

李海燕,陈国平,陈光涛.近48 a 鄂东汛期暴雨日数的时空变化特征[J].暴雨灾害,2011,30(1):77-82

近48 a 鄂东汛期暴雨日数的时空变化特征

李海燕,陈国平,陈光涛

(湖北省黄冈市气象局,黄冈 438000)

摘要:使用鄂东地区5市24站1961—2008年逐日降水资料,采用合成法、线性趋势、滑动平均、Morlet小波分析以及M-K突变检验等方法,分析近48 a 鄂东汛期暴雨日数的气候特征和年际、年代际变化规律及其周期变化,并对该地区近48 a 不同时间段暴雨日数进行突变检验。结果表明:1)与20世纪90年代前30年相比,90年代后18年,鄂东6月下旬暴雨减少,7月中、上旬暴雨增多,与该地区近些年来梅雨开始和结束时间均推迟的变化趋势一致;2)20世纪90年代以后,暴雨高发中心出现鄂东北向西扩展、鄂东南向南偏移的态势;3)近48 a,鄂东汛期、主汛期和梅雨期暴雨日数变化存在准4 a和准6 a周期;4)鄂东汛期、主汛期和梅雨期暴雨日数均先突变增加、后突变减少,即20世纪70年代中前期开始突变增加,到21世纪头10年中后期开始突变减少。

关键词:汛期暴雨;气候特征;Morlet小波分析;突变检验

中图分类号:P468.0*24 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-9045(2011)01-0077-06

Spatial and Temporal Distribution of Flood-season Rainstorm Days Over Eastern Hubei in the Last 48 Years

LI Haiyan, CHEN Guoping, CHEN Guangtao

(Huanggang Meteorological Office of Hubei Province, Huanggang 438000)

Abstract: The resultant method, linear tendency, overlapping average, Morlet wavelet and M-K catastrophe test were used to analyze the climate characteristics, rules of interannual and interdecadal changes and periodic change of the flood-season rainstorm days over the Eastern Hubei in the last 48 years, and abrupt change test on the rainstorm days in different periods of time were made with the daily precipitation data from 24 stations in the Eastern Hubei from 1961 to 2008. The results indicate the following. 1) Compared with early thirty years in 1990s, the number of the Eastern Hubei rainstorm days was decreasing in late June and increasing in early and mid-July in the later eighteen years in 1990s, which is consistent with the change trend of both the initial and end time of Meiyu delaying in recent years in the same region. 2) The high frequency center of rainstorm over the Eastern Hubei expands to westward from northeast and migrates southward from the southeast after 1990s. 3) In the last 48 years, there are quasi-period of 4 years and quasi-period of 6 years in the number change of rainstorm days in the flood season, the main flood season and the Meiyu period. 4) The number of the Eastern Hubei rainstorm days in the flood season, the main flood season and the Meiyu period increased abruptly in the early mid-1970s, and decreased abruptly in the beginning of 21st century.

Key words: Rainstorm, Climate characteristics, Morlet wavelet analysis, Catastrophe test

1 引言

暴雨在湖北省一年四季都有可能发生,但多数的大范围暴雨均出现在汛期5—9月份。受季风环流和地形影响,湖北汛期暴雨日数的地理分布差异很大,其中幕阜山西北侧和大别山西南侧(以下简称鄂东地区)是全省暴雨多发区之一,平均每年汛期暴雨日为

4~5 d,居全省汛期暴雨日数之首^[1]。鄂东地区人口密集,经济、科技、文化发达,是湖北省重要的工农业生产基地,也是暴雨洪涝灾害最为严重的地区之一。因此,研究鄂东地区暴雨日数变化规律具有重要意义。

暴雨天气气候一直是备受关注的研究课题之一。早在20世纪90年代中期,85-906-08-04专题组^[2]对长江中上游和黄河中游地区夏季暴雨天气气候特征

收稿日期:2010-07-21;修订日期:2010-12-21

资助项目:2010年度湖北省气象局科技发展基金项目(2010Y11)资助

第一作者:李海燕,女,1984年生,工程师,主要从事天气和气候预报技术研究。E-mail: yanyan330@126.com

进行了总结分析。杨贤为等^[3]也在这一时期对长江中游致洪暴雨天气气候特征做了研究,指出长江中游区域性暴雨主要发生在梅雨期。近 10 年来,王龙学等^[4]分析了长江中下游地区汛期暴雨频次时空分布特征,认为长江中下游地区汛期暴雨事件发生最频繁的区域在皖南到赣北一带,而该地区北部的鄂北和皖北其暴雨发生相对较少。上述研究大都基于长江流域平均暴雨时空尺度特征,但长江流域地域辽阔、地形起伏变化很大,诱发暴雨和降水的天气气候系统也不尽相同,此前李建平等^[5]、张意林等^[6]分别对地处鄂东的黄冈市 1961—2005 年降水气候变化和武汉市 1951—2006 年降水气候变化特征进行了分析。本文利用鄂东地区 5 市 24 站 1961—2008 年逐日降水资料,采用合成法、线性趋势、滑动平均、Morlet 小波分析以及 M-K 突变检验等方法,对鄂东汛期暴雨日数的时空分布特征、周期变化以及突变情况等进行分析,以期为该地区暴雨气候诊断和汛期旱涝预测提供依据,为当地各级政府组织开展气象防灾减灾提供决策参考。

2 资料与方法

2.1 资料说明

本文所指鄂东地区包括湖北省的武汉、黄冈、黄石、咸宁及鄂州五市^[7],其地理位置详见图 1。

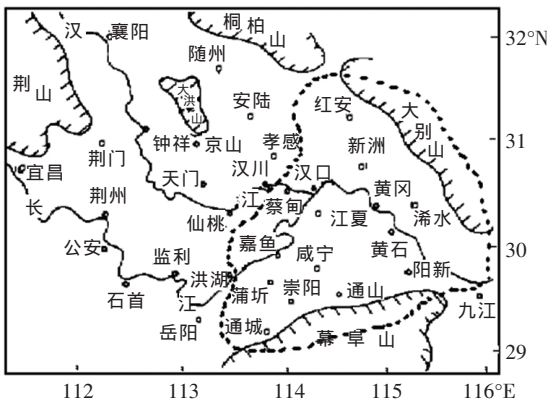


图 1 鄂东地区主要地形图(虚线所围区域为鄂东地区)

文中 5—9 月逐日降水资料来源于鄂东五市 24 个国家基本站或基准站,资料年限为 1961—2008 年;分析的时间尺度包括汛期(5—9 月)、主汛期(6—8 月)、梅雨期(6 月 1 日至 7 月 20 日)以及 5—9 月各月。以某站某日(20:00—20:00,北京时,下同)24 h 累计降水量 ≥ 50 mm 为 1 个暴雨日(单位: d),统计计算鄂东全区各站相应时段的暴雨日数。

2.2 分析方法

2.2.1 线性趋势分析法

用线性回归方法对鄂东近 48 a 汛期暴雨日数进行趋势分析^[8-10]。以降水时间序列(y)与年序数(x)建立一

元回归方程:

$$y_i = a + bx_i \tag{1}$$

式(1)中, $i=1,2,3,\dots,n$, n 为序列长度;取 $b \times 10$ 为降水指标变化倾向率, b 值符号“+”、“-”分别反映降水指标增加或减少趋势。

2.2.2 小波分析方法

将时间序列在时间域和频率域上同时进行分解,可揭示鄂东近 48 a 汛期暴雨日数时间序列的周期性。对于时间序列 $f(x)$,其小波变换的定义式为^[11]

$$W_f(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int f(x) \Psi^* \left(\frac{x-b}{a} \right) dx \tag{2}$$

其中, $W_f(a,b)$ 是小波变换系数; $a > 0$ 为伸缩因子,决定小波宽度; b 为平移因子,可反映小波位置移动, $a, b \in R$ (实数),且 $a \neq 0$; Ψ^* 是 Ψ 的共轭函数。这里选择的基函数为 Morlet 函数

$$\Psi(x) = e^{ix} e^{-x^2/2} \tag{3}$$

其中, i 为虚部; c 为常数,由小波自身内部振荡的数目决定^[12]。

由于 Morlet 函数是一个周期函数,经过 Gauss 函数平滑而得到。所以,其伸缩尺度 a 与 Fourier 分析中的周期 T 有很好的对应关系。根据资料年限(本文中为 48 a), c 取 5.4 时:

$$T = \left[\frac{4\pi}{c + \sqrt{2+c^2}} \right] a = 1.144a \tag{4}$$

如取定尺度因子 a ,周期 T 就可确定。

2.2.3 Mann-kendall(M-K)非参数统计检验法

在 M-K 突变检测中,如果原气象序列(UF)、反向气象序列(UB)在临界值 ± 1.96 ($\alpha=0.05$) 之间有一显著交点,且 UF 上升超过 1.96 或 UB 下降低于 -1.96,则认为序列产生了突变,且这一交点就是突变开始点;反之,则认为没有产生突变。UF 或 UB 超过临界直线时,表明增加或减少趋势显著^[13-14]。

3 鄂东汛期暴雨时空分布特征

3.1 旬、月变化特征

统计结果表明,20 世纪 90 年代前后,鄂东汛期年均暴雨日数分别为 3.8 d 和 4.1 d,即自 90 年代开始汛期暴雨日数略呈增加趋势。图 2 给出鄂东 1961—1990 年和 1991—2008 年汛期(5—9 月)各月、各旬平均暴雨日数变化。

从图 2a 中可见,与 90 年代前 30 年气候平均态相比,90 年代之后 18 年(1991—2008 年)鄂东汛期暴雨发生次数最多的仍是 6 月份,而 7 月份暴雨日数几乎与之持平,居第二位;90 年代前 30 年(1961—1990

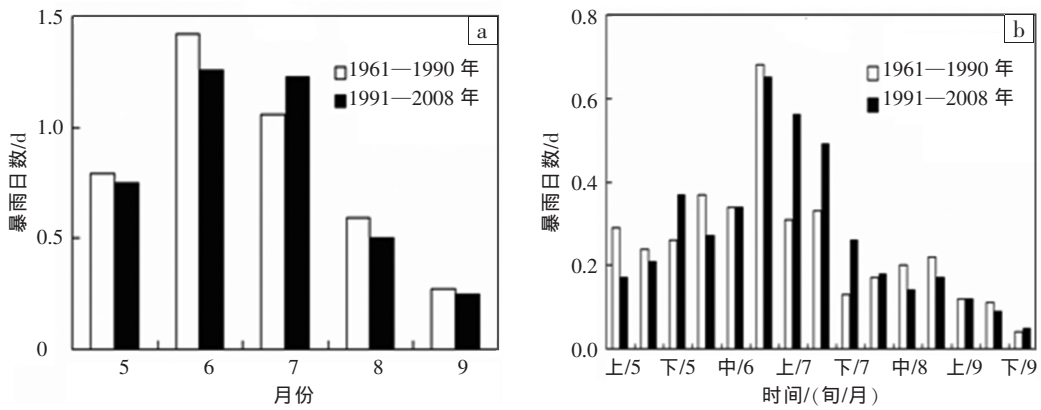


图 2 1961—1990 年和 1991—2008 年汛期(5—9 月)鄂东地区各月(a)、各旬(b)平均暴雨日数变化直方图

年),暴雨日数最多的是 6 月份,7 月份次之,而 90 年代后 18 年,6、7 月份的暴雨日数发生较大变化,即分别比其气候平均态明显减少和增加。另外,从图 2b 中看到,鄂东各旬平均暴雨日数,90 年代前 30 年气候平均态,其最多、次多、第三多分别出现在 6 月下旬、6 月上旬和 6 月中旬;90 年代之后,其最多出现在 6 月下旬,次多出现在 7 月上旬,第三多出现在 7 月中旬,且均比其同期气候态有所增加,尤其是 7 月上旬增加最多,这可能与 1991 年 7 月上旬出现多日连续暴雨天气有关;整体看,90 年代之后鄂东汛期各旬暴雨日数,5 月下旬、7 月上旬到 8 月上旬及 9 月下旬表现为增加趋势,其它各旬表现为减少趋势,尤其是 5 月上旬、6 月上旬、8 月中旬和下旬减少趋势相对明显。

综上所述可知,20 世纪 90 年代以后,鄂东暴雨集中时段并未发生明显变化;从月变化看,暴雨日仍多出现于 6、7 月份;从旬变化看,暴雨日仍表现为集中在 6 月下旬到 7 月中旬的特点。值得注意的是,鄂东地区近 18 年来,6 月下旬暴雨日减少以及 7 月中、上旬暴雨日增加,与近年来该地区梅雨开始和结束时间均推迟的变化趋势一致。

3.2 年际、年代际变化特征

图 3 给出鄂东地区 1961—2008 年汛期、主汛期和梅雨期暴雨日数标准化变量距平年变化及线性方程。从图可见,各时段暴雨日数标准化变量距平年变化气候倾向率均大于 0,说明其暴雨日数变化均呈增多趋势。采用相关系数检验法对暴雨日数变化线性倾向是否显著进行检验,若取 $\alpha=0.05$,分别计算相关系数,得出各时段暴雨日数均未通过显著性检验,这表明近 48 a 鄂东汛期、主汛期和梅雨期暴雨日数线性增多趋势不显著。

对图 3 作进一步分析可知,近 48 a 来鄂东汛期年均暴雨日数总体呈增多趋势(图 3a),其气候倾向率为 $0.061 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$,具有明显的阶段性,暴雨多发期和少

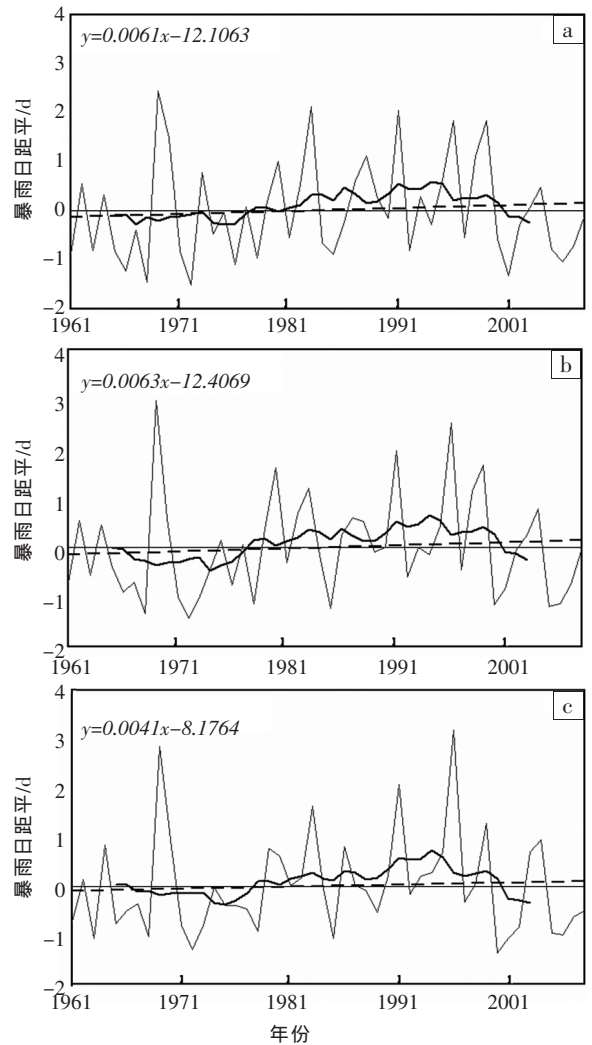


图 3 鄂东 1961—2008 年汛期(a)、主汛期(b)、梅雨期(c)暴雨日数标准化变量距平年变化图及线性方程(单位: d)

—— 标准化变量;—— 10 年滑动平均;
- - - 线性趋势(标准化变量)

发期交替出现,从暴雨日数标准化变量距平 10 年滑动曲线看,20 世纪 70 年代末之前为暴雨少发期,80 年代初至 90 年代中期其距平值在波动中逐年升高,转为暴雨多发阶段,之后一直到 20 世纪末期,其距平

值出现下降趋势,不过仍处在暴雨多发状态,进入 21 世纪以来距平值下降明显,再次进入暴雨少发期。同时,主汛期年均暴雨日数变化趋势(图 3b)与汛期年均暴雨日数变化趋势非常一致,暴雨多发阶段出现在 20 世纪 80 年代初至 90 年代末,暴雨少发期出现在 80 年代初期之前和进入 21 世纪至 2008 年,近 48 a 主汛期年均暴雨日数呈增多趋势,其气候倾向率为 $0.063 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 。另外,梅雨期年均暴雨日数变化趋势(图 3c)与汛期年均暴雨日数变化趋势也基本一致,但在 20 世纪 60 年代中期之前为暴雨多发期,到 60 年代中期

以后,暴雨多发和少发期与汛期、主汛期非常吻合,近 48 a 年均暴雨日数也总体呈增多趋势,其气候倾向率为 $0.041 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 。因此,鄂东汛期暴雨日数增多主要是受主汛期暴雨日数增多影响造成。

3.3 汛期暴雨地域分布特征

图 4 给出鄂东 1961—1990 年和 1991—2008 年汛期(5—9 月)平均暴雨日数地域分布图。从中可见,20 世纪 90 年代前 30 年气候平均态和 90 年代之后 18 年,鄂东暴雨日数地域分布既有相同特征,也有不同之处。

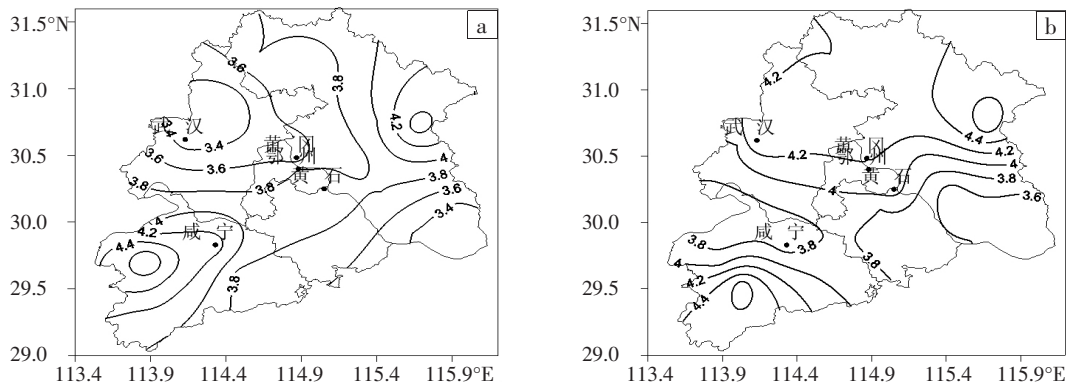


图 4 1961—1990 年(a)和 1991—2008 年(b)鄂东地区汛期(5—9 月)暴雨日数地域分布图(单位: d)

相同特征: 1) 汛期平均暴雨日数在 3.0 d 以上,且表现为南、北两端山区向中间平原地带逐渐减少;2) 最多暴雨日中心位于幕阜山西北麓迎风坡的咸宁市和大别山西南麓迎风坡的黄冈中北部,年均暴雨日数均在 4.0 d 以上;3) 幕阜山北麓和大别山南麓之间的临(长)江地带为暴雨日数最少区,如黄梅、武穴位于临江的大别山尾南缘,年均暴雨日数均低于 3.5 d,小于同时段其区域平均值。

不同之处: 相比 90 年代前 30 年气候平均态,20 世纪 90 年代之后鄂东南最南端和鄂东北大部地区暴雨日数均呈增加趋势,增加最明显的是武汉站,增幅

达 1.1 d;鄂东南的咸宁中北部和黄石市暴雨日数有所减少,减少幅度最大的是咸宁赤壁站,为 0.9 d(图 5);鄂东北多暴雨日中心虽仍位于黄冈中北部,但暴雨日数 $\geq 4.0 \text{ d}$ 的等值线由鄂东北偏东地区向西扩展到了整个鄂东北;鄂东南多暴雨日数中心由咸宁西北部移到其南部,即鄂东南暴雨多发中心有向南偏移的趋势。

以上分析表明,20 世纪 90 年代以后,鄂东汛期暴雨呈现山区多于平原且自南、北两端向中间减少的特点, $\geq 4.0 \text{ d}$ 的汛期暴雨日数多分布于山脉迎风坡;位于鄂东北偏西地区的武汉暴雨日数明显增加,鄂东南汛期暴雨多发中心呈向偏南地区移动的特点。

4 小波分析

对鄂东地区 1961—2008 年 48 年各时段暴雨日数序列进行 Morlet 小波分析,以考察其不同时间尺度上的变化特征。图 6 给出鄂东地区汛期、主汛期和梅雨期暴雨日数标准化变量距平序列的 Morlet 小波变换、方差和功率谱分析。

图 6a₁、a₂、a₃ 分别给出近 48 年鄂东汛期、主汛期和梅雨期暴雨日数的 Morlet 小波变换系数实部。从中可见: 1) 汛期暴雨日数波动主要有 3 个频率,即 2~8 a、10~15 a 和 20~24 a 周期(图 6a₁),其中 20~24 a 周期信号在 20 世纪 90 年代以后较强,10~15 a 周期信号相对最强,在 1961—2008 年整个年代际均存在,2~8 a

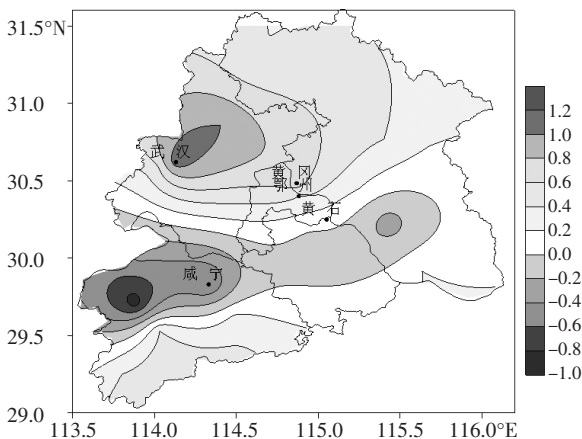


图 5 1991—2008 年(相对于 1961—1990 年气候平均态)鄂东地区汛期(5—9 月)暴雨日数距平分布图(单位: d)

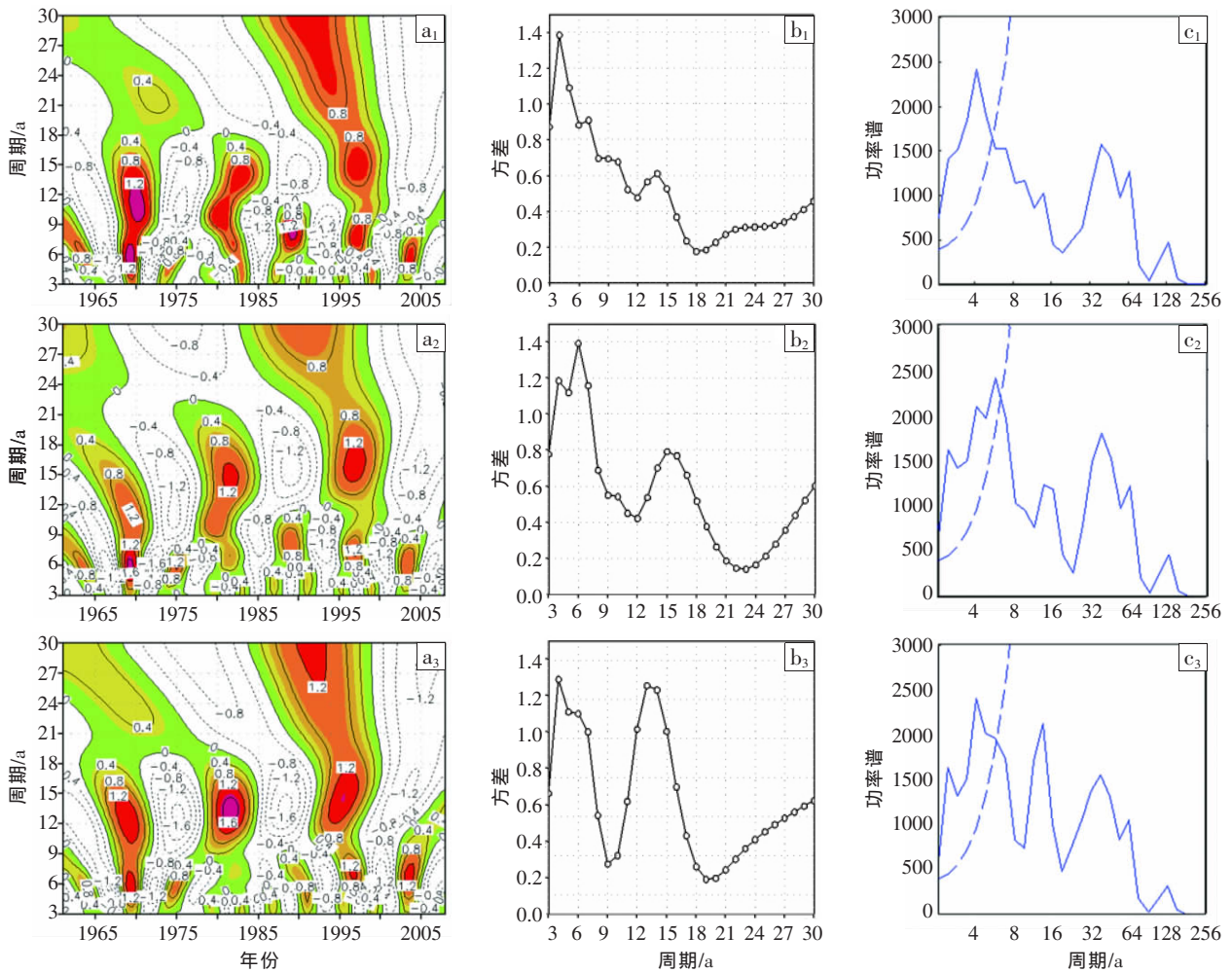


图 6 鄂东汛期、主汛期、梅雨期暴雨日数 morlet 小波变换(a)、方差(b)和功率谱(c)分析图

a 图,横坐标为年份,纵坐标为周期(单位: a);b、c 图,横坐标为周期(单位: a),纵坐标分别为方差和功率谱

周期在 80 年代后发展成准 9 a 周期, 准 9 a 周期在 80 年代和 90 年代较强;2) 主汛期暴雨日数波动主要表现为准 15 a、准 6 a、准 4 a 三个频率(图 6a₂), 准 6 a 和准 15 a 周期震荡显著, 在 70 年代后均很强, 准 4 a 周期在 80 年代和 90 年代较强;3) 梅雨期暴雨日数波动主要有 2 个频率, 即 4~8 a 和 12~15 a 周期(图 6a₃), 12~15 a 周期震荡显著, 在 70 年代到 90 年代很强, 4~8 a 周期信号在 60 年代中期到 70 年代中期以及 90 年代中期以后较强。

另外, 图 6b₁、b₂、b₃ 和图 6c₁、c₂、c₃ 分别给出 1961—2008 年鄂东汛期、主汛期、梅雨期暴雨日数小波方差和功率谱图。从中可见: 1) 汛期暴雨日数变化具有准 4 a、准 14 a、准 23 a 主周期(图 6b₁), 其中准 4 a 方差最大, 其次是准 14 a; 小波功率谱图上(图 6c₁), 4 a 周期表现非常明显, 且通过了 95% 的显著性检验。2) 主汛期暴雨日数变化具有准 4 a、准 6 a、准 15 a 主周期(图 6b₂), 准 6 a 方差最大, 其次是准 4 a; 小波功率谱图上(图 6c₂), 4 a 和 6 a 周期表现非常明显, 通过了 95% 的显著性检验。3) 梅雨期暴雨日数变化具有准 4 a 和

准 13 a 主周期(图 6b₃), 准 4 a 方差最大, 准 13 a 稍小; 小波功率谱图上(图 6c₃), 4 a 周期表现非常明显, 且通过了 95% 的显著性检验。

综上所述, 1961—2008 年鄂东汛期、主汛期和梅雨期暴雨日数变化的周期性显著。

5 突变检验

应用 Mann-kendall 方法, 检测 1961—2008 年鄂东地区汛期、主汛期和梅雨期暴雨日数序列的突变状况。用原气象序列构造统计量 UF, 用原气象序列的反序列构造统计量 UB, 取 $\alpha=0.05$ 的信度水平。图 7 给出鄂东地区 1961—2008 年不同时间尺度暴雨日数的 Mann-Kendall 突变检验曲线。

从图 7 中可见, 20 世纪 60 年代至 90 年代末, UF 曲线表现为逐年上升, 不同时间尺度的 UF 曲线均超过临界值, 说明不同时间尺度暴雨日数变化在该阶段均发生了气候突变, 且为突变增加。图 7a 表明, 汛期 UF 曲线 1998 年超过临界值, 1998—2000 年 UF 曲线位于临界曲线之上, 说明该时段暴雨日数增多明显,

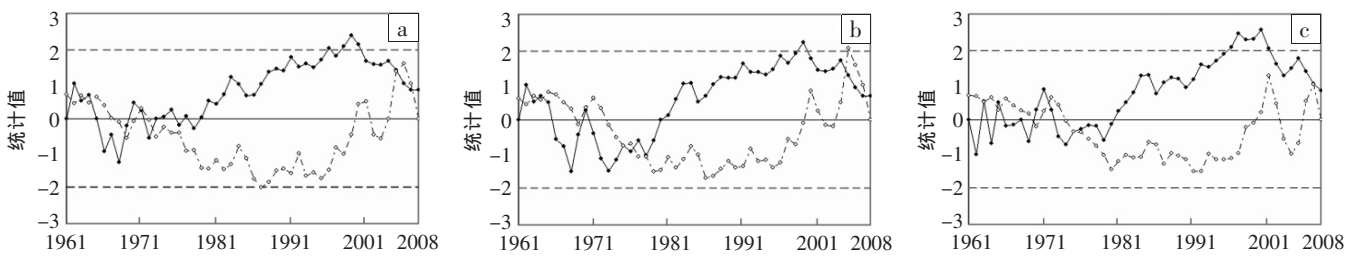


图 7 1961—2008 年汛期(a)、主汛期(b)和梅雨期(c)暴雨日数的 Mann-kendall 检验

—◆— UF; —○— UB; — — — $\alpha=0.05$ 显著性临界值

发生了气候突变,根据 UF 与 UB 的交点位置,可确定突变开始于 1971 年前后;图 7b 表明,主汛期 UF 曲线 1998 年超过临界值,1998—1999 年 UF 曲线位于临界曲线之上,说明该时段暴雨日数明显增多,发生了气候突变,根据 UF 与 UB 的交点位置,可确定突变始于 1975 年前后;图 7c 表明,梅雨期 UF 曲线 1996 年超过临界值,1996—2001 年 UF 曲线位于临界曲线之上,说明该时段暴雨日数增多明显,发生了气候突变,根据 UF 与 UB 的交点位置,可确定突变也始于 1975 年前后。

对图 7 作进一步分析可知,进入 21 世纪至 2008 年,不同时间尺度 UF 曲线均表现为逐年下降,这与图 3 中暴雨日数在进入 21 世纪后呈减少趋势是吻合的;再结合 UF 与 UB 曲线及其交点所处位置,可确定该阶段主汛期暴雨日未发生突变,而汛期和梅雨期暴雨日突变分别始于 2005 年和 2007 年,为突变减少,但突变减少趋势不显著。

综上所述表明,鄂东地区汛期、主汛期和梅雨期暴雨日先突变增加后突变减少,突变增加始于 20 世纪 70 年代中前期,在 90 年代中后期增加趋势最为显著;其突变减少,汛期和梅雨期分别始于 2005 年、2007 年,表现均不明显。

6 结论及讨论

本文对鄂东汛期暴雨日数的时空分布特征、周期变化以及突变情况等进行了分析。获得如下几点结论:

(1) 20 世纪 90 年代以后,鄂东暴雨集中时段并未发生明显变化;从月变化看,暴雨日仍多出现在 6、7 月份;从旬变化看,暴雨日仍表现为集中在 6 月下旬到 7 月中旬的特点。近 18 a 来,6 月下旬暴雨日减少,7 月中、上旬暴雨日增加,与近年来鄂东梅雨开始和结束时间推迟的变化趋势一致。

(2) 20 世纪 90 年代以后,鄂东汛期暴雨呈现山区多于平原且自南、北两端向中间减少的特点, ≥ 4.0 d 的汛期暴雨日数多分布于山脉迎风坡;位于鄂东北偏西地区的武汉暴雨日数明显增加,鄂东南汛期暴雨多发中心呈向偏南地区移动的特点。

(3) 近 48 a,鄂东汛期、主汛期和梅雨期暴雨日数

变化的周期性显著,其变化存在 4~6 a 周期。

(4) 鄂东地区汛期、主汛期和梅雨期暴雨日数先突变增加后突变减少,突变增加始于 20 世纪 70 年代中前期,在 90 年代中后期增加趋势最为显著;暴雨日数突变减少,汛期和梅雨期分别始于 2005 年、2007 年,但表现均不明显。

值得关注的是,近些年来鄂东梅雨开始和结束时间均推迟,这是否意味着整个湖北乃至长江流域梅雨期入梅和出梅也遵循这一变化呢?进入 21 世纪以来,暴雨日呈突变减少趋势,这种减少趋势是否显著?造成暴雨减少的主导因子又是什么?对诸如此类悬而未决的问题,还有待于今后做进一步研究。

参考文献:

- [1] 姜海如,杨松柏,吴世经,等.中国气象灾害大典:湖北卷[M].北京:气象出版社,2007:11-12.
- [2] 85-906-08-04 专题组.暴雨天气气候研究[M].北京:气象出版社,1996:113-141.
- [3] 杨贤为,姚佩珍,张强,等.长江中游致洪暴雨天气气候特征[J].自然灾害学报,1995,4(4):68-75.
- [4] 王龙学,寿绍文,杨金虎.长江中下游地区汛期暴雨频次的时空分布特征[J].长江流域资源与环境,2006,15(4):541-545.
- [5] 李建平,易成功,张火平.近 45 a 黄冈市气温和降水的变化与异常特征分析[J].暴雨灾害,2008,27(1):59-62.
- [6] 张意林,覃军,陈正洪.近 56 a 武汉市降水气候变化特征分析[J].暴雨灾害,2009,28(1):253-257.
- [7] 张家国,廖修山,李德俊,等.“98.7”鄂东连续特大暴雨的中尺度分析[J].气象科学,2001,21(2):169-177.
- [8] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:气象出版社,2007:36-44.
- [9] 张红雨,周顺武,李新生,等.近 48 a 山西暴雨日数气候特征及其变化趋势[J].气象与环境科学,2010,33(2):25-31.
- [10] 贾成刚,丁治英,张玉峰,等.近 55 a 来安阳日照时数变化及未来趋势分析[J].气象与环境科学,2010,33(3):59-62.
- [11] 徐桂玉,杨修群.我国南方暴雨一些气候特征的统计分析[J].气候与环境研究,2002,7(4):447-456.
- [12] 秦丽,张立凤,骆凯.近 48 a 台北市气温的小波分析[J].气象与环境科学,2010,33(2):59-62.
- [13] 张家宝,史玉光.新疆气候变化及短期气候预测研究[M].北京:气象出版社,2002:49.
- [14] 向辽元,陈星,黎翠红,等.近 55 年中国大陆地区降水突变的区域特征[J].暴雨灾害,2007,26(2):149-153.