

文章编号: 1004 - 4574(2009)02 - 0089 - 06

## 东北地区降水年内分配的不均匀性

张运福<sup>1</sup>, 胡春丽<sup>1</sup>, 赵春雨<sup>1</sup>, 王颖<sup>1</sup>, 任国玉<sup>2</sup>

(1 沈阳区域气候中心, 辽宁 沈阳 110016; 2. 国家气候中心, 北京 100081)

**摘要:** 利用东北地区 93 个台站 1961 - 2005 年的逐日降水资料, 通过降水集中度和降水集中期, 讨论了该地区降水的年内分配不均匀分布特征。结果表明, 东北地区的降水集中度自东南向西北逐渐递减; 集中期具有南北高中间低的变化特点。从长期趋势上看, 降水集中度的减小趋势显著, 在该地区的东北部和西北部各有一个趋势明显的区域 (通过 0.05 的显著性检验), 但集中期的减小趋势不显著, 只有 2 个台站通过显著性检验。年降水量与降水集中度和降水集中期的相关系数表明: 东北地区年降水量与降水集中度呈显著的正相关, 即年降水量越多 (少) 的地区, 年内降水越集中 (均匀); 年降水量与降水集中期的关系并不显著。

**关键词:** 东北地区; 降水集中度; 降水集中期; 不均匀性

中图分类号: P468

文献标识码: A

## Intra-annual inhomogeneity characteristics of precipitation in Northeast China

ZHANG Yun-fu<sup>1</sup>, HU Chun-li<sup>1</sup>, ZHAO Chun-yu<sup>1</sup>, WANG Ying<sup>1</sup>, REN Guo-yu<sup>2</sup>

(1. Shenyang Regional Climate Center, Shenyang 110016, China; 2. National Climate Center, Beijing 100081, China)

**Abstract:** Based on the daily precipitation data at 93 stations in Northeast China from 1961 to 2005, the features of precipitation were analyzed by using the definitions of precipitation concentration degree (PCD) and precipitation concentration period (PCP). The results show that the PCD decreases gradually from southeast to northwest and the PCP has the character of high value in north and south, and low value in middle. In view of the long-term change, the PCD displays an obvious decreasing trend, especially in the northeast and northwest (through 0.05 significance examination), but the change of PCP is not obvious, only two stations satisfy 0.05 significance examination. It is also found that the annual amount of precipitation has significant positive correlation with PCD, and has a slightly correlation with PCP, that is to say the much (less) is the annual precipitation, the bigger (smaller) is the PCD.

**Key words:** Northeast China; precipitation concentration degree (PCD); precipitation concentration period (PCP); inhomogeneity

东北地区是我国重要的农、林、牧业和工业生产基地, 有研究表明<sup>[1-2]</sup>东北地区持续干旱和暴雨洪涝已给本地区国民经济特别是农业生产及生态环境等带来了很多不利影响。干旱和暴雨洪涝与降水有直接关系, 因此, 针对东北地区降水量的空间分布和年代际变化, 和暴雨洪涝与降水有直接关系, 因此, 针对东北地区降水量的空间分布和年代际变化, 已有不少学者做了大量研究<sup>[3-7]</sup>, 而对该地区降水量的年内分配问题,

收稿日期: 2008 - 05 - 16; 修订日期: 2009 - 02 - 12

基金项目: 国家科技支撑计划课题: “气候变化的检测和评估技术研究”(2007BAC03A01)

作者简介: 张运福 (1962 - ), 男, 高级工程师, 主要从事气候与气候变化研究. Email: zy@mail@vip.sina.com

开展的研究很少。其实,降雨量年内分配不均匀也是导致旱涝发生的重要原因之一。

降水量年内分配特征通常用各月、季占年降水量的百分比表示,但这种方法难以全面反映降水量年内分配的不均匀性<sup>[8]</sup>。张录军等<sup>[9]</sup>提出了一种用降水集中度和集中期来度量降水量非均匀分配的方法,很好地反映了年降水量年内非均匀分配特性。利用降水集中度和集中期的概念,姜爱军<sup>[10]</sup>研究了中国强降水过程时空集中度,张录军等<sup>[9]</sup>分析了长江流域汛期降水集中度和旱涝的关系,杨金虎等<sup>[11]</sup>对中国西北降水年内非均匀性特征进行了分析,张天宇等<sup>[12]</sup>分析了华北雨季降水集中度和集中期的时空变化特征。本文拟采用这种方法,对东北地区降水集中度和集中期在时间和空间上的分布特征及其变化趋势进行分析,以期揭示该地区年降水量在年内分配的非均匀性特征。

# 1 资料和方法

## 1.1 研究区域资料

本文所研究的区域在行政区划上包括辽宁、吉林、黑龙江三省和内蒙古自治区东部的呼伦贝尔市、兴安盟、通辽市及赤峰市,地理位置相当于东经 115 05 ~ 135 02 ,北纬 38 40 ~ 53 34 。所使用资料是国家信息中心提供的 1961 - 2005年东北地区 93个台站的逐日降水数据,图 1为这 93个台站的分布示意图。

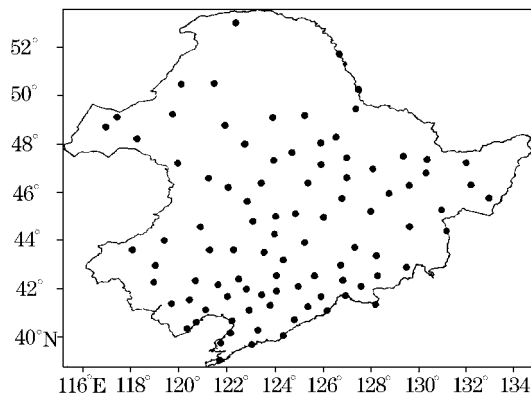


图 1 东北地区代表站点分布

Fig 1 Distribution of selected stations in Northeast China

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 降水集中度和集中期的定义

降水集中度 (PCD),  $D_{pc}$ , 和降水集中期 (PCP),  $P_{pc}$ , 是利用向量来定义的,把一年各旬降水量均看作向量,一年 36旬看作一个圆周 (360°),将某旬降水量做为该旬降水矢量的模,该旬旬序与 10 的积作为该旬降水矢量的方向。降水集中度  $D_{pc}$  与降水集中期  $P_{pc}$  的数学方法描述如下:

$$D_{pc\ i} = \sqrt{R_{xi}^2 + R_{yi}^2} / R_i, \tag{1}$$

$$P_{pc\ i} = \arctan (R_{xi} / R_{yi}), \tag{2}$$

上式中,  $D_{pc\ i}$  和  $P_{pc\ i}$  分别表示为第  $i$  年降水集中度和集中期,  $R_{xi} = \sum_{j=1}^N r_{ij} \times \sin \theta_j$ ,  $R_{yi} = \sum_{j=1}^N r_{ij} \times \cos \theta_j$ ,  $R_i$  为某测站研究时段内的总降水量,  $r_{ij}$  是研究时段内的某旬的降水量,  $\theta_j$  是研究时段内各旬所对应的方位角 (整个研究时段内的方位角设为 360°;  $i$  为年份 ( $i=1961, 1962, \dots, 2005$  年),  $j$  为研究时段内的旬序 ( $j=1, 2, \dots, N$ ))。

由式 (1)可知,  $D_{pc}$  能够反映的是年降水总量在各个旬的集中程度,是一个无量纲数。如果某年降水量集中在某旬内,则它们合成向量与降水量之比为 1,即  $D_{pc}$  为极大值;如果全年内每个旬的降水量都相同,则它们各个分量累加后为 0,即  $D_{pc}$  为极小值。可见  $D_{pc}$  的取值在 0~1 之间,越接近 1,表明降水量越集中,降水量年内的分配越不均匀;越接近 0,则说明降水越不集中,降水量在年内的分配越均匀。由式 (2)可知, PCP 计算的是合成向量的方位角,反映了一年最大旬降水量出现在哪一个旬内。

### 1.2.2 趋势系数

为了解气象要素的长期趋势变化,根据文献 [13] 的方法,计算气象要素的时间序列与自然数数列之间

的相关系数 (称为趋势系数),对相关系数的统计检验使用相关系数的 t 检验方法。

### 1.2.3 相似系数

为了定量表示两幅图的相似程度,采用相似系数,它由下式计算:

$$\cos_{12} = \frac{\sum_{i=1}^m X_i Y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^m X_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^m Y_i^2}} \quad (m = 93 \text{站}),$$

cos<sub>12</sub>是两幅图的相似程度的定量指标,称为相似系数,相似系数等于 1 为完全相同,相似系数为 - 1 为完全相反,为 0 时表示不相似,正值越大越相似,负值越大越相反。

## 2 年降水量的基本气候特征

为了更好地揭示东北地区降水年内分布的不均匀性,我们首先对该地区年降水量的基本气候特征进行了分析。图 2(a)给出了东北地区 1961 - 2005 年降水量多年平均空间分布,从图中可以看出,东北地区年降水量在 243.7 ~ 1072.3mm 之间,总趋势为从东南向西北递减。本区的年降水量最大值位于辽宁省的宽甸,并以此为中心,向北、西、南 3 方向递减。沿着千山山脉、长白山、张广才岭,再转向小兴安岭等各山脊的连线范围内延续成多雨带,几乎占整个东北地区的东部和北部,这一部分的年降水量都在 500mm 以上,并随山脉向北逐渐减少。呼伦贝尔高原及西辽河平原,年降水量不足 400mm,尤其是呼伦贝尔高原,已深入内陆,远离海洋,且东西都有高山阻隔,年降水量为本区的最少之地。

东北地区年降水量的变差系数在 0.07 ~ 0.39 之间,变差系数各站值较小,说明年降水总量比较稳定。本区的东南部和西北部各有一个低值区,变差系数在 0.15 以下。而在东北地区的西部,吉林西北部、兴安盟、辽宁西北部的变差系数相对较大。

我们计算图 2(a)与图 2(b)的相似系数为 - 0.942,可见它们是相反的。这个结果说明年降水量较少地区的变差系数要大于年降水量较多的地区。即年降水量越少,降水量不稳定性越大,年降水量越多,降水量不稳定性越小。

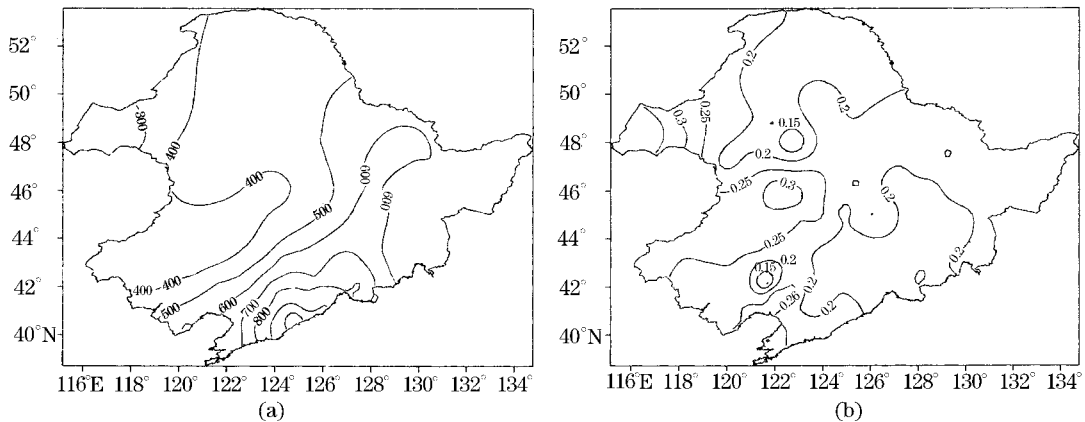


图 2 东北地区年降水量 (a)和变差系数 (b)分布

Fig. 2 Spatial distribution of annual precipitation (a) and deviation (b)

## 3 PCD 和 PCP 时空分布特征

### 3.1 PCD 和 PCP 的多年平均空间分布

图 3 给出了东北地区 1961 - 2005 年降水集中度和集中期 (化为旬)的多年平均空间分布,由图 3(a)可以看出,东北地区年降水集中度为 0.59 ~ 0.79,除黑龙江西北部的呼玛、漠河一带外,年降水集中度总体上自东南向西北递减,说明东北地区降水的年内分配自东南向西北方向越来越不均匀。由图 3(b)可以看出,东北地区降水集中期 (化为旬)地区差异不大,在 20.1 ~ 21.7 旬之间,具有南北高而中间低的特点。从总体

上看,辽宁省、黑龙江省和内蒙古的呼伦贝尔市,年降水集中在7月下旬,而吉林省和内蒙古的兴安盟、通辽市及赤峰市,年降水集中在7月中旬。

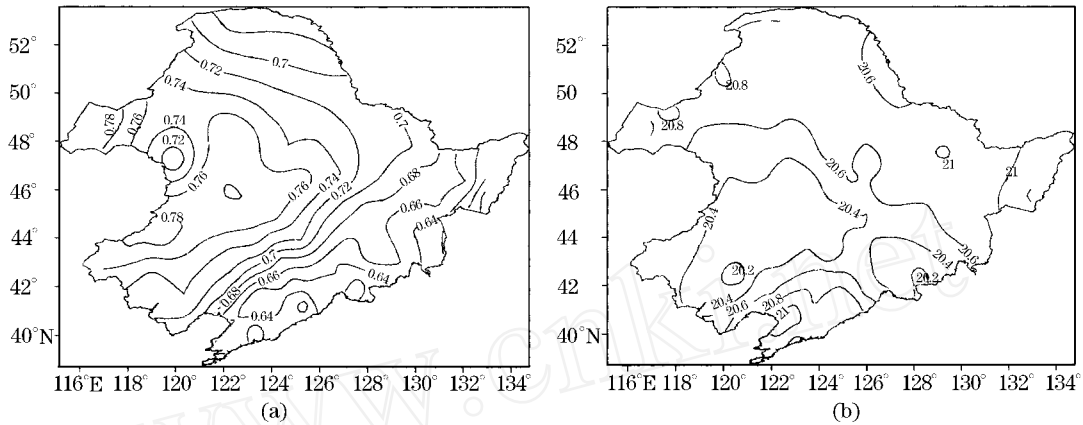


图 3 东北地区年降水量 (a)与降水集中期为旬 (b)的多年平均空间分布  
Fig. 3 Mean spatial distribution of PCD (a) PCP (b) in Northeast China over years

### 3.2 PCD和 PCP的 年 际 变 化 分 析

图 4给出了 1961 - 2005年东北地区降水集中度和集中期的年际变化曲线,由图 4a可知,东北地区  $D_{pc}$  多年平均值为 0.7,最大值为 0.77(1986年),最小值 0.6(2004年)。当  $D_{pc}$  大于多年平均值,则认为该年份降水集中;当  $D_{pc}$  小于多年平均值,则认为该年份降水不集中。其中,1961 - 1976年连续 7a的  $D_{pc}$  都超过了多年平均值,说明在这些年份降水连续趋于集中;而 1979 - 1983年连续 5a的  $D_{pc}$  都在平均值以下,说明在这 5a里降水连续趋于不集中。

由图 4(b)可知,东北地区 PCP多年降水集中在 7月下旬,一般出现在 7月中旬到 8月上旬之间,其中,2005年是降水集中期最早的年份,而 1972年是降水集中期最晚的年份。1975 - 1979年连续 5a降水集中期比常年早,而 1984 - 1988年连续 5a降水集中期较常年晚。

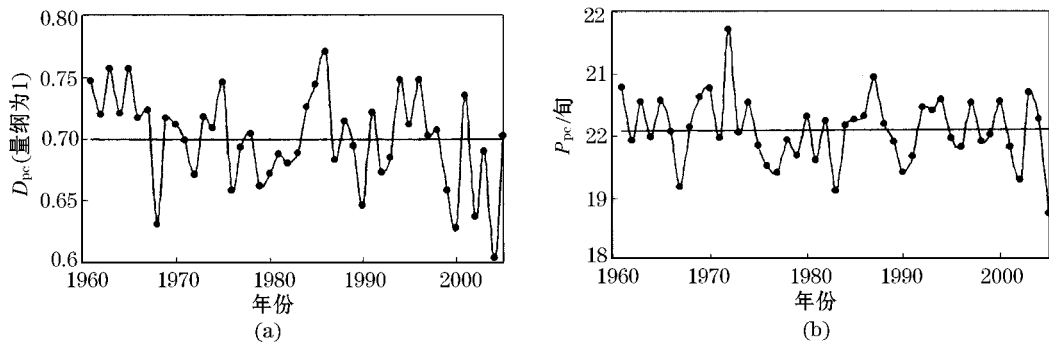


图 4 1961 ~ 2005年东北地区降水集中度 (a)和集中期为旬 (b)的年际变化 (直线为多年平均值)  
Fig. 4 Interannual variation of PCD (a) and PCP (b) in Northeast China (straight line is mean over years)

### 3.3 PCD和 PCP的 年 代 际 变 化 分 析

表一给出了 1961 - 2005年东北地区降水集中度和集中期的年代际变化,从表 1可见,20世纪 60年代,东北地区降水集中度为 0.72,70年代降水集中度减小到 0.69,但 80和 90年代降水集中度又增大到 0.7,2001年以后,降水集中度减小到 0.67。 $P_{pc}$ 的年代际变化并不明显,20世纪 60年代降水集中期为 20.3,70年代降水集中期减小到 20,80年代为 20,90年代为 20,2001年到 2005年为 19.7。

表 1 降水集中度和降水集中中期年代际变化

Table 1 Interdecadal variation of PCD and PCP

年代	1961 - 1970	1971 - 1980	1981 - 1990	1991 - 2000	2001 - 2005
PCD	0.72	0.69	0.7	0.7	0.67
PCP	20.3	20	20	20	19.7

### 3.4 PCD和PCP的趋势分析

为了进一步了解东北地区降水集中度和集中中期 45年中的趋势变化情况,我们计算了东北地区平均 PCD 和 PCP以及各个代表站点的 PCD和 PCP的气候趋势系数。从区域平均来看,近 45a中降水集中度呈减小趋势,趋势系数为 - 0.33(通过了 95%信度检验),气候倾向率为 - 0.01/10a;降水集中期在 45a中随时间也呈减小趋势,趋势系数为 - 0.19(未通过了 95%信度检验),气候倾向率为 - 0.08旬/10a。

全区趋势系数在 - 0.6~0.15之间,93个代表站中只有 6个台站的 PCD的趋势系数是正值,这就是说 PCD在东北地区整体上呈现出减小的趋势。从图 5a中可以看出,东北部和西北部各有一个减小趋势明显(通过了 95%信度检验)的区域;而 PCD呈微弱增加趋势的一个区域位于内蒙古东部的扎鲁特旗和巴林左旗一带,另一个区域则位于吉林省中部的蛟河、东岗和桦甸一带,但是增加趋势都不明显,都没有通过显著性检验。

从图 5(b)可以看出,PCP在东北地区整体上呈现减小的趋势,但这种减少趋势比较微弱,只有宽甸(- 0.4)和靖宇(- 0.34)通过 95%信度检验。PCP呈现增加趋势的区域分别位于东北地区西北角的漠河、图里河和小二沟一带、辽宁省的开原、章党一带和内蒙古的阿儿山一带,但这些区域 PCP增加的趋势也不明显。

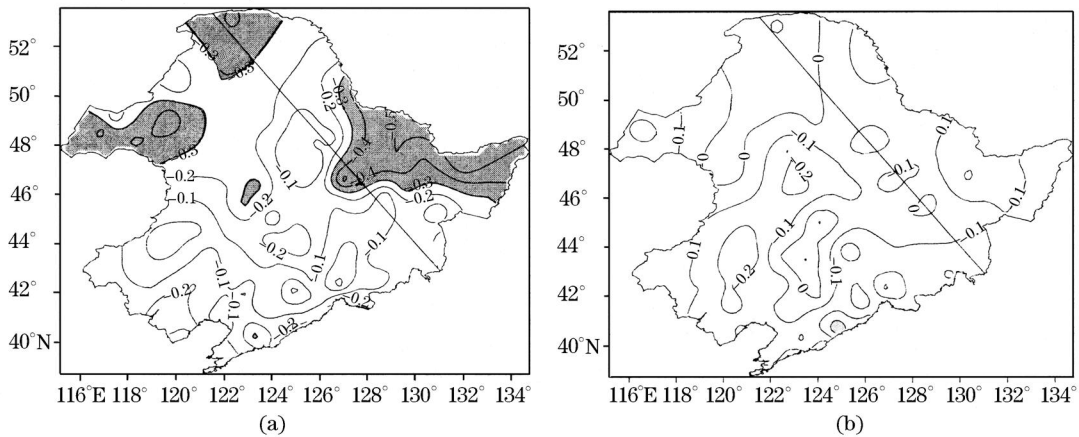


图 5 东北地区降水集中度 (a)与降水集中中期 (b)趋势系数空间分布 (深灰:通过 0.05显著性检验)

Fig. 5 Spatial distribution of tendency coefficients for PCD (a) and PCP (b) in Northeast China (dark grey: passing 0.05 significance test)

## 4 年降水量与 PCD和PCP的关系

图 6(a)给出了 1961 - 2005年东北地区降水量与年集中度和集中中期的相关系数空间分布,从图 6(a)可以看出,东北各地的年降水量与降水集中度均为正相关,相关系数在 0.06~0.62之间,其中有 20%代表站点的相关系数通过了 0.05的信度检验,24%通过了 0.005的信度检验,27%通过了 0.001的信度检验。从图 6b可以看出,年降水量与集中中期的相关系数在空间上表现为非均匀性,在有些区域相关系数为正,而在另一些区域相关系数为负。其中,有 67%代表站点的相关系数为正,有 33%代表站点的相关系数为负,但无论相关系数为正还是为负,除伊春、北安、延吉、孙吴这 4个站点外,其他站点的相关系数的绝对值都比较小(未通过 95%的信度检验),因此,可以认为两者之间没有统计上的显著关系。

从上述分析可以看出,东北地区年降水量与降水集中中期的关系不显著,但年降水量与降水集中度的关系非常好,表现为年降水量越多则降水越集中。

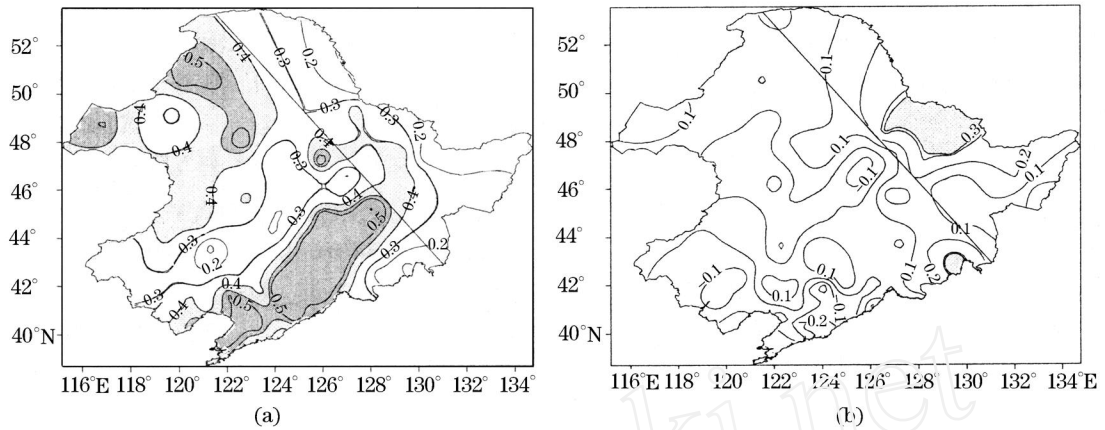


图 6 东北地区年降水量与降水集中度 (a)和降水集中度和降水集中期 (b)相关系数空间分布 (浅灰:通过 0.05 检验,深灰:通过 0.005 检验,黑色:通过 0.001 检验)

Fig. 6 Spatial distribution of correlation coefficients between precipitation and PCD (a) as well as precipitation and PCP (b) in Northeast China

### 5 结论

(1) 东北地区年降水量在 243 ~ 1072.3mm 之间,最大降水量位于辽宁省的宽甸,并以此为中心,向北、西、南 3 方向递减;年降水量的变差系数值较小,在 0.07 ~ 0.39 之间;年降水量与年降水量的变差系数的相似系数为 -0.942,表明年降水量较多的地区的年降水稳定性要好于年降水量较少的地区。

(2) 东北地区的 PCD 在 0.59 ~ 0.79,自东南向西北逐渐递减;PCP 的地区差异不大,集中在 20.1 ~ 20.7 之间,具有南北高,中间低的特点。

(3) 近 45a 来东北地区的 PCD 呈显著减小趋势,趋势系数为 -0.33 (通过 0.05 的显著性检验),气候倾向率 -0.01/10a,PCP 近 45a 也呈减小趋势,趋势系数 -0.19 (未通过 0.05 显著性检验),气候倾向率为 -0.08 旬/10a,但是 PCD 与 PCP 均没有明显的年代际变化特点。PCD 和 PCP 的变化具有地域性变化特点,PCD 在东北部和西北部各有一个减小趋势明显 (通过了 95% 信度检验) 的区域,PCP 只有在宽甸 (-0.4) 和靖宇 (-0.34) 通过了显著性检验,呈现增加趋势的区域分别位于东北地区西北角的漠河、图里河和小二沟一带、辽宁省的开原、章党一带和内蒙古的阿儿山一带,但都没有通过显著性检验。

(4) 东北地区年降水量与降水集中度呈显著的正相关,即年降水量越多,年内降水越集中,年降水量越少,年内降水越均匀;年降水量与降水集中期相关系数在空间上表现为非均一性,相关系数有正有负,但相关性不显著。

### 参考文献:

[1] 白人海,孙永罡. 松花江嫩江流域洪涝发生与流域内降水的关系 [J]. 自然灾害学报, 2000, 19(2): 49 - 54.  
 [2] 孙力, 安刚. 中国东北地区夏季旱涝的分析研究 [J]. 地理科学, 2002, 22(3): 311 - 316.  
 [3] 唐蕴, 王浩, 严登华. 近 50 年东北地区降水的时空分异研究 [J]. 地理科学, 2005, 25(2): 172 - 176.  
 [4] 韩艳凤, 江志红. 东北地区夏季降水时空变化特征 [J]. 气象科技, 2005, 33(2): 136 - 141.  
 [5] 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): 610 - 618.  
 [6] 贾小龙, 王谦谦. 近 50a 东北地区降水异常的气候特征分析 [J]. 南京气象学院学报, 2003, 26(2): 164 - 171.  
 [7] 杨素英, 孙凤华. 近 45a 东北地区春季降水异常的气候特征 [J]. 南京气象学院学报, 2005, 28(2): 197 - 204.  
 [8] 王纪军, 裴铁蹻, 顾万龙, 等. 降水年内分配不均匀性指标 [J]. 生态学杂志, 2007, 26(9): 1364 - 1368.  
 [9] 张录军, 钱永甫. 长江流域雨季降水集中度和旱涝关系研究 [J]. 地球物理学报, 2003, 47(4): 622 - 630.  
 [10] 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.  
 [11] 杨金虎, 王鹏祥, 白虎志, 等. 中国西北降水年内非均匀性特征分析 [J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(5): 276 - 281.  
 [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): 843 - 852.  
 [13] 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.