

文章编号: 1673-1719 (2007) 06-0340-05



2050年前长江流域极端降水预估

张增信^{1,2,4,5}, Klaus Fraedrich³, 姜彤^{4,1}, 张金池²

(1 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008; 2 南京林业大学江苏省林业生态工程重点实验室, 南京 210037; 3 Meteorological Institute, University of Hamburg, Hamburg D-20146, Germany; 4 中国气象局气候研究开放实验室, 北京 100081; 5 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 20世纪90年代长江流域日最大降水增加主要出现在长江以南地区和金沙江流域, ECHAM5/MPI-OM模型也大致模拟出了这种趋势。在IPCC给出的3种不同的排放情景下, 2000—2050年长江上游日最大降水均有上升趋势, 2020年前A2情景下日最大降水最大, A1B最小; 长江中下游日最大降水在2025年之前均有明显上升趋势, 之后略有下降, 波动较大。长江流域未来日最大降水增多的区域可能主要出现在长江以南地区, 而极端降水减少的区域可能出现在长江以北地区。

关键词: 长江流域; 极端降水; 日最大降水; 预估

中图分类号: P426.6 文献标识码: A

引言

极端降水事件是气候变化研究的重要内容之一, 随着全球气候变暖, 水循环加剧, 全球范围极端降水事件及其导致的灾害呈增加的趋势^[1-2]。刘小宁^[3]研究了我国暴雨频数及日最大降水强度时空分布特征; 苏布达等^[4]揭示了长江流域极端降水出现显著增加的趋势, 突出表现在中下游地区。但过去的研究, 对未来极端降水的预估并不多见, 长江流域是我国降水量最多、洪涝灾害最严重的地区之一, 特别在盛夏江淮梅雨季节, 常常出现一些持续时间长、覆盖面大的连续性强降水, 形成严重洪涝灾害。因此, 研究该地区极端降水长期变化规律及未来预估对抗洪救灾具有十分重要的意义。本文以长江流域实测降水资料和ECHAM5/MPI-OM模拟产品为基础, 探讨长江流域极端降水的时空变化, 并对IPCC

给出的3种排放情景下2050年前长江流域的极端降水趋势作出预估。

1 资料与模式

选取1961—2000年长江流域147个站的逐日降水资料及德国马普气象研究所提供的用于IPCC第四次评估报告的ECHAM5/MPI-OM模式模拟资料, 包括: 1941—2000年控制试验期逐日降水数据, 以及2001—2050年IPCC SRES 3种排放情景: A2(高排放), A1B(中等排放), B1(低排放)的逐日降水资料。该模式在水循环方面进行了大量的改进, 主要包括: 新增的水汽半拉格朗日传输方程, 新的云层参数, 增加具有代表性的陆面过程, 地表模型通过对1 km × 1 km的数字地形统计参数提取, 模型精度提高到0.5° × 0.5°的分辨率^[5-7]。

收稿日期: 2007-02-09; 修订日期: 2007-07-31

基金项目: 中国气象局气候变化专项(CCSF2006-31, CCSF2007-35); “十一五”国家林业科技支撑项目(2006BAD03A1601)资助

作者简介: 张增信(1977-), 男, 博士生, 主要从事气候变化对水文和生态影响研究。E-mail: zxzhang@njfu.com.cn

2 实测与模拟极端降水的比较

极端降水选取样本的方法有很多 (www.ncdc.noaa.gov/oa/wmo/ccl)，我们选取日最大降水作为极端降水研究标准，即选取一年中 24 h 最大降水量表示年极端降水，实测日最大降水以 20:00 为起止时间，模拟日最大降水以 00:00 点为起止时间，日最大降水用 R1D 来表示。

要分析未来极端降水的演变趋势，首先对 1961—2000 年气候模式模拟和实测极端降水作对比分析。20 世纪 90 年代为近百年来最暖的十年，而 ECHAM5 模型对未来情景预估也是基于全球气候变暖这一背景，因此对比分析选取了 1991—2000 年日最大降水平均值与 1961—1990 年日最大降水平均值的差（图 1a）。图 1 给出了长江流域观测的和 ECHAM5 模拟的日最大降水空间分布，从图 1(a)可以看出，90 年代长江流域极端降水增加区域主要集中在长江中下游长江以南地区和长江上游金沙江流域，其中太湖流域增加最为明显，高达 20%；而长江上游大部分地区却呈显著下降趋势，最低值出现在嘉陵江流域，减少量在 15% 以上。由图 1(b)可以看出，ECHAM5/MPI-OM 模拟的日最大降水量增加区域出现在长江中下游的长江以南地区，极端降水增加值从东南向西北逐渐减少，另外，长江上游金沙江流域极端降水量也有明显的增加趋势，极端降水减少区域发生在长江中上游长江以北地区。由此可知，该模式大致能够模拟出长江流域日最大降水的空间分布。图 2 给出了 1961—2000 长江流域实测的和 ECHAM5 模拟的日最大降水时间变化，由图 2

可以看出，观测的长江上游日最大降水有不断上升的趋势，1980 年以后上升趋势最为明显，模式模拟结果与观测结果一致（图 2a）；长江中下游地区，日最大降水除 90 年代有上升趋势外，基本呈下降趋势，模式结果也大致相同（图 2b）；整个长江流域，观测的日最大降水在 1980 年之前呈下降趋势，1980 年之后出现上升趋势，模拟结果为 1990 年之前呈下降趋势，而 90 年代呈上升趋势（图 2c）。由此可知，该模式在模拟长江流域极端降水趋势方面具有一定的模拟能力。

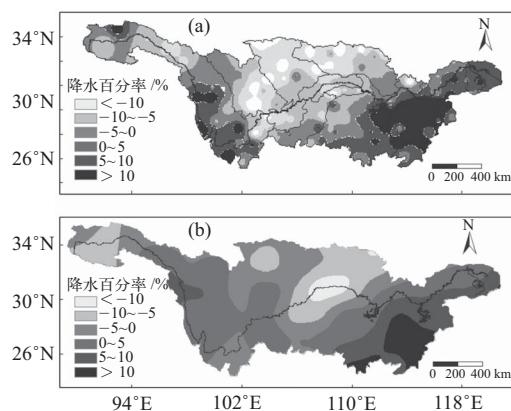


图 1 长江流域观测 (a) 和 ECHAM5 模拟 (b) 日最大降水量变化趋势空间分布 (1991—2000 年平均值与 1961—1990 年平均值的差)

Fig. 1 Spatial distributions of the trends (differences for 1991–2000 minus 1961–1990) of observed (a) and ECHAM5 simulated (b) daily maximum rainfall (R1D) in the Yangtze River basin

3 长江流域极端降水预估

为比较不同排放情景下，2001—2050 年长江流

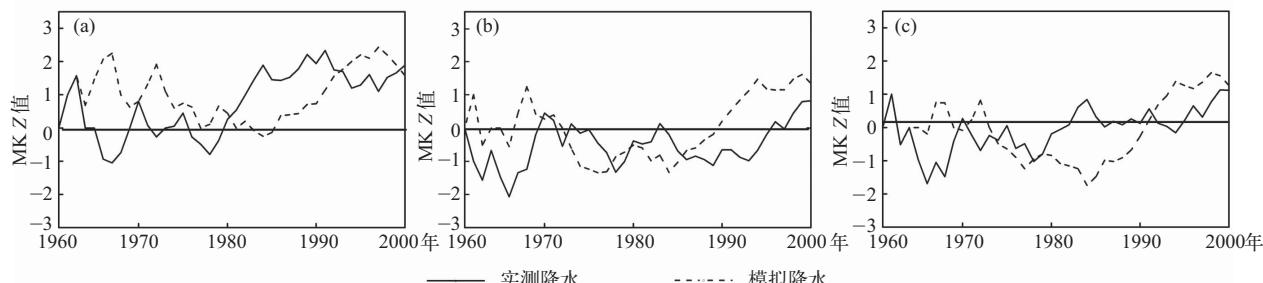


图 2 1961—2000 年长江流域实测和 ECHAM5 模拟的日最大降水 MK 趋势 (a) 上游地区，(b) 中下游地区，(c) 全流域

Fig. 2 MK statistical values of observed and ECHAM5 simulated R1D in the upper reaches (a), middle and lower reaches (b), the whole basin (c) of the Yangtze River

域日最大降水的变化趋势,对长江流域日最大降水相对于1961—1990年的区域平均进行分析。图3给出ECHAM5模式预估2001—2050年长江流域日最大降水量变化,由图可见,在3种不同排放情景下,长江上游地区(图3a)日最大降水都呈振荡的趋势,振幅在-10%~30%之间。A2情景下日最大降水变化与A1B和B1呈相反趋势,2020年之前A2情景下日最大降水最大,平均为7.5%,A1B最小,仅为1.2%;2020年后则相反,A1B情景下增幅最大,平均为8%,A2情景下最小,为6%。长江中下游地区(图3b),2025年前,3种不同排放情景下日最大降水都有明显上升趋势,但波动较大,变幅在-20%~35%之间;2025年之后,日最大降水变化有所缓和。2010年代B1情景下日最大降水增加最多,平均为12%,A1B增幅最少,为3.8%;2010年代后A1B情景下日最大降水增幅最多,平均为7%。全流域(图3c)日最大降水也呈振荡趋势,2010年代B1情景下日最大降水增加最多,平均为8%,A1B最少,为2.5%;2010年后A1B情景下增幅最多,平均在6%以上。

日最大降水分布上具有较大的空间差异性(图1a)。为分析未来3种不同排放情景下长江流域极端降水的空间分布,分别计算2001—2010年、2011—2020年和2021—2030年日最大降水平均值与1961—1990年平均值的差(图4)。结果表明:21世纪前10 a(图4a,b,c),在3种排放情景下,长江流域日最大降水在空间分布上都从东南向西北逐渐减少,大部分区域日最大降水呈增加趋势。其中,增加趋势最明显的区域出现在长江中下游地区,尤其长江以南地区,增幅在12%以上,与20世纪90年代较为相似。A2排放情景下,极端降水增加范围最为明显,长江上游极端降水也有明显增加;B1排放情景下,极端降水增加范围最小。2011—2020年代,长江流域有较大范围区域极端降水出现下降趋势,其中A1B排放情景下减少范围最大,主要出现在长江中上游地区的长江以北地区,减幅高达-10%~-15%(图略)。2021—2030年代,长江流域日最大降水基本上呈增加趋势,但不同排放情景下极端降水空间分布差异较大,A2情景下,日最大降水增多区域出现在长江中下游长江以南地区,降水减少区域主要出

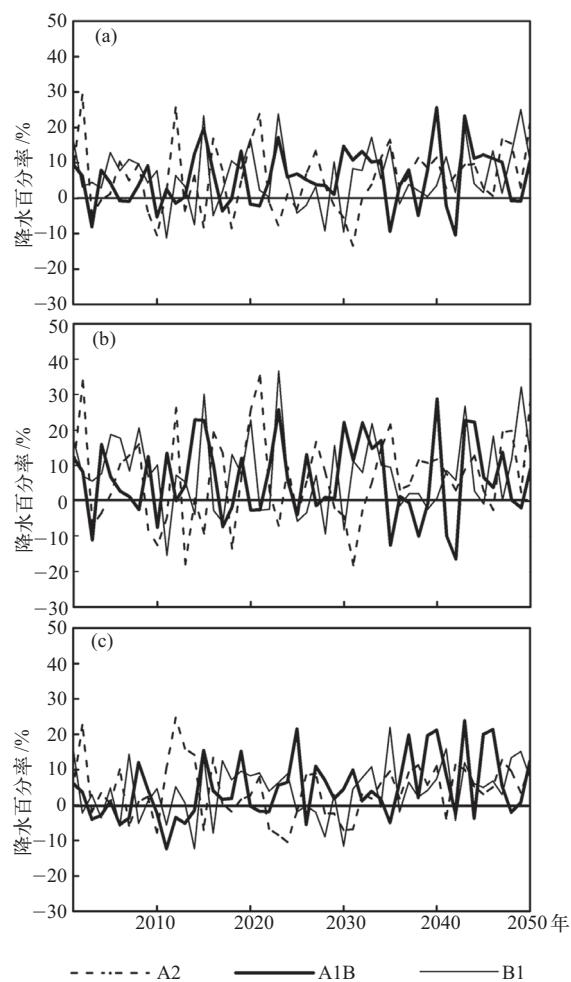


图3 不同情景下 ECHAM5 模式预估 2001—2050 年长江流域日最大降水量变化(相对于 1961—1990 年平均值)

(a) 上游地区, (b) 中下游地区, (c) 全流域

Fig. 3 Temporal variations of R1D in 2001–2050 relative to the average of 1961–1990 in the upper (a), middle and lower reaches (b), and the whole basin (c) of the Yangtze River, projected by the ECHAM5 model under the A2, A1B, and B1 emissions scenarios of SRES

现在长江上游,尤其嘉陵江流域减少最为明显;A1B情景下极端降水增加区域出现在长江上游地区,而长江中下游出现大范围极端降水减少趋势;B1情景下,长江下游降水增多,中上游减少,但增加或减少的程度较小,基本都低于10%。

4 结论和讨论

根据1961—2000年长江流域147个气象站和ECHAM 5/MPI-OM模拟的逐日降水资料,在IPCC

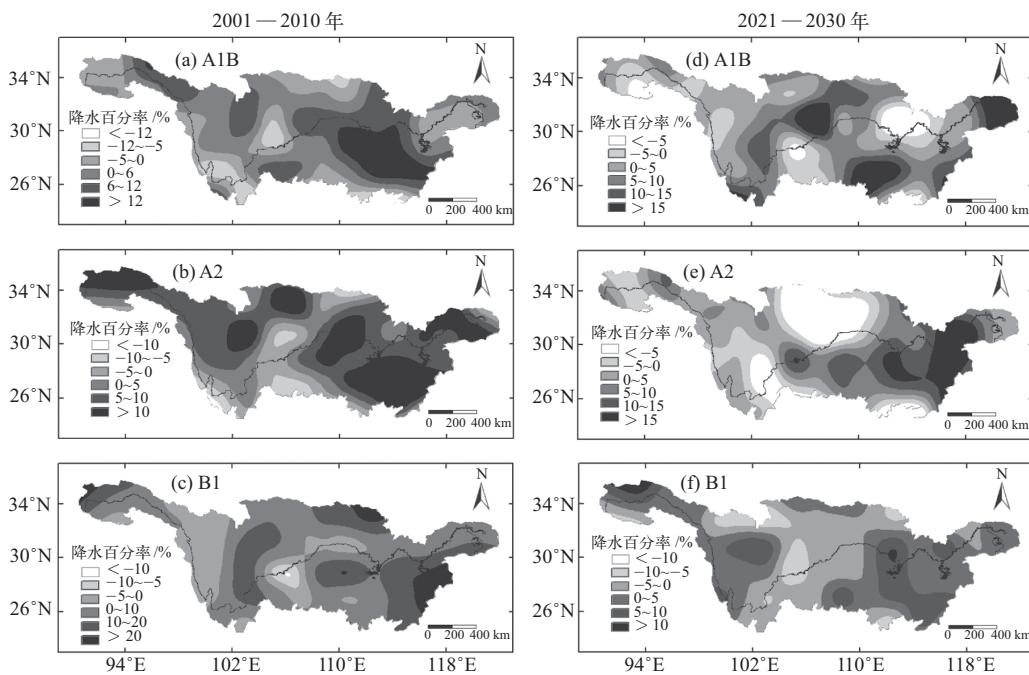


图4 ECHAM5模式预估未来长江流域日最大降水空间分布（相对于1961—1990年平均值）

Fig. 4 Spatial distributions of R1D anomalies in the Yangtze River basin projected by ECHAM5 model in 2001–2010 (a, b, c) and 2021–2030 (d, e, f) (relative to 1961–1990)

给出的3种排放情景下，对长江流域日最大降水未来变化情景进行预估，主要结论如下：

(1) 长江流域日最大降水具有较大的空间差异，90年代长江流域极端降水增加区域主要集中在长江以南地区、金沙江流域和太湖流域，其中太湖流域增加最为明显，增幅达20%；而长江上游大部分地区却呈下降趋势，最低值出现在嘉陵江流域，减幅达15%以上。1961—2000年长江上游日最大降水有上升趋势，1980年以后上升趋势最为明显；长江中下游地区，日最大降水除90年代有上升趋势外，基本呈下降趋势。整个长江流域，日最大降水在1980年前后发生变化，由下降转为上升。模拟结果也显示出大致的变化规律，由此可知，ECHAM5模式对长江流域日最大降水趋势具有一定的模拟能力。

(2) 3种不同情景下日最大降水的趋势表明，长江上游日最大降水有上升趋势，A2情景下日最大降水变化与A1B和B1呈相反趋势，2020年之前A2情景下日最大降水最大，A1B最小，2020年后则相反。3种不同排放情景下，长江中下游日最大降水在2025年之前有明显上升趋势。这种趋势与长江上游也相

差了25 a，但波动较大。2025年之后，日最大降水变化有所缓和。2010年代B1情景下日最大降水增加的最多，A1B增幅最少，2010年代后A1B情景下日最大降水增幅最多。全流域日最大降水的变化与长江中下游基本一致，但增幅略小。

(3) 2001—2010年，日最大降水从东南向西北逐渐减少，长江中下游江南地区增加趋势最明显，增幅在12%以上，与20世纪90年代较为相似。A2排放情景下，极端降水增加范围最为明显，长江上游极端降水也有明显增加。2011—2020年代，出现大范围极端降水下降区域，其中A1B排放情景极端降水减少区域面积最大。2021—2030年代，长江流域日最大降水呈增加趋势，但不同排放情景下极端降水空间分布差异较大。

(4) 不同排放情景下，未来长江流域极端降水增多的区域可能主要出现在长江以南地区，尤其太湖流域和鄱阳湖流域，而极端降水减少的区域可能出现在长江以北地区，嘉陵江流域减少最明显。另外，有关研究结果表明^[8]，未来30 a，长江以南大部地区年降水将减少，但日最大降水却出现上升趋势，说

明未来长江流域洪涝发生的机率会更高，极端气候事件造成的危害将更为严重。

(5) 虽然 ECHAM5/MPI-OM 模式能较好地模拟出长江流域 1961—2000 年日最大降水变化趋势，但在空间和时间分布上还存在着差异，在未来情景预估上存在着一定的不确定性。 ■

致谢：中国气象局气象信息中心提供长江流域气象观测数据；德国汉堡大学气象研究所和德国马普气象研究所提供 ECHAM5 气候模式 1941—2050 年逐日模拟资料。特此感谢！

参考文献

- [1] 任国玉, 吴虹, 陈正洪. 我国降水变化趋势的空间特征 [J]. 应用气象学报, 2000, 11 (3): 322—330
- [2] 翟盘茂. 中国降水极值变化趋势检测 [J]. 气象学报, 1999, 57 (2): 208—216
- [3] 刘小宁. 我国暴雨极端事件的气候变化特征 [J]. 灾害学, 1999, 14 (1): 54—59
- [4] 苏布达, 姜彤, 任国玉, 等. 长江流域 1960—2004 年极端强降水时空变化趋势 [J]. 气候变化研究进展, 2006, 2 (1): 9—14
- [5] Roeckner E, Bengtsson L, Feichter J, et al. Transient climate change simulations with a coupled atmosphere-ocean GCM including the tropospheric sulfur cycle [J]. Journal of Climate, 1999, 12: 3004—3032
- [6] Roeckner E, Bäuml G, Bonaventura L, et al. The Atmospheric General Circulation Model ECHAM 5. Technical Report. PART I: Model description. MPI Report No.349 [R]. Hamburg: Max-Planck-Institute for Meteorology, 2003
- [7] Hagemann S, Dümenil-Gates L. Improving a subgrid runoff parameterization scheme for climate models by the use of high resolution data derived from satellite observations [J]. Climate Dynamics, 2003, 21: 349—359
- [8] 秦大河, 丁一汇, 苏纪兰, 等. 中国气候与环境演变 (上卷): 气候与环境的演变及预测 [M]. 北京: 科学出版社, 2005: 507—555

Projection of Future Precipitation Extremes in the Yangtze River Basin for 2001—2050

Zhang Zengxin^{1, 2, 4, 5}, Klaus Fraedrich³, Jiang Tong^{4, 1}, Zhang Jinchi²

(1 Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China;

2 Jiangsu Key Laboratory of Forestry Ecological Engineering of Jiangsu Province, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; 3 Meteorological Institute, University of Hamburg, Hamburg D-

20146, Germany; 4 Laboratory for Climate Studies, China Meteorological Administration, Beijing

100081, China; 5 Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: Daily maximum rainfall (as an index for extreme precipitation) was higher in the Jialing River basin, Taihu Lake area, the mid-lower main stream section in the 1990s, and there was a good relationship between ECHAM5/MPI-OM simulations and observed data about extreme precipitation. Under the A2, A1B, and B1 greenhouse gases emission scenarios of SRES, the extreme precipitation projected in 2000—2050 was compared, the daily maximum rainfall will be dominated by increasing trends in the upper reaches of the Yangtze River basin, with the largest magnitude of increasing tendency under the A2 scenario and the least magnitude under the A1B scenario before 2020. As for the middle and lower reaches, the daily maximum rainfall will increase prominently before 2025, and then decline slightly. There might be more floods in the south of the Yangtze River and more droughts in the north in the future.

Key words: Yangtze River basin; extreme precipitation; daily maximum rainfall; projection