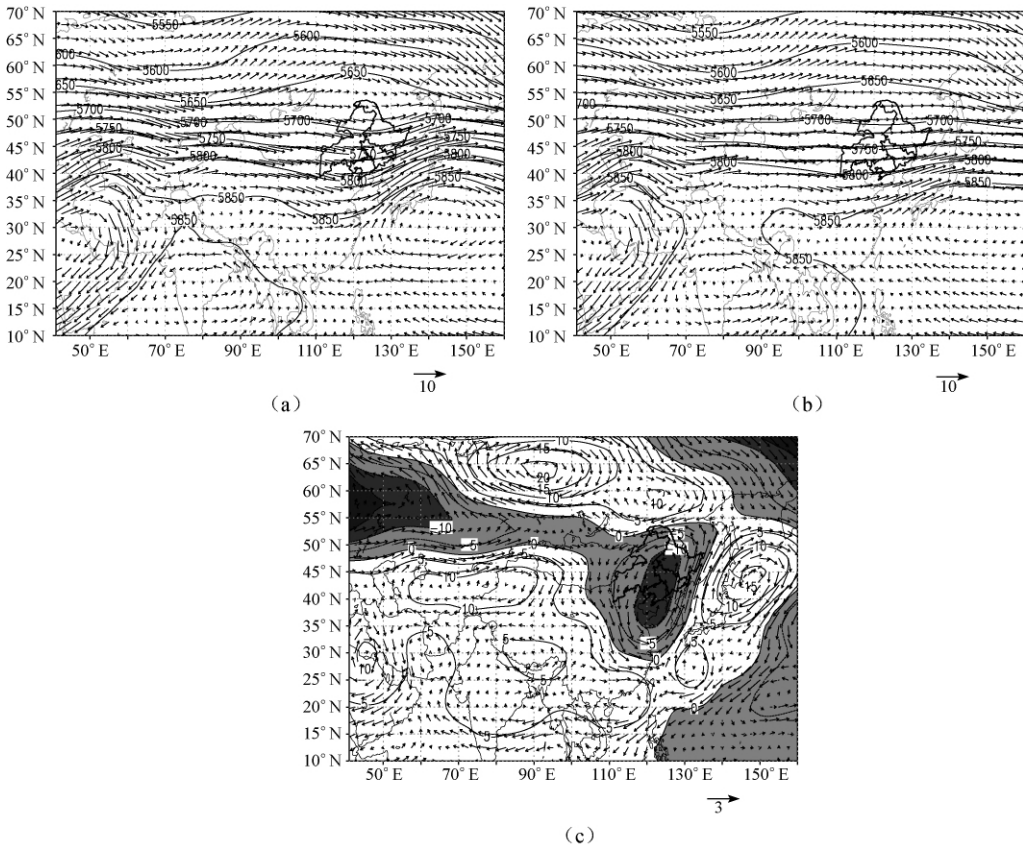


图 6 500 hPa 高度场 (gpm) 和风场 (m/s) 合成 (a)、气候态 (b) 和距平场 (c)

Fig. 6 Distribution of the high and wind fields composited (a), climatic state (b) and anomaly (c) SCD years corresponding to 500 hPa height field

4.2 影响东北地区强降水集中度变化的垂直速度特征

众所周知,垂直速度是强降水产生的必要条件,由图 7(a、b) 垂直速度在 700 和 500 hPa 多年合成与气候平均的差值场可以发现,在东北东部地区均有明显的垂直速度负距平中心存在,负距平呈东北—西南向分布,从中心的强度上看,700 和 500 hPa 均有 -0.02 hPa/s 的上升速度中心,从强中心范围来看,700 hPa 的强中心范围相对较小,主要是在吉林东部,而 500 hPa 强中心范围明显增加,从辽宁东部到黑龙江东部均处于上升速度强中心范围内。由图 7(c、d) 可见,垂直速度强中心位置与 500 hPa 基本一致,只是范围更大,强度加强,而从 200 hPa(图略) 开始垂直速度的强度开始减少。由此可见当东北地区集中度偏高时,东北大部分地区处于上升速度中心的左后侧,并且垂直速度(300 hPa 以下) 随高度升高而增强。

4.3 影响东北地区强降水集中度变化的水汽输送特征

充足的水汽输送是形成强降水的必要条件,因此这里对影响东北强降水集中度的水汽输送情况进行分析,由水汽通量的多年平均(图 8) 可以看到,东北地区主要受东北向水汽影响,没有明显的高值中心,水汽输送的高值区主要位于中低纬度地区。而从合成场的变化发现,东北地区存在着水汽通量的高值区,中心值在东北东部及其以东地区,并存在着东南向的水汽异常输送,反映出东北地区水汽主要来源于鄂霍茨克海冷湿空气。另外,在降水分析

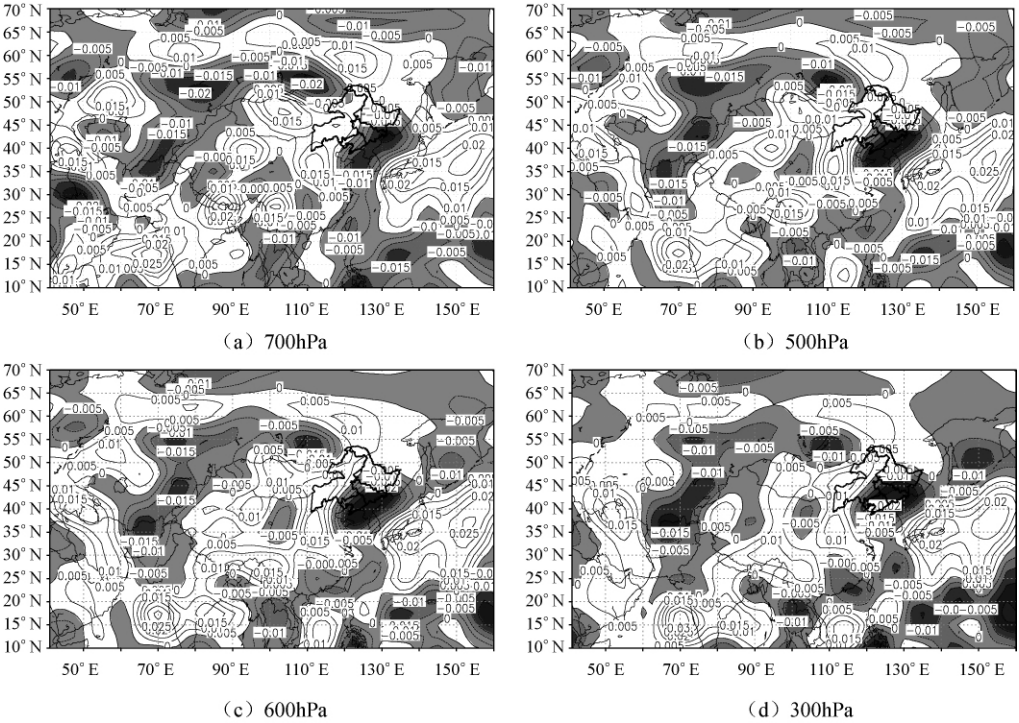


图 7 集中度偏高时垂直速度差值场分布特征
Fig. 7 The high PCD anomaly vertical speed

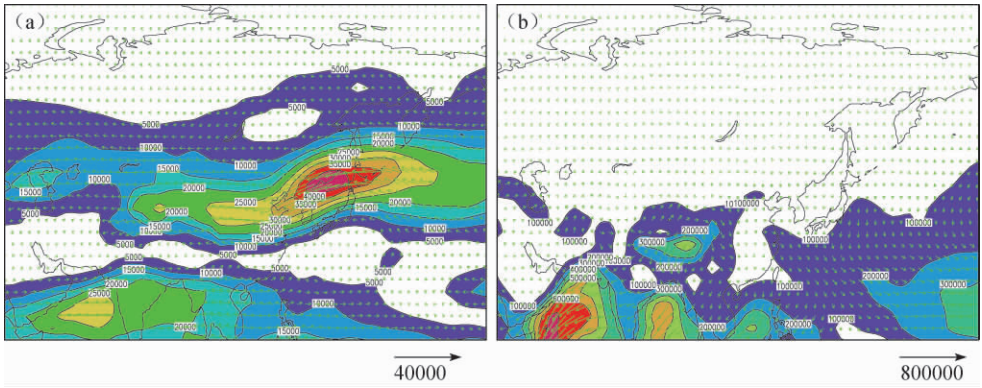


图 8 集中度偏高时水汽通量($\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$) 合成(a) 和多年平均(b)
Fig. 8 The mean and high PCD composited water vapor flux(a) and annual mean(b)

时水汽通量散度的异常能够反映出水汽输送能否在某地集中。从东北地区强降水集中度水汽通量散度合成图 [图 9(a)] 发现, 在东北地区存在着水汽通量散度的负距平中心, 这导致了水汽输送在东北地区上空聚集, 形成水汽异常辐合区, 有利于强降水的出现。

5 结论

本文对于东北地区近 45 a(1961—2005 年) 强降水集中度和集中期的时空变化特征进行分析, 并讨论了影响集中度和集中期的环流特征变化, 得出如下结论:

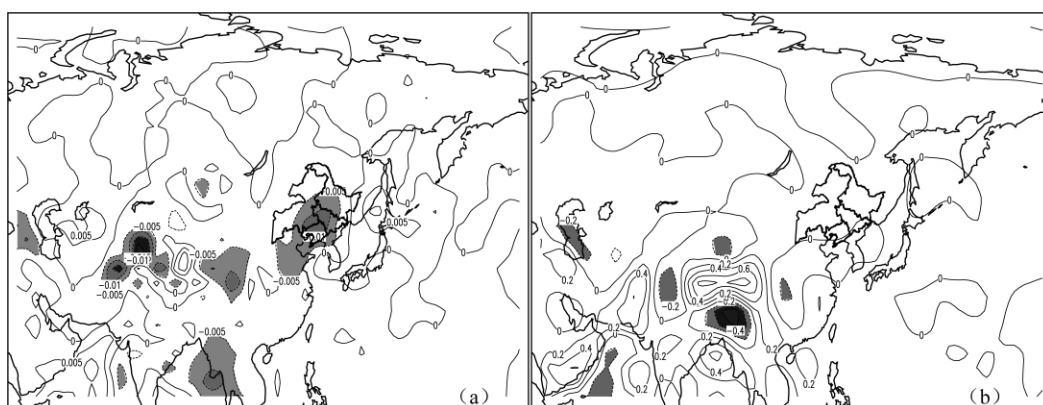


图9 集中度偏高时水汽通量散度($\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$) 合成 (a) 和多年平均 (b)

Fig.9 The mean and high PCD composited water vapor flux divergence (a) and annual mean (b)

(1) 东北强降水集中度与强降水有很好的相关性,对于强降水有着很好的指示作用。从空间分布上看东北雨季强降水集中度由东向西趋于集中,西部部分地区降水集中度甚至在0.55以上。而从时间变化方面来看,1960年代中期到1980年代初,强降水的集中度处于低值区,而在1991年之后东北地区强降水集中度大多处于高值区,而强降水集中期仅在1970年代处于低值偏多的时期,而在其他年代集中期均处于偏高时期。

(2) 从东北不同区域强降水集中度(PCD)与集中期(PCP)的逐年演变来看,除东北西北部地区外,其他地区在1990年代之后集中度都有所增加,集中度大值年出现的频率增加,而东北西北部的变化正好相反。近10a来东北中部和东部地区集中期偏早,另外两个地区集中期偏晚。

(3) 由环流分布特征发现,东北地区强降水集中度偏高时,东北地区整层处于低压中心,在东北东部海面上有高压存在。从风场的合成图上发现,东北地区存在着偏西风 and 东南暖湿气流的交汇。在 $40 \sim 50^\circ \text{N}$ 纬度范围内高度物呈“+ - +”波动。总之,近年来影响东北地区强降水集中度环流特点为两高一低型。

(4) 在东北强降水集中度偏高时,东北大部分地区处于上升速度中心的左后侧,并且垂直速度随高度(300 hPa以下)升高而增强。东北地区存在着水汽通量的高值区,中心值在东北东部及其以东地区,存在东南向的水汽异常输送,反映出东北地区水汽主要来源于鄂霍茨克海冷湿空气。在东北地区存在着水汽通量散度的负距平中心,这导致了水汽输送在东北地区上空聚集,形成水汽异常辐合区,有利于强降水的出现。

参考文献 (References):

- [1] 郑秀雅. 东北暴雨[M]. 北京: 气象出版社, 1992. [ZHENG Xiu-ya. Rainstorm in Northeast China. Beijing: China Meteorological Press, 1992.]
- [2] 崔玉琴. 东北地区上空水汽平衡状况及其源地[J]. 地理科学, 1995, 15(1): 81-87. [CUI Yu-qin. Budget condition of water vapor over Northeast China and its source. *Scientia Geographica Sinica*, 1995, 15(1): 81-87.]
- [3] 孙凤华, 吴志坚, 杨素英. 东北地区近50年来极端降水和干燥事件时空演变特征[J]. 生态学杂志, 2006, 25(7): 779-784. [SUN Feng-hua, WU Zhi-jian, YANG Su-ying. Temporal and spatial variations of extreme precipitation and dryness events in Northeast China in last 50 years. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(7): 779-784.]
- [4] 孙凤华, 杨素英, 任国玉. 东北地区降水日数、强度和持续时间的年代际变化[J]. 应用气象学报, 2007, 18(5): 611-618. [SUN Feng-hua, YANG Su-ying, REN Guo-yu. Decade variations of precipitation event frequency, intensity and

- duration in the Northeast China. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2007, 18(5): 611–618.]
- [5] 廉毅,高枳亭,任红玲,等. 20 世纪 90 年代中国东北地区荒漠化地发展与区域气候变化[J]. 气象学报,2001,59(6): 730–736. [LIAN Yi, GAO Zong-ting, REN Hong-ling, et al. Desertification development and regional climatic change in Northeast China in the 1990s. *Acta Meteorologica Sinica*, 2001, 59(6): 730–736.]
- [6] 王静. 东北地区夏季冷暖年大气环流异常的空间特征及演变[J]. 气象科学,2002,22(4): 394–401. [WANG Jing. Global circulation anomalous spatial character of cold/warm years in summer in eastnorthern China and long-period variation. *Scientia Meteorologica Sinica*, 2002, 22(4): 394–401.]
- [7] ZHANG Lu-jun, QIAN Yong-fu. Annual distribution features of the yearly precipitation in China and their interannual variations [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2003, 17(2): 146–163.
- [8] 杨远东. 河川径流年内分配的计算方法[J]. 地理学报,1984,39(2): 218–227. [YANG Yuan-dong. Technique of river and plain flow-off distributive within a year. *Acta Geographica Sinica*, 1984, 39(2): 218–227.]
- [9] Charles G M. Seasonality of precipitation in the United States [J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 1970, 6(3): 593–597.
- [10] 张录军,钱永甫. 长江流域汛期降水集中程度和洪涝关系研究[J]. 地球物理学报,2003,47(4): 622–630. [ZHANG Lu-jun, QIAN Yong-fu. A study on the feature of precipitation concentration and its relation to flood-producing in the Yangtze river valley of China. *Chinese Journal of Geophysics*, 2003, 47(4): 622–630.]
- [11] 姜爱军,杜银,谢志清,等. 中国强降水过程时空集中度气候趋势[J]. 地理学报,2005,60(6): 1007–1014. [JIANG Ai-jun, DU Yin, XIE Zhi-qing, et al. Climatic trends of heavy precipitation spatial and temporal concentration in China. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(6): 1007–1014.]
- [12] 张天宇,程炳岩,王记芳,等. 华北雨季降水集中度和集中期的时空变化特征[J]. 高原气象,2007,26(4): 844–853. [ZHANG Tian-yu, CHENG Bing-yan, WANG Ji-fang, et al. Temporal and spatial change characteristics of precipitation-concentration degree (PCD) and precipitation-concentration period (PCP) over North China in rainy season. *Plateau Meteorology*, 2007, 26(4): 844–853.]
- [13] 张天宇,孙照渤,倪东鸿,等. 近 45 a 长江中下游地区夏季降水的区域特征[J]. 南京气象学院学报,2007,30(4): 530–537. [ZHANG Tian-yu, SUN Zhao-bo, NI Dong-hong, et al. Regional characteristics of summer precipitation over the mid-lower reaches of Yangtze River during last 45 years. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 2007, 30(4): 530–537.]
- [14] 戴廷仁,陆忠艳,李广霞,等. 近 46 a 辽宁省降水集中程度研究[J]. 气象,2007,33(1): 33–37. [DAI Ting-ren, LU Zhong-yan, LI Guang-xia, et al. Research of precipitation concentration degree in Liaoning province for the last 46 years. *Meteorological Monthly*, 2007, 33(1): 33–37.]
- [15] 张文,张天宇,刘剑. 东北降水过程年集中度和集中期的时空变化特征[J]. 南京气象学院学报,2008,31(3): 403–410. [ZHANG Wen, ZHANG Tian-yu, LIU Jian. Temporal and spatial features of precipitation-concentration degree and precipitation-concentration period of annual rainfall over Northeast China. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 2008, 31(3): 403–410.]
- [16] 王学忠,孙照渤,谭言科,等. 东北雨季的划分及其特征[J]. 南京气象学院学报,2006,29(2): 203–208. [WANG Xue-zhong, SUN Zhao-bo, TAN Yan-ke, et al. Demarcation and features of Northeast China rainy season. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 2006, 29(2): 203–208.]
- [17] 邹立尧,丁一汇. 1961–2005 年东北暴雨气候特征分析[J]. 高原气象,2010,29(5): 1314–1321. [ZOU Li-yao, DING Yi-hui. The characteristics of heavy rain in Northeast China from 1961 to 2005. *Plateau Meteorology*, 2010, 29(5): 1314–1321.]

Spatial and Temporal Characteristics of Heavy Precipitation Long-Term Changes in Northeast China and Causation Analysis

ZOU Li-yao^{1 2}, DING Yi-hui³, WANG Ji⁴

(1. Nanjing University of Information Sciences & Technology, Nanjing 210044, China; 2. China Meteorological Administration Training Centre, Beijing 100081, China; 3. National Climate Center, Beijing 100081, China;
4. Beijing Regional Climate Center, Beijing 100089, China)

Abstract: Based on daily precipitation data from April to September within 45 years (1961–2005), this paper calculates the precipitation concentration degree (PCD) and precipitation concentration period (PCP) of the heavy rainfall , analyzes the temporal and spatial characteristic of heavy precipitation PCD and PCP , finally discusses the impact of PCD and PCP on circulation background features. The results showed that PCD in Northeast China has a very good correlation with heavy precipitation , which is a very good indication for heavy precipitation. The PCD was increased from east to west in spatial distribution. In view of the temporal , the mid-1960s to the early 1980s , we saw a low-value period of the PCD , and after 1991 , PCD in Northeast China was mostly concentrated in high-value period. Heavy precipitation PCP had many low-values only in the 1970s. For most parts of Northeast China (except for northwestern part) PCD increased after the 1990s with a frequent increase in high value years while the changes in the northwestern are just opposite. When the PCD tended to be high , low pressure center existed through the region with the occurrence of high pressure center over the sea surface in the east. The existence of intersection of the west-trend air current with the southeast warm-moist air current is observed along with “ + - + ” fluctuations between 40–50 °N latitude. There is a rising vertical velocity center in the east of Northeast China when PCD is high and speed enhanced with the rise of the altitude (below 300 hPa) . The water vapor mainly comes from the cold wet air of the Okhotsk Sea water. In Northeast China there is a water vapor flux divergence of the negative anomaly center , and the formation of the abnormal water vapor convergence zone is conducive to the emergence of heavy precipitation.

Key words: PCD; PCP; circulation background; vapor flux