

# 近 51 a 长江中下游与黄河中下游地区夏季降水变化对比

殷方圆, 殷淑燕

(陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

**摘要:** [目的] 对比分析长江中下游和黄河中下游地区夏季降水变化特征。[方法] 利用长江中下游 48 个站点和黄河中下游地区的 45 个站点 1960—2010 年 51 a 的夏季逐月降水资料, 采用 M—K 检验和小波分析等方法, 对其降水的年代际变化、降水序列变化的周期和突变点进行了对比分析, 并对降水格局变化的原因进行了分析。[结果] 1960—2010 年, 长江中下游地区的夏季降水呈增加趋势, 黄河中下游地区呈减少趋势, 整体上表现为南涝北旱; 从年代际角度来看, 20 世纪 60 年代和 70 年代, 长江中下游地区为少雨期, 黄河中下游地区为多雨期; 80 年代, 长江中下游地区降水量较 70 年代增多, 而黄河中下游地区降水量减少; 90 年代, 长江中下游地区的降水明显增加, 而黄河中下游地区的降水持续减少; 21 世纪, 长江中下游地区降水有所减少, 而黄河中下游地区降水略有增加。小波分析结果表明, 两个地区降水变化主周期都约为 10~12 a, 但正负相位时段相反。两个地区的夏季降水格局的变化反映了东亚夏季风的强弱变化, 东亚夏季风的强弱变化是造成这种降水格局的主要原因。[结论] 在未来的 10~12 a 内, 东亚夏季风可能有增强趋势, 需要注意未来中国夏季降水可能出现的南旱北涝变化格局。

**关键词:** 夏季降水; 长江中下游地区; 黄河中下游地区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)01-0317-06

中图分类号: P468.0+24

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.01.057

## Comparison of Summer Precipitation Change in Mid-lower Reaches of Yangtze River and Yellow River During 1960—2010

YIN Fangyuan, YIN Shuyan

(College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China)

**Abstract:** [Objective] To investigate the change characteristics of summer precipitation in mid-lower reaches of Yangtze River and Yellow River. [Methods] Based on the summer monthly precipitation data from 1960 to 2010 of 48 stations in the mid-lower reaches of the Yangtze River and 45 stations in the mid-lower reaches of the Yellow River, the decadal change, the periodic oscillation of precipitation variation and the points of abrupt change, and the reasons of the change were comparatively analyzed by Mann—Kendall test and the Morlet wavelet method. [Results] The summer precipitation showed an increase trend in the mid-lower reaches of the Yangtze River and a decrease trend in the mid-lower reaches of the Yellow River during 1960—2010. On the whole, the summer precipitation showed the pattern of southern flood and northern drought. From the decadal perspective, it was drought period in the mid-lower reaches of the Yangtze River and flood period in the mid-lower reaches of the Yellow River during 1960s and 1970s. Summer precipitation in the mid-lower reaches of the Yangtze River in 1980s was more than that in 1970s, while precipitation in the mid-lower reaches of the Yellow River was less than that in 1970s. Summer precipitation was obviously in positive departure in the mid-lower reaches of the Yangtze River and it was negative departure in the mid-lower reaches of the Yellow River in 1990s. Summer precipitation was in negative departure in the mid-lower reaches of the Yangtze River and it was slightly positive departure in the mid-lower reaches of the Yellow River in 2000s. Based on the Morlet wavelet method, it was showed that the main cycle of precipitation was about 10 to 12 years in the mid-lower reaches of the Yangtze River and in the mid-lower reaches of the Yellow River, but the time of the phase cycle was opposite. The change of summer precipitation pattern in both

收稿日期: 2014-02-09

修回日期: 2014-03-10

资助项目: 国家社会科学基金重点项目“历史时期汉江上游极端性气候水文事件及其社会影响研究”(11AZS009); 国家自然科学基金面上项目“黄河晋陕峡谷全新世古洪水事件及其与季风气候变化关系研究”(41471071, 41271108, 41371029); 教育部博士点基金优先发展领域项目(20110202130002); 中央高校基本科研业务费创新团队项目(GK201301003)

第一作者: 殷方圆(1989—), 女(汉族), 山东省临沂市人, 硕士研究生, 研究方向为环境变化与自然灾害。E-mail: 1312039718@qq.com。

通信作者: 殷淑燕(1970—), 女(汉族), 黑龙江省木兰县人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事环境变化与自然灾害研究。E-mail: yinshy@snnu.edu.cn。

regions showed the strength of the East Asian summer monsoon. The strength of the East Asian summer monsoon was mainly contributed to this precipitation pattern. [Conclusion] The East Asian summer monsoon would be stronger and it should to pay attention to the summer precipitation pattern of southern drought and northern flood in the next 10~12 years.

**Keywords:** summer precipitation; the mid-lower reaches of the Yangtze Rive; the mid-lower reaches of the Yellow River

据 IPCC 第四次评估报告的内容,在过去的 100 年里,全球平均地表温度上升了  $0.74\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,到 2100 年,全球中纬度地区的降水量和水资源进一步减少,中高纬度地区有可能增加<sup>[1]</sup>。尽管很多研究者从各个角度分别对长江中下游和黄河中下游地区的夏季降水进行过研究<sup>[2-7]</sup>,但尚未有人将两个地区的夏季逐月降水量进行对比研究并从全球变暖背景下的季风环流因素角度进行综合分析。

受季风气候影响,长江中下游和黄河中下游地区降水都集中于夏季,长江中下游地处亚热带季风气候区,初夏,低纬海洋暖湿气流侵入,与北方干冷空气交汇,形成梅雨锋系,造成连绵不断的阴雨天气和暴雨。若持续时间较长,则易形成涝灾。盛夏 7,8 月间,西太平洋副热带高压西伸北抬,长江中下游地区受其控制,天气酷热,若持续时间较长,则易形成旱灾<sup>[8]</sup>。与长江中下游地区相比,黄河中下游地区纬度偏北,中间又有秦岭山脉的阻隔,当东亚夏季风较强时,夏季风可以较早越过秦岭,为黄河中下游带来充沛的水汽,与北方干冷气团相遇,就会形成较多降水,因此表现出南旱北涝;但如果东亚夏季风较弱,长时间滞留在秦岭以南,则会出现南涝北旱。近年来,全球变暖的背景下,在自然因素和人为因素的共同影响下,长江中下游地区多发洪水,黄河中下游地区经常发生断流,两个地区的旱涝灾害给两个区域带来巨大的经济和生态环境损失。

中国位于亚欧大陆的东部,受季风影响比较大,尤其是夏季风对中国的降水格局产生重要影响。长江中下游地区和黄河中下游地区人口密集、农业发达,是中国重要的经济地带。作为夏季风的敏感区,由于受夏季风影响的时间不同,决定了两个地区的降水变化格局差异,故而对夏季降水的对比分析具有重要意义。本文选取长江和黄河中下游地区 1960—2010 年 51 a 的夏季逐月降水资料,采用 M-K 检验和小波分析法,对其降水的年降变化,降水方列变化的周期和突变点进行对比分析,以期找出研究区降水为化规律,为未来降水格局预测提供科学依据。

## 1 数据来源与研究方法

研究选用长江中下游地区和黄河中下游地区的夏季(6—8 月)逐月降水资料,计算得到两个地区夏季降水的多年平均值,数据资料来自中国气象局国家气象信息中心数据应用服务室,由于研究区域的站点建站时间不同,资料长短不一且存在很多缺测,对缺测较多的台站进行了剔除,选取长江中下游地区的 48 个站点和黄河中下游地区 45 个站点资料,时间序列长度选取 1960—2010 年共 51 a,该资料经过严格质量控制和检查。黄河中下游地区选取山西、陕西、河北、河南、山东 5 个省区,长江中下游地区选取江苏、浙江、江西、安徽、湖北、湖南、上海 6 省 1 市。研究区域及所选站点见图 1。

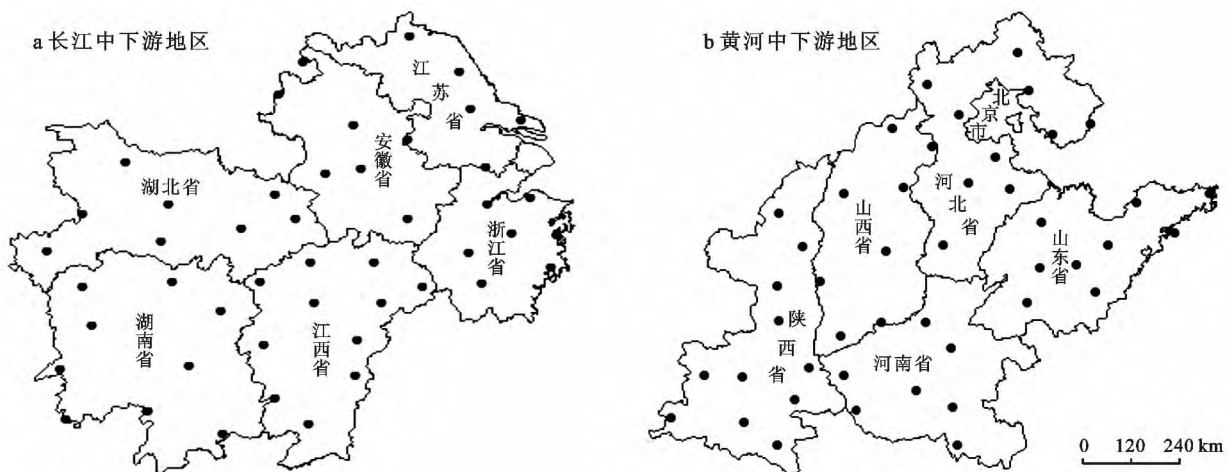


图 1 研究区域及站点

本文采用的分析方法主要有多年降水距平、相关系数的显著性检验、M-K 检验和小波分析。Mann-Kendall 突变检验是一种非参数统计检验方法,亦称无分布检验,适合于水文气象等非正态分布的数据。该方法能明确降水的演变趋势、是否存在突变现象以及明确突变开始的时间,并指出突变区域<sup>[9]</sup>。分析绘出的 UF 和 UB 曲线图,若 UF 或 UB 的值大于 0,则表明序列呈上升趋势,若其小于 0,则表明呈下降趋势。当它们超过临界直线时,表明上升或下降趋势显著。超过临界线的范围确定为出现突变的时间区域。如果 UF 和 UB 两条曲线出现交点,且交点在临界线之间,那么交点对应的时刻便是突变开始的时间。

小波分析亦称多分辨率分析。在气候诊断中,广泛使用的傅里叶变换可以显示出气候序列不同尺度的相对贡献,而小波变换不仅可以给出气候序列变化的尺度,还可以显示出变化的时间位置,它对于获取一个复杂时间序列的调整规律,诊断出气候变化的内在层次结构,分辨时间序列在不同尺度上的演变特征等是非常有效的。

## 2 结果分析

### 2.1 夏季平均降水量的年代际变化对比

为便于对长江中下游地区和黄河中下游地区的夏季降水进行比较,分别计算了长江中下游地区和黄

河中下游地区的夏季降水距平的年际变化(图 2),由于受季风控制,近 51 a 来,两个地区的夏季降水量逐年变化趋势存在显著差别,由图 2 a 可知,总体上,1960—2010 年,长江中下游地区夏季降水量呈增加趋势,降水的倾向率为 24.949 mm/10 a,  $R=0.42$ ,  $R_{0.01}=0.35754$ ,  $R>R_{0.01}$ ,说明长江中下游地区夏季平均降水量线性增加趋势达到了极显著水平,1989 年以前以负距平为主,基本上都在负距平范围内变化,并在 1978 年达到最低值 -204.36 mm,1989 年以后以正距平为主,在 1999 年达到最大值 183.5 mm;由图 2 b 可知,相对于长江中下游地区的增加幅度,黄河中下游地区减少趋势较为缓和,1980 年以前以正距平为主,在 1964 年达到最大值 123.52 mm,1980 年以后以负距平为主,在 1997 年达到最低值 -149.28 mm。1980—1989 年,对两地区来说,都是降水量距平的转折期,但变化方向刚好相反,长江中下游地区由负距平转为正距平,黄河中下游地区由正距平转为负距平,正是东亚夏季风强弱不同导致我国出现南旱北涝或南涝北旱格局的反映。

### 2.2 夏季平均降水量的年代际变化特征

进一步对长江中下游地区和黄河中下游地区的夏季降水进行比较,分别计算出 1960—2010 年长江中下游地区和黄河中下游地区的夏季降水距平的年代际变化(表 1)。

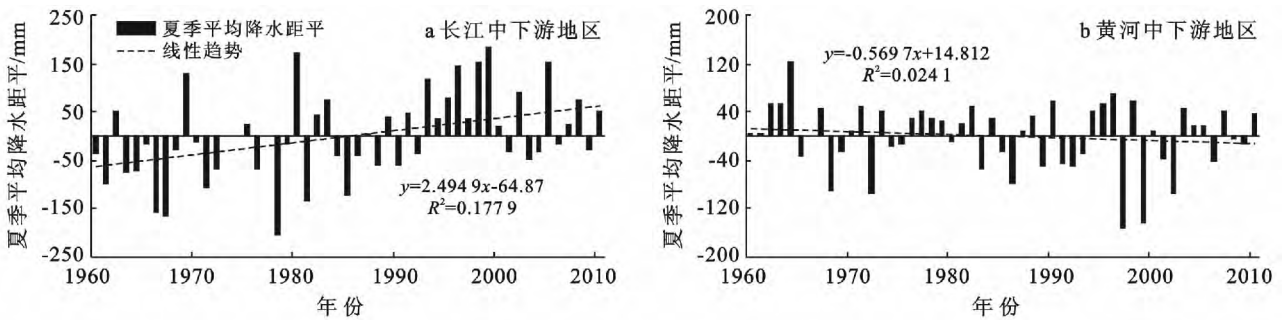


图 2 长江中下游地区和黄河中下游地区夏季平均降水距平变化

表 1 黄河中下游地区和长江中下游地区夏季平均降水量距平的年代际变化

mm

地区	平均降水距平				
	1960 s	1970 s	1980 s	1990 s	2000 s
长江中下游地区	-46.64	-44.33	-5.43	70.25	20.88
黄河中下游地区	13.44	9.75	-7.35	-13.36	-6.18

由表 1 可见,20 世纪 60 年代和 70 年代,长江中下游地区的降水距平值为负,说明期间降水较少,而黄河中下游地区的降水距平值为正,说明期间降水较多,两个地区的降水变化表明了我国夏季风较强,雨

带偏北,长江中下游地区出现伏旱时间长,形成了南旱北涝的变化特征;80 年代,两个地区的降水距平均为负值,说明期间降水都较少,但长江中下游地区降水量距平从 70 年代的 -44.33 mm 上升到 80 年代

的-5.43 mm,说明降水明显较 70 年代增多,而黄河中下游地区降水量距平从 70 年代的 9.75 mm 减少到 80 年代的-7.35 mm,夏季风有减弱趋势;90 年代和 21 世纪初,长江中下游地区的降水距平值为正,说明期间降水增加,而黄河中下游地区的降水距平值为负,说明期间降水减少,两个地区的降水变化表明了我国夏季风较弱,雨带范围小,形成了南涝北旱的变化特征;在年代际变化中,长江中下游地区 60—70 年代为干旱期,80—90 年代为多雨期<sup>[10-12]</sup>,而 90 年代是长江中下游地区近百年来降水最多的 10 a<sup>[13]</sup>;黄河中下游地区 60—70 年代为多雨期,之后一直处于干旱期;90 年代,两个地区形成了明显的南涝北旱格局。21 世纪初,仍表现为南涝北旱,但与 20 世纪 90 年代相比,长江中下游地区降水有所减少,黄河中下游地区降水有所增加,说明夏季风虽然还较弱,但已有逐渐增强的趋势。从研究结果来看,未来中国有可能出现

夏季风增强趋势,而转变为南旱北涝的变化格局。

### 2.3 夏季平均降水量变化特征的突变性检验

对两个地区的夏季平均降水量的变化特征进行突变性检验,由 UF 曲线(图 3a)可见,自 20 世纪 80 年代以来,长江中下游地区夏季平均降水量有一明显的增加趋势,90 年代中期这种增加趋势大大超过显著性水平 0.05 的临界线,甚至超过 0.001 显著性水平,表明长江中下游的夏季降水量增加趋势是十分明显的。根据 UF 和 UB 曲线交点的位置,确定长江中下游地区的夏季降水量在 80 年代增加是一突变现象,具体是从 1986 年开始,在 90 年代中后期达到最大。由 UF 曲线(图 3b)可见,20 世纪 60 年代中期,黄河中下游地区夏季平均降水量有一明显的增加趋势,之后一直呈减少趋势,根据 UF 和 UB 曲线交点的位置,1967 年为降水减少的一转折点,但未超过显著性水平 0.05 的临界值,即未达到突变水平。

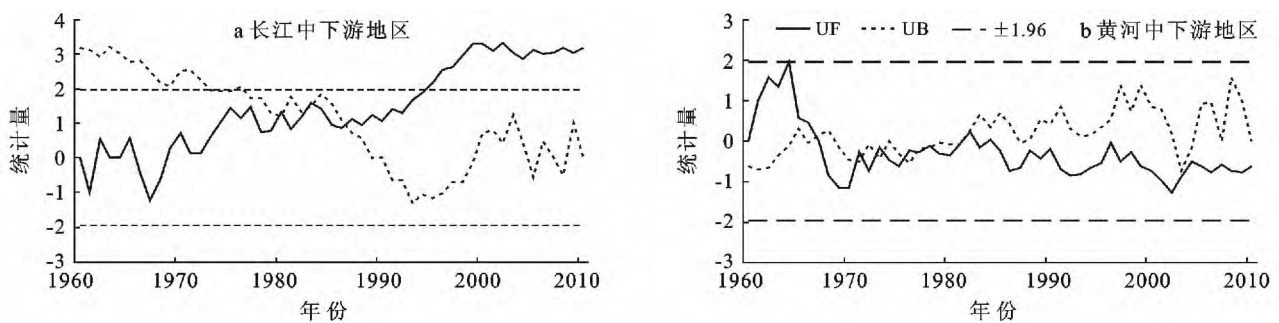


图 3 长江中下游地区和黄河中下游地区夏季降水序列的 Mann-Kendall 检验结果

### 2.4 夏季降水时序变化的小波分析

为较清晰地比较长江中下游地区和黄河中下游地区的夏季降水量的变化关系,采用小波分析法进行对比。小波变换系数实部正负值在时间序列上的变化,低频部分,等值线相对稀疏,对应较长尺度周期的振荡;高频部分,等值线相对密集,对应较短尺度周期的振荡,小波变化系数实部在平面等值线上的正负值在时间序列上表现为降水量的丰、枯变化,等值线中心对应的尺度为降水序列变化的主周期<sup>[14]</sup>。图 4 a 是长江中下游地区夏季降水距平小波变换系数实部等值线图,可以看出,在 8~12 a 较大时间尺度上,夏季降水经历了:少→多→少→多→少→多→少→多 8 个循环交替,在 16~18 a 尺度上,夏季降水经历了:少→多→少→多→少 5 个循环交替,在等值线的底部则有多个相对多雨期和少雨期的循环交替,进一步分析可以看出 51 a 的夏季降水存在周期性位相变化,在 10 a 尺度上显示出了强周期位相结构,1963—

1969 年、1972—1980 年、1986—1994 年、2000—2004 年时间段均为负相位,表明这些时间段内降水偏少,而 1969—1972 年、1980—1986 年、1995—2000 年时间段均为正位相,表明这些时间段内降水偏多;从图 4 b 可以看出,黄河中下游地区在 10~16 a 较长的尺度上,夏季降水经历了:多→少→多→少→多→少→多 7 个循环交替,在等值线底部较小尺度上则存在多个相对多雨期和少雨期的循环交替,进一步分析可以看出 51 a 的夏季降水存在周期性位相变化,在 12 a 尺度上显示出了强周期位相结构,1960—1967 年、1874—1983 年、1991—1997 年时间段均为正相位,表明这些时间段内降水偏多,而 1967—1974 年、1983—1991 年、1997—2004 年时间段均为负相位,表明这些时间段内降水偏少。两个地区降水变化主周期都约为 10~12 a,但正负相位时段相反。表现出两个地区受夏季风强弱影响,夏季降水反相的特征。

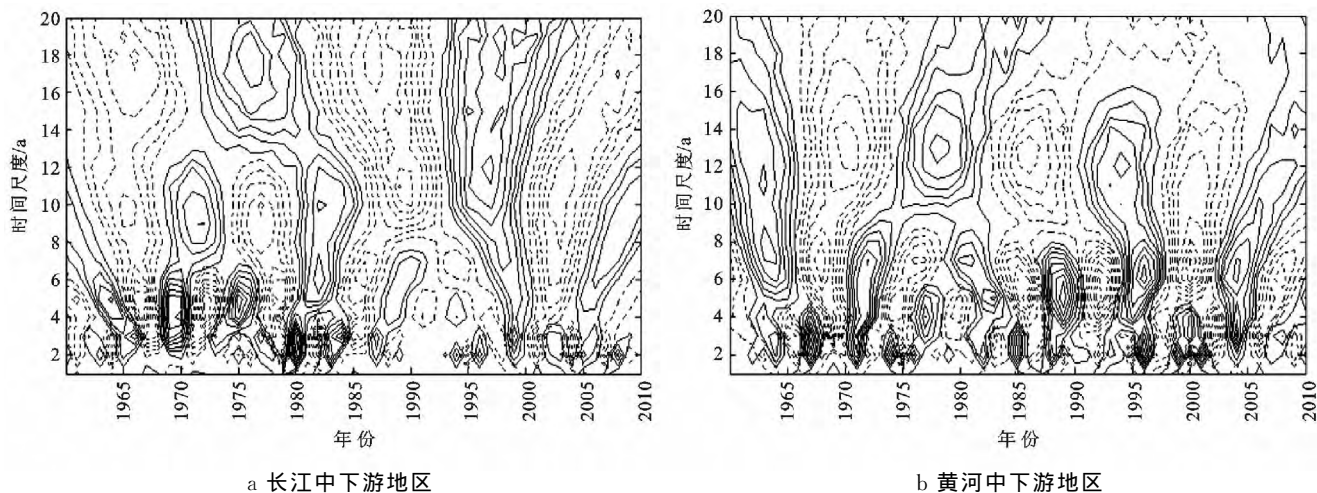


图 4 长江中下游地区和黄河中下游地区夏季降水小波变换

### 3 讨论

长江中下游和黄河中下游地区地处东亚季风区,东部地区雨带的进退、雨季的长短起讫和旱涝变化,都与东亚夏季风的进退过程及其变化有关。当夏季风增强时,主要雨带位置易偏北;反之当夏季风减弱时,主要雨带位置易偏南<sup>[15]</sup>。当东亚夏季风偏强时,副高位置偏北,副高强度偏强,夏季风的前沿到达黄河中下游地区时间较早,在此地区维持时间长,黄河中下游地区容易偏涝,长江中下游地区容易偏旱,形成南旱北涝降水格局。如东亚夏季风最强的 1962—1963 年是“63·8”河北特大暴雨年<sup>[16]</sup>;东亚夏季风偏弱时,夏季风的前沿到达黄河中下游地区,在长江中下游地区停滞时间较长,夏季风的位置偏南,副高位置偏南及强度偏强,东亚夏季风偏弱,黄河中下游地区容易偏旱,长江中下游地区容易偏涝,形成南涝北旱降水格局。如东亚夏季风最弱的 1998—1999 年对长江流域洪涝<sup>[15]</sup>。

本文研究结果表明,20 世纪 60 年代和 70 年代,中国长江中下游地区为少雨期,黄河中下游地区为多雨期,雨带偏北,长江中下游地区出现伏旱时间长,形成了南旱北涝的变化特征,表明当时为夏季风较强的时期;80 年代,长江中下游地区降水量较 70 年代增多,而黄河中下游地区降水量从正距平变化为负距平,降水量减少,夏季风有减弱趋势;90 年代和 21 世纪初,长江中下游地区的降水明显增加,90 年代成为长江中下游地区近百年来降水最多的 10 a,而黄河中下游地区的降水持续减少,两个地区的降水变化表明了中国夏季风减弱,雨带范围小,形成了南涝北旱的变化特征,在长江流域多发洪水。21 世纪初,仍表现为南涝北旱,但与 20 世纪 90 年代相比,长江中下游

地区降水有所减少,黄河中下游地区降水有所增加,说明夏季风虽然还较弱,但已有逐渐增强的趋势。

夏季降水时序变化的小波分析表明,两个地区降水变化主周期都约为 10~12 a,但正负相位时段相反。表现出两个地区受夏季风强弱影响,夏季降水反相的特征。综合以上研究来看,在未来的 10~12 a 内,东亚夏季风有增强趋势,需要注意中国夏季降水可能出现的南旱北涝变化格局。

### 4 结论

本文利用长江中下游 48 个站点和黄河中下游地区 45 个站点 1960—2010 年 51 a 的夏季逐月降水资料,对两个地区的夏季降水变化特征进行了详细对比分析,揭示了两个地区的夏季降水变化趋势、降水突变特征和降水变化周期。

(1) 1960—2010 年,从整体上看,两个地区的夏季降水年际变化中,长江中下游地区呈增加趋势,降水的倾向率为 24.949 mm/10 a,黄河中下游地区呈减少趋势,降水的倾向率为 5.697 mm/10 a,长江中下游地区的降水变化率比黄河中下游地区的变化率更为剧烈。

(2) 从年代际角度分析,20 世纪 60 年代和 70 年代,我国长江中下游地区为少雨期,黄河中下游地区为多雨期;80 年代,长江中下游地区降水量较 70 年代增多,而黄河中下游地区降水量从正距平变化为负距平,降水量减少;90 年代和 21 世纪初,长江中下游地区的降水明显增加,90 年代成为长江中下游地区近百年来降水最多的 10 a,而黄河中下游地区的降水持续减少。21 世纪初,仍表现为南涝北旱,但与 20 世纪 90 年代相比,长江中下游地区降水有所减少,黄河中下游地区降水有所增加。2 个地区的旱涝变化

显示了夏季风的强弱变化。

(3) 对 2 个地区的夏季降水特征的突变性分析表明,自 20 世纪 80 年代以来,长江中下游地区夏季平均降水量有一明显的增加趋势,90 年代中期这种增加趋势更加显著,长江中下游地区的夏季降水量在 80 年代增加是一突变现象,具体是从 1986 年开始,到 90 年代中后期达到高峰;20 世纪 60 年代中期,黄河中下游地区夏季平均降水量有一明显的增加趋势,之后一直呈减少趋势,1967 年是减少的转折点,但未达到突变水平,减少趋势不显著。

(4) 根据两个地区的小波变换图,长江中下游地区在 8~12 a 较大时间尺度上,夏季降水经历了:少→多→少→多→少→多→少→多 8 个循环交替,在 16~18 a 尺度上,夏季降水经历了少→多→少→多→少 5 个循环交替,在 10 a 尺度上显示出了强周期位相结构;黄河中下游地区在 10~16 a 较长的尺度上,夏季降水经历了:多→少→多→少→多→少→多 7 个循环交替,在 12 a 尺度上显示出了强周期位相结构。两个地区降水变化主周期都约为 10~12 a,但正负相位时段相反。表现出两个地区受夏季风强弱影响,夏季降水反相的特征。

(5) 对长江中下游地区和黄河中下游地区的夏季降水量的变化趋势和分布格局的差异及其原因进行初步分析,结果表明,东亚夏季风的强弱是造成这种降水格局的主要原因,在未来的 10~12 a 内,东亚夏季风有增强趋势,需要注意中国夏季降水可能出现的南旱北涝变化格局。导致这种变化的机制还有待进一步研究。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M]. Cambridge and New York: Cambridge University Press, 2007.
- [2] 李峰,何立富. 长江中下游地区夏季旱涝年际、年代际变化的可能成因分析[J]. 应用气象学报,2002,13(6):718-726.
- [3] 王遵娅,丁一汇. 夏季长江中下游旱涝年季节内振荡气候特征[J]. 应用气象学报,2008,19(6):710-715.
- [4] 李春,康建鹏,吴芑. 长江中下游夏季降水与热带对流的关系[J]. 气象科学,2004,24(4):448-454.
- [5] 李周,郑世林,高媛媛,等. 黄河中下游夏季降水时空分布及演变特征[J]. 气象与环境科学,2008,31(S):104-107.
- [6] 王文,李伟,李耀辉. 黄河中下游地区夏季旱涝年低频振荡特征分析[J]. 冰川冻土,2013,35(4):1007-1014.
- [7] 耿思敏,严登华,罗先香,等. 变化环境下黄河中下游洪涝灾害发展新趋势[J]. 水土保持通报,2012,32(3):188-191.
- [8] 马开玉,李北群,曾庆云. 长江流域大范围旱涝特征的初步研究[J]. 南京大学学报:自然科学版,1993,29(S):122-126.
- [9] 肖苑生,陈子燊. 广东沿海降水长期变化特征与极值分析:以汕尾、广东、阳江 3 市为例[J]. 热带地理,2010,30(2):135-140.
- [10] 黄荣辉,徐予红,周连童. 我国夏季降水的年代际变化及华北干旱化趋势[J]. 高原气象,1999,18(4):465-476.
- [11] 江志红,丁裕国. 近 40 a 我国降水量年际变化的区域性特征[J]. 南京气象学院学报,1994,17(1):73-78.
- [12] 王叶红,王谦谦,赵玉春. 长江中下游降水异常特征及其与全国降水和气温异常的关系[J]. 南京气象学院学报,1999,22(4):685-691.
- [13] 龚道溢,王绍武,朱锦红. 1990 年代长江中下游地区多雨的机制分析[J]. 地理学报,2000,55(5):567-575.
- [14] 胡乃发,王安志,关德新,等. 1959—2006 年长白山地区降水序列的多时间尺度分析[J]. 应用生态学报,2010,21(3):549-556.
- [15] 赵汉光,张先恭. 东亚季风与我国雨带的关系[J]. 气象,1996,22(4):8-12.
- [16] 李春,韩笑. 东亚夏季风北界与我国夏季降水关系的研究[J]. 高原气象,2008,27(2):327.