

1990s 长江流域降水趋势分析*

苏布达^{1,3} 姜 彤¹ 施雅风¹ Stefan BECKER² Marco GEMMER²

(1: 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008;

2: *Department of Geography, Justus Liebig University, Giessen, Germany*; 3 : 中国科学院研究生院, 北京 100039)

提 要 依据国家气象局提供的实测月降水和日降水资料, 运用 Mann-Kendall (M-K) 非参数检验法验证了降水趋势, 并通过空间插补法, 由点扩展到面, 分析了 1990s 长江流域降水变化特征, 发现 1990s 长江流域降水变化以降水在时间和空间分布上的集中度的增加为主要特点: 时间上, 年降水的增加趋势以冬季 1 月和夏季 6 月降水的集中增加为主; 一日降水量大于等于 50mm 的暴雨日和暴雨量在 1990s 也有了较明显的增加. 空间上, 年降水、夏季降水、冬季降水的增加都以中下游区的增加为主, 尤其以鄱阳湖水系、洞庭湖水系的降水增加为主. 1990s 长江流域春季和秋季降水的减少以 5 月和 9 月两个汛期月份的降水减少为主, 除金沙江水系和洞庭湖水系等少数地区外, 流域大部分地区降水呈减少趋势. 上述 1990s 出现的降水趋势明显与近年来全球变暖背景下长江流域各地区不同的温度及水循环变异有关.

关键词 长江流域 降水 趋势分析 1990s

分类号 P426.6

20 世纪 90 年代是继 50 年代后, 长江流域洪水灾害高发的年代. 这不仅与各种人为活动的直接和间接影响, 如上游水土流失、中游河床抬高、下游湖泊湿地面积减少等有关, 更重要的是与流域来水条件密切相关. 1990 年以来发生的 6 次大洪水事件使 1990s 成为近 1000 年长江流域有记录事件中洪水发生频率最高的年代之一^[1]. 国内学者^[2-5]从不同角度对 1990s 长江洪水的成因机制和降水条件的研究, 认为长江流域中下游频繁发生的洪水事件同夏季降水有关, 而长江流域中下游区夏季降水呈增加的趋势. 本文从全流域范围, 通过分析 1951-2000 年 51 个站点逐月降水量和 30 个站点逐日降水量特点, 发现长江流域降水的时空分布和降水强度在 1990s 呈现较明显的地域性变化趋势.

1 资料和分析方法

研究选取国家气象局提供的 51 个通过降水数据合理性检验的站点. 其中, 24 个站点位于上游、27 个站点位于中下游, 空间分布均匀. 鉴于实测资料的完整、连贯性, 文中采用了各站 1951 年 1 月至 2000 年 12 月逐月降水数据. 在分析暴雨时空分布时, 重点选取资料详尽的 30 个站点的 1951 年 1 月至 2000 年 12 月逐日降水数据. 其中, 12 个站点位于上游、18 个站点位于中下游.

研究方法上, 本文主要采用了 Mann-Kendall (M-K) 趋势分析检验法^[6]和空间内插方法.

*中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX3-SW-331), 中国科学院南京地理与湖泊研究所知识创新工程所长专项基金 (S220007), 国家自然科学基金项目 (40271112) 联合资助.

2003-07-15 收稿; 2003-12-10 收修改稿. 苏布达, 女, 1972 年生, 博士研究生, email:sbd@niglas.ac.cn.

M-K 法是用来评估气候要素时间序列趋势的检验方法. M-K 统计量 z 计算公式分别在 s 大于、等于、小于零时为

$$z = \begin{cases} (s-1) / \sqrt{\text{var}(s)} & s > 0 \\ 0 & s = 0 \\ (s+1) / \sqrt{\text{var}(s)} & s < 0 \end{cases}$$

其中, 检验统计量 s 值的推算公式为:

$$s = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sign}(x_i - x_j) \begin{cases} \text{sign}(x_i - x_j) = -1 & x_i - x_j < 0 \\ \text{sign}(x_i - x_j) = 0 & x_i - x_j = 0 \\ \text{sign}(x_i - x_j) = 1 & x_i - x_j > 0 \end{cases}$$

z 的绝对值在大于等于 1.28、1.64、2.32 时分别表示通过了信度 90%、95%、99% 显著性检验.

降水分布图由空间内插方法绘制. 选取 IDW 反距离加权法, 根据相邻样点的空间相似性原理, 从点创建面来测定了每个位置的数值. IDW 通过对每个单元附近的采样点计算平均值来估计单元的值. 采样点距离被估计的单元中心越近, 影响越大, 离采样位置越远, 值越小. 计算公式是:

$$f(x,y) = \sum_{i=1}^n w_i f_i$$

其中, 距离权重值为

$$w_i = h_i^{-p} / \sum_{j=1}^n h_j^{-p}$$

公式中的 h 值是样本点和未采样点之间的距离. 本文为未采样点贡献最大的邻近站点数 i 和距离的幂级 p 分别设置成 6 和 3.

2 降水时空分布变化趋势

长江流域面积广大, 流域内地形、植被、城市化水平等下垫面条件复杂多样, 流域各处所受天气系统影响也不同, 因此长江流域年际和年内的降水有明显的区域差异.

表 1 给出流域上游、中下游和全流域根据 1951 年以来的月降水数据计算的 M-K 检验年、季、月降水正向、负向变化趋势统计量结果. 表中数据表明: 年降水在中下游地区和全流域呈微上升趋势, 但不具显著意义, 而在上游地区呈显著的负趋势. 从季节降水变化来看, 长江中下游区与全流域的季节降水变化趋势相同, 在夏季和冬季呈显著的正趋势, 在春季和秋季呈减少趋势, 但只有春季降水呈显著的负趋势; 上游地区, 冬季降水呈增长趋势, 但不具有显著意义. 在春季、夏季和秋季降水减少趋势中, 只有秋季降水具有显著意义. 具体到月份, 全流域各有 6 个月呈正和负趋势, 但只有 1 月和 6 月呈显著增加趋势, 5 月和 9

月呈显著减少趋势；中下游地区也各有 6 个月呈正和负趋势，其中 1 月和夏季的 6 月、7 月、8 月呈显著增加趋势，仅有 5 月一个月份呈显著减少趋势；上游地区有 5 个月份的降水呈增加趋势，7 个月份的降水呈减少趋势，其中只有 1 月是降水显著增加月份，10 月是降水显著减少月份。

表 1 长江流域降水趋势 M-K 法检验统计量

Tab.1 M-K statistics on precipitation trends in the Yangtze River catchment

时段	春季	夏季	秋季	冬季	年均							
全流域	-1.69**	1.7**	-0.88	1.55**	0.17							
中下游	-1.74**	2.21**	-0.58	1.33*	0.92							
上游	-0.51	-0.43	-1.94**	0.73	-1.34*							
时段	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月
全流域	0.81	-0.66	-1.93**	1.77**	0.96	0.25	-1.64**	0.32	-0.24	-0.6	2.39***	-0.02
中下游	0.82	-0.77	-1.89**	1.91**	1.36*	1.31*	-1.12	0.57	-0.16	-0.3	2.31**	-0.28
上游	0.41	-0.57	-0.64	0.53	-0.31	-1.1	-0.92	-1.61*	0.21	-1.03	2.05**	0.22

*表示通过 90%置信度检验；**表示通过 95%置信度检验；***表示通过 99%置信度检验

2.1 1990s 年平均降水的变化趋势

长江流域逐年降水在过去的 50a 中呈波动型变化，没有显著的趋势。但是其 10a 际变化却很明显。计算逐年降水距平百分率后取平均值所得的 1951-2000 年年代际均值和 1981-1990 年与 1991-2000 年降水分别同 1951-1980 年降水的距平比较如表 2 所示。表中数据清楚的表明：上游地区在 1951-1990 年降水呈明显的下降趋势，但进入 1990s 以后，降水基本保持在 1980s 水平；中下游区和全流域降水自 1980s 起都显示了增加趋势，尤其在中下游区变化突出。1990s 是近 50a 中下游降水最多年代，1990s 降水在 1980s 降水增加的趋势（大于 1951-1980 平均值 10mm 多）上又有提高，多出 1951-1980 平均值 60mm。

表 2 长江流域降水年代际距平

Tab.2 Yearly precipitation anomalies in decadal scale in the Yangtze River catchment

区域	降水距平百分率 (%)					距平 (mm)	
时段	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	1980s	1990s
上游	1.91	1.9	-0.43	-1.69	-1.69	-27.6	-27.5
中下游年	1.44	-2.23	-2.54	-0.28	3.61	10.6	60.3
全流域年	1.63	-0.56	-1.69	-0.85	1.47	-7.4	19

根据 M-K 检验，长江流域 51 站点中，年降水呈增长趋势的有 57%，这些站点主要分布在不包括汉江水系的长江中下游区和上游金沙江水系。其中增长趋势显著的站点占全站总数的 8%，分布在洞庭湖湖区及金沙江水系丽江地区；呈减少趋势的站点有 43%，这些站点主要分布在不包括金沙江水系的长江上游地区和中游汉江水系。其中减少趋势显著的站点占全站总数的 18%，分布在嘉陵江水系、汉江水系上游及乌江水系上游。

图 1 和图 2 别是 1951-1990 年和 1990s 两个时期年均降水量等值线分布图。全流域

1990s 年平均降水比前期 1951-1990 年年平均降水约增加了 20 mm, 中下游区增加幅度要大一些, 平均增加了 58 mm, 而上游则下降了约 22 mm. 从两个图的比较可知: 1951-1990 年期间的降水量少于 1000 mm 地区面积有所扩大, 嘉陵江水系上游、汉江水系上游和中游等低值区的降水在后 10 年有了进一步下降; 而降水高值区-中下游地区降水有了进一步上升, 尤其在鄱阳湖水系、洞庭湖水系降水增加最明显. 降水距平在嘉陵江水系上游、汉江水系上游及上游干流区间宜宾地区达到负最高值, 超过 -200mm. 在洞庭湖湖区和鄱阳湖湖区达到正最高值, 超过 200mm.

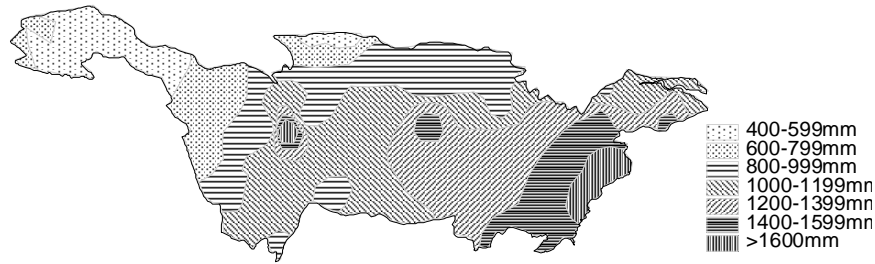


图 1 长江流域 1951-1990 年平均降水等值线

Fig.1 The 1951-1990 mean precipitation isolines

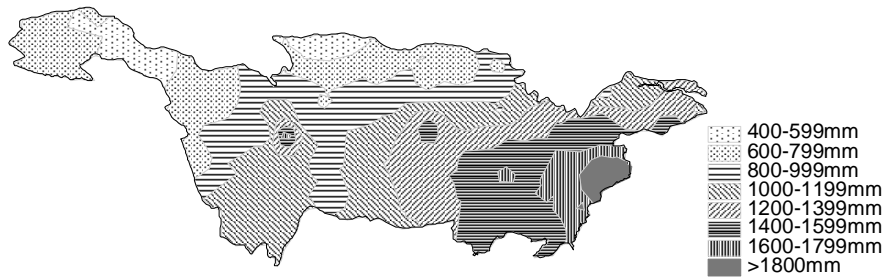


图 2 长江流域 1991-2000 年平均降水等值线

Fig.2 The 1991-2000 mean precipitation isolines

2.2 1990s 降水季节变化趋势

长江流域降水季节分配特征是夏季降水最多, 占全年降水的 43.6%; 其次是春季降水占 27.7%; 第三是秋季降水占 20%; 降水最少的冬季降水只占 8.7%. 1990s 各季降水位次没有变化, 但是所占比例较前 40a 起了一定的改观: 春季和秋季降水比重分别下降了 1.2% 和 2.8%, 而夏季和冬季降水比重上升了 0.7% 和 3.4%.

表 3 春季各年代降水距平对比数据表明, 长江流域春季降水呈波动性变化趋势, 1960s, 1980s 和 1990s 是其三个少雨时期. 上游地区自 1980s 起一直呈下降趋势, 中下游区和全流域自 1980s 起呈下降趋势, 进入 1990s 后略有回升. 1990s 比前期 1951-1990 的平均春季降水距平在上游、中下游及全流域都显示了微减少趋势, 减少幅度均不到 10mm.

长江流域春季降水呈增长趋势的站点占 24%, 其中增长趋势显著的站点占全站总数的 12%, 集中分布在上游金沙江水系; 流域其它地区大致呈减少趋势, 呈减少趋势的站点有 76%. 其中减少趋势显著的站点占全站总数的 30%, 主要分布于洞庭湖水系、嘉陵江水系中

游、岷江水系中游、汉江水系中游地区。

从春季降水距平分布图(图 3a)看出,距平 0 mm 等值线大致位于金沙江水系与岷沱江水系、乌江水系的分界线.此线以西降水距平为正,降水距平大多在 0-15mm.在金沙江水系中游地区降水增加幅度大于 15 mm,在德钦和大理达到正趋势最大值 50mm;界线以东除了鄱阳湖水系、中游干流区间下游地区外的流域大部分地区距平为负,减少幅度多在 15 mm 以内.在汉江水系中游、上游干流区间下游地区、乌江水系减少幅度超过 30 mm,在乌江水系贵阳地区负距平最大值超过-60 mm.

表 3 长江流域春季降水年代际距平

Tab.3 Spring precipitation anomalies in decadal scale in the Yangtze River catchment

时段	降水距平百分率 (%)					距平 (mm)
	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	
时段	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	1990s
上游	1.22	-1.58	6.62	-2.98	-3.29	-8
中下游	7.65	-0.99	1.47	-6.45	-1.67	-9
全流域	5.85	-1.16	2.91	-5.47	-2.12	-8

表 4 中夏季各年代降水距平对比数据表明,全流域和上游地区夏季降水自 1980s,中下游区自 1970s 开始有了上升趋势.上游地区上升幅度最少,1990s 比前期降水只增加了 5 mm,而中下游区幅度很大,增加了 85 mm,因此,尽管在 1951-1990 年间上游地区夏季降水多于中下游区 45 mm,在 1990s,却小于中下游 25mm 以上.

夏季降水呈增长趋势的站点有 67%,这些站点集中分布在中下游地区.其中增长趋势显著的站点占全站总数的 18%,主要分布在鄱阳湖、洞庭湖、太湖三大水系;呈减少趋势的站点有 33%,分布于上游地区.其中减少趋势显著的站点占全站总数的 12%,主要分布于嘉陵江水系中游、汉江水系上游.

表 4 长江流域夏季降水年代际距平

Tab.4 Summer precipitation anomalies in decadal scale in the Yangtze River catchment

时段	降水距平百分率 (%)					距平 (mm)
	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	
时段	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	1990s
上游	3.99	1.26	-4.98	-1.07	0.8	5.1
中下游	-0.35	-5.34	-5.02	-3.6	14.3	85.6
全流域	1.78	-2.11	-5	-2.37	7.7	47.7

从夏季降水距平分布图(图 3b)看出,距平小于 0 mm 的地区主要有长江源区、岷沱江水系、嘉陵江水系、汉江水系上游.负距平在嘉陵江水系中上游和岷沱江水系超过-40 mm,最高值在嘉陵江水系绵阳地区达到-150 mm 以上;流域其它地区大致都呈正距平,在洞庭湖水系和中游干流区间以东降水距平大于 40mm,在鄱阳湖水系大部和太湖水系达到 120 mm 以上,最大值在鄱阳湖水系贵溪及南昌地区为 230mm 以上.

表 5 中秋季各年代降水距平对比数据表明,上游地区自 1970s,全流域和中下游地区自 1990s 起呈减少趋势.中下游地区 1990s 较前期减少了 33mm,幅度比上游地区多出

10mm. 1990s 是长江秋季降水最少时期.

秋季呈增长趋势的站点有 33%, 这些站点主要集中分布在金沙江水系和中游干流区间. 其中呈显著增长趋势的站点只占全站总数的 2%, 出现在金沙江水系丽江地区; 流域其它地区降水呈减少趋势, 呈减少趋势的站点有 67%. 其中呈显著减少趋势的站点占全站总数的 30%, 分布于太湖水系、上游干流区间、乌江水系、汉江水系上游、嘉陵江水系上游和下游.

从秋季降水距平分布图 (图 3c) 看出, 只有在金沙江水系和洞庭湖水系降水呈正值. 而且增加幅度较少, 大部分在 15mm 以内, 最大降水正距平出现在洞庭湖水系支流-湘江长沙地区和金沙江水系会理地区, 为 30mm; 流域其它地区降水距平为负值. 其中, 岷沱江水系、乌江水系、洞庭湖水系、中游干流区间下降幅度在 0-30mm. 在汉江水系中上游、下游干流区间下游地区、太湖水系下降幅度在 45mm 以上, 距平最大值在太湖水系杭州地区达到 -100 mm 以上.

表 5 长江流域秋季降水年代际距平

Tab.5 Autumn precipitation anomalies in decadal scale in the Yangtze River catchment

时段	降水距平百分率 (%)					距平 (mm)
时段	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	1990s
上游	-1.83	7.02	5.46	-2.56	-8.09	-23.3
中下游	-9.8	7.58	-3.82	17.9	-11.9	-33.4
全流域	-6	7.31	0.61	8.16	-10.1	-28.6

表 6 中各年代冬季降水距平对比数据表明, 上游地区自 1980s, 全流域及中下游区自 1970s 呈上升趋势, 1990s 是长江冬季降水最多的时期. 中下游地区的增幅最大, 1990s 较前期增加了 14mm.

冬季长江流域大部分地区降水呈上升趋势. 呈增长趋势的站点有 71%. 其中增长趋势显著的站点占全站总数的 12%, 出现在洞庭湖湖区和鄱阳湖水系支流-赣江上中游; 呈减少趋势的站点有 29%. 其中减少趋势显著的站点占全站总数的 6%, 出现在金沙江水系、汉江水系、干流宜宾地区.

表 6 长江流域冬季降水年代际距平

Tab.6 Winter precipitation anomalies in decadal scale in the Yangtze River catchment

时段	降水距平百分率 (%)					距平 (mm)
时段	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	1990s
上游	0.4	-2.3	-7.64	1.44	9.93	5.2
中下游	6.31	-10.6	-4.21	0.7	7.81	14.4
全流域	5.01	-8.96	-4.99	0.78	8.17	10.1

从冬季降水距平分布图 (图 3d) 看出, 只有在金沙江水系中游区、岷沱江水系中下游、汉江水系中游区降水距平为负, 而且下降幅度少, 除了在汉江水系南阳地区达到 18mm 外, 其他地区都在 10 mm 以内; 流域其它地区降水距平为正, 在大部分地区幅度仍在 10 mm 以内, 只有在中下游洞庭湖水系、鄱阳湖水系和中游干流区间有幅度大于 10mm 的集中分布区,

降水正距平最大值在洞庭湖水系支流-湘江上游地区, 达到 50mm 以上。

2.3 1990s 变化显著月份的降水趋势

长江流域冬季降水增加以 1 月份的降水增加为主, 1 月占全年降水的比重从 1951-1990 年的 2.6% 上升到 1990s 的 3.5%, 距平为 12.21 mm; 春季降水减少以 5 月份的降水减少为主, 5 月降水占全年降水的比重从 1951-1990 年的 12.6% 下降到 1990s 的 11.2%, 距平为 -13.2 mm;

夏季降水增加以 6 月份的降水增加为主, 6 月降水占全年降水的比重从 1951-1990 年的 15.2% 上升到 1990s 的 16.9%, 距平为 22.2 mm; 秋季降水减少以 9 月份的降水减少为主, 9 月降水占全年降水的比重从 1951-1990 年的 9.9% 下降到 1990s 的 7.8%, 距平为 -21.91 mm。

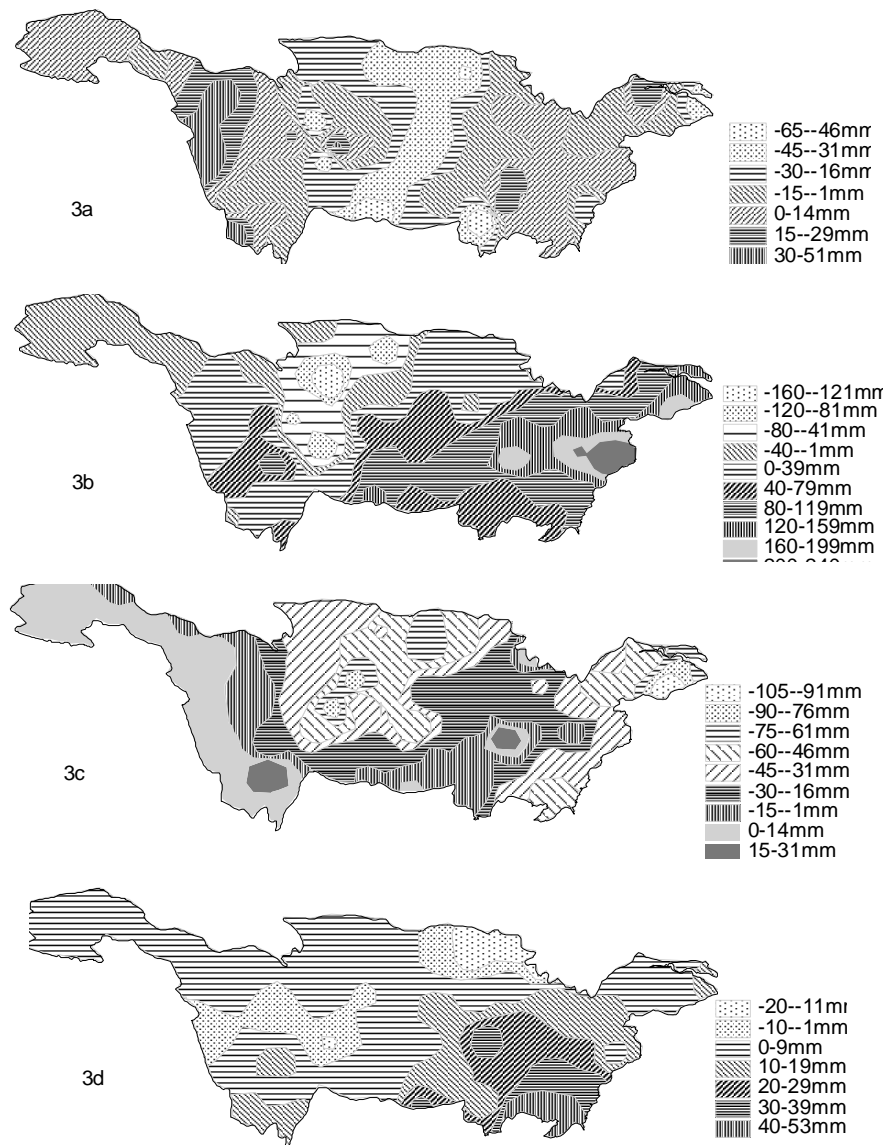


图3 春(a)、夏季(b)、秋季(c)、冬(d)季降水距平

Fig. The precipitation anomalies in summer (b), spring (a), autumn(c) and winter (d)

1月长江流域呈减少趋势的站点只有15.7%，位于上游金沙江水系通天河段、德钦地区及中游汉江水系南阳地区。其中减少趋势显著的站点只占全站总数的2%；流域其它地区以增加趋势为主，呈增长趋势的站点有84.3%，其中增长趋势显著的占全站总数的52.9%，位于中下游地区和金沙江水系中游、嘉陵江水系上游、岷沱江水系。

1月降水（图略）在汉江水系中上游、岷沱江水系、嘉陵江水系呈负距平，但幅度小，大多在0-3mm，在汉江水系南阳地区达负距平最大值-5mm；降水呈上升的地区中，除上述两个地区以外的上游地区，距平在0-10mm，在中游干流区、上游干流区、洞庭湖水系上中游、鄱阳湖水系上中游距平在10-30mm，在洞庭湖水系湖区、鄱阳湖水系湖区和太湖水系距平超过30mm，在鄱阳湖水系南昌地区距平最大值达46mm。

5月长江流域呈增长趋势的站点有16%，位于金沙江水系中下游、汉江水系。没有增长趋势显著的地区；流域其它大部分地区降水呈下降趋势，呈减少趋势的站点有69%。其中减少趋势显著的站点占全站总数的14%，位于鄱阳湖水系湖区、洞庭湖水系湖区、岷江水系中游、嘉陵江水系中游、长江三角洲。

5月降水（图略）只有在金沙江水系中下游、汉江水系距平为正，增加幅度多在0-15mm，降水正距平最大值出现在金沙江水系德钦地区，约25mm；流域其它地区降水距平为负，大多数地区幅度在10-20mm。在岷沱江水系中游、乌江水系上游距平幅度在20-30mm，在鄱阳湖水系和太湖水系达30-50mm，最大值在鄱阳湖水系广昌地区达-74mm。

6月长江流域呈减少趋势的站点有31%，大致分布在金沙江水系和中游干流区间。其中减少趋势显著的站点只占全站总数的4%；流域其它大部分地区降水呈上升趋势，呈增长趋势的站点有69%。其中增长趋势显著的站点占全站总数的27.5%，位于洞庭湖水系湖区及其支流-沅水中下游、嘉陵江水系上游和下游、汉江水系上中游、下游干流区间。

6月降水（图略）只有在金沙江水系下游、乌江水系上游、嘉陵江水系上游距平为负，下降幅度多在10-40mm，降水负距平最大值出现在金沙江水系会理地区，约-50mm。流域其它地区降水距平为正，降水距平自西向东阶梯式增长：金沙江水系上游和岷沱江水系降水增长幅度在0-10mm，乌江水系中下游、上游干流区间、汉江水系、鄱阳湖水系上游、洞庭湖水系上游降水距平在10-30mm，洞庭湖水系下游、中游干流区在30-50mm，在鄱阳湖水系、下游干流区、太湖水系达50-100mm，距平最大值出现在鄱阳湖贵溪地区，达140mm。

9月长江流域呈增长趋势的站点有25.5%，位于金沙江水系下游、洞庭湖水系。其中增长趋势显著的站点占全站总数的7.8%，出现在洞庭湖水系支流-湘江中游、金沙江水系云南省丽江、德钦地区；流域其它地区以减少趋势为主，呈减少趋势的站点有74.5%。其中减少趋势显著的站点占全站总数的31.4%，出现在嘉陵江水系上游和下游、下游干流区、太湖水系、鄱阳湖水系湖区。

9月降水（图略）只有在金沙江水系上游和下游、洞庭湖水系距平为正，幅度大多在0-20mm，距平最大值出现在洞庭湖水系长沙地区，达45mm；其它地区以负距平为主。其中，-20mm-0mm值区在金沙江水系中游、乌江水系及中游干流区，-40mm至20mm值区在上游干流区、嘉陵江水系、汉江水系下游、鄱阳湖水系，-60mm至40mm值区在汉江水系中上游、下游干流区，在太湖水系距平大于-60mm，最大值在杭州地区，达-87mm。

2.4 1990s 暴雨日数和暴雨量的变化趋势

根据流域内30个站点1951年1月1日至2000年12月31日逐日降水资料统计的暴

雨日数和暴雨量资料显示了 1990s 长江流域降水强度的增加趋势。

长江流域暴雨日数变化趋势 M-K 检验表明, 1951 年以来, 有 6 站点 (占 20%) 暴雨日数呈减少的趋势, 主要分布在岷沱江水系、嘉陵江水系、乌江水系中游和汉江水系上游地区; 流域其它地区呈增加趋势, 共有 24 站点 (占 80%)。从暴雨日数 1990s 比 1951-1990 年距平空间分布图 (见图 4) 看出: 在 0 等值线西北方, 暴雨日数距平为负; 东南方, 距平为正。其中, 在岷沱江水系、乌江水系中游、汉江水系上游负距平超过 0.5 天。在金沙江水系下游区、洞庭湖水系、鄱阳湖水系、太湖水系、下游干流区间正距平超过 0.5 天, 正距平最大值出现在鄱阳湖水系湖区和中游干流区间下游区, 达 1.5 天以上。流域平均年暴雨日数从 1951-1990 年间的 3.2 天增加到 1990s 的 3.8 天。

长江流域暴雨量变化趋势 M-K 检验表明, 1951 年以来, 有 5 站点 (占 16.7%) 暴雨量呈减少的趋势, 主要分布在岷沱江水系、汉江水系下游和下游干流区间; 流域其它地区呈增加趋势, 共有 25 站点 (占 83.3%)。从暴雨量 1990s 比 1951-1990 年距平空间分布 (见图 5) 看出, 在 0 等值线围区——岷沱江水系、乌江水系上游、中游干流区下游、鄱阳湖水系赣江上游、下游干流区等地区暴雨量呈负距平。其中, 在岷沱江水系距平超过 -60mm, 在下游干流区达到 -100mm; 流域其它地区暴雨量正距平大多超过 40mm, 尤其在金沙江水系下游区和汉江水系上游地区距平达到 120mm。流域平均年暴雨量从 1951-1990 年间的 64.7mm 增加到 1990s 的 66.7mm。

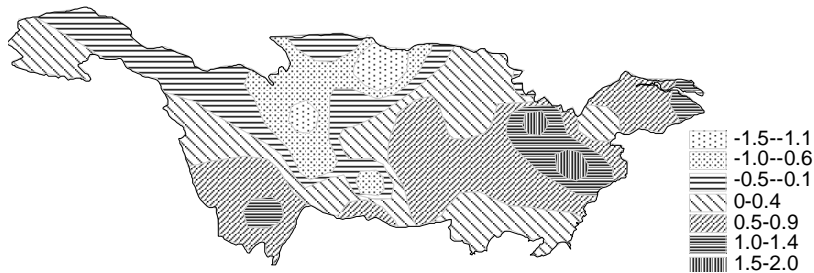


图 4 长江流域 1990s 比 1951-1990 暴雨日数(天)距平

Fig.4 Anomalies of days with rainstorm

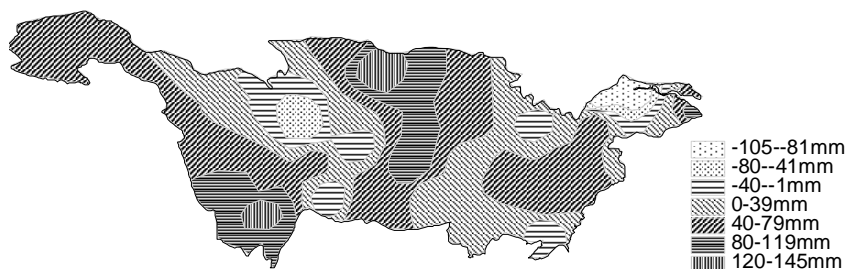


图 5 长江流域 1990s 比 1951-1990 暴雨量距平

Fig.5 Anomalies of magnitudes of rainstorm

3 结论

通过长江流域年、月、日降水的分析得出:

1990s 长江流域全流域年降水呈微增加趋势, 但地区差异大: 上游地区降水呈下降趋势, 而中下游地区降水呈上升趋势。

1990s 长江流域降水季节变化突出: 夏季和冬季降水增加, 春季和秋季降水减少. 使 1990s 成为近 50a 长江流域夏季和冬季降水最多, 秋季降水最少时期; 由于上游和中下游地区不同的变化趋势和幅度, 使 1990s 成为上游地区冬季降水最多, 春季和秋季降水最少时期; 又是中下游地区夏季和冬季降水最多, 秋季降水最少时期。

1990s 长江流域冬季和夏季降水的增加主要归因于 1 月和 6 月降水的集中增加: 冬季降水距平为 10.1mm, 1 月降水距平为 12.2mm. 降水增加区在除岷沱江水系、嘉陵江水系和汉江水系以外的地区; 夏季降水距平为 47.7mm, 6 月降水距平为 22.2mm. 降水增加区在除金沙江水系下游、乌江水系上游、嘉陵江水系上游以外的地区. 春季和秋季降水的减少主要归因于 5 月和 9 月降水的下降: 春季降水距平为-8mm, 5 月降水距平为-13.2mm. 降水减少区在除金沙江水系中下游、汉江水系以外的地区; 秋季降水距平为-28.6mm, 9 月降水距平为-21.9mm. 降水减少区在除金沙江水系上游和下游、洞庭湖水系以外的地区。

1990s 长江流域降水极端事件发生的频率和强度在加大: 1990s 较前 40 年的暴雨日数和暴雨量都有所提高, 分别从平均 3.2d/a 增加到 3.8d/a 和 64.7mm/a 增加到 66.7mm/a. 暴雨日数主要在中下游区、暴雨量主要在除下游干流区和岷沱江水系以外的地区呈增加趋势。

长江流域自 1990s 出现的降水量增加, 大降水暴雨极端事件的增加的趋势, 其物理机制可能是与全球变暖引起的水循环加快, 近海海温 (SST) 异常引起的东亚夏季季风变异、太阳活动强弱周期性变化、青藏高原热力条件改变等^[1] 有关. 这可能就是长江流域近年洪水灾害频繁发生的原因. 长江流域降水趋势变化将对区域水资源分配带来很多影响. 对导致长江流域降水变化的复杂物理机制和降水变化的可能影响, 都有待进一步的深入研究。

致谢 中国气象局气候中心资料室提供了研究所需的气象观测数据. 国家气候中心罗勇研究员对此项研究给予了热情的帮助, 一并感谢。

参 考 文 献

- 1 姜彤, 施雅风. 全球变暖、长江水灾与可能损失. 地球科学进展, 2003, 18 (2): 277-284
- 2 李吉顺, 王昂生, 陈家田. 90 年代局地气候变化与长江流域水旱灾害. 中国减灾, 2000, 10 (3): 29-37
- 3 龚道益, 王绍武, 朱锦红. 1990 年代长江中下游地区多雨的机制分析. 地理学报, 2000, 55 (5): 567-575
- 4 任国玉, 吴虹, 陈正洪. 我国降水变化趋势的空间特征. 应用气象学报, 2000, 3
- 5 陈辉, 施能, 王永波. 长江中下游气候的长期变化及基本特征. 气象科学, 2001, 21 (1)
- 6 Claudia Libiseller. A program of multivariate and partial Mann-Kendall test. 2002

Analysis of Precipitation Trends in 1990s in the Yangtze River Catchment

SU Buda^{1,3}, JIANG Tong¹, SHI Yafeng¹,
Stefan BECKER² & Marco GEMMER²

(1: Nanjing institute of Geography and Limnology, CAS, Nanjing 210008, P.R.China; 2: Department of Geography, Justus Liebig University, Giessen, Germany; 3: Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, P.R.China)

Abstract

Applying with Mann-Kendall statistical method and IDW interpolation method, the precipitation trends in 1990s in the Yangtze River catchment were analysed based on the monthly and daily precipitation data provided by National Meteorology Administration of China. The results show: (1) The precipitation trends in the Yangtze River catchment are characterized by concentration on temporal and spatial distribution. Precipitation increases in January (winter) and in June (summer) contribute most to yearly precipitation increment; days with rainstorm and magnitude of rainstorm are increased evidently in 1990s compared with time period 1951-1990; the yearly, summer and winter precipitation trends are positive in most part of the middle and lower reaches of Yangtze River, especially in Poyang Lake basin and Dongting Lake basin. (2) Precipitation decreases in May and in September contribute most to spring precipitation decrement and autumn precipitation decrement, except for regions in Jinshajiang River basin and Dongting Lake basin; the precipitation in spring and autumn in the whole catchment shows negative trends in 1990s approximately.

Keywords: Yangtze River catchment, precipitation, trend analysis, 1990s