

Zhang L J, Qian Y F. A study on the feature of precipitation concentration and its relation to flood-producing in the Yangtze River Valley of China. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2004, 47(4): 622 ~ 630

# 长江流域汛期降水集中程度和洪涝关系研究

张录军 钱永甫

南京大学大气科学系, 南京 210093

**摘要** 运用新定义的降水集中度和集中期分别讨论了我国长江流域不同地段汛期降水在时间和空间上的分布特征和变化规律。结果表明在对长江流域旱涝灾害研究方面, 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。并且在长江中下游地区的降水集中度与东亚副热带季风之间存在着比较密切的联系。

**关键词** 降水集中度 降水集中期 时空分布 东亚季风指数

文章编号 0001 - 5733(2004)04 - 0622 - 09 中图分类号 P426 收稿日期 2003 - 05 - 07, 2004 - 01 - 19 收修定稿

## A STUDY ON THE FEATURE OF PRECIPITATION CONCENTRATION AND ITS RELATION TO FLOOD-PRODUCING IN THE YANGTZE RIVER VALLEY OF CHINA

ZHANG Lu-Jun QIAN Yong-Fu

Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China

**Abstract** Based on the precipitation-concentration degree (PCD) and precipitation-concentration period (PCP), we analyze the characteristics of spatial and temporal distribution and variation of precipitation in the Yangtze River Valley. It is proved that these two parameters can display the temporal inhomogeneity in the precipitation field, and pick up the corresponding period of the largest precipitation amount in theoretical analyses of floods and droughts in the Yangtze River Valley. Thus the basic characteristics and mechanism of flood and drought can be fairly analyzed. And it is also found that there is a good relationship between the precipitation-concentration degree and the East Asian monsoon index in the middle and lower reaches of the Yangtze River.

**Key words** Precipitation-concentration degree (PCD), Precipitation-concentration period (PCP), Spatial and temporal distribution, East Asian monsoon index.

## 1 引言

长江流域是我国降水较为丰沛的地区, 降雨量有三个相对集中期: 春汛期(4~5月)、夏汛期(6~8月)和秋汛期(8~10月)。由于每年的降雨量在空间

和时间分布上的非均匀性, 长江流域比较容易形成旱涝灾害<sup>[1, 2]</sup>, 长江流域的洪灾主要由暴雨形成, 洪水出现时间与暴雨季节基本一致, 以7~8月最为集中。洞庭湖及鄱阳湖水系出现洪水最早, 一般年份中下游早于上游, 南岸河流早于北岸河流, 因而江河洪水能够相互错开, 不至于发生灾害性的大洪水。

基金项目 国家自然科学基金(40175021, 40233037)资助。

作者简介 张录军, 男, 1970年生, 博士生, 主要从事短期气候灾害诊断与预测研究。E-mail: zhanglujun3@263.net

如出现气候异常,上下游雨季发生重叠,就会造成上下游、南北岸各河流洪水在干流重叠,酿成灾害性的特大洪水,例如 1954 年和 1998 年。

长江流域降水集中在夏秋季节,地区分布很不均匀,总的趋势是由东南向西北递减<sup>[1,2]</sup>。由于长江上游地势落差较大,中下游河势平缓,受自然地理河流气候条件综合配置的影响,在正常年份长江中下游地区处于降水集中时段时,上游地区的降水量较小,而当上游处于降水集中时段时,中下游地区正值伏旱期,洞庭湖、鄱阳湖等通江湖泊对上游来水具有明显的调蓄功能,因此全流域爆发严重洪涝灾害的次数较少。但是,近些年来长江流域汛期发生旱涝灾害的频率呈现增大的变化趋势,并且很容易造成比较大的人员伤亡和财产损失。尤其 20 世纪 90 年代以来,长江流域,特别是中下游旱涝灾害加剧的趋势十分明显。为了减轻灾害损失,必须多方面地探讨形成旱涝灾害加重的原因。本文仔细地分析了长江流域汛期降水量的时空分布特征,发现近年来在时间和空间分布上长江流域的降水量集中程度的变幅具有显著增加趋势,可能是导致旱涝灾害加剧的重要原因之一。

中外学者对长江流域旱涝现象做了大量的研究,得出了许多有意义的结论<sup>[1~8]</sup>。但关于长江流域降水的集中程度以及最大降水量出现时期的研究并不够细致,本文采用新定义的降水集中度(PCD)和集中期(PCP),进一步讨论它们在长江流域旱涝灾害发生机制中的作用,期望能够揭示出一些规律。

## 2 资料和方法

### 2.1 研究区域资料

所用资料是国家气象中心整理的 1951~2001 年中国 720 多个台站逐日降水数据和 1951~2001 年 NCEP/NCAR 逐月再分析资料。长江流域的选站原则是:沿流域干支流分布均匀,选取尽可能多的站点,测站具有一定代表性。图 1 是所选站点和河流分布示意图。

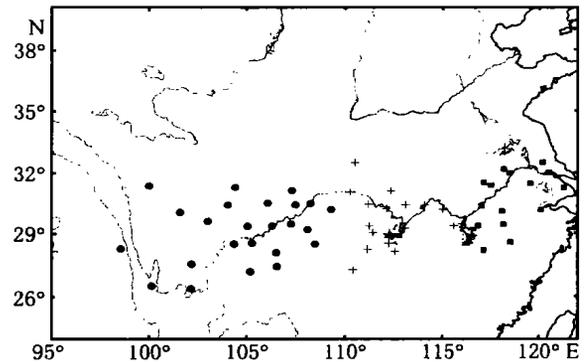
### 2.2 降水集中度和集中期的定义

我们定义了表征单站降水量时间分配特征的新参数:降水集中度(PCD)和集中期(PCP)。

$$CN_i = \sqrt{R_{xi}^2 + R_{yi}^2} / R_i, \quad (1)$$

$$D_i = \arctan(R_{xi} / R_{yi}), \quad (2)$$

其中,  $CN_i$  和  $D_i$  分别为研究时段内的降水集中度和



上游站点 upper reach; + 中游站点 middle reach; 下游站点 lower reach

图 1 长江流域站点分布示意图

Fig. 1 Schematic diagram of station classification of the Yangtze River

集中期,  $R_{xi} = \sum_{j=1}^N r_{ij} * \sin j$ ;  $R_{yi} = \sum_{j=1}^N r_{ij} * \cos j$ ,  $R_i$  为某测站研究时段内总降水量,  $r_{ij}$  为研究时段内某候降水量,  $j$  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 ( $i = 1951, 1952, \dots, 2001$ ),  $j$  为研究时段内的候序 ( $j = 1, 2, \dots, N$ )。

由(1)和(2)式可知,PCD 能够反映降水总量在研究时段内各个候的集中程度。如果在研究时段(如汛期)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[9]。

## 3 长江流域降水异常的时空特征分析

长江流域降水年内分配很不均匀,一般年份,最早为洞庭湖、鄱阳湖水系,4 月即进入雨季,6 月中旬至 7 月上旬长江中下游为梅雨季节,雨带徘徊于干流两岸,呈东北向分布;7 月中旬至 8 月,雨带移至四川和汉江流域,呈东北西南向分布,此时长江中下游和川东受副高控制,出现伏旱;9 月份,雨带又南旋回至长江上中游,多雨区从川西移到川东至汉江上游,俗称华西秋雨;10 月份,全流域雨季先后结束。传统意义上把长江流域的汛期时间定

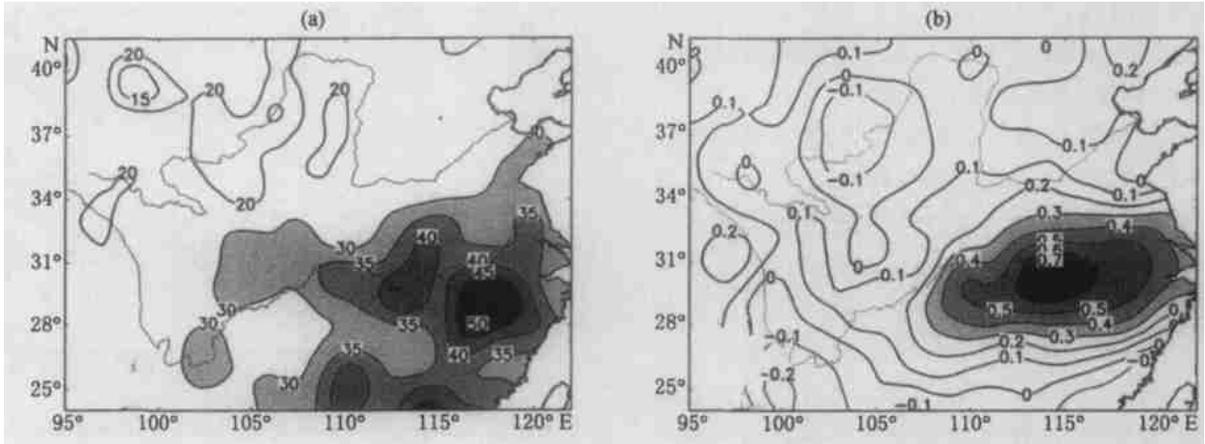


图 2 1951 ~ 2001 年我国长江流域汛期降水标准差 (a) 和单点相关系数 (b) 分布图 (量纲为 1)

Fig. 2 Distribution of the standard deviation (a) and the station to station correlation coefficient (b) of precipitation in flood season from 1951 to 2001

义为夏季 (6 ~ 8 月)。但是长江纵横数千公里,中下游地区季风气候特征明显,上游地区处于山地高原区,因而长江全流域入汛时间是不相同的。从 1951 ~ 2001 年长江全流域降水的年际 - 季节变化分布 (图略) 可看到,候降水量大于 20mm 时段主要集中在 19 ~ 54 候,所以本文把每年 4 ~ 9 月的多雨期作为长江流域的汛期。进一步分析 51 年长江流域的上游、中游和下游降水量的年际 - 季节变化曲线 (图略),上游地区的降水比较集中,最大降水时间略推迟;而中下游地区的降水时间相对分散,年降水量比上游地区大,最大降水时间相对上游地区略提前。

图 2a 给出 1951 ~ 2001 年中国东部地区汛期降水的标准差分布。长江中下游地区呈现为大范围的大降水变率区,一般也是灾害性旱涝事件多发地区。考虑到汉口站位于长江流域中游偏上,那里的大暴雨更易造成长江中下游地区的洪涝灾害,因此选择汉口站作为基点,通过计算降水的单点相关考察长江流域降水分布的空间相关性。单点相关系数分布见图 2b 所示,几乎覆盖整个长江流域的阴影区是降水的显著正相关区,其北侧的黄河流域及南侧的华南沿海地区降水与长江流域降水呈现负相关。相关系数分布呈“- + -”型,这与中国夏季降水 EOF 第一模态空间分布型很相似<sup>[10-12]</sup>。

为了详细考察长江全流域降水的年际异常变化情况,本文分别分析了长江全流域、上游、中游和下游地区降水距平百分率的年际变化曲线 (包括夏季、汛期和年降水),选出长江流域典型的多水年和少水年 (见表 1)。由表 1 和图 3 可见,长江流域各地段几乎年年非涝即旱,甚至会出现连旱连涝或同

一时间各地段同时旱涝的情况。由长江流域各地段汛期内异常多 (少) 水年份的降水变率分析得到,上游地区的降水变幅较小;中下游地区的降水变幅较大。

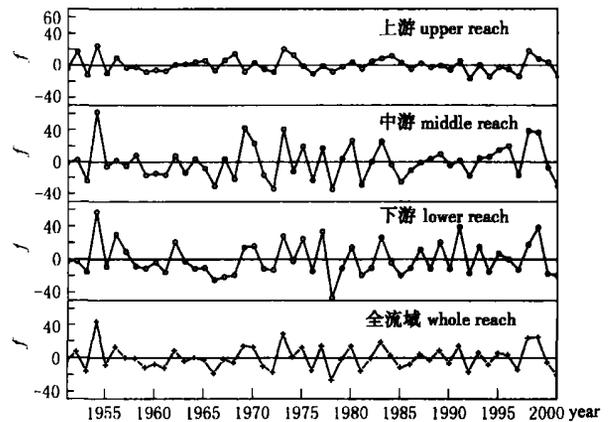


图 3 1951 ~ 2001 年长江上游、中游、下游和全流域汛期降水距平百分率变化 (f 为距平百分率)

Fig. 3 The percentage anomalies of precipitation in the upper, middle, lower, and whole reaches of the Yangtze River in flood season from 1951 to 2001

由表 1 可看到:不同时段内 (夏季、汛期和全年) 出现异常降水现象的年份并不是完全相同的。例如 1969 年和 1980 年夏季降水量较正常年份明显偏多,而 1959 年和 1976 年夏季降水量较正常年份明显偏少,但是从汛期和全年降水的年际变化看这 4 年的降水变化并不显著。1954、1983、1998 年和 1999 年在长江流域的各个地段、各个时段内降水明显偏多;1966、1978 年和 2001 年在长江流域的各个地段、各个时段内降水明显偏少。

表 1 1951~2001 年长江流域降水大小年

Table 1 The years with more and less precipitation in the Yangtze River Valley from 1951 to 2001

时段	地段	多水年	少水年
夏季	上游	1954, 1956, 1968, 1980, 1983, 1984, 1987, 1998	1953, 1959, 1972, 1976, 1978, 1992, 1994, 1997, 2001
	中游	1954, 1969, 1980, 1983, 1995, 1996, 1998, 1999	1959, 1961, 1966, 1968, 1972, 1976, 1978, 1981, 1985, 2001
	下游	1954, 1969, 1980, 1987, 1991, 1993, 1996, 1998, 1999	1958, 1959, 1961, 1964, 1966, 1967, 1968, 1978, 1985
	流域	1954, 1969, 1980, 1983, 1991, 1993, 1995, 1996, 1998, 1999	1959, 1966, 1967, 1972, 1976, 1978, 1985, 1992, 2001
汛期	上游	1952, 1954, 1968, 1973, 1974, 1983, 1984, 1998, 1999	1953, 1955, 1959, 1972, 1976, 1992, 1994, 1997, 2001
	中游	1954, 1969, 1970, 1973, 1975, 1980, 1983, 1996, 1998, 1999	1953, 1966, 1968, 1972, 1976, 1978, 1981, 1985, 2001
	下游	1954, 1956, 1973, 1975, 1977, 1983, 1989, 1991, 1999	1966, 1967, 1968, 1978, 1981, 1985, 1992, 1994, 2000, 2001
	流域	1954, 1969, 1973, 1977, 1980, 1983, 1991, 1998, 1999	1953, 1966, 1972, 1976, 1978, 1981, 1992, 1997, 2001
全年	上游	1952, 1954, 1956, 1965, 1967, 1968, 1973, 1974, 1983, 1998	1953, 1966, 1976, 1978, 1979, 1981, 1992, 1994, 1997, 2001
	中游	1954, 1969, 1973, 1980, 1983, 1989, 1998, 1999	1953, 1963, 1966, 1968, 1971, 1976, 1978, 1985, 1986, 2001
	下游	1954, 1973, 1975, 1977, 1983, 1989, 1991, 1993, 1998, 1999	1963, 1966, 1967, 1968, 1971, 1978, 1979, 1986
	流域	1954, 1973, 1975, 1977, 1980, 1983, 1989, 1991, 1998, 1999	1955, 1966, 1971, 1976, 1978, 1979, 1986, 1992, 2001

注:划线的年份为严重多水或少水年份的前五名。

## 4 降水集中度和集中期的时空特征分析

### 4.1 降水集中度和集中期的年际变化分析

图 4 给出了 1951~2001 年长江全流域、上游、中游和下游地区汛期(4~9 月)PCD 与 PCP 的年际变化曲线。由图 4a 可见,长江上游地区的 PCD 较大,多年平均值为 0.51;中下游地区 PCD 相对小些,年际变化曲线十分相似,并且两个地区多年的平均值非常相近,分别为 0.36 和 0.35;长江全流域多年平均值为 0.39。图 4b 中,长江上游地区 PCP 出现的相对晚,多年平均值为第 40 候;而中下游地区 PCP 出现的相对早,多年平均的最大降水日期出现在第 33 候;长江全流域 PCP 多年平均为 37 候附近。本文从图 4 中分别选出 1951~2001 年长江全流域、上游、中游和下游 PCD 与 PCP 极大值年和极小值年。由表 2 可见 1954、1956、1969、1995、1998 年和

1999 年在长江流域各个地段 PCD 异常偏大;1953、1961、1972、1997 年和 2001 年在长江流域各个地段 PCD 异常偏小。如果在汛期降水量异常偏多的年份,PCD 也异常偏大,此时长江流域就会爆发比较严重的洪涝灾害。例如 1954 年和 1998 年的长江全流域发生的特大洪涝灾害。如果在长江流域的某个地段汛期降水量偏多,PCD 也异常偏大,则容易形成长江流域局地洪涝灾害。如果长江流域某地段汛期内降水量偏多,而 PCD 异常偏小,则不利于洪涝灾害的产生。总体上,长江流域各个地段的 PCD 与汛期降水量具有比较好的同步性变化规律,即长江流域降水偏多的年份,PCD 也偏大。另一方面,从长江流域各个地段的 PCP 的年际变化来看(见图 4b),长江上、中、下游地区 PCP 都具有显著的年际和年代际变化规律。长江上游地区集中期的变幅相对中下游地区要小,但是自 20 世纪 80 年代以来,上游地区的集中期变幅明显增大。在长江全流域降水量比较大的年份里,如果在长江上游地区最大降水日期提前,

表 2 长江流域 1951~2001 年降水集中度和集中期大小年

Table 2 The years of big and small value of the PCD and PCP in the Yangtze River Valley from 1951 to 2001

时段	地段	大值年	小值年
集中度	上游	1954, 1969, 1981, 1984, 1987, 1988, 1991, 1998	1953, 1957, 1959, 1961, 1970, 1972, 1977, 1989, 1992, 1994, 1997
	中游	1954, 1955, 1956, 1969, 1973, 1979, 1980, 1988, 1992, 1995, 1996, 1998, 1999	1953, 1961, 1972, 1981, 1985, 1989, 1997, 2000, 2001
	下游	1954, 1955, 1956, 1969, 1979, 1980, 1986, 1991, 1995, 1999	1953, 1961, 1972, 1981, 1985, 1990, 1997, 2000, 2001
	流域	1954, 1955, 1956, 1969, 1979, 1980, 1988, 1991, 1995, 1996, 1998, 1999	1953, 1959, 1961, 1972, 1981, 1985, 1989, 1990, 1997, 2000, 2001
集中期	上游	1969, 1979, 1982, 1993	1977, 1992, 1997
	中游	1953, 1969, 1972, 1982, 1988, 1996, 2000	1956, 1957, 1959, 1966, 1985, 1990, 1991, 1992, 2001
	下游	1953, 1961, 1962, 1965, 1972, 1975, 1981, 1982, 1984, 1997, 2000	1959, 1966, 1967, 1978
	流域	1951, 1952, 1953, 1965, 1972, 1982, 2000	1959, 1967, 1977, 1991, 1992

注:划线的年份为降水集中度或集中期最大和最小年份的前五名。

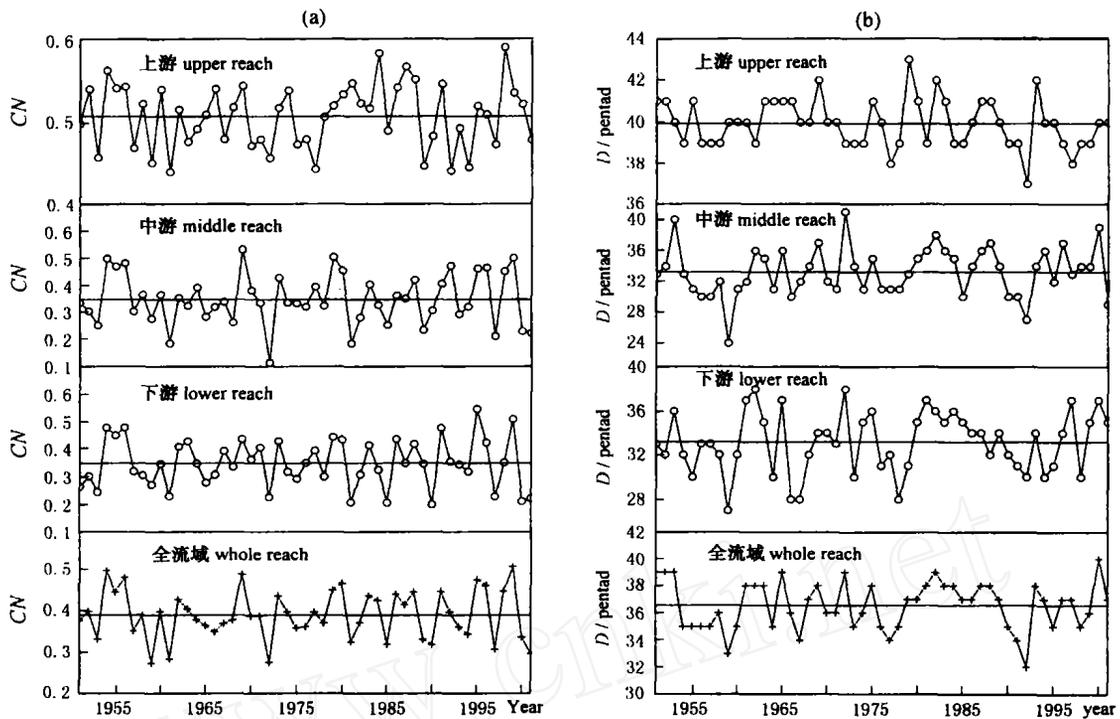


图 4 1951 ~ 2001 年长江上游、中游、下游和全流域 PCD(a) 和 PCP(b) 年际变化

Fig. 4 The interannual variations of the PCD (a) and PCP (b) in the upper, middle, lower, and whole reaches of the Yangtze River from 1951 to 2001

而在中下游地区推迟,则在长江流域就会产生洪峰叠加,从而加重了洪涝灾害的强度;反之,如果在长江上游地区最大降水日期推迟,而在长江中下游地区提前,将会削弱洪涝灾害的影响程度。

图 5 给出了长江流域 1951 ~ 2001 年 PCD 标准差空间分布。长江上游地区为 PCD 的小变率区;长江中下游地区 PCD 呈现为大范围的大变率区,其中最大中心是位于中游的岳阳站。而从 PCP 的标准差

分布图上(图略)可看到集中期变率最大的地区也位于长江中下游。可见,长江中下游地区汛期降水量的时空分配状况对长江流域旱涝灾害形成具有重要作用。

由于降水量、降水集中度和集中期对长江流域不同地段的影响程度不同,导致长江的大暴雨洪水可分为全流域性和区域性两种。前者降雨范围广、历时长、上中下游雨季重叠,且雨区移动方向与干流流向几乎一致,干支流洪水严重叠加,如 1954 年和 1998 年;后者是长江干流某些河段及其主要支流发生大强度大面积的暴雨所致,如上游的 1952、1968、1974 年和 1984 年;中游的 1970、1980 年和 1996 年;下游的 1956、1977、1989 年和 1991 年。由于长江流域暴雨在空间和时间上分布情况不同,长江流域各站的洪水组成和遭遇就有较大差异,从而引起洪涝灾害的程度也不同。

#### 4.2 降水集中度和集中期的周期变化及突变分析

本文分别对长江全流域、上游、中游和下游的 PCD 和 PCP 进行了 Morlet 小波变换分析(表 3)。由小波变换图(图略)可以明显地分析出长江流域不同地段 PCD 和 PCP 的周期变化特征。1951 ~ 2001 年长江上游地区 PCD 和 PCP 都有准 16 年的周期振荡,

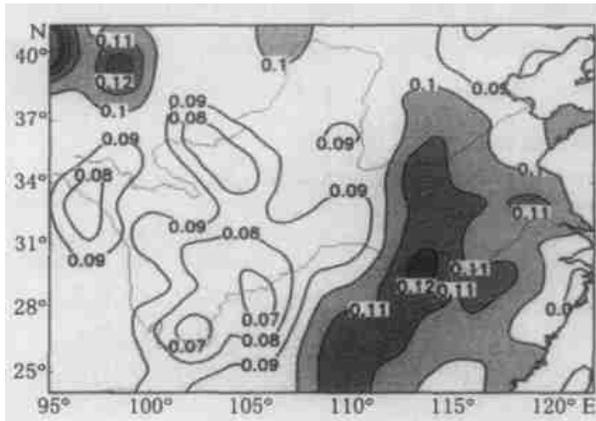


图 5 1951 ~ 2001 年我国长江流域降水集中度标准差空间分布(量纲为 1)

Fig. 5 Spatial distribution of the PCD standard deviation in the Yangtze River Valley from 1951 to 2001

其中 PCP 在 80 年代前有显著的准 16 年周期变化,此后,具有较明显的准 6 年的周期振荡;在长江中游和下游地区 PCD 的周期变化规律比较一致,存在较明显的 16 年周期。在 80 年代前具有 10 年的周期振荡,但此后,转为准 4 年的周期变化。此外,长江中下游地区 PCP 也存在明显的 16 年周期变化,在长江中游地区存在准 8 年的周期,下游地区存在 12 年的周期变化。

表 3 中国长江流域降水集中度、集中期和汛期降水量的 Morlet 小波变换周期(单位:年)

Table 3 The wavelet transfer periods of the PCD, PCP and precipitation in flood reason in the Yangtze River Valley from 1951 to 2001 (Unit: year)

	长江全流域	上游地区	中游地区	下游地区
降水集中度	4,10 和 16	16	4,10 和 16	4,10 和 16
降水集中期	10 和 16	6 和 16	8 和 16	12 和 16
汛期降水量	8 和 20	10 和 16	8 和 20	8 和 20

另外,在长江上游地区的汛期降水量也具有 10 年和 16 年左右的周期振荡,在中下游地区存在 8 年和 20 年左右的周期变化。研究长江流域不同地段降水集中度、集中期和汛期降水量的周期变化规律对洪涝灾害的预测与防范有一定的指导意义。

本文还采用 Mann-Kendall 法对长江中下游地区 PCD 和 PCP 的变化趋势及其突变规律进行了分析。数据做了 11 年平滑处理。由图 6a 可见,在 20 世纪 50 年代中期至末期 PCD 有减小的变化趋势,60 年代初期发生突变,转为增加的变化趋势,到 70 年代初增大的变化趋势比较显著,已经超过  $\vartheta = 0.05$  显

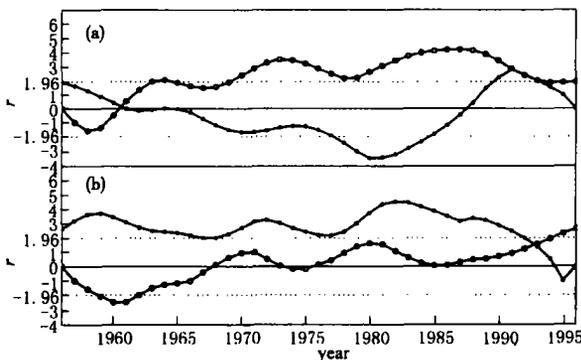


图 6 长江中下游地区 PCD(a)和 PCP(b)Mann-Kendall 统计量曲线

空心圆曲线在图 6a 中代表 PCD 的趋势变化,在图 6b 中代表 PCP 的趋势变化;点直线为  $\vartheta = 0.05$  显著性水平临界值  $|r| = 1.96$   
Fig. 6 The Mann-Kendall statistical curves of the PCD (a) and PCP (b) in the middle and lower reaches of the Yangtze River from 1951 to 2001

著性水平检验临界值 ( $r_0 = 1.96$ ),到 90 年代初,长江中下游地区 PCD 的增加趋势具有明显的突变。这可能是导致 20 世纪 90 年代该地区洪涝频率增加的原因之一。由图 6b 可知,从 50 年代中期到 60 年代末期,集中期有减小的变化趋势,即长江中下游地区的集中期提前。但在 60 年代末转为增大的变化趋势,在 90 年代初期出现了增大趋势的突变,即长江中下游地区 PCP 推迟,从而使长江中下游地区的最大降水期与上游地区出现洪峰的时间更接近。

#### 4.3 降水集中度和集中期在长江流域旱涝事件中的判别作用

习惯上,判断旱涝灾害的因子主要是降水量的大小,所以在划分旱涝年份时,大多采用年(或夏季)的降水指数或旱涝指数<sup>[1,2,6~8]</sup>。本文认为在长江流域除了考虑降水量因子之外,还应该考虑到 PCD 和 PCP。由图 3 可知,20 世纪 50 年代以来长江流域降水量变化趋势并不十分显著,90 年代降水增幅并不大,但是旱涝灾害频率却增加。究其原因,从图 7a 可看到,1951~2001 年在长江中下游地区,PCD 的距平绝对值具有明显的增大趋势,特别是 90 年代平均增幅变化趋势非常突出,这可能是导致旱涝事件频数增加的重要原因之一。

图 7b 给出了 1951~2001 年长江流域上游地区降水集中期与中下游地区集中期的差值年际变化曲线。它可以反映出长江流域不同地段洪水相遇的几率大小,从而分析出洪峰的强度以及洪涝灾害的影响程度。长江上游地区最大降水出现时段与中下游地区出现时段最接近的年份包括:1954、1956、1957、1958、1961、1963、1968、1969、1970、1973、1974、1975、1977、1980、1985~1989、1994 年和 1998 年。结合长

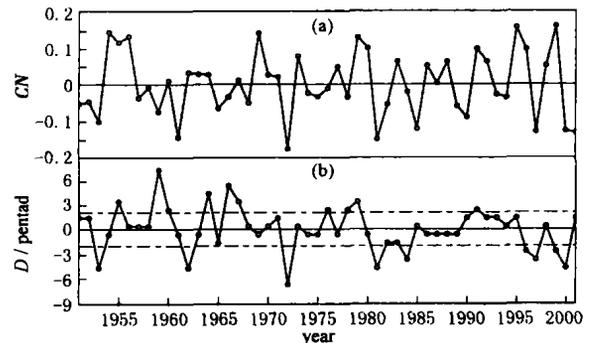


图 7 长江中下游地区 PCD 距平绝对值(a)和长江上游与中下游集中期差值(b)变化(量纲为 1)

Fig. 7 The interannual variation of the absolute anomalous value of PCD (a) in the middle and lower reaches of the Yangtze River and (b) the difference of the PCP between in the upper and in the middle and lower reaches of the Yangtze River

江流域不同地段实际降水量和集中度的大小,可以详细地分析出旱涝灾害的特征以及导致旱涝发生、发展、形成的机制。研究降水集中度和集中中期距平值的趋势变化规律对长江流域的旱涝灾害的预测也具有一定的指示意义,结合汛期降水量的振幅年际变化,降水集中度和集中中期在制定某个地区的旱涝指数方面更具有应用价值。

### 5 长江流域汛期降水与降水集中度和集中期的相关合成分析

图 8 给出了 1951 ~ 2001 年长江流域 PCD 和 PCP 与汛期降水量的相关系数分布。从图 8a 中可看到在整个长江流域汛期降水量与集中度有非常好的

正相关性。最大的 3 个正相关中心区分别位于上游的重庆、万县地区,相关系数为 0.76;中游的武汉、大别山地区,相关系数为 0.71;下游的南京地区,相关系数是 0.66。可见,长江流域的汛期降水量越大,降水量越集中,直接导致洪涝灾害发生的可能性将越大。

从图 8b 上可看到,PCP 与汛期降水量相关显著的主要区域是长江中游地区,在鄱阳湖流域相关系数达到 0.4 以上,而洞庭湖流域相关系数达到 0.5 以上。在福建沿海地区也呈现较大的正相关性。可见在这些相关显著区内汛期降水量越大,最大降水量出现的日期就越有可能推迟,在长江中游地区出现的降水峰值就越容易与上游地区过来的洪峰相遇。

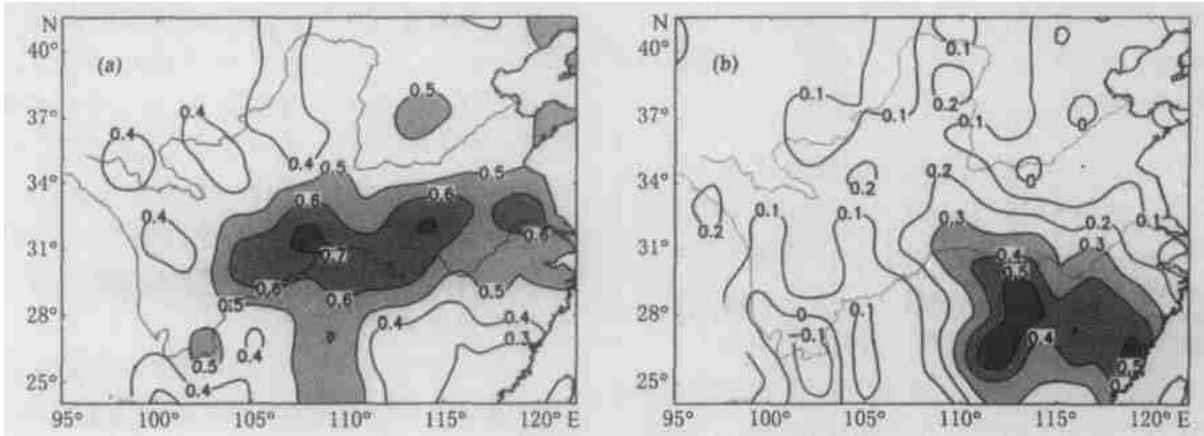


图 8 1951 ~ 2001 年长江流域 PCD(a) 和 PCP(b) 与汛期降水相关系数分布(量纲为 1)  
阴影区表示 PCD 与汛期降水量为显著相关区(置信度为 0.01)。

Fig. 8 The spatial distributions of correlation coefficient between (a) PCD, (b) PCP and precipitation in flood season in the Yangtze River Valley from 1951 to 2001

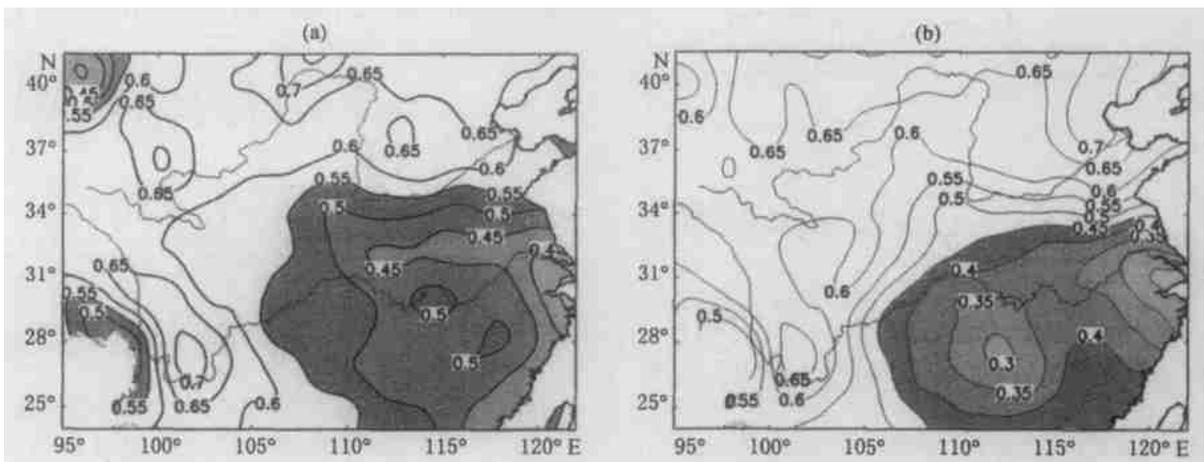


图 9 长江流域 PCD 多水年(a)和少水年(b)的合成图(量纲为 1)

Fig. 9 Synthetic analyses diagrams of the PCD during the years of more (a) and less (b) precipitation in the Yangtze River Valley from 1951 to 2001

本文采用合成分析法.合成的多水年和少水年分别是长江流域 1951~2001 年汛期降水量最多和最少的前五年.多水年依次是:1954、1998、1973、1999 年和 1983 年;少水年依次是:1978、2001、1966、1972 年和 1992 年.由图 9 可见,长江流域在多水年和少水年里 PCD 的空间分布特征明显不同.多水年的降水集中度明显比少水年的大.多水年的 PCD 在长江中下游地区呈现带状分布,极小值中心在长江出海口附近及东南沿海地区,而在长江中游的武汉和鄱阳湖地区,PCD 局部增大.少水年 PCD 在长江中下游地区是明显的大范围小值分布区,洞庭湖地区和长江出海口附近是两个极小值中心.

## 6 降水集中度、集中期和汛期降水量与东亚夏季风的联系

引起长江流域旱涝灾害发生的直接原因是由于汛期降水量异常变化及其时空分布的非均匀性,根本原因还是大气环流异常.分析 1951~2001 年长江流域初夏(6~7 月)月平均环流强度<sup>[13]</sup>距平变化曲线(图略),东亚副热带夏季风存在显著的年际和年代际振荡.例如:1955、1962、1969、1975、1991、1998 年的南风垂直切变极强,而 1952、1953、1967、1985、1988、2001 年极弱.通过线性相关计算可知,长江上、中、下游和全流域汛期 PCD 与东亚副热带季风指数( $I_{es}$ )的相关系数分别为:0.22、0.39、0.40 和 0.36.长江上、中、下游和全流域汛期降水量与  $I_{es}$  的相关系数分别为:0.02、0.37、0.4 和 0.33.长江流域不同地段的集中期与  $I_{es}$  相关性都不好.

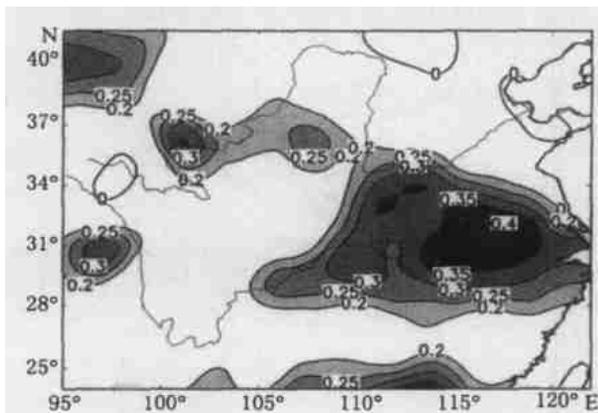


图 10  $I_{es}$  与我国东部地区 PCD 的同期相关系数分布  
(量纲为 1)

Fig. 10 The spatial distribution of contemporary correlation coefficient between the  $I_{es}$  and the PCD over Eastern part of China

图 10 显示了长江流域 PCD 与  $I_{es}$  相关系数的空间分布.不难发现,能够通过  $\alpha=0.05$  信度检验的区域主要集中在长江中下游地区(阴影区).由此可见,东亚副热带地区经向风垂直切变强度( $I_{es}$ )增强,长江中下游降水集中度就会明显增大;反之亦然.

## 7 结 论

7.1 长江流域是降水集中度和集中期变率最大的区域之一.长江中下游地区的降水量与集中度和集中期存在很好的正相关性.采用合成分析方法,长江多水年和少水年降水集中度的空间分布明显不同.

7.2 通过 Morlet 小波分析,长江上游地区降水集中度有 16 年的周期变化,而降水集中期存在 6 年和 16 年的周期;长江中下游地区降水集中度有 4 年、10 年和 16 年周期变化,而集中期存在 10 年左右和 16 年的周期振荡.采用 Mann-Kendall 法分析了长江中下游地区降水集中度和集中期的变化趋势及其突变规律,发现在 20 世纪 60 年代末期和 90 年代初期有趋势变化突变点,这可能与 90 年代以来长江流域旱涝发生频繁有关.

7.3 讨论引起长江流域旱涝灾害发生的直接原因时应包含降水量、降水集中度以及集中期的综合作用.在长江流域不同地段上它们发生的异常变化,以及三者之间相互关系体现在具体的时空分配上,就会形成错综复杂的旱涝形势.

7.4 长江中下游地区的降水集中度和汛期降水量与东亚夏季风具有较好的正相关关系,副热带环流指数的强(弱)变化不仅能够对长江中下游地区的汛期降水增多(减少)产生重要作用,而且容易导致长江中下游地区降水集中度的增大(减小),从而对中下游地区涝(旱)灾害的形成具有重要影响.

## 参考文献

- [1] 叶笃正,黄荣辉.长江黄河流域旱涝规律和成因研究.济南:山东科学技术出版社,1996  
Ye D Z, Huang R H. Study on the Feature and Mechanism of the Floods and Droughts in the Yangtze and Yellow River Valley. Jinan: Shandong Science and Technology Press, 1996
- [2] 黎安田.长江流域水旱灾害.北京:中国水利水电出版社,2002  
Li A T. The Floods and Droughts in the Yangtze River Valley. Beijing: China National Water Resources and Hydropower Press, 2002

- [ 3 ] 陈家其. 1954 年长江淮河流域洪水时期的环流特征. 气象学报, 1957, 28: 1~12  
Chen J Q. Characteristics of the circulation during the catastrophic flood period over Yangtze-Huaihe Area in 1954. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1957, 28: 1~12
- [ 4 ] 金祖辉, 罗绍华. 长江中下游梅雨期旱涝与南海海温异常关系的初步分析. 气象学报, 1986, 44(3): 368~372  
Jin Z H, Luo S H. On the relationship between rainfall anomaly in middle and lower Yangtze Valley during the Mei-yu season and the anomaly of sea-surface temperature in South China Sea. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1986, 44(3): 368~372
- [ 5 ] 李洪洲, 梁佩典, 梁幼林. 长江中下游汛期长期旱涝预报与 500hPa 环流型及其变化. 大气科学, 1977, 3: 180~187  
Li H Z, Liang P D, Liang Y L. The long-range forecasts of the drought and flood in the middle and lower Yangtze during the rainy season and the circulation patterns at 500hPa and its changes. *Chinese J. Atmos. Sci.*, 1977, 3: 180~187
- [ 6 ] 张琼, 吴国雄. 长江流域大范围旱涝与南亚高压的关系. 气象学报, 2001, 59(5): 567~577  
Zhang Q, Wu G X. The large area flood and drought over Yangtze River Valley and its relation to the South Asia High. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2001, 59(5): 567~577
- [ 7 ] 陆渝蓉, 翟盘茂. 江淮地区旱涝灾害年份的水分气候研究. 地球物理学报, 1996, 39(3): 313~321  
Lu Y R, Zhai P M. Study of water climate in drought/flood years over Yangtze-Huaihe area. *Chinese J. Geophys. (Acta Geophysica Sinica)* (in Chinese), 1996, 39(3): 313~321
- [ 8 ] 林学椿, 张素琴. 1998 年中国特大洪涝时期的环流特征. 地球物理学报, 2000, 43(5): 607~615  
Lin X C, Zhang S Q. Characteristics of the circulation during the catastrophic flood period over China in 1998. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2000, 43(5): 607~615
- [ 9 ] Zhang Lu-Jun, Qian Yong-Fu. Annual distribution features of the yearly precipitation in China and their interannual variations. *Acta Meteorologica Sinica*, 2003, 17(2): 146~163
- [ 10 ] 邓爱军, 陶诗言, 陈烈庭. 我国汛期降水的 EOF 分析. 大气科学, 1989, 13(3): 289~295  
Deng A J, Tao S Y, Chen L T. The EOF analysis of rainfall in China during monsoon season. *Chinese J. Atmos. Sci.* (in Chinese), 1989, 13(3): 289~295
- [ 11 ] Wang X C, Wu G X. Regional characteristics of summer precipitation anomalies over China. *Acta Meteorologica Sinica*, 1997, 21(3): 295~305
- [ 12 ] Weng H Y, Lau K M, Xue Y K. Multi-scale summer rainfall variability over China and its long-term link to global sea surface temperature variability. *J. Meteor. Soc.*, 1999, 77: 845~856
- [ 13 ] 周兵, 何金海, 吴国雄等. 东亚副热带季风特征及其指数的建立. 大气科学, 2003, 27(1): 123~135  
Zhou B, He J H, Wu G X, et al. Characteristics of East Asian subtropical monsoon index and its definition. *Chinese J. Atmos. Sci.* (in Chinese), 2003, 27(1): 123~135

## 科技论文写作高级研修班即将开办

由国家自然科学基金委员会科学基金杂志部主办,中国科学院上海生命科学信息中心协办的“第二期科技论文写作高级研修班”定于 2004 年 7 月 12~17 日在北京和上海举行。

本次研修班的主讲人有来自英国牛津、剑桥等著名学府的华人学者、*Nature* 期刊的高级编辑、国家自然科学基金委员会的管理专家等,涉及的主题有科技论文写作的理论与实践、投稿注意事项、科技编辑技巧,以及如何撰写科学基金项目申请书等。

有关科技论文写作高级研修班招生的详细内容敬请查询相关网站: [www.nsf.gov.cn](http://www.nsf.gov.cn); 或 [www.pub.nsf.gov.cn](http://www.pub.nsf.gov.cn)。咨询电话: 010-62326893。

(武长白 莫京)