

# 南京市年内二十四节气降水量分配规律研究

舒持恺<sup>1,2</sup>

(1. 南瑞集团(国网电力科学研究院)有限公司, 江苏 南京 211106;

2. 南京南瑞水利水电科技有限公司, 江苏 南京 211106)

**摘要:**通过对降水的研究,可以揭示气候变化规律。二十四节气是我国特有的历法,根据南京市12个雨量站的降雨资料,采用集中度与集中期、不均匀系数、年内完全调节系数及变化幅度等参数来研究计算南京市近60年来二十四节气降水量年内分配的规律。各种方法的结果比较一致,南京市年降水量主要集中在芒种、夏至、小暑3个节气,降水量集中度、年内不均匀系数、年内完全调节系数及变化幅度均有缓慢增长的趋势,年内降水分布不均。

**关键词:**降水规律;二十四节气;集中度;不均匀性;南京市

中图分类号:TV125

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2020)03-0018-07

## Analysis on annual distribution patterns of twenty – four solar term precipitation in Nanjing City

SHU Chikai<sup>1,2</sup>

(1. NARI Group Corporation / State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 211106, Jiangsu;

2. Nanjing NARI Water Resources and Hydropower Technology Co., Ltd., Nanjing 211106, Jiangsu)

**Abstract:** The study of precipitation can reveal the laws of climate change. The Twenty – four solar terms is a unique calendar in China. According to the rainfall data of 12 rain measuring stations in Nanjing, the annual distribution law of the 24 solar terms in the past 60 years in Nanjing was studied and calculated by using parameters such as concentration degree, concentration period, non – uniformity coefficient, annual complete adjustment coefficient and variation amplitude. The results of various methods were relatively consistent. The annual precipitation in Nanjing was mainly concentrated in the three solar term such as grain in ear, the summer solstice, and the slight heat. The precipitation concentration degree, nonuniformity coefficient, complete adjustment coefficient and amplitude of variation were all in slow growth trend, but the precipitation distribution was uneven during the year.

**Key words:** Nanjing City; precipitation patterns; twenty – four solar terms; concentration degree; nonuniformity

## 1 概 述

近年来随着人类社会经济的高速发展,加大了对地球资源的消耗,导致全球环境发生了变化,产生的全球变暖等气候问题,是世界人民面对的严峻挑战。气候变化是显而易见的,严寒、酷热、暴雨、暴雪等极端天气越来越频繁地出现,对人类社会安

全产生了巨大威胁。气候变化已经引起了国际社会的普遍关注与高度重视,各国政府和专家学者对此展开了深入研究。降水是气候的重要特征之一,对降水的研究有助于我们理解气候的变化趋势。二十四节气是中国古代订立的一种用来指导农事的补充历法,是我国古代先人们劳动智慧的结晶<sup>[1]</sup>。南京位于长江下游,降水丰富。通过研究南

收稿日期:2019-09-25

基金项目:江苏省水利科技项目(2013006)

作者简介:舒持恺(1992—),男,硕士研究生,主要从事水利信息化工作。E-mail:931421852@qq.com。

京市降水量在年内二十四节气的分布情况,可揭示降水量的年内分布变化规律,以便更好地为广大人民群众提供生产与生活上的服务,有利于提高气象服务质量和水平,同时也为防汛抗旱等工作提供依据<sup>[2]</sup>。

2 资料与方法

2.1 研究区域概况

南京市是江苏省省会城市,地处中国东部地区、长江下游,全市下辖11个区,总面积6 597 km<sup>2</sup>,是长三角地区及华东地区的特大城市,中国四大古都之一,也是“一带一路”战略与长江经济带战略交汇的节点城市。南京地貌特征属宁镇扬丘陵地区,以低山缓岗为主<sup>[3]</sup>。南京属北亚热带湿润气候,四季分明,雨水充沛。常年平均降雨时间为117 d,年平均降水量1 106.5 mm,相对湿度76%,无霜期237 d。每年6月下旬到7月上旬为梅雨季节,年平均温度15.4℃,年极端气温最高39.7℃,最低-13.1℃。南京春秋季短、冬夏季长,冬夏温差显著,夏天十分炎热,近年来大面积的绿化建设及大气环流的变化,使得南京夏天的炎热程度有所缓和。

2.2 研究方法

随着全球性的气候变化,区域性的降水也发生了较明显的变化,导致年内的降水分布随时间呈现明显的不均匀性。研究降水年内分布的指标方法有很多,比较常用的有各月降水量占年降水量的百分比、Mann-Kendall非参数统计检验法<sup>[4]</sup>、小波分析法<sup>[5]</sup>等,本文通过对年内二十四节气降水量的集中度和集中期<sup>[6-9]</sup>、年内分配不均匀系数、年内分配完全调节系数及变化幅度<sup>[10]</sup>等指标进行计算研究,来分析南京市降水量变化年内分布规律。

2.2.1 二十四节气

二十四节气是我国古代人民长期劳动实践总结出的气候变化规律,是我们祖先杰出的发明。它包括12个节气和12个中气,俗称二十四节气<sup>[2]</sup>。它是根据太阳在黄道(即地球绕太阳公转的轨道)上的位置变化,结合地面上气候、物候的演变特征加以命名,就形成了家喻户晓的二十四节气。每个节气约为15 d,按内容可分为四类:一是表示寒来暑往变化的有:立春、春分、立夏、夏至、立秋、秋分、立冬、冬至;二是象征气温变化的有:小暑、大暑、处暑、小寒、大寒;三是反映降水量的有:雨水、谷雨、白露、寒露、霜降、小雪、大雪;四是反映物候现象或农事活动的有:惊蛰、清明、小满、芒种<sup>[2]</sup>。二十四

节气时间分布情况如表1,它同农历闰月的安排有着密切的关系,在农历中,以立春为二十四节气的头一个节气。

表1 二十四节气时间分布

节气	起始日期	终止日期	节气长度/d
立春	2月4日	2月18日	15
雨水	2月19日	3月5日	15
惊蛰	3月6日	3月20日	15
春分	3月21日	4月4日	15
清明	4月5日	4月19日	15
谷雨	4月20日	5月5日	16
立夏	5月6日	5月20日	15
小满	5月21日	6月5日	16
芒种	6月6日	6月21日	16
夏至	6月22日	7月6日	15
小暑	7月7日	7月22日	16
大暑	7月23日	8月7日	16
立秋	8月8日	8月22日	15
处暑	8月23日	9月7日	16
白露	9月8日	9月22日	15
秋分	9月23日	10月8日	16
寒露	10月9日	10月23日	15
霜降	10月24日	11月7日	15
立冬	11月8日	11月22日	15
小雪	11月23日	12月6日	14
大雪	12月7日	12月21日	15
冬至	12月22日	1月5日	15
小寒	1月6日	1月20日	15
大寒	1月21日	2月3日	14

注:节气的日期会因具体的年份而有1~2 d的变化,闰年雨水为16 d。

在以往的研究中,大多采用年或月为统计时段进行降水变化趋势的研究。考虑到二十四节气对

我国民众农事活动、社会生产实践具有重要的指导作用,本文按二十四节气时段对南京市降水的气候变化特征进行统计分析。

### 2.2.2 集中度与集中期

集中度( $D_{PCD}$ )就是将二十四节气的降水量看成 24 个矢量,并以一定的角度方向进行矢量合成,得到的合成量与年降水量之比<sup>[4-5]</sup>。从立春到大寒每个节气的方位角 $\theta_i$ 分别为 0,15,30,...,345,360(表 2),将每个节气的降水量分解为 $x$ 与 $y$ 两个方向,则 $x$ 、 $y$ 方向上的合成分量分别为:

$$P_x = \sum_{i=1}^{24} P_i \cos \theta_i, \quad P_y = \sum_{i=1}^{24} P_i \sin \theta_i \quad (1)$$

式中: $P_x$ 、 $P_y$ 分别为 $x$ 、 $y$ 方向上的合成量; $P_i$ 为第 $i$ 个节气的降水量; $\theta_i$ 为第 $i$ 个节气的方位角。

那么合成的降水量为:

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2} \quad (2)$$

于是得到集中度的表达式为:

$$D_{PCD} = \frac{P}{\sum_{i=1}^{24} P_i} \quad (3)$$

集中期( $P_{PCP}$ )用 $x$ 、 $y$ 方向上合成分量比值的正切角度表示:

$$P_{PCP} = \arctan\left(\frac{P_y}{P_x}\right) \quad (4)$$

可以看出集中期 $PCP$ 表示年内最大降水量出现的节气,而集中度 $PCD$ 则表示集中期降水量占年降水量的比例,集中度计算中二十四节气的方位角见表 2,其值越大,表示降水越集中,降水分布越不均匀。

表 2 集中度计算中二十四节气的方位角

节气	包含角度(始)/ (°)	包含角度(末)/ (°)	方位角/ (°)
立春	352.5	7.5	0
雨水	7.5	22.5	15
惊蛰	22.5	37.5	30
春分	37.5	52.5	45
清明	52.5	67.5	60
谷雨	67.5	82.5	75
立夏	82.5	97.5	90

(续表 2)

节气	包含角度(始)/ (°)	包含角度(末)/ (°)	方位角/ (°)
小满	97.5	112.5	105
芒种	112.5	127.5	120
夏至	127.5	142.5	135
小暑	142.5	157.5	150
大暑	157.5	172.5	165
立秋	172.5	187.5	180
处暑	187.5	202.5	195
白露	202.5	217.5	210
秋分	217.5	232.5	225
寒露	232.5	247.5	240
霜降	247.5	262.5	255
立冬	262.5	277.5	270
小雪	277.5	292.5	285
大雪	292.5	307.5	300
冬至	307.5	322.5	315
小寒	322.5	337.5	330
大寒	337.5	352.5	345

### 2.2.3 年内分配不均匀系数

降水量年内分配不均匀系数采用变差系数 $C_v$ 表示,它是反映降水量年内分配不均匀性的一个重要指标, $C_v$ 值越大,则降水量年内各个节气分布越不均匀。 $C_v$ 值计算如下:

$$C_v = \frac{\delta}{\bar{P}} \quad (5)$$

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{24} \sum_{i=1}^{24} [P_i - \bar{P}]^2}$$

$$\bar{P} = \frac{1}{24} \sum_{i=1}^{24} P_i$$

式中: $P_i$ 为第 $i$ 个节气降水量; $\bar{P}$ 为年内二十四节气平均降水量; $\delta$ 为标准差。

### 2.2.4 年内分配完全调节系数

降水量年内分配完全调节系数 $C_r$ 定义为:大于等于年平均降水量的各个节气降水量减去年平均

降水量之后的和与年降水量之比。其计算公式为

$$Cr = \frac{\sum_{i=1}^{24} Q(i) [P_i - \bar{P}]}{\sum_{i=1}^{24} P_i}, Q(i) = \begin{cases} 1, P_i \geq \bar{P} \\ 0, P_i < \bar{P} \end{cases} \quad (6)$$

与年内分配不均匀系数  $C_v$  一样,  $Cr$  值越大, 降水量年内分配越不均匀。

### 2.2.5 变化幅度

降水变化幅度是降水分布不均匀性的重要体现, 变化幅度的大小对水利调节与水资源环境有重要影响。降水量年内变化幅度过大, 可能会引发局部旱涝灾害, 威胁到区域社会环境安全, 增加水资源的开发利用与决策难度。变化幅度采用 4 个指标来描述, 其计算式如下:

$$I_{m1} = P_{\max} / P_{\min} \quad (7)$$

$$I_{m2} = P_{\max} / \bar{P} \quad (8)$$

$$I_{m3} = P_{\min} / \bar{P} \quad (9)$$

$$\Delta P = P_{\max} - P_{\min} \quad (10)$$

式中:  $P_{\max}$ 、 $P_{\min}$  分别为最大、最小的节气降水量;  $I_{m1}$ 、 $I_{m2}$  及  $I_{m3}$  为相对变化幅度;  $\Delta P$  为绝对变化幅度。

### 2.3 研究资料

降水量资料来自南京市六合、江浦、安基山水库、金牛山水库、晓桥等 12 个雨量站的逐日降水数据(1951—2015 年)(图 1), 取 12 个站的日降水量平均值为南京市日降水量, 并按照年内二十四节气时段(表 1)进行统计, 得到各个节气的降水量。

## 3 结果分析

### 3.1 南京市二十四节气降水量年内分配不均匀性

由于季节气候的变化, 降水量随时间发生明显的变化。根据式(5)计算得出南京市各年二十四节气降水量的不均匀系数  $C_v$ (图 2)。从图 2 可以看出, 年内不均匀系数  $C_v$  值最大为 1.74, 出现在 1969 年, 表明南京市该年二十四节气降水量的分布很不均匀; 最小为 0.59, 出现在 1990 年, 表明南京市该年二十四节气降水量的分布较均匀。随着时间的推移,  $C_v$  值有变大的趋势, 线性趋势线的斜率为每 10 a 0.0106。按式(6)计算得到南京市各年二十四节气降水量的完全调节系数  $Cr$ (图 3), 从图 3 可以看出, 年内完全调节系数  $Cr$  值最大为 0.51, 出现在 2011 年, 同样表明该年降水量分配很不均匀; 最小为 0.26, 出现在 1990 年, 表明该年降水量分配较均匀。  $Cr$  变化趋势与  $C_v$  值相同, 趋于增长, 线性趋势线的斜率为每 10 a 0.0011。

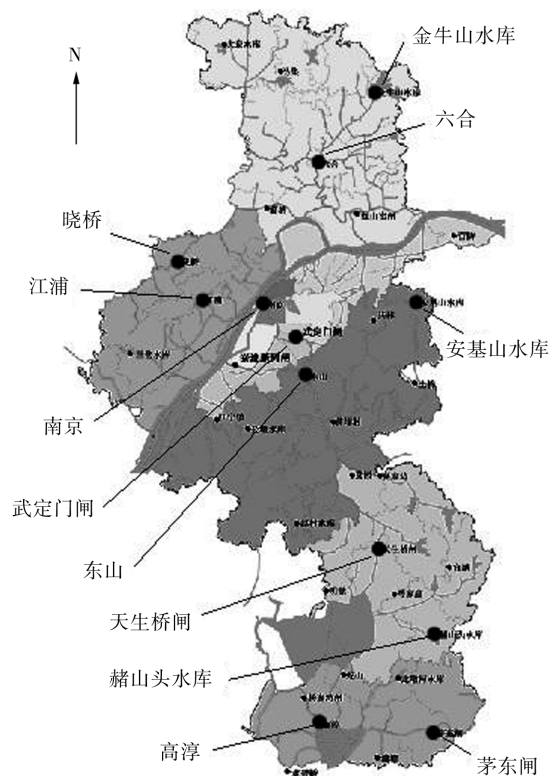


图1 雨量站位置示意图

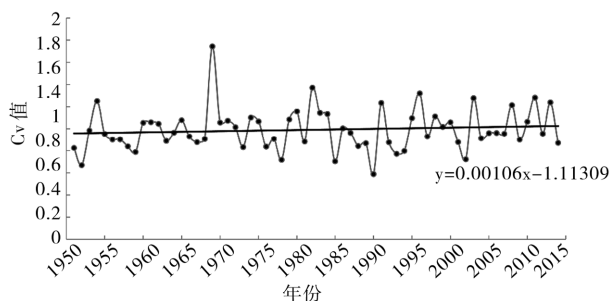


图2 南京市二十四节气降水量  $C_v$  值

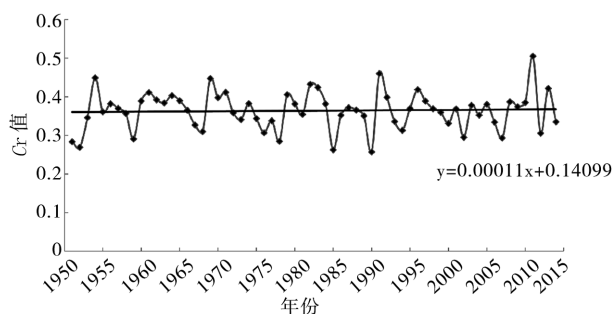


图3 南京市二十四节气降水量  $Cr$  值

将南京市二十四节气降水量的年内不均匀系数  $C_v$  与年内完全调节系数  $Cr$  值进行对比(图 4), 可以看出  $C_v$  与  $Cr$  整体变化趋势基本一致, 但  $C_v$  值总体比  $Cr$  值大, 这是因为在  $C_v$  与  $Cr$  的计算式(5)、式(6)中,  $C_v$  代表不均匀性时考虑到了平均值上下数据的影响, 而  $Cr$  只考虑了平均值水平以上的数据作用, 因此  $Cr$  值会偏小。从图 4 可以看

出,  $C_v$  与  $C_r$  呈波动趋势, 特别是在 1965—1970 年、1980—1985 年及 1990—1995 年波动强烈, 表现为较强的不均匀性。1990 年以后,  $C_v$  值与  $C_r$  值均呈现锯齿状波动缓慢上升趋势, 表明降水量年内分配不均性逐渐增强, 降水不稳定。

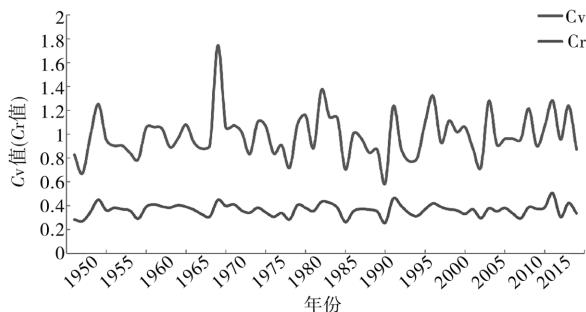


图4  $C_v$  与  $C_r$  变化趋势对比图

### 3.2 南京市二十四节气降水量年内分配集中程度

利用上面计算方法, 得到南京市二十四节气降水量的集中度与集中期 (表3、图5)。从表3、图5可以看出南京市二十四节气降水量年内分配存在一定的不均匀性, 从降水量年内分配的集中性来看, 20 世纪 50 年代、90 年代及 2000 年以后的集中度较小, 而 60 年代、70 年代与 80 年代的集中度较大。从时间序列 (1951—2014 年) 集中度的变化来看, 年际差异较大, 最大值为 0.64 (2011 年), 最小值为 0.08 (1997 年), 相差近 8 倍。随着时间的推移, 集中度有逐渐增大的趋势, 但非常缓慢, 线性趋势线的斜率只有每 10 a 0.0002, 这与不均匀系数  $C_v$  及完全调节系数  $C_r$  变化趋势基本一致 (图6), 由图6可以看出  $C_v$ 、 $C_r$  与  $D_{PCD}$  曲线的升降趋势、波动区间基本相同, 且两两之间存在显著正相关 (Sig <

表3 南京市二十四节气降水量年内分配集中度与集中期

年代	集中度 $D_{PCD}$	合成向量 方向/(°)	集中期 $P_{PCP}$	$P_{PCP}$ 所属节气
20 世纪 50 年代	0.359	130.7	10.21	夏至
20 世纪 60 年代	0.373	140.2	10.85	夏至
20 世纪 70 年代	0.383	131.4	10.26	夏至
20 世纪 80 年代	0.393	145.4	11.19	小暑
20 世纪 90 年代	0.359	123.7	9.75	芒种
2000 年至今	0.363	140.9	10.89	夏至
多年平均	0.368	136.0	10.57	夏至

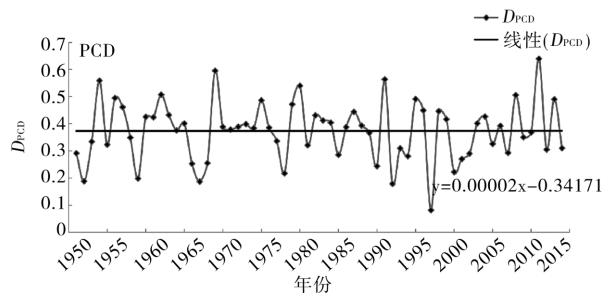


图5 南京市二十四节气降水量  $D_{PCD}$  值

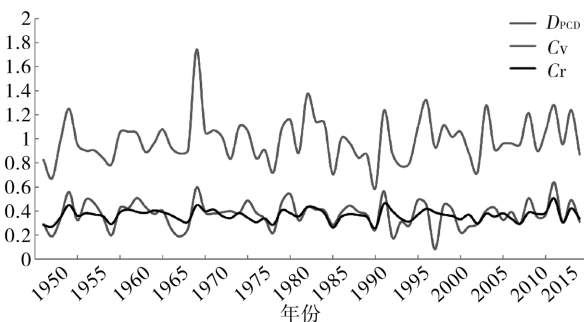


图6  $C_v$ 、 $C_r$  与  $D_{PCD}$  变化趋势对比图

0.05)。  $C_v$  与  $C_r$  的相关系数为 0.783,  $C_v$  与  $D_{PCD}$  的相关系数为 0.690,  $C_r$  与  $D_{PCD}$  的相关系数为 0.676, 这说明了  $C_v$ 、 $C_r$  与  $D_{PCD}$  三者描述降水量年内分配不均性的一致性、合理性与代表性。

就南京市二十四节气降水量集中期而言, 除了 20 世纪 80 年代降水量集中期为小暑, 20 世纪 90 年代集中期为芒种外, 其他年代均为夏至, 多年平均的集中期也是夏至 (表3), 这与南京市二十四节气多年平均降水量分配 (图7) 的结果相一致。从图7可以看出, 多年平均的南京市二十四节气降水量年内分配主要集中在芒种、夏至及小暑 (6 月 6 日至

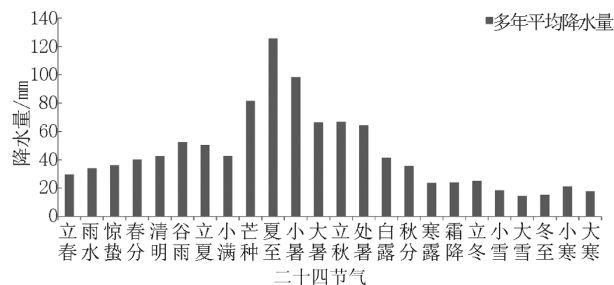


图7 南京市二十四节气多年平均降水量

7 月 22 日) 这 3 个节气, 与  $P_{PCP}$  的计算结果相吻合, 3 个节气的降水量占全年降水量的 28.6%。多年平均的年降水量与芒种降水量的相关系数为 0.344, 与夏至降水量的相关系数为 0.584, 与小暑降水量的相关系数为 0.355, 且都通过 0.01 的显著性检验, 表明年降水量与芒种、夏至和小暑 3 个节气的降水量显著正相关, 3 个节气降水量的多少直接影响着年降水量。多年平均的南京市二十四节气降

水量年内分配结果显示从立春(2月4日)开始,年内降水量大体上呈增长趋势,到夏至(7月6日)达到最大值,后逐渐减小直到大寒(次年2月3日)。多年平均的二十四节气年内降水量分配最大值出现在夏至,为125.5 mm,最小值出现在大雪(12月7日),为14.5 mm。从时间序列来看降水量集中期(图8),PCP最早出现在立夏(1959年),最晚出现在立秋(1961年),并且集中期有缓慢推迟的趋势。在2005年以后PCP波动趋于平缓,降水集中期相对稳定,降水变化趋于缓和。

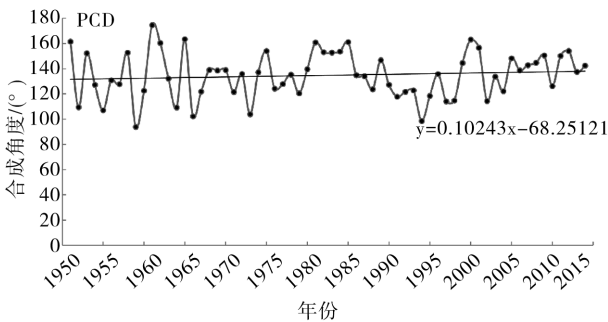


图8 南京市二十四节气降水量  $P_{PCP}$

3.3 南京市二十四节气降水量变化幅度

南京市二十四节气降水量年内变化幅度见表4。从表4可以看出,降水量年内绝对变化幅度 $\Delta P$ 随时间先减小后增加再减小,20世纪60年代的 $\Delta P$ 最小,其相对变化幅度 $I_{m1}$ 、 $I_{m2}$ 也较小, $I_{m3}$ 较大,说明20世纪60年代的南京市二十四节气降水量年内变化幅度比较小;20世纪90年代的 $\Delta P$ 最大,其 $I_{m1}$ 、 $I_{m2}$ 也较大, $I_{m3}$ 较小,说明20世纪90年代的南京市二十四节气降水量年内变化幅度比较大。从时间序列来看(图9),南京市二十四节气降水量年内绝对变化幅度最大值为405.464 mm(1969年),其年内最大降水量为405.464 mm,出现在小暑(7月7日至7月22日),最小降水量为0 mm,出现在小寒(次年1月6日至1月20日),表明1969年各个节气降水量分配很不均匀。从图2、图3及图5中可以看出,1969年的降水量年内分配 $C_v$ 、 $C_r$ 及PCD值都比较大,这也验证了该年内二十四节气降水分配很不均匀。南京市二十四节气降水量年内绝对变化幅度最小值为66.75 mm(1978年),其年内最大降水量为67.80 mm,出现在小暑,最小降水量为1.050 mm,出现在寒露(10月9日至10月23日)。同样,对应图2、图3及图5中1978年的 $C_v$ 、 $C_r$ 及PCD值也都比较小,说明了该年内各个节气降水量分配比较均匀。绝对变化幅度 $\Delta P$ 与集中度PCD相关系数为0.628(Sig<0.05),表明年内降

水越集中,其变化幅度也就越大。随着时间的推移,南京市二十四节气降水量年内绝对变化幅度 $\Delta P$ 呈增长趋势,线性趋势线的斜率为每10 a5.39,2005年以后, $\Delta P$ 的波动趋势变缓,趋于平稳,说明近年来南京市降水变化较缓和。

表4 南京市二十四节气降水量年内变化幅度

年代	$I_{m1}$	$I_{m2}$	$I_{m3}$	$\Delta P / \text{mm}$
20世纪50年代	11.118	3.001	0.270	117.412
20世纪60年代	11.315	2.596	0.229	99.532
20世纪70年代	19.714	2.587	0.131	106.011
20世纪80年代	14.891	2.709	0.182	115.620
20世纪90年代	17.344	3.158	0.182	138.513
2000年至今	12.306	2.853	0.232	119.652
多年平均	8.680	2.822	0.325	111.049

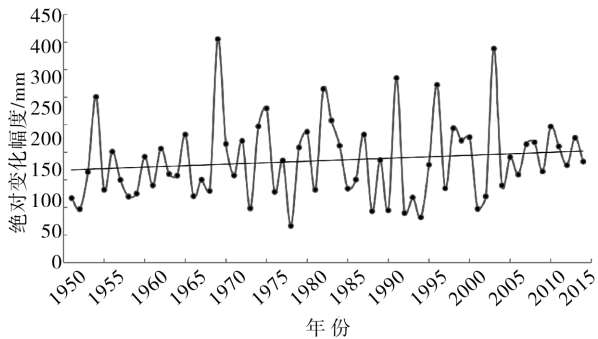


图9 南京市二十四节气降水量年内绝对变化幅度  $\Delta P$

4 结 论

以南京市12个雨量站近60年来的实测逐日降水量资料为基础,以年内二十四节气为研究时段,通过计算降水量年内分配集中度与集中期、年内分配不均匀系数、年内分配完全调节系数和变化幅度等指标,具体分析了南京市二十四节气年内降水量分配规律。在1965—1970年、1980—1985年及1990—1995年,降水量年内分配不均匀性波动较强,尤其在1969年,其二十四节气年内降水量绝对变化幅度高达405.464 mm。自1951年以来,南京市二十四节气降水量年内分配的不均匀性系数、完全调节系数、集中度和变化幅度均有缓慢增长的趋势,集中期也有缓慢推迟的趋势,表明降水量年内分配的不均匀性有增强趋势,但进入2005年以后趋于平缓,降水变化缓和。根据南京市多年平均年内

二十四节气的降水量,得到南京市年内降水量主要集中在芒种、夏至和小暑(6月6日至7月22日),3个节气的降水量都与年降水量呈显著正相关,这个时段恰好是长江中下游地区的梅雨时节,时段降水非常丰富。南京市年内降水量在夏至(6月22日至7月6日)达到峰值,而向两端逐渐减小,大体上呈锥形结构。

本文只是用有限的指标来研究南京市二十四节气降水量年内分配的规律,从一定程度上反映南京市降水量在年内二十四节气的分配规律,为南京市二十四节气的农事活动、社会生产实践提供一定的参考依据。但对各个指标之间的相关性未进行深入分析,指标的代表性可能存在不足,还需进一步地深入研究。

#### 参考文献:

- [1] 盛飞兵,熊红,魏方稳. 气象科普短片的创作应用——以二十四节气短片为例[J]. 现代农业, 2015(8):98-99.
- [2] 王艳丽,李岚,息涛,等. 沈阳市“24节气”气温和降水气候变化特征分析[C]. 第27届中国气象学会年会应对气候变化分会场——人类发展的永恒主题论文集. 北京:中国气象学会, 2010:4.
- [3] 邵国权,许吉仁,戴文婷,等. 南京市景观格局演变与廊道网络构建研究[J]. 现代城市研究, 2014(4):73-79.
- [4] 邓鹏鑫,胡庆芳,王银堂,等. 太湖流域降水不均匀性研究[J]. 水利水运工程学报, 2014(5):34-40.
- [5] 毛宇清,吴海英,裴海瑛,等. 近50 a南京夏季降水的气候特征[J]. 气象科学, 2012, 32(6):646-652.
- [6] Zhang Lujun, Qian Yongfu. Annual distribution features of the yearly precipitation in China and their inter annual variations [J]. Acta Meteorologica Sinica, 2003, 17(2):146-163.
- [7] 刘贤赵,李嘉竹,宿庆,等. 基于集中度与集中期的径流年内分配研究[J]. 地理科学, 2007, 27(6):791-795.
- [8] 纳丽,李欣,朱晓炜,等. 宁夏近50 a降水集中度和集中期特征分析[J]. 干旱区地理, 2012(5):724-731.
- [9] 李远平,杨太保,马建国. 渭河流域汛期降水集中度和集中期的变化特征[J]. 资源科学, 2012(3):418-423.
- [10] 田黎明,齐识,马金珠,等. 白龙江流域上游径流年内分配变化规律分析[J]. 水文, 2012, 32(4):82-87.