

文章编号: 0375-5444 (2000) 05-0567-09

# 1990 年代长江中下游地区多雨的机制分析

龚道溢<sup>1</sup>, 王绍武<sup>2</sup>, 朱锦红<sup>2</sup>

(1. 北京师范大学资源科学研究所 环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875;  
2. 北京大学地球物理系, 北京 100871)

**摘要:** 对长江中下游地区 32 个测站 1951 以来的降水记录以及上海、南京等 6 个站 120 年降水序列的分析表明, 1990 年代是长江中下游地区近百年来降水最多的 10 年。降水的偏多导致洪涝发生的频率及强度都加强。最近 120 年中 12 次异常多雨的年份, 出现在 1990 年代的就有 4 次。1951 年以来的 6 个异常多雨夏季个例的合成分析表明, 与洪涝直接相联系的大气环流形式是在江南有偏强的向北经向风及水汽输送异常, 而在华北及偏北地区有异常的向南经向风异常, 在长江中下游地区的辐合造成降水的异常偏多。1990 年代北方地区偏强的向南经向风异常可能是造成长江中下游地区降水偏多的主要原因。模式模拟及历史气候变化的事实都说明在气候偏暖的时候, 长江中下游地区容易出现过量降水形成洪涝。

**关键词:** 夏季降水; 长江中下游; 大气环流; 全球变暖

**中图分类号:** P467      **文献标识码:** A

长江中下游地区在 1990 年代多次发生严重洪涝灾害, 虽然造成洪涝灾害的原因是多方面的, 如森林的砍伐及沿江低地农业活动的加强等, 但是最直接的决定性因素还是夏季降水的持续异常偏多。图 1 是 1990~1999 年夏季降水距平的平均情况, 可见长江中下游地区 1990 年代大部分地区降水比正常情况要偏多, 不过其中心稍微偏南。中心地区大体上偏多达 100~200 mm, 这大约相当于夏季多年平均值的 20%~30%。

利用尽可能长的资料来分析 1990 年代降水异常的程度究竟有多大, 以及与之相联系的大气环流变化特征。对全球变暖与最近长江中下游地区降水异常的可能关系也做些初步的探讨。

## 1 1990 年代: 长江中下游地区近百年夏季降水最多的十年

1951 年以来我国有了系统的气象观测记录, 取 105°E 以东, 27°~33°N 范围内 32 个站来反应长江中下游地区降水, 能较好覆盖这个地区, 见图 2, 当然其中有些站可能位置上属于淮河流域, 但考虑到本文关心的是较大范围的降水情况, 因此没有再区分其中的差别。图

收稿日期: 2000-04-25; 修订日期: 2000-06-20

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目 (G1998040900) 和国家自然科学基金资助项目 (49635190) [Foundation Item: National Key Developing Program for Basic Sciences, No. G1998040900; National Natural Science Foundation of China, No. 49635190]

作者简介: 龚道溢 (1969-), 男, 湖南石门人, 博士, 从事气候变化研究。E-mail: gdy@pku.edu.cn

网址: <http://202.112.93.51/Misc/GongDY/gdy.htm>

3a 是 32 个站平均降水距平序列。长江中下游地区的降水年际波动很大, 序列的标准差达到了 109.95 mm。根据整个序列, 也可以发现近 50 年来长江中下游降水有明显的年代差别, 1951~ 1959 年平均距平为+ 30.97 mm, 1960 年代则只有- 18.49 mm, 1970 年代最低, 比正常状况低 22.53 mm, 但从 1980 年代有较大的增加, 为+ 40.13 mm, 1990 年代则达到了 87.62 mm。可见, 半个世纪以来, 最近的一段时期是夏季降水最多的。

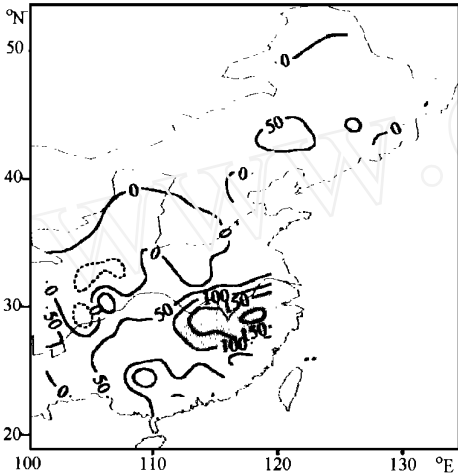


图 1 中国东部地区 1990~ 1999 年平均夏季降水距平分布 (单位: mm, 阴影表示达 95% 信度水平显著区, 距平参照时期为 1961~ 1990 年)

Fig.1 Summer rainfall anomalies for period 1990~ 1999 over the eastern China (A reas with confidence level of 0.05 using a *t*-test are shaded. Unit is mm. With respect to 1961~ 1990)

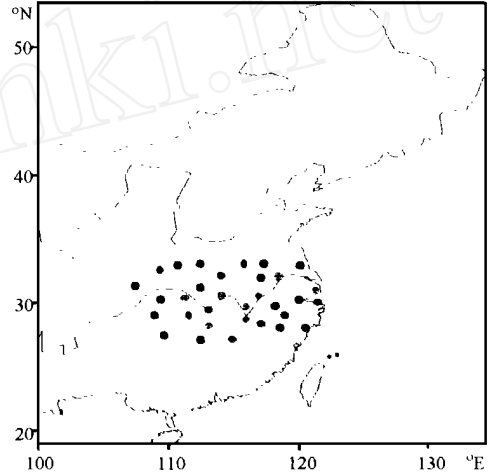


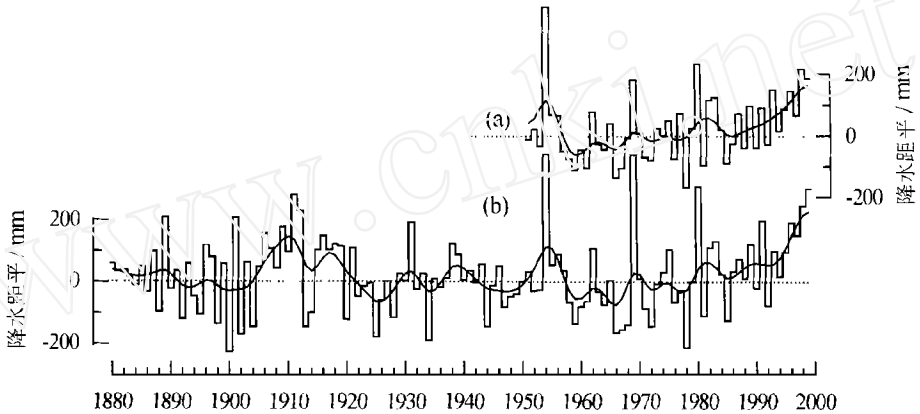
图 2 降水记录站点分布 (蓝色站点资料为 1951~ 1999 年, 红色站点记录为 1880~ 1999 年)

Fig.2 Stations used in this research (Blue dots indicate the observations with time span of 1951~ 1999; red dots represent the six stations covering the period of 1880~ 1999)

从更长时间范围来判断 1990 年代降水是否偏多及其程度更为清楚些。这里选择长江中下游地区的上海、南京、九江、武汉、长沙和宜昌 6 个测站的夏季降水进行分析 (图 2)。这 6 个站的降水序列都有自 1880 年以来的季降水量记录<sup>[1]</sup>, 求其平均合成一个长的降水序列 (图 3b)。近百年来的降水序列同样也表现出很强的年际变率, 标准差为 122.39 mm, 整个序列 (1880~ 1999) 的标准差为 134.78 mm。这比 32 站平均序列的标准差要大, 主要是因为用的站点少的缘故。6 个站的平均夏季降水量与 32 个站平均序列之间有很好的关系, 1951~ 1999 年的相关系数达 0.92。因此, 用 6 个站也能较好代表长江中下游地区降水量变化。

根据 6 站平均序列, 计算每个年代的 10 年平均值, 从少到多分别为 1970 年代(- 41.85 mm)、1920 年代(- 40.35 mm)、1960 年代(- 20.23 mm)、1940 年代(- 18.81 mm)、1890 年代(- 8.16 mm)、1930 年代(+ 21.32 mm)、1900 年代(+ 26.75 mm)、1950 年代(+ 34.82 mm)、1880 年代(+ 36.79 mm)、1980 年代(+ 56.15 mm)、1910 年代(+ 95.10 mm)、1990 年代(+ 118.19 mm)。可见 1990 年代不仅是 1951 年以来夏季最多雨的 10 年, 也是最近 120 年中夏季降水最多的 10 年。

当然, 不仅仅是 1990 年代夏季降水的 10 年平均值出现异常偏高的情况, 就具体的年份来看, 也频频出现异常高值。如果取距平百分率超过 + 40% 为异常多雨的年份, 则自 1880 年到 1999 年共有 12 次, 恰好相当 10 年一遇。在这 12 次异常多雨的年份里, 出现在 1990 年代的就有 4 次 (表 1)。12 次异常多雨的夏季平均, 比正常状况要高出 56.27%。



(a) 32 站平均 (b) 6 站平均  
(a) 32 stations (b) 6 stations

图 3 长江中下游夏季降水距平序列

(距平参考时期为 1961~ 1990, 1951~ 1999 年期间两个序列间相关达 0.92)

Fig. 3 Summer rainfall anomalies

(With respect to 1961~ 1990 Two curves correlate at 0.92 during 1951~ 1999)

表 1 根据 6 站平均降水序列划分的 1880 年以来 12 个降水最多的年份

Tab. 1 The classification of 12 wettest summers for the target region since 1880

序号	年份	降水量 /mm	距平 /mm	距平百分率 /%	序号	年份	降水量 /mm	距平 /mm	距平百分率 /%
1	1954	880.17	+ 410.34	+ 87.34	7	1912	699.83	+ 230.00	+ 48.95
2	1969	878.83	+ 409.00	+ 87.04	8	1901	679.00	+ 209.17	+ 44.52
3	1980	774.17	+ 304.34	+ 64.78	9	1889	678.00	+ 208.17	+ 44.31
4	1999	768.33	+ 298.50	+ 63.53	10	1991	666.17	+ 196.34	+ 41.79
5	1911	750.50	+ 280.67	+ 59.74	11	1931	662.33	+ 192.50	+ 40.97
6	1998	713.00	+ 243.17	+ 51.76	12	1996	659.83	+ 190.00	+ 40.44
		平均	724.18	+ 264.35	+ 56.27				

## 2 大气环流变化与降水异常

引起长江流域发生洪涝的直接原因是大气环流的异常。产生大量降水需要有利于水汽辐合的条件、持续稳定的环流形式以及充足的水汽输送<sup>[2]</sup>。对同期的东亚及相邻地区 500 hPa 位势高度、850 hPa (代表对流层低层) 的风场及水汽通量等要素进行分析, 研究与 1990 年代长江中下游地区降水异常相联系的环流背景的特征。所用环流资料是 NCEP/NCAR 再分析资料<sup>[3]</sup>, 资料从 1958 年开始, 所以分析中都只取到 1958~ 1999 年。

图 4 是长江中下游地区夏季平均降水与同期 500 hPa 位势高度的相关系数, 显然, 与降水偏多相匹配的对流层中层环流形式是 30°N 以南的西太平洋地区高度场显著偏高, 偏高的范围还往西包括南海及中南半岛地区, 说明西太平洋副热带高压偏强, 位置偏西, 有利于长江中下游地区降水偏多, 这也是大家已经非常清楚的一种关系<sup>[4,5]</sup>。同时, 从朝鲜半岛到日本一带高度偏低。高度场的这种特征反应出东亚地区低纬异常的反气旋及中纬异常气旋环流型, 使南方来的暖湿空气与北方来的冷空气交汇于长江中下游地区以及偏东地区, 有利于大量降水。Nitta 和胡增臻也曾指出长江中下游地区与日本西部地区降水有很好的统计关系<sup>[6]</sup>。从低空风场的异常变化看更为清楚。图 5 是最近 6 个多雨年的 850 hPa 纬向风及经向风距平的合成风场, 6 个多雨年根据表 1 分别取 1969、1980、1991、1996、1998 和 1999 年, 因为再分析资料从 1958 年开始, 所以往前只取到 1969 年。发现在异常多雨的夏季, 北

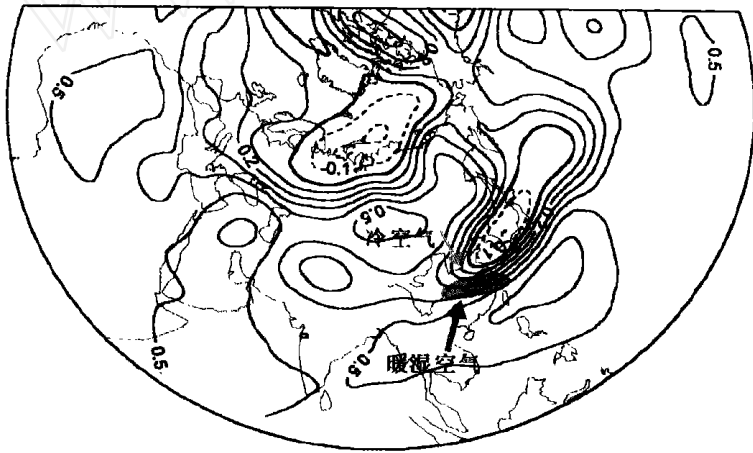


图 4 长江中下游夏季降水与 500 hPa 高度的同时相关系数分布 (资料长度 1958~ 1999)

Fig. 4 Correlation between summer rainfall and 500hPa heights (1958~ 1999, target region shaded)

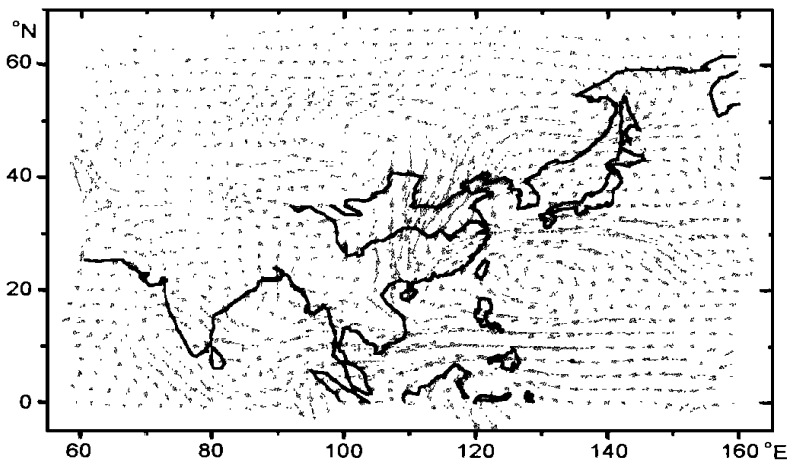


图 5 6 个多雨年 850 hPa 风场的合成分析 (单位 m/s, 参考时期为 1961~ 1990 年)

Fig. 5 Composite of wind velocity at 850 hPa for 6 wettest summers (With respect to 1961~ 1990)

方有很强的冷空气活动, 中心平均达  $1.5 \text{ m/s}$  左右, 在江南也有  $1.5 \text{ m/s}$  左右的偏强西南风异常。

当然, 上述 6 个多雨年份中有 4 个在 1990 年代, 这是否说明 1990 年代处于一个北风活动异常偏强的背景下呢? 取 1990~1999 年 10 年风距平场做平均, 结果表明华北及相邻地区 1990 年代的确是北风活动很强, 中心区平均经向风 ( $v$ ) 距平达到  $-1.5 \sim -1.8 \text{ m/s}$  左右。1990 年代异常北风活动对造成长江流域多雨可能有几个方面的途径: 首先是形成稳定的持续环流形式, 使得长江流域对流层低层的辐合形式得以维持和加强; 其次, 可以加强向南的水汽输送; 此外, 输送冷空气南下, 有利于水汽凝结, 形成降水。

经向风的异常同长江中下游地区降水异常有关的水汽来源与输送有很大关系。以往的分析非常强调西南气流及东南气流的输送对长江流域降水的影响。图 6 是夏季降水与对流层低层经向水汽通量 (用比湿和经向风的乘积表示即  $q_v$ ) 的相关系数, 可见有 3 个关系密切地区: 华南地区、孟加拉湾及华北地区。以往多强调从南海及西太平洋的水汽输送, 以及印度季风输送的作用。Simonds 等<sup>[7]</sup>最近分析了  $25 \sim 35 \text{ N}$ ,  $110 \sim 120 \text{ E}$  区域夏季降水与水汽输送的关系, 发现印度季风的作用不如东南季风显著, 东南季风的水汽输送量中定常的平均环流的作用居主导地位。瞬变涡旋的输送作用很小, 因此大的气候异常事件主要是平均环流的贡献。计算长江中下游地区夏季平均降水与江南 ( $110 \sim 120 \text{ E}$ ,  $17.5 \sim 25 \text{ N}$ , 20 个格点) 平均经向风 ( $v$ ) 及平均经向水汽通量 ( $q_v$ ) 的相关系数, 分别为 0.18 和 0.22; 与孟加拉湾地区 ( $85 \sim 95 \text{ E}$ ,  $30 \sim 50 \text{ N}$ , 25 个格点) 平均经向风及经向水汽通量的相关系数分别为 0.41 和 0.45。因此, 偏南气流的作用的确是很重要。

但从图 5 和图 6 看, 华北及相邻地区的冷空气活动的作用在最近一段时期的作用也是非常突出的。异常北风异常及其对水汽的输送, 对长江流域多雨的贡献也很重要。一些研究近来也注意到北方环流异常及其水汽输送的作用<sup>[8,9]</sup>。计算长江中下游地区夏季降水与华北及相邻地区 ( $105 \sim 120 \text{ E}$ ,  $30 \sim 50 \text{ N}$ , 63 个格点) 平均经向风及平均经向水汽通量的相关系数, 分别为  $-0.44$  和  $-0.42$ , 都达到 95% 信度。因此, 1990 年代长江中下游地区及南

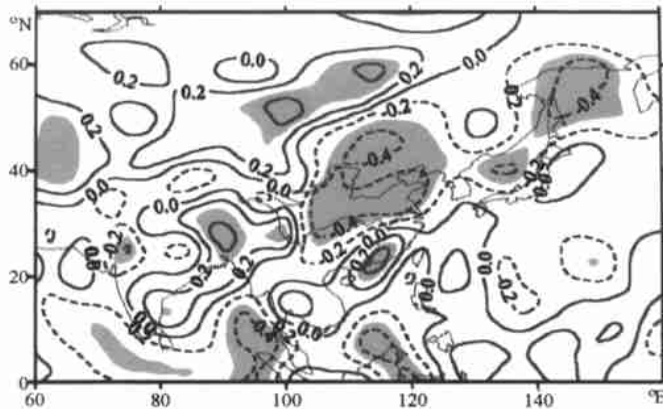


图 6 长江中下游夏季降水与 850 hPa 向北的水汽通量 ( $q_v$ ) 的相关系数 (达 95% 信度水平显著区阴影标出)

Fig. 6 Correlation between summer rainfall and northward moisture vapor flux ( $q_v$ ) at 850 hPa (area with 95% confidence level shaded)

方地区的多雨, 可能主要与同期北风活动的偏强有关。

### 3 全球变暖的可能影响

影响我国汛期降水的因子很多, 包括环流因子如西太平洋副热带高压的活动、鄂霍茨克阻塞高压等和其它因子<sup>[4, 5]</sup>, 也包括一些非环流因子的间接影响, 如热带太平洋海表温度等<sup>[10, 11]</sup>。近来全球变暖的可能影响也引起重视<sup>[12, 13]</sup>。许多研究发现全球陆地平均降水与温度间有显著的正相关, 但区域差异显著<sup>[14, 15]</sup>。自 20 世纪 70 年代后期以来, 我国东部地区降水量有显著的上升趋势; 这与全球气温近几十年来约变暖趋势是一致的<sup>[16, 17]</sup>。一些研究认为, 全球温度的变化会影响海陆热力状况, 通过季风影响降水<sup>[18]</sup>, 例如梁信忠等曾指出大陆温度的变化会改变梅雨锋两侧的热力梯度, 从而影响长江流域降水多少<sup>[19]</sup>。

从观测的降水变化中要检测出全球变暖的影响和贡献是很困难的, 一般是通过气候模式作一些变暖的情景模拟。表 2 是变暖情景下模拟的长江中下游地区降水变化, 数据取自 IPCC 数据中心 (IPCC- DDC)<sup>[20]</sup>。取其中 1961~ 1990 年平均作为参考的气候值。可见, 虽然变暖情况下, 降水的变化随模式不同而有差别, 但平均还是降水偏多的趋势占优。

表 2 变暖情景下模拟的长江中下游地区降水变化 (单位: mm; 数据取自 IPCC 数据中心)

Tab. 2 Simulated rainfall changes under the greenhouse warming (in mm, Data from IPCC- DDC)

模式	格点数	时 期			
		1961~ 1990	2010~ 2039	2040~ 2069	2070~ 2099
ECHAM 4	21	400.7	425.5	403.2	416.7
HadCM 2	15	383.4	377.0	366.5	345.7
GFDL- R15	4	496.2	542.5	—	—
CGCM 1	10	526.4	527.5	520.0	548.6
CSIRO- Mk2	12	428.2	461.7	475.4	490.3
平均变化量		447.0	466.8 (+ 19.8)*	441.3 (- 5.7)	450.3 (+ 3.3)

\* 括号中数字为变化量 (以 1961~ 1990 为参考期)。

当然, 从历史时期的气候变化中, 也可以对冷、暖特征时期的降水作些对比。这里取中世纪暖期和小冰期作分析。王绍武等发表了公元 950 年以来我国东部夏季的旱涝型<sup>[21, 22]</sup>, 共 6 型: 1a 型为东部涝, 中心位于长江中下游地区; 1b 型长江中下游涝, 华北及华南旱; 2 型江南涝, 长江以北旱; 3 型与 1b 型相反; 4 型与 2 型相反; 5 型东部旱。取中世纪暖期中最暖的时期 (公元 950~ 1099 年, 公元 1200~ 1299 年共 250 年), 及小冰期中最冷的时期 (公元 1620~ 1699 年, 公元 1790 年~ 1819 年和公元 1830~ 1899 年共 180 年) 进行统计<sup>[23, 24]</sup>, 结果见表 3, 表中的气候频率是指根据公元 950 年以来所有年统计的各种旱涝型的频率。可见, 中世纪暖期 1b 型和 2 型频率增加, 说明南方降水偏多, 在小冰期最冷时期, 3 型和 4 型频率增加, 说明冷期南方偏旱。

所以, 模式模拟及历史气候变化的事实, 有较好的一致性, 都说明在气候偏暖的时候, 长江中下游地区容易出现降水偏多形成洪涝。1990 年代的异常多雨很可能也与全球变暖有一定的关系。

表3 中世纪暖期及小冰期我国东部地区旱涝型的频率变化 (%)

Tab. 3 Changes in the summer drought/flood category frequency during the Medieval Warm Period and the Little Ice Age (%)

时期	1a型	1b型	2型	3型	4型	5型
中世纪暖期	16.0	16.4	26.4	16.0	14.8	10.4
	(- 0.5)*	(+ 1.8)	(+ 3.9)	(- 2.9)	(- 2.1)	(- 0.2)
小冰期	13.9	12.2	20.5	22.8	20.6	10.0
	(- 2.6)	(- 2.4)	(- 2.0)	(+ 3.9)	(+ 3.7)	(- 0.6)
气候频率	16.5	14.6	22.5	18.9	16.9	10.6

\* 括号中数字为与对应气候频率的差值。

## 4 结论

根据 1951 年以来降水观测资料, 用 105 E 以东, 27~ 33 N 范围内 32 个站平均代表长江中下游地区降水, 表明近 50 年来长江中下游的降水有明显的年代差别, 1990 年代是最近半个世纪以来夏季降水最多的时期。

根据 1880 年以来降水资料, 选择长江中下游地区 6 个站点平均代表长江中下游地区, 夏季降水量与 32 个站平均序列之间有很好的—致性, 1951~ 1999 年的相关系数达 0.92。因此, 用 6 个站能较好代表长江中下游地区降水量变化。分析表明 1990 年代也是长江中下游地区近 120 年来夏季降水最多的 10 年。距百分率超过 + 40.0% 的 12 次异常多雨的年份, 出现在 1990 年代的就 4 次。

对与夏季降水异常直接相关的环流进行了分析。1951 年以来的 6 个严重洪涝个例的合成分析表明, 出现严重洪涝的时期, 在江南有偏强的向北经向风速及水汽输送异常, 而在华北及偏北地区有向南经向风异常, 在长江中下游地区的辐合造成降水的异常偏多。1990 年代北方地区偏强的向南经向风异常可能是造成长江中下游地区降水偏多的主要原因。

对最近降水异常与全球变暖的可能联系也进行了初步探讨。IPCC 全球变暖情景模拟的长江中下游地区降水变化表明, 虽然变暖情况下降水的变化在模式之间有差别, 但平均还是降水偏多的趋势占优。同时, 比较中世纪暖期最暖的 250 年及小冰期最冷的 180 年东部旱涝型的频率分布, 也发现暖的时期南方涝的频率增加。虽然目前还不能准确回答近来长江流域的洪涝中, 全球变暖的贡献有多大, 但对这个问题必须要给予高度的关注。考虑到未来相当一段时间全球气候很可能继续变暖, 在作长江中下游地区洪涝长期评估及预警时, 必须对全球变暖的可能影响给予高度重视。

## 参考文献 (References):

- [1] Wang Shaowu, Gong Daoyi, Ye Jinlin et al. Seasonal precipitation series over China since 1880[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(3): 281-293 (In Chinese) [王绍武, 龚道溢, 叶瑾琳等. 1880 年以来我国东部四季降水量序列及其变率[J]. *地理学报*, 2000, 55(3): 281-293 ]
- [2] Tao Shaiyan, Xu Shuying. Atmospheric circulation associated with the persistent summer flooding and drought over Changjiang and Huaihe Rivers[J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 1962, 32: 1-32 (In Chinese) [陶诗言, 徐淑英. 夏季江淮流域持久性旱涝现象的环流特征[J]. *气象学报*, 1962, 32: 1-32 ]
- [3] Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R et al. The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project[J]. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 1996, 77:

437-471.

- [4] Chen Xingfang, Zhao Zhenguo. Precipitation in Rainy Season in China: Prediction and Applications[M]. Beijing: Meteorological Press, 2000. 241. (In Chinese) [陈兴芳, 赵振国. 中国汛期降水预测研究及应用[M]. 北京: 气象出版社, 2000. 241.]
- [5] Zhao Zhenguo. Summer Floods and Drought in China and Environmental Background[M]. Beijing: Meteorological Press, 1999. 297. (In Chinese) [赵振国. 中国夏季旱涝及环境场[M]. 北京: 气象出版社, 1999. 297.]
- [6] Nitta T, Hu Z Z. Summer climate variability in China and its association with 500 hPa height and tropical convection[J]. *J. Meteor. Soc. Japan*, 1996, **74**(4): 425-445.
- [7] Simmonds I, Bid H, Hope P. Atmospheric water vapor and its association with rainfall over China in summer[J]. *J. Climate*, 1999, **12**(5): 1353-1367.
- [8] Yatagai A, Yasunari T. Variation of summer water vapor transport related to precipitation over and around the arid region in the interior of the Eurasian continent[J]. *J. Meteorol. Soc. Japan*, 1998, **76**(5): 799-815.
- [9] Zhu Wenmei, Dong M. Subtropical westerly over eastern Asia and floods/drought in Changjiang River and their predicting signal [A]. In: AP. Eastern Asia Monsoon and Heavy Rainfall in China [C]. Beijing: Meteorological Press, 1998. 284-292. (In Chinese) [朱文妹, 董敏. 东亚副热带西风与长江流域的旱涝关系及其预测信号[A]. 见: 中国科学院大气物理所编. 东亚季风和 中国暴雨. 北京: 气象出版社, 1998. 284-292.]
- [10] Weng H Y, Lau K M, Xue Y K. Multiscale summer rainfall variability over China and its long-term link to global sea surface temperature variability[J]. *J. Meteor. Soc. Japan*, 1999, **77**(4): 845-857.
- [11] Hu Z Z. Interdecadal variability of summer climate over East Asia and its association with 500hPa height and global sea surface temperature[J]. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 1997, **102**(D16): 19403-19412.
- [12] Hulme M, Wigley T, Jiang T et al. Greenhouse effect induced climate change and its impact on China[M]. CRU/WWF/SMA, 1992. 57.
- [13] Hulme M, Zhao Z C, Jiang T. Recent and future climate change in East Asia[J]. *Intern. Journal Climatology*, 1994, **14**: 637-658.
- [14] Hulme M. Recent climatic change in the world's dry land[J]. *Geophys. Res. Letters*, 1996, **23**(1): 61-64.
- [15] Hulme M. Estimating global changes in precipitation[J]. *Weather*, 1995, **50**(2): 34-42.
- [16] Gong Daoyi. Global warming and the summer flooding risk in China[J]. *J. Natural Disasters*, 1999, **8**(3): 30-37. (In Chinese) [龚道溢. 气候变暖与我国夏季洪涝灾害风险[J]. 自然灾害学报, 1999, **8**(3): 30-37.]
- [17] Gong Daoyi, Wang Shaowu. Severe summer rainfall in China associated with the enhanced global warming[J]. *Climate Research*, 2000, in Press.
- [18] Kumar K K, Rajagopalan B, Cane M A. On the weakening relationship between the Indian monsoon and ENSO[J]. *Science*, 1999, **284**: 2156-2159.
- [19] Liang X Z, Samel A N, Wang W C. Observed and GCM simulated decadal variability of monsoon rainfall in east China[J]. *Climate Dynamics*, 1995, **11**(2): 103-114.
- [20] <http://pcc-ddc.cru.uea.ac.uk/EB/OL/>
- [21] Wang S W, Zhao Z C. Droughts and floods in China, 1470~ 1979[A]. In: Wigley TNL. Climate and History[C]. Cambridge University Press, 1981. 271-288.
- [22] Wang Shaowu, Zhao Zongci, Chen Zhenhua. Drought/flood pattern chronology for A.D. 950~ 1991[A]. In: Wang Shaowu. Drought/flood disasters in Changjiang and Huanghe River region and impact on the economy[C]. Beijing: Meteorological Press, 1993. 55-66. (In Chinese) [王绍武, 赵宗慈, 陈振华. 公元 950~ 1991 的旱涝型年表[A]. 见: 王绍武主编. 长江黄河流域的旱涝灾害及其经济影响[C]. 北京: 气象出版社, 1993. 55-66.]
- [23] Wang Shaowu, Ye Jinlin, Gong Daoyi. Climate in China during the Little Ice Age[J]. *Quaternary Sciences*, 1998(1): 54-64. (In Chinese) [王绍武, 叶瑾琳, 龚道溢. 中国的小冰期气候[J]. 第四纪研究, 1998(1): 54-64.]
- [24] Wang S W, Gong D Y. Climate in China during the Four Special Periods in Holocene[J]. *Progress in Natural Sciences*, 2000, **10**(5): 379-386.
- [25] Wang S W, Gong D Y, Zhu J H. Study on the warming of climate in China[J]. *The Holocene*, 2000, In Press.



## Surplus Summer Rainfall Along the Middle to Lower Reaches of Changjiang River in the 1990s

GONG Dao-yi<sup>1</sup>, WANG Shao-wu<sup>2</sup>, ZHU Jin-hong<sup>2</sup>

(1. Laboratory for Environmental Change and Natural Disaster Research, Institute of Resources Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2. Department of Geophysics, Peking University, Beijing 100871, China)

**Abstract:** There were a series of severe floods along the middle to lower valley of Changjiang River of China during the 1990s. The extensive summer (June, July and August) precipitation is mostly responsible for the flooding. The summer rainfall in the 1980s and the 1990s is much higher than that in the prior 3 decades. The means for 1990~1999 is + 87.62 mm above normal, marked the 1990s the wettest decade since 1951. Six stations are selected to establish century-long rainfall series. These two series correlate at 0.92 for the period 1951~1999. It is found that the 1990s is also the wettest decade during the last 120 years. Four of the all 12 abnormal wet years, in which more than + 40% of the rainfall over the normal, has occurred in the 1990s.

Composite analysis for the six samples since 1951 presented that the atmospheric circulation anomalies associated with the surplus rainfall along the middle to lower valley of Changjiang River show positive southern wind velocity and moisture flux anomalies in southern China and negative values in northern China in the lower troposphere. There are strong northern winds during the 1990s over the northern China, which may be responsible for the simultaneous summer rainfall along the Changjiang River valley.

Although there are some uncertainties in the climate models, it is strongly suggested that the summer rainfall would increase under the global warming as the IPCC modeling results demonstrated. Frequencies of summer rainfall types during the Medieval Warm Period and the Little Ice Age were compared to the normal (AD950 to 1999). Contrast of greater frequency of types 2 and 1b in MWP and of types 4 and 3 in LIA is exciting. It proves again the statement that warm/dry (or cold/wet) climate was predominated in north and warm/wet (or cold/dry) climate in southeast China.

**Key words:** summer rainfall; Changjiang River; atmospheric circulation; global warming