

杨玮,程智. 2015. 近 53 年江淮流域梅汛期极端降水变化特征. 气象, 41(9):1126-1133.

近 53 年江淮流域梅汛期极端降水变化特征^{* 1}

杨 玮 程 智

安徽省气候中心, 合肥 230031

提 要: 基于 1961—2013 年江淮流域梅汛期(6—7 月)逐日降水资料, 利用百分位法确定极端降水阈值, 对江淮流域梅汛期极端降水的时空分布及突变特征进行分析, 结果表明: 95% 分位极端降水阈值多在 50 mm 以上, 大值中心主要位于湖北东部到安徽南部一带; 平均极端降水强度与阈值大小的空间分布相似。极端降水量和极端降水日数整体呈现由安徽南部向四周递减的空间分布特征, 极端降水量约占梅汛期降水总量的 1/4~1/3。从季节内分布上看, 极端强降水站次在梅汛期呈单峰型分布, 各候间差异明显, 其中 6 月第 5 候到 7 月第 2 候最多。极端降水量、极端降水日数以及极端降水量占梅汛期总降水量百分比均具有明显的年际变化, 且上升趋势显著; 江淮流域梅汛期极端降水量和极端降水站次的这种上升趋势均在 1980 年发生突变。

关键词: 极端降水, 梅汛期, 变化趋势, 江淮流域

中图分类号: P467

文献标志码: A

doi: 10. 7519/j. issn. 1000-0526. 2015. 08. 010

Variation Characteristics of Extreme Precipitation During Meiyu Flood Period over Yangtze-Huaihe Basin in Recent 53 Years

YANG Wei CHENG Zhi

Anhui Climate Centre, Hefei 230031

Abstract: Based on the 53 a (1961—2013) daily precipitation data in Meiyu flood period over Yangtze-Huaihe Basin, the threshold of extreme precipitation for each station is defined by percentile method, and the spatial and temporal distribution and mutation features are analyzed. The results show that the 95% thresholds of extreme precipitation are more than 50 mm, and their high value centers are mainly located from eastern Hubei to southern Anhui. The average intensity distribution of extreme precipitation is similar to the distribution of thresholds. Both the extreme precipitation and extreme rainfall days present decreasing features from southern Anhui to its surrounding areas, while the former accounts for about 1/4 to 1/3 of total Meiyu precipitation. In addition, stations of extreme precipitation for each pentad show single peak type with the maximum centered in the 5th pentad of June to the 2nd pentad of July. The extreme precipitation, extreme rainfall days and the extreme precipitation percentage of the total precipitation in Meiyu period have obvious interannual variability with ascending trends, and the mutations of the extreme precipitation and rainfall stations occur in 1980.

Key words: extreme precipitation, Meiyu flood period, changing trend, Yangtze-Huaihe Basin

* 安徽省自然科学基金计划项目(1408085MD73)资助

2014 年 7 月 7 日收稿; 2015 年 2 月 16 日收修定稿

第一作者: 杨玮, 从事气候评价和短期气候预测研究. Email: yw85508@sohu.com

引言

中国江淮流域地处东亚副热带季风区,江淮梅雨是东亚夏季风由南向北推进过程中特有的产物(Ding,1992;梁萍等,2010),梅雨量的多少直接影响这一地区的旱涝(丁一汇等,2007)。近年来关于江淮梅雨的讨论很多,尤其是在梅雨划分指标上气象工作者们可谓是各抒己见(傅逸贤,1981;梁萍等,2010;黄青兰等,2012),其主要分歧在于判断标准是以降水实况为主还是以环流形式为主。无论是以哪种梅雨期划分方法,梅雨主要集中在6—7月。在以往的相关研究中,有采用6月中旬至7月上旬作为梅雨期的(宗海锋等,2006),而更多的研究是把整个6和7月作为梅雨期进行研究(吴志伟等,2006;平凡等,2014;李晓容等,2014)。

极端降水往往带来较为严重的破坏,对人们的生产生活造成重要影响,其发生的原因十分复杂,且不同地区、不同季节形成极端降水的机理也不尽相同(赵玉春等,2012;Li et al,2012;李典等,2014;林建等,2014;孙林海等,2015)。此外,各地区地质状况的差异导致其承受极端降水强度的能力也存在差异。因此,近些年气象学者探索出多种划分极端降水的方法(王传辉等,2011;余敦先等,2011;罗梦森等,2013),更多学者是采用百分位法来确定极端降水的极值(陆虹等,2010;尤焕苓等,2014)。百分位法是依据不同地区具体时段的降水状况来确定阈值,具有较为广泛的实用性,可根据不同需求来自行确定百分位阈值(尤焕苓等,2014)。梅雨期是江淮流域一年内主要的降水时段,有研究表明,暴雨以上量级的极端降水总量和极端降水日数最大值均发生在梅雨期(刘明丽等,2006)。

以上可见,在以往的研究中,关于江淮流域梅雨的研究非常之多,但多是关注梅雨的起止时间(梁萍等,2010;黄青兰等,2012)、梅雨总量的多少(吴志伟等,2006;宗海锋等,2006)以及空间分布不均匀(竺夏英等,2007)等方面。目前来看关于江淮流域梅雨期极端降水的相关研究比较少见,刘明丽等(2006)曾利用1959—2000年的降水资料对江淮梅雨期暴雨以上量级的降水进行分析。Zhang等(2007)的研究发现长江流域在1961—2002年间极端降水呈显著的增加趋势。随后,杨金虎等(2008)的研究进一步证明了长江中下游地区的极端降水表现为增加趋

势,并有突变发生。陈峪等(2010)对中国主要河流域极端降水事件进行了分析,指出中国北方流域的极端降水多为减少趋势,但南方流域的降水正好相反,表现为增加趋势。此外,在以往研究中更多关注的是淮河流域极端降水的变化特征(余敦先等,2011;张娇等,2011)。本研究采用百分位法,利用1961—2013年台站观测资料,针对整个江淮流域梅汛期(6—7月)极端降水变化特征进行分析,以增进对江淮流域梅汛期极端降水事件时空变化规律的认识,为防灾减灾提供可靠依据。

1 资料和方法

资料来源于国家气象信息中心气象资料室提供的1961—2013年共53年逐日降水观测资料。参考曹琦萍等(2014)的文献,江淮流域范围取为($28^{\circ}\sim 34^{\circ}\text{N}$ 、 $110^{\circ}\sim 122^{\circ}\text{E}$),共包括分布较均匀的73个测站,本文研究时段为每年的6—7月,主要分析极端降水事件变化趋势和极端事件的空间分布。

采用百分位法定义各站极端降水事件的阈值,具体采用1961—2013年日降水量大于0.1 mm的降水日按升序排列的第90%、95%、99%的降水量值作为该测站极端降水量的阈值。当梅汛期某日该站降水量大于该阈值时记为一个极端降水日。使用的方法主要有:线性趋势分析、Mann-Kendall(以下简称M-K)突变分析等,文中使用两组样本差值的显著性检验为 F 检验,其余均为 t 检验(魏凤英,2007)。

2 江淮流域梅汛期极端降水空间分布

2.1 极端降水阈值分布

利用百分位法,分别选取90%、95%和99%分位上的阈值得到江淮流域极端降水阈值的空间分布。在90%分位阈值上可见(图略),江淮流域极端降水阈值分布空间差异明显,湖北东部和安徽南部到江西东北部一带阈值超过50 mm,其他地区多处在35~50 mm,阈值最小的地区位于湖北西北部到河南西南部,不足30 mm。在95%分位阈值上(图1),数值明显大于90%分位,整个江淮流域阈值普遍在50 mm以上,大值中心仍位于湖北东部到安徽南部和江西东北部一带,这些地区多超过70 mm,该

分布与以往研究中华东地区最大极端降水量出现在江西北部与安徽南部交界区域的结论基本相符(李明刚等,2012)。在以往利用百分位法研究极端降水事件的文献中多采用90%或95%分位阈值(Li et al,2012;尤焕苓等,2014),可见利用百分位法划分的极端降水阈值区域间差异明显。在99%分位阈值上(图略),空间分布上与90%和95%分位阈值相似,除湖北西部和浙江中东部外,整个流域多处在100 mm以上,大值中心位于安徽南部到江西北部部分地区,最大值超过140 mm。下文以95%分位为例对江淮流域梅汛期极端降水进行讨论。

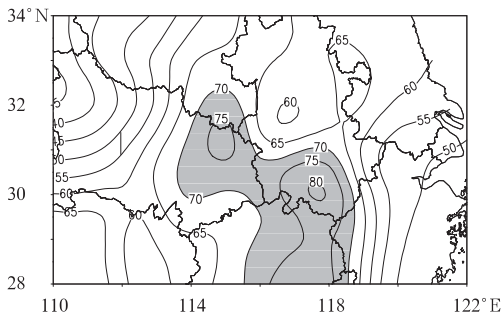


图1 江淮流域梅汛期95%分位极端降水阈值分布(单位:mm)

Fig. 1 The threshold distribution of extreme precipitation by 95% in Meiyu flood period over Yangtze-Huaihe Basin (unit: mm)

2.2 极端降水空间分布

将近53年江淮流域梅汛期极端降水日中降水量做算数平均得到在该阈值下极端降水的平均降雨强度(图2),由图可见,湖北东部、河南东南部、安徽南部、江西北部处在大值区,平均极端降水强度在

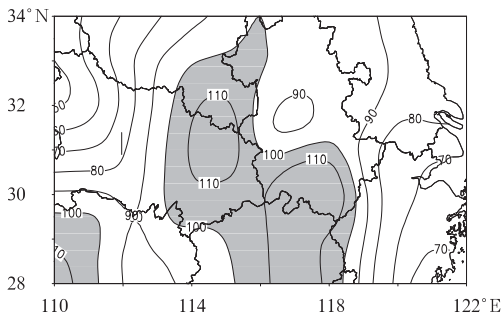


图2 江淮流域极端降水日平均降雨强度分布(单位:mm)

Fig. 2 The distribution of average precipitation intensity in extreme rainfall days over Yangtze-Huaihe Basin (unit: mm)

100~110 mm,其他地区多处在80~100 mm,其中湖北西部和河南西部等地最低,为50~80 mm。该分布特点与阈值空间分布特点相似,可见,平均极端降水强度空间分布与阈值大小分布相对一致。

为说明极端降水量在梅汛期的重要性,进一步统计多年平均梅汛期极端降水日数、极端降水量及其占梅汛期降水总量的比例(图3)。由图可见,江淮流域梅汛期极端降水日数普遍在1.1~1.5 d(图3a),整体呈现出由安徽南部向四周递减的空间分布特征。极端降水量多处在90~170 mm(图3b),空间分布差异明显,整体上呈现出由中部向四周递减的空间分布型;大值区位于安徽省南部的黄山一带,最大值超过180 mm,低于90 mm的区域主要位于湖北西北部到河南西南部以及长三角地区。梅汛期降水总量的空间分布与极端降水量的分布相似(图3c),其值多处在250~550 mm,大值区位于安徽省南部的黄山一带,最低值位于湖北西北部。从极端降水量占梅汛期降水总量百分比中可以看到(图3d),在整个江淮流域百分比空间差异较小,多在28%~35%,说明极端降水量多少往往与梅汛期降水总量存在较好的对应关系,极端降水量约占梅汛期降水总量的1/4~1/3。杨金虎等(2008)在分析中国极端降水事件与降水总量关系时曾指出,降水较为丰沛的夏季极端降水事件与降水总量的相关性最好,可见,在江淮流域降水较为集中的梅汛期此关系更为明显。极端降水量占梅汛期降水总量比例较大的地方主要位于湖北与河南交界处,在35%以上。江苏、浙江东部沿海地区位于比例低值区,不足30%。袁文德等(2014)利用95%分位来划分极端降水的方法对我国西南地区年内极端降水研究时指出,在西南地区,极端降水量占总降水量的比例在23%~43%,虽然西南地区与江淮流域受不同天气系统影响,但可以看出极端降水量占总降水量的比例相似。

3 极端降水时间演变特征

3.1 极端降水的各候分布特征及年际变化

本研究中所选取的73个站点空间分布相对均匀,下面利用多年平均各候极端降水站次来反映整个江淮流域的梅汛期极端降水情况。由图4可知,极端强降水站次在梅汛期各候的分布呈单峰型特

征,各候间差异明显;6月第5候到7月第2候相对较多,其中6月第5候最多,多年平均值为11.8个,

而6月第1候最少,仅为4.4个。这与江淮梅雨主要集中在时段相符(宗海锋等,2006)。

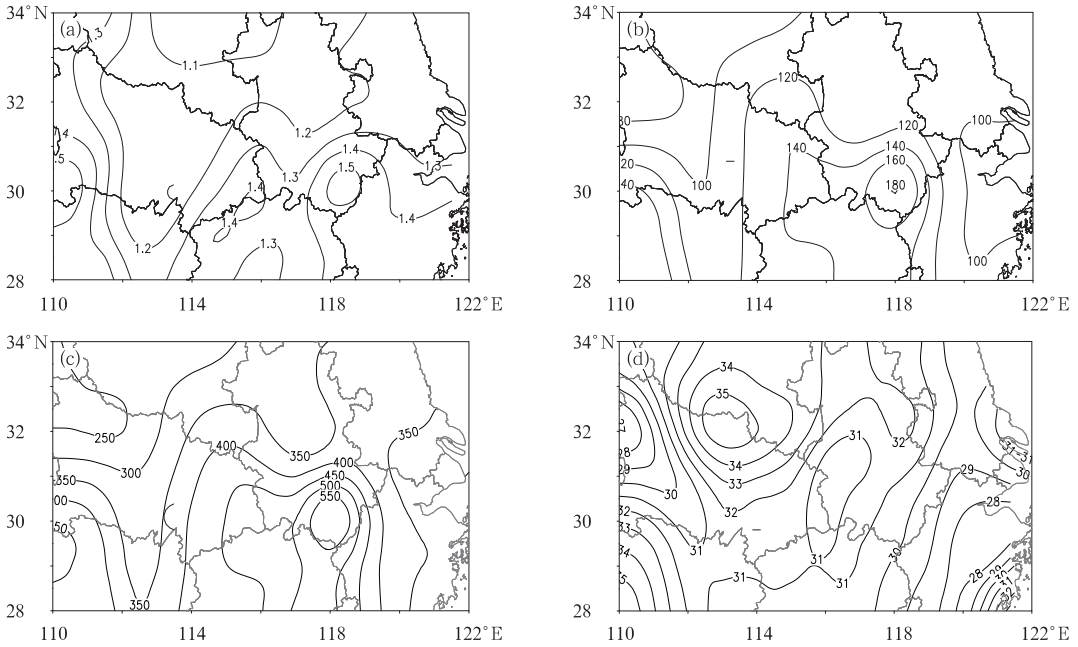


图 3 多年平均梅汛期极端降水日数(a,单位:d)、极端降水量(b,单位:mm)、梅汛期降水总量(c,单位:mm)及极端降水量占梅汛期降水总量百分比(d,单位:%)
 Fig. 3 The distribution of extreme rainfall days (a, unit: d), precipitation (b, unit: mm), total precipitation (c, unit: mm) from June to July and percentage of extreme precipitation in total Meiyu flood precipitation (d, unit: %) over Yangtze-Huaihe Basin

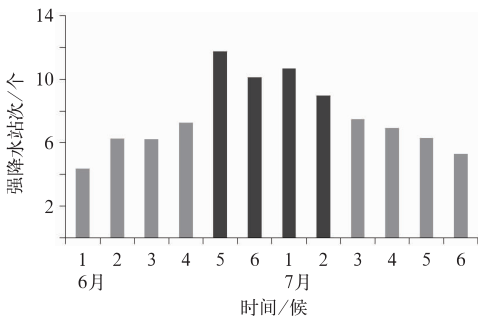


图 4 江淮流域梅汛期各候多年平均极端降水站次分布
 Fig. 4 The multi-year average stations of extreme precipitation for each pentad in Meiyu flood period over Yangtze-Huaihe Basin

将历年梅汛期极端降水量和极端降水日数做区域平均得到江淮流域极端降水量和极端降水日数的年际变化(图 5)。从图中可以看出,极端降水量和极端降水日数年际差异明显,且两者具有较好的一致性,最大值均出现在 1991 年,极端降水量和极端

降水日数分别达 219.7 mm 和 2.2 d;最小值均出现在 1978 年,极端降水量和极端降水日数分别仅为 41 mm 和 0.5 d。在长期变化趋势上,两者都呈现出显著的上升趋势(均通过了 0.05 的显著性水平检验)。吴志伟等(2006)曾在分析 1951—2000 年华南前汛期降水、江淮梅雨和华北雨季旱涝特征时指出,这 50 年间,华南前汛期降水和华北雨季总体呈趋旱的趋势,而江淮梅雨呈趋涝的趋势,然而极端降水量与降水总量又具有较好的一致性(姜德娟等,2011)。可见,本文研究结果与以往相关研究结果相符。

3.2 极端降水的变化趋势

3.1 节对江淮流域梅汛期区域平均的极端降水量和极端降水日数变化趋势进行了简单的分析。下面进一步对江淮流域极端降水量、极端降水日数以及极端降水量占梅汛期降水总量百分比的长期变化趋势的空间分布进行分析(图 6)。极端降水量和极端降水日数变化趋势在空间上具有较好的一致性,除河南南部、江西北部以及江苏东北部个别地区外,

其余大部均为增加趋势,增幅最大的区域主要位于湖北东部、安徽南部、江苏南部以及浙江北部等地,即主要位于沿长江一带。宗海锋等(2006)曾对1961—2000年梅雨期中国东部降水进行分析时将江淮流域分为3种形态,并指出长江流域多雨型在40年间呈显著线性上升趋势。杨金虎(2008)以及陈峪等(2010)在分析中国极端降水变化趋势时都曾指出近年来长江流域极端降水呈现出显著增加趋

势。张庆云等(2014)在对长江流域夏季降水年代际变化分析中曾指出,20世纪50年代至60年代中期处于异常偏少阶段,90年代降水呈现持续偏多的正异常阶段,但2000年以来,其降水呈现为持续偏少的负异常阶段。可见,虽然近53年梅汛期长江中下游地区极端降水呈增加趋势,但各年代间降水存在一定的差异。

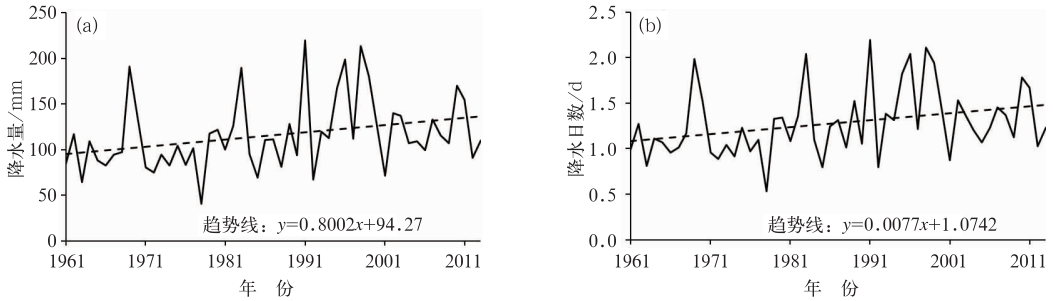


图 5 江淮流域梅汛期区域平均极端降水量(a)、极端降水日数(b)年际变化

Fig. 5 The interannual variation of extreme precipitation (a) and rainfall days (b) by regional average of Yangtze-Huaihe Basin in Meiyu flood period

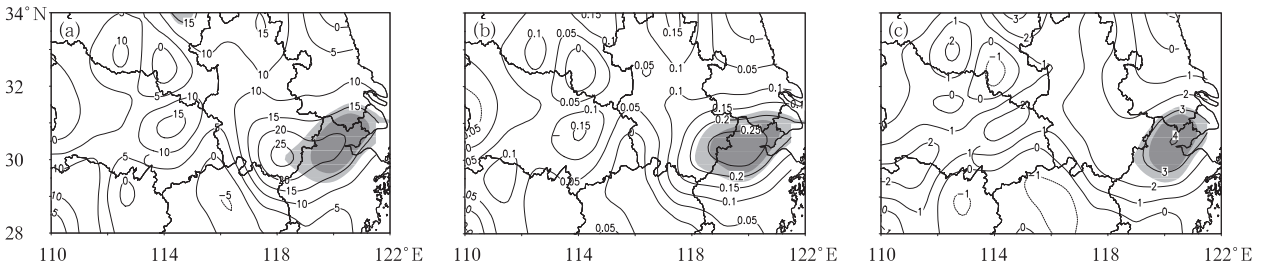


图 6 江淮流域梅汛期极端降水量(a,单位: $\text{mm} \cdot 10^{-1}$)、极端降水日数(b,单位: $\text{d} \cdot 10^{-1}$)

以及极端降水量占梅汛期降水总量百分比(c,单位: $\% \cdot 10^{-1}$)的变化趋势

(浅深阴影分别表示通过 $\alpha=0.05$ 和 $\alpha=0.01$ 显著性水平检验的区域)

Fig. 6 The trends of extreme precipitation (a, unit: $\text{mm} \cdot 10^{-1}$), extreme rainfall days (b, unit: $\text{d} \cdot 10^{-1}$) and percentage of extreme precipitation for total precipitation (c, unit: $\% \cdot 10^{-1}$) from June to July over Yangtze-Huaihe Basin

(Light and deep shadows respectively express areas having passed the significance level of 0.05 and 0.01)

不仅江淮流域大部梅汛期极端降水量和极端降水日数表现出增加趋势,而且极端降水量占总降水量的比例也呈现出增长为主的态势,虽然变化趋势的空间分布与极端降水量和极端降水日数有明显不同,但长江下游地区同样成为增长最为显著的地区(通过 $\alpha=0.05$ 的显著性水平检验)。近年来全球气候变暖已成为不争的事实,根据Chen等(2002)以及IPCC报告(IPCC,2001),降水增加可能与全球增暖有关,在总降水增加的地区极端降水增加更为显

著,这一结论在以后的研究中得到了一定程度的认同(丁一汇等,2007;梁萍等,2008)。

3.3 极端降水的突变特征

以上分析表明,江淮流域梅汛期极端降水量和极端降水日数在近50年中均表现出显著的上升趋势,下面利用M-K法对这种上升趋势是否存在突变现象进行检测(图7)。由图可见,两者UF和UB具有相似的变化曲线,UF与UB均在1980年存在相

交,1980 年以后 UF 曲线快速上升,极端降水量和极端降水日数 UF 曲线分别于 1996 和 1995 年超过了 $\alpha=0.05$ 显著性水平检验的临界值。以上分析表明,极端降水量和极端降水日数均呈显著性上升趋势

势,且在 1980 年发生突变。徐群等(2007)在对淮河流域梅雨分析时发现,淮河流域梅雨出现突变的时间在 1979 年附近,与本研究的结果相似。

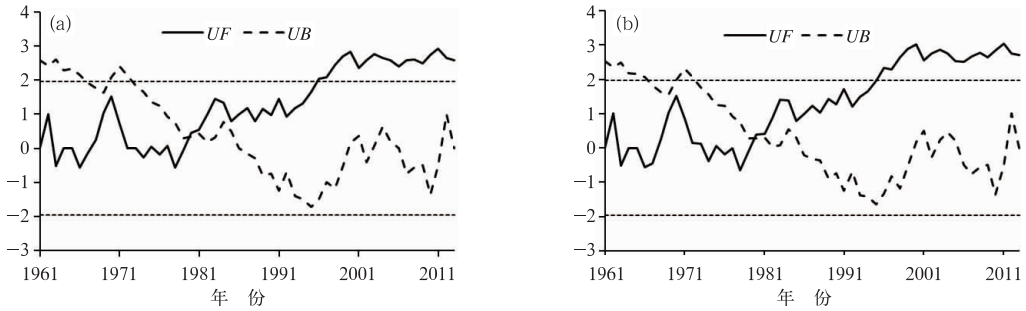


图 7 江淮流域梅汛期区域平均极端降水量(a)和极端降水日数(b) M-K 法分析 (虚线为 $\alpha=0.05$ 显著性水平检验的临界值)

Fig. 7 The Mann-Kendall analysis of extreme precipitation (a) and extreme rainfall days (b) by regional average of Yangtze-Huaihe Basin in Meiyu flood period (Dashed line is threshold having passed the 0.05 significance level)

对比突变前后极端降水量和极端降水日数的空间分布差异可以发现(图 8),无论是极端降水量还是极端降水日数,江淮流域大部在突变后均较突变前有所增加。极端降水量普遍增加 20 mm 以上,安徽、江苏和浙江三省交界处最为显著,其中安徽东南部至浙江西北部增幅在 80 mm 以上,而极端降水日数普遍增加 0.2 d 以上,其中安徽和浙江交界处增

幅在 1 d 以上(通过了 $\alpha=0.05$ 显著性水平检验)。杨金虎等(2008)的研究曾指出,长江中下游地区的极端降水存在突变现象,本文的结果显示突变前后变化最为显著的区域正好位于长江下游地区,可见梅汛期的极端降水变化对年极端降水的变化有重要影响。

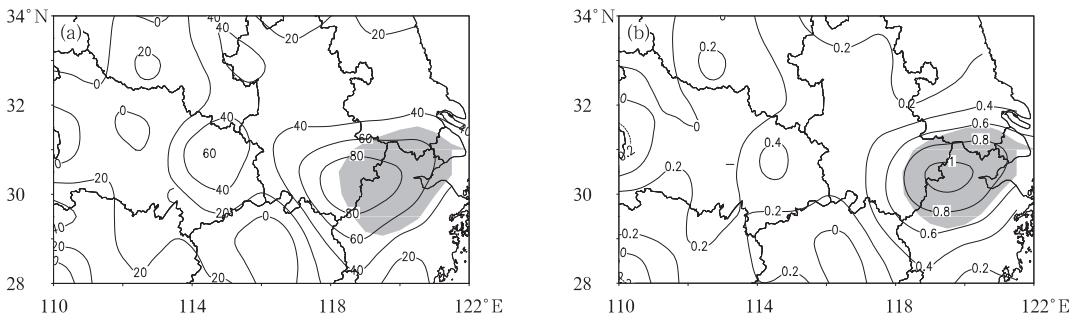


图 8 江淮流域梅汛期极端降水量(a,单位:mm)和极端降水日数(b,单位:d)突变前后差值分布 (1980 年后减去 1980 年前数据,阴影区域为通过 $\alpha=0.05$ 显著性水平检验的区域)

Fig. 8 The distribution of difference between after 1980 and before 1980 for extreme precipitation (a, unit: mm) and extreme rainfall days (b, unit: d) in Meiyu flood period over Yangtze-Huaihe Basin (Shadow region is area having passed the 0.05 significance level)

对比突变前后江淮流域各候极端降水量和极端降水站次的变化(图 9)可以发现,梅汛期多数时段突变后均较突变前有所增加,增加最为明显的为 6 月第 3 候和第 6 候,7 月第 1 候和第 2 候及第 5 候。

由于梅雨主要集中时段为 6 月 11 日至 7 月 10 日(宗海锋等,2006),也就是 6 月 3 候至 7 月 2 候,从图中可以看出,除了 6 月第 5 候外,在梅雨的主要集中时段里,突变后均比突变前有明显增多。

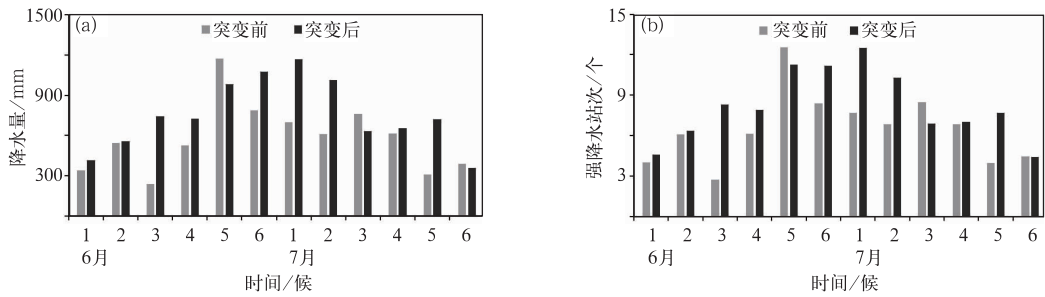


图9 江淮流域梅汛期候极端降水量(a)和候极端降水站次(b)突变前后对比

Fig.9 The contrast of pentadly extreme precipitation (a), extreme precipitation stations (b) before and after mutation in Meiyou flood period over Yangtze-Huaihe Basin

4 结论与讨论

利用百分位法确定极端降水阈值,对江淮流域梅汛期(6—7月)的极端降水事件从空间分布、变化趋势、季节内变化、突变特征以及突变前后极端降水的主要差异等方面进行了分析,结果发现:

(1) 在95%分位阈值上,整个江淮流域阈值普遍大于传统暴雨量级,多在50 mm以上,大值中心位于湖北东部到安徽南部和江西东北部一带,这些地区多超过70 mm。平均极端降水强度与阈值大小的空间分布相似,湖北东部、河南东南部、安徽南部、江西北部等地区平均极端降水强度较大,多在100~110 mm。

(2) 极端降水量和极端降水日数的空间分布差异显著,极端降水日数普遍在1.1~1.5 d,极端降水量多处在90~170 mm,整体呈现出由安徽南部向四周递减的空间分布特征。极端降水量与梅汛期降水总量存在较好的对应关系,极端降水量约占降水总量的1/4~1/3。

(3) 季节内极端强降水站次在梅汛期呈单峰型分布,各候间差异明显,其中江淮梅雨主要集中在6月第5候到7月第2候最多。

(4) 极端降水量、极端降水日数以及极端降水量占梅汛期降水总量百分比均具有明显的年际变化,都存在显著的上升趋势。江淮流域梅汛期极端降水量和极端降水日数的这种上升趋势均在1980年发生突变。

从本文的分析可以看出,江淮流域极端降水量、极端降水日数以及极端降水量占梅汛期总降水量百分比均具有明显的年际变化,且都存在上升趋势,其中长江下游一带通过 $\alpha=0.05$ 的显著性水平检验。

可见,虽然江淮流域极端降水均表现为上升趋势,但存在空间差异。有研究表明,近几十年来长江、淮河流域虽同处东亚中纬度,但梅雨期两流域间异常降水事件却有各自不同的年代际变化特征,其主要原因在于影响两流域降水的环流形势和外界强迫因子存在一定差异(刘舸等,2008;张庆云等,2014)。除不同流域导致降水差异外,长三角地区快速的城市化进程对长江下游的极端降水强度和次数也有可能产生一定影响(郑祚芳等,2013a;2013b)。与大范围环流异常导致的降水分布差异相比,局地降水异常可能受城市化和人类活动影响更大一些。一个地区降水变化原因是复杂的,对江淮流域降水,尤其是极端降水分布及变化原因的探索还有很多工作要做。

参考文献

- 曹琦萍,王传辉,周建平,等. 2014. 江淮流域夏半年日照时数气候特征及趋势分析. 气象,40(5):548-553.
- 陈峪,陈鲜艳,任国玉. 2010. 中国主要河流域极端降水变化特征. 气候变化研究进展,6(4):265-269.
- 丁一汇,柳俊杰,孙颖,等. 2007. 东亚梅雨系统的天气-气候学研究. 大气科学,31(6):1082-1101.
- 傅逸贤. 1981. 也谈梅雨期的划分. 气象,7(5):19-20.
- 黄青兰,王黎娟,李熠,等. 2012. 江淮梅雨区域入、出梅划分及其特征分析. 热带气象学报,28(5):749-756.
- 姜德娟,李志,王昆. 2011. 1961—2008年山东省极端降水事件的变化趋势分析. 地理科学,31(9):1118-1124.
- 李典,白爱娟,薛羽君,等. 2014. 青藏高原和四川盆地夏季对流性降水特征的对比分析. 气象,40(3):280-289.
- 李明刚,管兆勇,韩洁,等. 2012. 近50 a华东地区夏季极端降水事件的年代际变化. 大气科学学报,5(5):591-602.
- 李晓容,张雪蓉,濮梅娟. 2014. 梅汛期江淮切变线暴雨与非暴雨演变过程的合成对比分析研究. 高原气象,33(1):199-209.
- 梁萍,丁一汇,何金海,等. 2010. 江淮区域梅雨的划分指标研究. 大气科学,34(2):418-428.
- 梁萍,何金海. 2008. 江淮梅雨气候变化研究进展. 高原气象,27(增

- 刊):8-15.
- 林建,杨贵名.2014.近30年中国暴雨时空特征分析.气象,40(7):816-826.
- 刘明丽,王谦谦.2006.江淮梅雨期极端降水的气候特征.南京气象学院学报,29(5):676-681.
- 刘舸,张庆云,孙淑清.2008.澳大利亚东侧环流及海温异常与长江中下游夏季旱涝的关系.大气科学,32(2):231-241.
- 陆虹,何慧,陈思蓉.2010.华南地区1961—2008年夏季极端降水频次的时空变化.生态学杂志,29(6):1213-1220.
- 罗梦森,熊世为,梁宇飞.2013.区域极端降水事件阈值计算方法比较分析.气象科学,33(5):549-554.
- 平凡,唐细坝,高守亭,等.2014.长江和淮河流域汛期洪涝大气环流特征的比较.中国科学 地球科学,44(4):766-782.
- 宗敦先,夏军,张永勇,等.2011.近50年来淮河流域极端降水的时空变化及统计特征.地理学报,66(9):1200-1210.
- 孙林海,宋文玲,龚振淞.2015.2014年汛期气候预测先兆信号应用及其复杂性初探.气象,41(5):639-648.
- 王传辉,周顺武,唐晓萍,等.2011.近48年青藏高原强降雨量的时空分布特征.地理科学,31(4):470-476.
- 魏凤英.2007.现代气候统计诊断与预测技术(第2版).北京:气象出版社.
- 吴志伟,江志红,何金海.2006.近50年华南前汛期降水、江淮梅雨和华北雨季旱涝特征对比分析.大气科学,30(5):391-401.
- 徐群,张艳霞.2007.近52年淮河流域的梅雨.应用气象学报,18(2):147-157.
- 杨金虎,江志红,王鹏祥.2008.中国年极端降水事件的时空分布特征.气候与环境研究,13(1):75-83.
- 尤焕苓,刘伟东,任国玉.2014.1981—2010年北京地区极端降水变化特征.气候与环境研究,19(1):69-77.
- 袁文德,郑江坤,董奎.2014.1962—2012年西南地区极端降水事件的时空变化特征.资源科学,36(5):766-772.
- 张娇,王东勇,朱佳宁,等.2011.淮河流域持续性强降水的重要前期信号.气象,37(11):1329-1335.
- 张庆云,郭恒.2014.夏季长江淮河流域异常降水事件环流差异及机理研究.大气科学,38(4):656-669.
- 赵玉春,徐明,王叶红,等.2012.2010年汛期长江中游对流降水日变化特征分析.气象,38(10):1196-1206.
- 郑祚芳,高华,李青春.2013a.城市化对北京一次极端降水过程影响的数值分析.气象,39(3):340-346.
- 郑祚芳,王在文,高华.2013b.北京地区夏季极端降水变化特征及城市化的影响.气象,39(12):1635-1641.
- 竺夏英,何金海,吴志伟.2007.江淮梅雨期降水经向非均匀分布及异常年特征分析.科学通报,52(8):951-957.
- 宗海锋,张庆云,陈烈庭.2006.梅雨期中国东部降水的时空变化及其与大气环流、海温的关系.大气科学,30(6):1189-1197.
- Chen M, P Xie, J E Janowiak. 2002. Global land precipitation: A 50-yr monthly analysis based on gauge observation. J Hydrometeorology, 3:249-266.
- Ding Y H. 1992. Summer monsoon rainfalls in China. J Meteorol Soc Jap, 70(1B):373-396.
- IPCC. 2001. Climate Change 2001: The Scientific Basis//Houghton J T, Ding Y, Griggs D J, et al. Cambridge: Cambridge University Press, 881.
- Li J, Dong W J, Yan Z W. 2012. Changes of climate extremes of temperature and precipitation in summer in eastern China associated with changes in atmospheric circulation in East Asia during 1960—2008. Chin Sci Bull, 57. doi:10.1007/s11434-012-4989-2.
- Zhang Z X, Zhang Q, Jiang T. 2007. Changing features of extreme precipitation in the Yangtze River basin during 1961—2002. J Geo Sci, doi:10.1007/s11442-007-0033-x.