

文章编号: 1673-1719 (2006) 01-0009-06

长江流域 1960—2004 年极端强降水时空变化趋势

苏布达^{1,2}, 姜 彤¹, 任国玉², 陈正洪³

(1 中国科学院 南京地理与湖泊研究所, 江苏 南京 210008; 2 中国气象局 气候研究开放实验室, 北京 100081; 3 武汉区域气候中心, 湖北 武汉 430074)

摘 要: 1986 年以来, 长江流域的极端强降水出现了显著增加的趋势, 突出表现在中下游地区。长江中下游地区极端降水量的增加, 既是极端降水强度增强, 也是极端降水事件显著增加的结果。长江流域极端降水变化主要发生在东南部 and 西南部。趋势分析表明, 自 20 世纪 80 年代中期以来, 长江流域上游极端降水事件峰值提前到 6 月份出现, 与长江中下游极端降水峰值出现的时间几乎同步, 这必将加大遭遇性洪水发生的机率。20 世纪 90 年代以来长江洪水的频繁发生, 与长江流域极端降水时空分布的变化密切相关。

关键词: 极端强降水; 时空分布; 气候变化; 长江流域

中图分类号: P426 **文献标识码:** A

引 言

极端天气和气候事件是对人类社会危害最严重的自然灾害之一。极端事件的频率和强度变化对自然和社会的冲击远大于气候平均变化带来的影响^[1-3], 全球变暖引发极端气象事件增加的可能性受到了各国政府和社会各界的普遍关注。极端气象事件的变化存在明显的区域差异, 在一些地区有加剧的态势, 而一些地区呈减弱的趋势^[2-3]。长江流域是气候变化区域响应的重要地区^[2], 降水年内和年际变率大。随着气候变暖导致的水循环进一步加快, 降水时空分布可能更加不均匀。以长江流域 147 个气象站 1960—2004 年逐日观测数据为基础, 对 45 a 来极端强降水时空变化规律进行了检测。

1 极端强降水阈值的空间分布

我国气象规范规定, 日雨量 ≥ 50 mm 为暴雨。但若以此为标准, 长江上游会出现较大面积无暴雨区。而依据世界气象组织的规定, 将 $> 90\%$ 分位点 (或 $< 10\%$ 分位点) 的事件定义为极端事件, 则有利于增强少雨地区和多雨地区强降水事件变化趋势的空间可比性。本文将各站 1960—2004 年降水序列中日降水量 $> 95\%$ 分位点的事件定为极端强降水事件, 对其进行了趋势分析。如图 1 所示, 长江流域极端强降水强度阈值自东南向西北逐步减小, 从鄱阳湖水系的 ≥ 25 mm/a 降低到长江源头地区的 < 10 mm/d。中下游汉江水系以外地区降水强度均 ≥ 15 mm/d, 而上游极端降水强度大多 < 15 mm/d, 只在长江干流及金沙

收稿日期: 2005-10-08; 修订日期: 2005-11-02

基金项目: 中国气象局气候变化专项 (CCSF2005-2-QH4); 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX3-SW-331) 资助

作者简介: 苏布达 (1972-), 女, 博士, 从事气候极端值统计分析研究。E-mail: sbd@niglas.ac.cn

江水系下游出现零星分布的强度 ≥ 15 mm/d的站点。

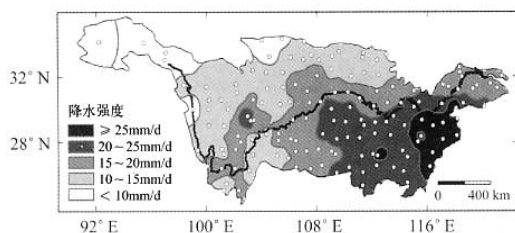


图1 长江流域95%分位点对应的极端强降水空间分布
Fig. 1 Spatial distribution of 95 percentile precipitation extremes in the Yangtze River basin

2 极端强降水趋势分析

2.1 极端强降水量

运用Mann-Kendall (MK) 非参数检验^[4]方法, 分别对1960–2004年长江流域上游69个站、中下游78个站的平均和单站极端强降水量进行了时间序列的趋势分析和突变检验, 其结果见图2和图3。极端强降水平均值趋势检验表明, 长江流域上游地区年极端降水量微弱下降, 而长江中下游地区极端强降水量呈显著的增加趋势。突变检验表明, 45 a中, 长江流域上游地区极端强降水量尚未发生突变(图2a); 而中下游地区的极端强降水量, 以1986年为突变点, 出现了显著性的增长(图2b)。

根据对147个观测站的趋势分析, 极端强降水量在上游金沙江水系, 中下游鄱阳湖、洞庭湖及干流区间的38个站呈显著增加趋势; 在上游中部嘉陵江水系、岷沱江水系及干流区间的12个站呈显著下降趋势(图3a)。从长江中下游地区突变前后两个时期极端强降水量差值空间分布来看(图3b), 1987–2004年与1960–1986年相比极端强降水量在中下游除汉江水系以外地区都有所增加, 增加量大多为50–100 mm, 在鄱阳湖、洞庭湖地区超过100 mm。金沙江水系的中下游和乌江水系上游极端降水量增加, 其余地区减少, 增减幅度在50 mm以内。

2.2 极端强降水的强度与频数

强度与频数是决定降水总量的两个要素。长江流域极端降水事件的年平均强度和年降水日数(频

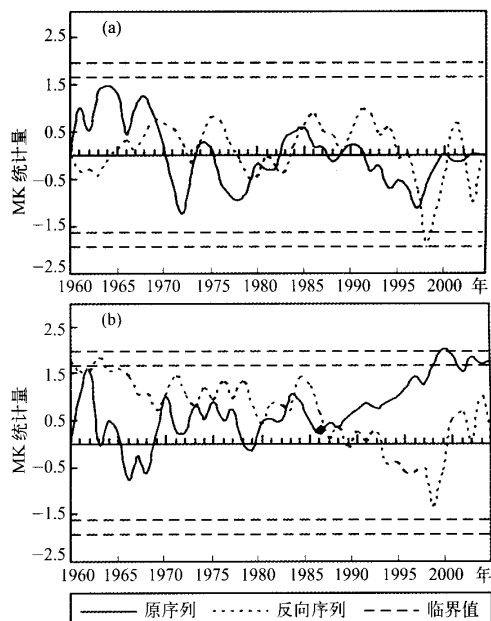


图2 长江流域上游(a)和中下游(b)极端强降水量突变检验(虚线分别表示90%和95%显著性水平临界值)
Fig. 2 Detection of the abruption of extreme precipitation in the upper reaches (a), the middle and lower reaches (b) of the Yangtze River (The dashed lines denote the thresholds of 90% and 95% significance level, respectively)

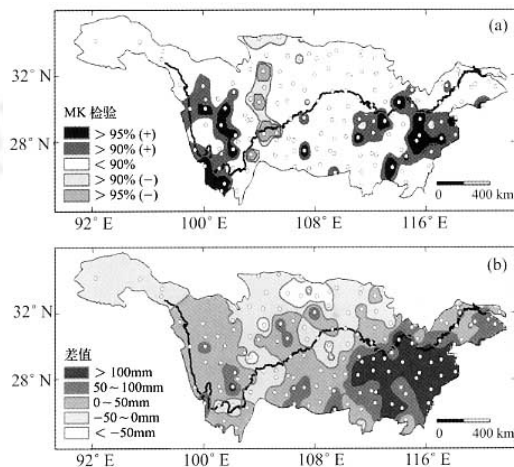


图3 长江流域强极端降水量变化空间分布趋势(a)及其差值(b)(1987–2004年平均值与1960–1986年平均值的差)
Fig. 3 Spatial distribution of variation of extreme precipitation in the Yangtze River basin (a) trends (b) difference (between 1987–2004 and 1960–1986)

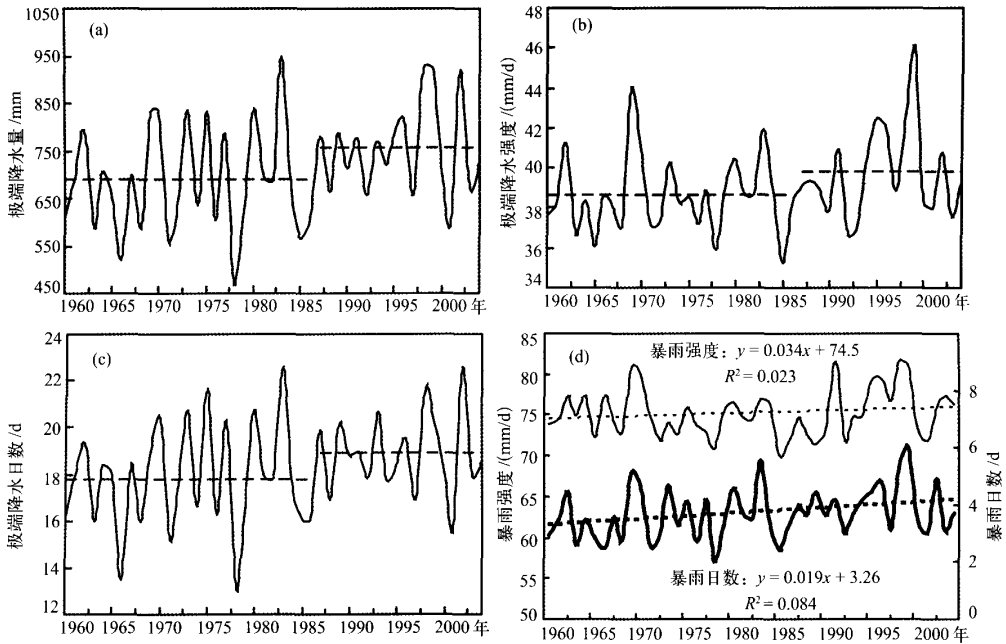


图 4 长江中下游极端强降水逐年变化 (a) 总量 (b) 强度 (c) 日数 (a, b, c 中虚线分别为 1960—1986 年, 1987—2004 年平均值) (d) 暴雨强度与日数线性趋势

Fig. 4 Variations of extreme precipitation (a) total amount (b) intensity (c) days (the dashed lines indicate average values for 1960-1986 and 1987-2004, respectively) (d) linear trends of intensity and days of torrential rain

数) 趋势分析揭示, 上游极端强降水年平均强度呈弱增长, 年降水日数呈微弱减少, 但均未达到显著标准。长江中下游极端强降水强度和频数则分别达到 95% 与 90% 显著水平的显著增长, 并同时以 1986 年为突变点显示出增长趋势。与图 2 极端降水总量逐年变化一致, 中下游极端强降水强度和频数也呈相似变化趋势, 在 20 世纪 80 年代中期以后发生了阶段性增长。1987—2004 年和 1960—1986 年相比, 极端降水总量、强度和降水日数分别增加了 65 mm, 1.2 mm/d 和 1.2 d (图 4a—4c)。由于 95% 分位点以上极端降水事件平均日数为 18.3 d, 长江中下游地区极端强降水事件平均强度 1987—2004 年比 1960—1986 年增加了 1.2 mm/d, 由平均强度增加带来的极端降水增加量约为 22 mm。长江中下游极端强降水总量的变化主要受到极端强降水日数变化的影响。尤其对 ≥ 50 mm/d 的暴雨极端降水事件而言, 45 a 来降水总量在 95% 显著水平上呈现了增加趋势, 1987—2004 年比 1960—1986 年增加了 44 mm。然而,

只有暴雨日数呈现显著的增长趋势, 而强度未呈现显著的变化 (图 4d)。

图 5 给出长江流域 45 a 极端强降水强度和降水日数的空间分布。由图可见, 上游和中下游分别有 12 个站极端强降水强度呈现显著增长趋势, 分别有 6 个和 3 个站呈现显著减弱趋势 (图 5a)。1987—2004 年与 1960—1986 年相比, 除北部与西北部极端强降水强度有所减弱, 长江流域绝大部分地区强度有所增强, 但变化幅度 < 1 mm/d。强度增加 2~4 mm/d 的地区主要分布在上游的岷沱江水系下游和乌江水系, 及中下游洞庭湖区和中游干流区间 (图 5b)。年极端强降水日数 (图 5c) 则与极端强降水总量 (图 3a) 显示同样的趋势, 仍然在流域东南和西南部分地区呈现了显著增长, 在上游中部嘉陵江水系、岷沱江水系、干流及乌江水系有 18 个站呈显著下降趋势。1987—2004 年与 1960—1986 年相比, 极端降水日数在长江流域东部及西部 (源头除外) 地区增加明显, 而在流域中部地区减少, 多数站点变化幅度为 1~2 d。

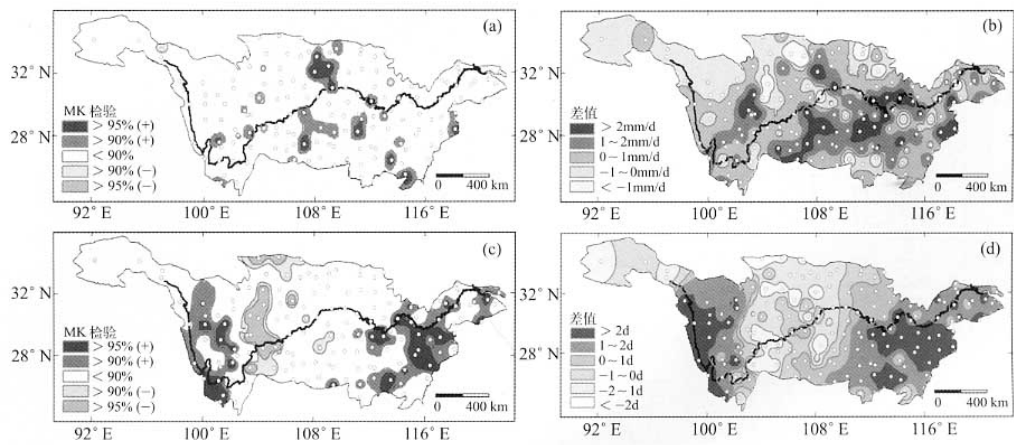


图5 长江流域极端强降水强度与日数变化空间分布 (a)强度MK趋势 (b)强度差 (c)日数MK趋势 (d)日数差 (差值指: 1987-2004 年与 1960-1986 年相比)

Fig. 5 Spatial variation of intensity and frequency of extreme precipitation (a) intensity MK trend (b) intensity difference (c) days MK trend (d) days difference (between 1987-2004 and 1960-1986)

在呈现显著增减趋势的地区, 强降水日数增加和减少超过 2 d (图 5d)。在上游金沙江水系降水日数显著增加的地区增加幅度平均为 3.2 d, 中下游的鄱阳湖和洞庭湖水系显著增加地区平均增加 3.1 d。

2.3 极端强降水的间隔时间

除强度和频数外, 事件的间隔时间也是极端强降水的重要特征, 它反映了极端降水集中发生的程度。由相邻极端事件间隔天数的统计显示, 长江流域极端强降水事件构成中, 60% 左右的事件常发生在间隔 1~10 d 内, 尤其集中于间隔 1~5 d 时间。随着间隔天数增加, 极端事件出现频率降低 (表 1)。研究表明 [5], 持续时间长、强度大、覆盖面广的暴雨是长江洪水最主要的致灾因子, 因而间隔 1~5 d 的极端强降水事件, 对流域洪涝灾害的发生起着极其重要的作用。运用 MK 方法对间隔 1~5 d 极端强降水事件进行趋势检验, 得到与年极端强降水日数的长期趋势相一致的结果。1960-2004 年长江流域上游间隔 1~5 d 的极端强降水有微弱减少, 而中下游则以 1986 年为突变点呈显著增多趋势, 突变后年极端强降水日数增加了 0.61 d, 占极端强降水日数总增量的 50%。在空间分布上, 间隔 1~5 d 的极端强降水日数呈正趋势和负趋势的地区与年极端强降水总

日数增减的地区 (图 5c) 也基本一致, 但其显著增加的范围略有缩小 (图略)。1987-2004 年与 1960-1986 年相比, 间隔 1~5 d 的极端强降水显著增长地区平均增加 2d 左右 (图略), 占极端强降水日数总增量的 60%, 说明长江流域极端强降水量的增加是极端强降水事件不断集中出现的结果。

表 1 长江流域不同时间间隔极端强降水频率分布 (%)
Table 1 Probability distribution of extreme precipitation with different time intervals (%)

区域	相邻极端降水间隔日数/d					
	1~5	6~10	11~15	16~20	21~25	26~30
上游	43.88	19.80	11.36	7.02	4.30	2.57
中下游	37.10	17.43	10.98	8.12	5.12	4.04
全流域	40.26	18.55	11.16	7.61	4.78	3.35

由表 2 可知, 长江流域极端强降水主要发生在 4-10 月的汛期, 11-3 月发生机率少。长江流域上游地区极端强降水出现在 5-9 月的频率为 86%, 而中下游极端强降水出现在 4-8 月的频率为 70%。通常, 长江流域上游极端强降水集中期迟于中下游, 有益于避免发生流域性的洪涝灾害。但是, 45 a 来长江流域极端强降水事件年内分布格局发生了改变。

表 2 长江流域极端强降水年内发生频率 (%)

Table 2 Intra-annual distribution of extreme precipitation (%)

区域	月 份											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
上游	0.16	0.23	1.06	4.65	10.9	18.6	22.4	19.7	14.9	5.77	1.45	0.19
中下游	1.60	2.72	6.38	11.6	14.6	17.2	14.5	11.9	8.33	6.15	3.84	1.14
全流域	0.93	1.56	3.89	8.35	12.9	17.9	18.2	15.6	11.4	5.97	2.72	0.69

1960—2004 年长江上游 6 月份出现极端强降水的观测站数量在显著增加, 而 9 月份站点数量显著减少。同期中下游夏季 6 月、7 月与 8 月出现极端强降水的测站数量显著增加, 尤以 6 月的增加趋势最为显著; 而在 9 月份站点显著减少 (图 6a)。因此, 长江流域上游与中下游极端降水都呈现了向 6 月份集中的共同趋势, 这不但使上游和中下游极端强降水峰值期不断接近, 也使峰值期峰度随之上升。按每 5d 统计的汛期极端强降水事件的频率分布图显示 (图 6b,c), 1960—1986 年上游极端强降水事件峰值出现在 7 月上旬后期, 中下游出现在 6 月下旬前期, 相差半个月以上 (图 6b), 而 1987—2004 年长江流域上游与中下游极端强降水的峰值出现时间相近, 都出现在 6 月下旬 (图 6c)。1960—1986 年长江流域上游和中下游 6 月份极端强降水事件频率分别占年总量的 18% 和 17%, 而 1987—2004 年 6 月份则均增加了 2%。

3 结 论

对长江流域 1960—2004 年间极端强降水量、强度、频数及其分布的趋势研究, 得到:

(1) 45 a 来, 极端强降水量、降水强度与日数在长江流域中下游地区呈现显著的增加趋势。1986 年是显著增加的突变点。长江中下游地区年平均极端强降水量、强度与日数 1987—2004 年比 1960—1986 年分别增长了 65 mm、1.2 mm/d 和 1.2 d。

(2) 长江流域极端强降水量变化的空间分布有明显的差异。显著增加的地区出现在长江流域东南部与西南部, 主要是中下游鄱阳湖与洞庭湖水系和上游的金沙江水系, 而长江上游中部以四川盆地

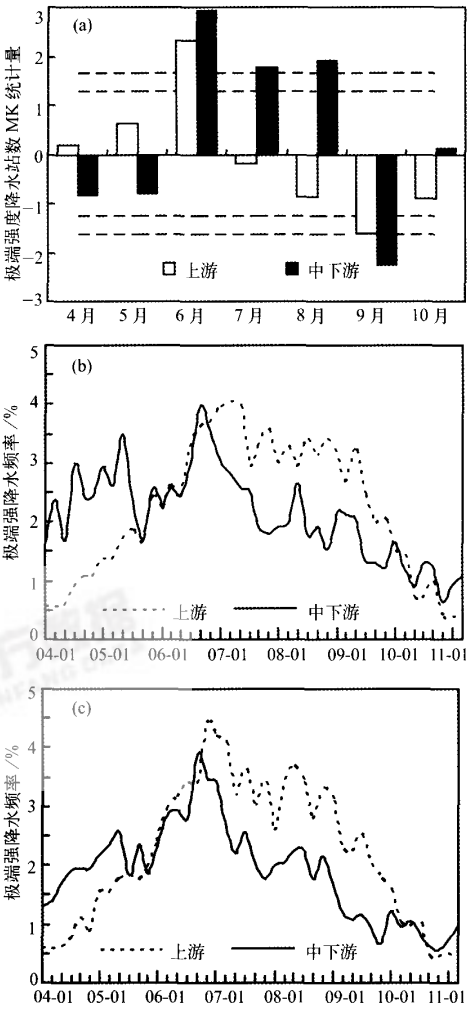


图 6 长江流域汛期极端强降水站数 MK 趋势 (a) 以及 1960—1986 年 (b) 和 1987—2004 年 (c) 降水频率

Fig. 6 The frequency variation of extreme precipitation from April to October (a) MK trend of observation station number (b) 1960-1986 and (c) 1987-2004 in the Yangtze River basin

中心出现了显著的下降区域；极端强降水强度的趋势尚未出现大面积的增减区域；极端强降水日数显著增加和减少的空间分布与极端强降水量的空间分布相一致。

(3) 20世纪80年代中期以来，长江流域极端强降水事件年内分布出现聚合趋势。中下游地区间隔1~5 d的极端强降水事件显著增加。上游及中下游极端强降水事件发生时间在6月份比较集中，全流域极端强降水事件峰值期更接近。这表明，长江流域产生遭遇性洪水的可能性正在增大。

近45 a来，长江流域地面年平均温度呈现显著增加趋势^[6]。在未来全球气候变暖背景下的极端强降水事件时空变化趋势及其对流域洪水灾害的影响亟待进行深入研究。■

致谢：感谢中国气象局国家气象信息中心提供了研究所需的气象数据。

参考文献

- [1] Plummer N, Salinger M J, Nicholis N, *et al.* Changes in climate extremes over the Australian region and New Zealand during the twentieth centuries [J]. *Climate Change*, 1999, 42: 183-202.
- [2] IPCC. *Climate Change 2001: The Scientific Basis* [M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2001: 1-785.
- [3] IPCC. *Climate Changes 1995: The Science of Climate Change* [M]. New York: Cambridge University Press, 1996: 141-193.
- [4] Kendall M G. *Rank Correlation Methods* [M]. London: Griffin, 1975.
- [5] 水利部长江水利委员会水文局. 长江流域水旱灾害 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002: 1-11.
- [6] 姜彤, 苏布达, 王艳君, 等. 四十年来长江流域气温、降水与径流变化趋势. *气候变化研究进展*, 2005, 1 (2): 65-68.

Observed Trends of Precipitation Extremes in the Yangtze River Basin during 1960 to 2004

SU Buda^{1,2}, JIANG Tong¹, REN Guoyu², CHEN Zhenghong³

(1 *Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing Jiangsu 210008, China*; 2 *Laboratory for Climate Studies, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China*; 3 *Wuhan Regional Climate Center, Wuhan Hubei 430074, China*)

Abstract: Recent trends of amount, intensity and frequency of extreme precipitation for the Yangtze River basin are analyzed in this paper. Since mid-1980s, extreme precipitation amount in the Yangtze River basin has significantly increased. The most significant increase occurred in the middle and lower reaches of the Yangtze River. Summer witnessed the most remarkable increase in extreme precipitation amount. Both intensity and frequency of extreme precipitation events have contributed to the rising of the extreme precipitation amount, but the increase of frequency contributes more to the positive trend of precipitation amount than the intensity. The average intervals between two extreme precipitation events have been shortened. It is also interesting to note that the intra-annual distribution of extreme precipitation events in the upper reaches has changed, and the maximum frequency is more likely to occur in June rather than in July. This makes the intra-annual distribution of extreme precipitation events in the upper reaches more like that in the middle and lower reaches, and it might have also increased the risk of larger floods in the middle and lower reaches of the Yangtze River.

Key words: extreme precipitation events; spatial and temporal distribution; climate change; the Yangtze River basin