

实况海温强迫的 CCM3 模式对中国区域气候的模拟能力*

高学杰¹⁾ 林万涛²⁾ Fred Kucharsky³⁾ 赵宗慈¹⁾

1) (中国气象局国家气候中心, 北京 100081)

2) (中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

2) (The Abdus Salam International Center for Theoretical Physics, Trieste, Italy)

摘 要 使用 NCAR/CCM3 全球环流模式进行了 5 个集合 19 年 (1979~1997) 时间长度的观测海温强迫的 AMIP2 试验, 对结果的中国区域部分进行了重点分析。首先给出了模式对中国地区基本气候态的模拟, 表明模式对这些区域的气温有较好的模拟效果, 对降水的模拟效果则比较差。随后, 考察了模式对历年中国汛期降水和气温的模拟预测, 结果表明, 模式对中国整体降水的模拟预测能力较差, 但分地区看, 则在长江流域地区的效果较好; 模式对中国汛期气温有较好的模拟能力, 尤其是在东部的长江以北地区等。

关键词: 全球环流模式; 气候模拟; 区域气候; 短期气候预测

文章编号 1006-9895 (2004) 01-0078-13 **中图分类号** P46 **文献标识码** A

1 引言

中国地处东亚季风区, 气候的年际变异大, 气候灾害频繁。中国又是农业大国, 因此, 短期气候预测尤其是汛期 (夏季 6~8 月) 降水的预测历来受到特别的重视。在国际上, 短期气候预测也受到越来越多的关注, 是国际气候变率及可预测性计划 (CLIVAR) 的目标。

我国早期的短期气候预测工作基本以统计和经验方法为主。自 20 世纪 80 年代末开始, 中国科学院大气物理研究所开始利用大气环流模式 (GCM) 进行短期气候预测的尝试, 使用 IAP 两层大气环流模式进行跨季度的汛期降水预测, 并在此基础上建立了第一代 IAP 跨季度数值气候预测系统^[1]; 其后该模式系统得到了不断的完善和发展^[2], 建立了第二代 IAP 跨季度数值气候预测系统^[3]。该数值气候预测系统每年均运用于实时气候预测实践中, 并取得了良好的预测效果^[3~8], 现在已经开始应用 IAPL9 模式进行中国汛期降水预测试验^[9, 10]。国家气候中心也先后使用 OSU/NCC 模式^[11, 12]和 T63/NCC 模式^①开展了短期气候预测方面的研究和准业务预测。此外, 还有一些应用其他 GCM 进行中国汛期降水预测的试验^[13]。

我们使用 NCAR/CCM3 模式 (版本 3.6.6)^[14], 进行多年实况海温和海冰强迫下

2002-11-25 收到, 2002-02-26 收到修改稿

* 国家杰出青年基金 40125014 和中国气象局 IPCC 专项经费共同资助

①李清泉、丁一汇, 对 NCC 全球海气耦合模式跨季度汛期预测能力的初步检验和评估, 已投气象学报.

的 AMIP2 试验, 并对在中国区域的试验结果进行了重点分析。模式包括了辐射、对流、陆面过程、边界层等较详细的物理过程, 其水平方向分辨率为 T42 (格距约为 280 km), 垂直方向采用混合坐标, 分 18 层。关于 AMIP2 试验的情况, 文献[15]中给出了一个简要的介绍。

试验共进行了 5 组, 积分开始时间分别是 1978 年 1 月 1 日、1978 年 4 月 1 日、1978 年 7 月 1 日、1978 年 10 月 1 日和 1979 年 1 月 1 日, 积分至 1998 年 5 月。统一取模式 1979 年 1 月 1 日至 1997 年 12 月 31 日共 19 年结果的集合平均进行分析。需要指出的是, 模式初始大气场是由模式气候产生的, 和积分开始时刻的实况大气并没有关系, 因此, 试验结果中仅包含了实际海温和海冰的共同作用。

在第 2 节将首先对模式模拟的中国区域气候进行分析; 第 3 节分析模式对 1979~1997 逐年中国汛期等降水和气温的模拟能力; 第 4 节给出几个有代表性年份模式模拟的汛期降水距平与实况的对比; 最后给出了一些结论和讨论。限于篇幅, 分析将主要针对地面气温和降水两个气候要素进行; 同时为与实况对比方便, 将模式结果插值到了中国 160 个观测站上。

2 模式对中国气候的模拟

取中国 160 站同期 (1979~1997 年) 观测平均作为用来检验的实况气候场。

首先, 分析模式对中国月平均气温的模拟。计算模式模拟的 160 站上各月气温的多年平均值, 与上述实况气候场中的月平均气温值求得 (空间) 相关系数, 在表 1 第 2 行中给出。可以看到 CCM3 模式对中国地区月平均气温的模拟效果较好, 模拟气温与实况的相关系数一般大于 0.80, 其中冬半年的模拟效果好于夏半年, 冬季 12~2 月的相关系数数值达到 0.95 及以上。12 个月的平均为 0.89。

表 1 模式模拟的中国区域地面气温、降水与实况的相关系数

月份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均
气温	0.96	0.95	0.92	0.86	0.82	0.79	0.83	0.86	0.89	0.92	0.93	0.95	0.89
降水	0.78	0.62	0.46	0.07	-0.26	-0.41	-0.26	-0.21	-0.09	0.06	0.31	0.76	0.15

图 1 给出中国多年平均地面气温的实况和模式的模拟, 由图上可以看到, 模式对我国气温的总体分布形势模拟较好, 存在的主要误差是模拟的数值系统性偏低, 偏低较多的地方有四川盆地和新疆南疆等地区, 后者的形成原因是由于模式分辨率较低, 不能模拟那些地方的小地形波动引起的。上述模式对中国气温模拟的误差存在于很多全球模式中^[16~18]。

将图 1 中模式模拟和实况的中国多年平均气温求相关, 为两者空间分布的相关系数, 得到的数值为 0.92。徐影等^[17]对最近 IPCC 提供的 5 个全球环流模式 (ECHAM4、HADCM2、GFDL-R15、CGCM1 和 CSIRO-MK2) 结果中对东亚 1961~1990 年气候的模拟进行了分析, 给出它们对东亚年平均气温模拟的相关系数分别为 0.93、0.94、0.87、0.89 和 0.90。从相关系数看出, CCM3 模式对中国气温的模拟能

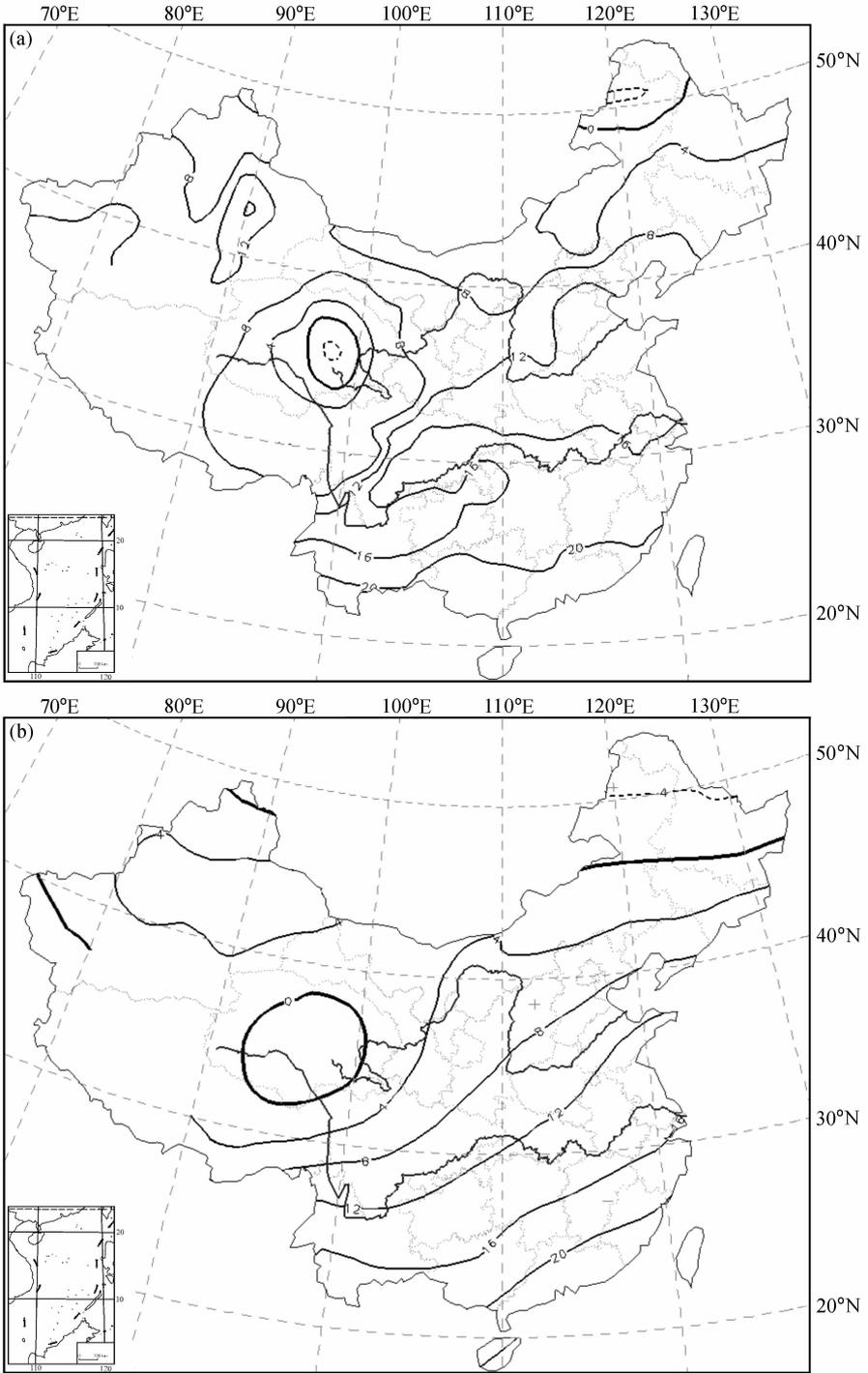


图1 1979~1997年中国平均气温(单位:℃)

(a) 实况; (b) 模式模拟

力和这些模式大体相当。

表1第3行给出模式模拟的中国月平均降水和实况的相关系数。可以看到模式对

中国冬半年的 11~3 月份的降水模拟较好，相关系数值在 0.30 以上，其他月份的模拟则都比较差，其中 6 月份相关系数值低到 -0.41。从图 2 上可以看到，CCM3 模拟的中

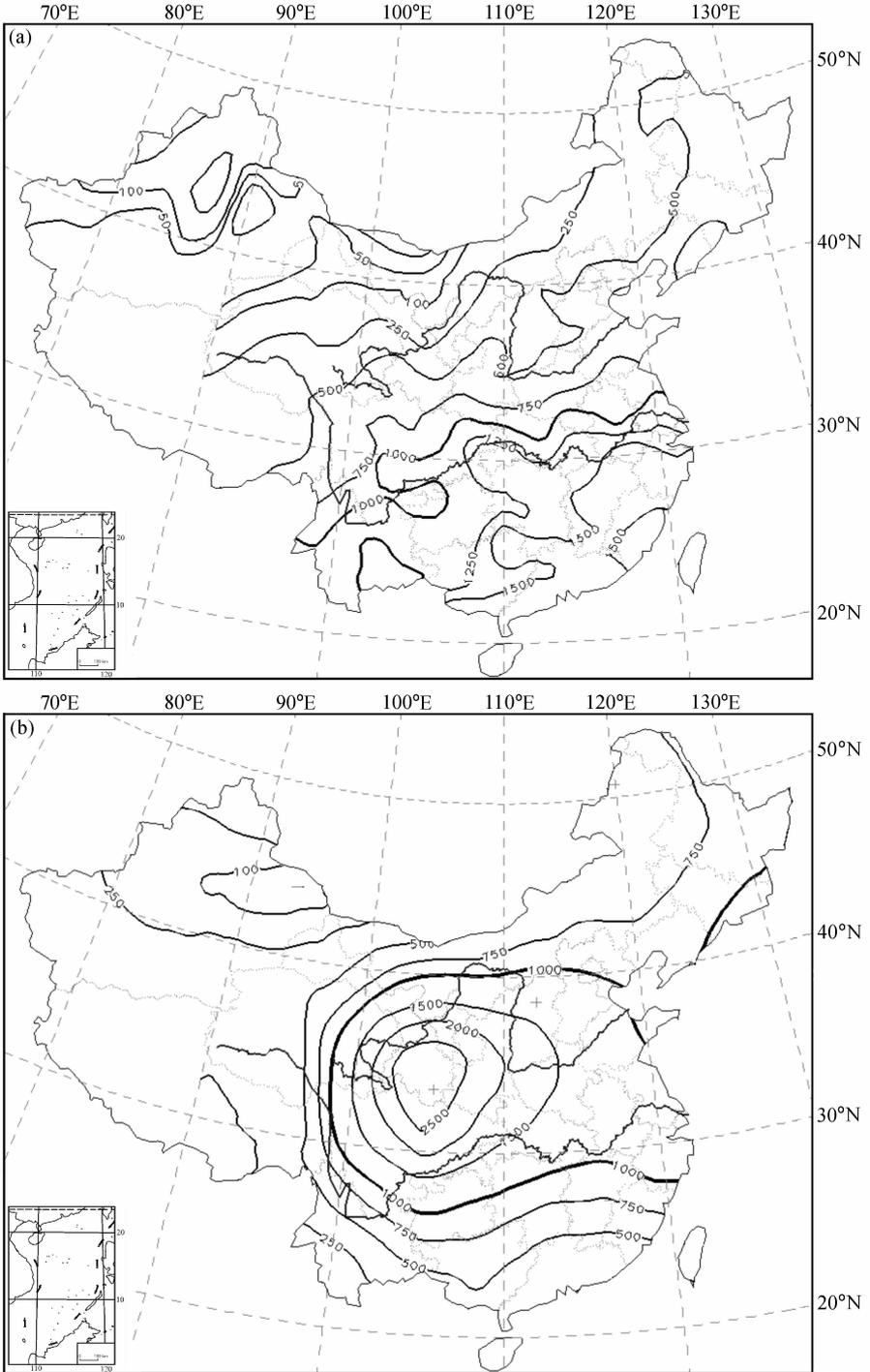


图 2 1979~1997 年中国平均降水 (单位: mm)

(a) 实况; (b) 模式模拟

国降水和许多全球模式一样,在中国中部模拟出了一个大的虚假降水中心^[16~18];两者的相关系数仅为 -0.07 ,与上述 IPCC 5 个模式相比有很大差距(分别为 0.71、0.63、0.51、0.53 和 0.61)。

3 模式对中国历年汛期降水和气温的模拟

3.1 对降水的模拟

计算 160 站模式模拟和实况降水的距平百分率(以下简称降水距平)。气候场选取过程中,为避免当年信息对检验的影响,采用了“刀切法(jack knife)”,取为分别去除当年外其他年的平均。

模式模拟的多年月、季、年平均降水距平与实况距平的空间相关系数一般在 0.0 左右,表明总体来说,模式对中国降水距平基本没有模拟预报能力(分析及图略)。

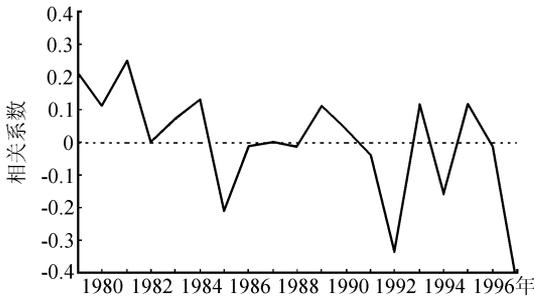


图3 模式模拟的汛期多年降水距平百分率与实况的相关系数

下面对其中的汛期(夏季)部分进行重点分析,首先给出相关系数在各年的分布(图3)。

由图3可以看出,模式模拟与实况的相关系数,总体来说在20世纪80年代的前半段以正为主,80年代后半段至90年代初期在0左右摆动,后期则呈正负相间形式。19年模拟的相关系数值平均仅为0.02,其中只有7年的相关系数大于0.10。

计算模式模拟的19年各站降水距平与各自同期实况的时间相关系数,在图4中给出其地理分布状况。由图4看到,系统性的相关系数负值区位于中国东北及华北、我国中部的甘肃全境向南至四川北部、新疆东部和华南沿海等地区,表明模式对这些地区的模拟预报能力很差。但沿整个长江流域大部分地区,相关系数为系统性的正值,其分散在多处几个中心的数值均达到了90%的信度检验(>0.39),表明模式对这些地方的降水距平有较好的模拟预报能力,即这些地区汛期降水与海温有相对较为密切的关系。另外,和其他研究工作^[19]所指出的CCM3模式对西太平洋副热带高压有一定模拟能力的结果相符合。

选取北京和南京作为我国北方和南方的两个代表站点,在图5中给出模式对它们1979~1997年汛期降水距平的模拟与实况。模式对南京汛期降水距平19年模拟与实况的相关系数为0.44,由图5可以看到两者在许多年份相符合,以20世纪90年代后期为例,模式模拟出了南京地区1991和1996年的大水、1994和1997年的少雨等。模式对北京汛期降水距平模拟与实况的相关系数为 -0.10 ,由图5两条曲线的对比可以看到,模拟和实况一般来说偏差比较大,如模式对20世纪90年代北京地区实况中1994年多雨和1997年干旱现象的模拟都与实况相反。

3.2 对地面气温的模拟

首先,在表2中给出模式模拟的全年1~12月气温距平与实况相关系数的多年平

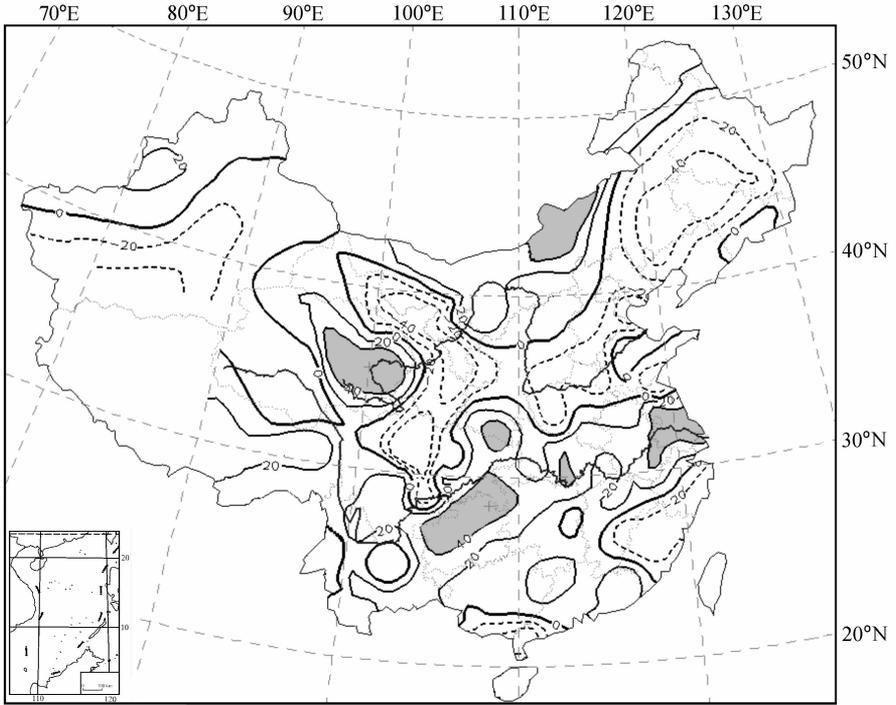


图 4 模式对各站点 19 年汛期降水距平模拟与实况的相关系数 (×100)
阴影：达到 90% 信度检验的地区

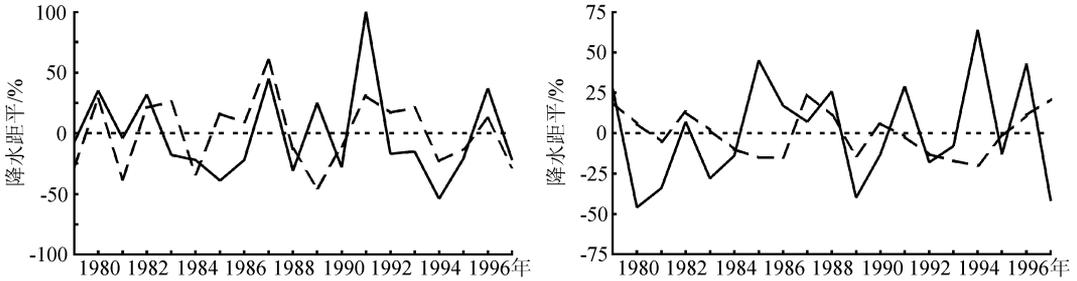


图 5 多年汛期降水距平百分率的实况 (实线) 和模拟 (虚线)
(a) 南京; (b) 北京

均值 (气候场的产生同降水)。由表 2 可以看出, 较之降水, 模式对气温距平的模拟能力要好一些, 全年 12 个月中 1、2、3、5 和 7 月的相关系数达到 0.10 及以上。

表 2 模式模拟的各月气温距平与实况的相关系数

月份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均
相关系数	0.17	0.11	0.11	0.00	0.17	-0.05	0.10	-0.03	0.05	0.04	-0.05	0.02	0.05

与降水相同, 对汛期的情况进行重点分析, 图 6 给出模式模拟的多年汛期气温距平与实况的相关系数, 表明模式对汛期气温距平的模拟较降水好许多, 19 年的模拟中有 12 年的数值大于 0.10, 平均为 0.13。

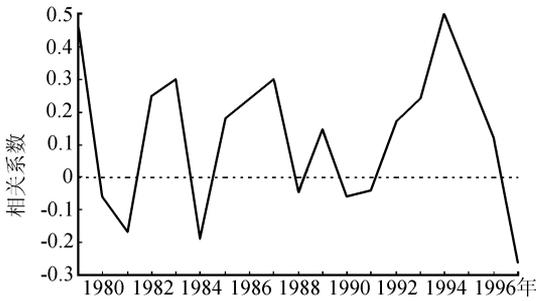


图6 模式模拟的多年汛期气温距平与实况的相关系数

我国汛期降水和气温有较好的相关关系，降水多的情况下一般会气温偏低，反之也是，因此在具体的预报中，可以考虑使用模式的气温预报对降水预报进行补充和订正。

图7给出多年各站点模式气温距平模拟与实况的时间相关系数分布。可以看到，我国东部长江以北、新疆西部和云南等地区为系统性的相关系数正值区，其中东北和华北部分地区、江淮大范围地区的数值超过了90%信度；江南（除沿海地带）和中国中西部基本为负值区。同样，反映出模式对我国汛期气温的预报能力相对来说要高于降水。这种情况也出现在其他模式的试验结果中^[12]。我

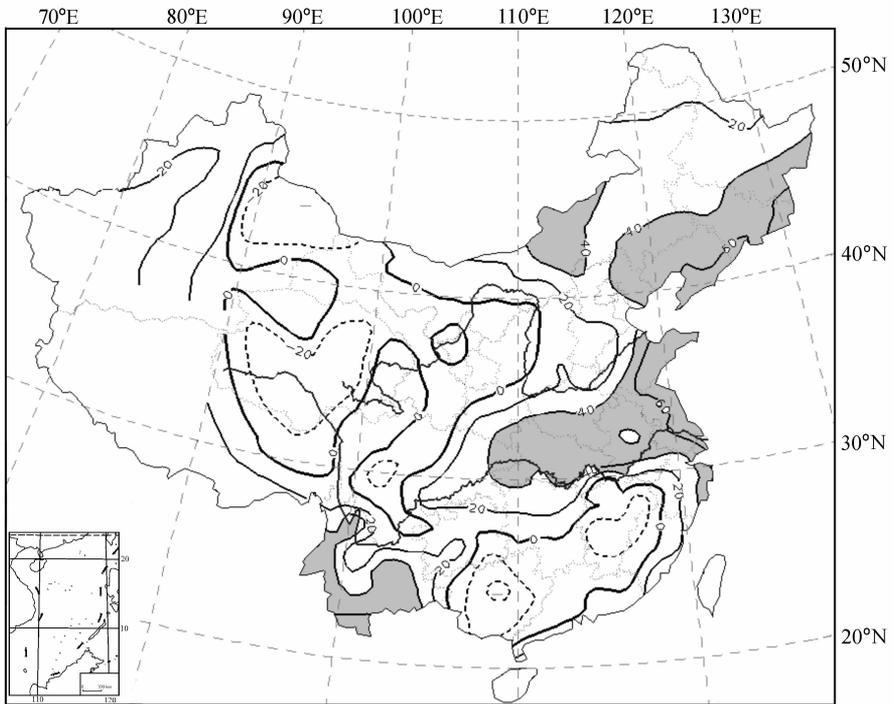


图7 模式对各站点19年汛期气温距平模拟与实况的相关系数 ($\times 100$)

阴影：达到90%信度检验的地区

4 几个汛期降水模拟预测个例的简要分析

下面选取20世纪90年代几个有代表性的年份，对模式模拟的当年汛期降水异常情况进行简要分析。

第1个例子是1991年。1991年汛期降水（图8a）的主要特点是在江淮之间发生严重的暴雨和洪涝灾害；另外东北和西南地区以多雨为主；江南为少雨天气，华北西部

至新疆的大部分地区也以干旱为主。模式模拟的结果(图 8b)中,江淮地区降水也是多的,但降水中心偏到了长江以南;模式模拟的东北地区降水为减少,华北西部至新疆东部降水为增加,均与实况相反。模式模拟和实况的相关系数为 -0.04 。另外,从模

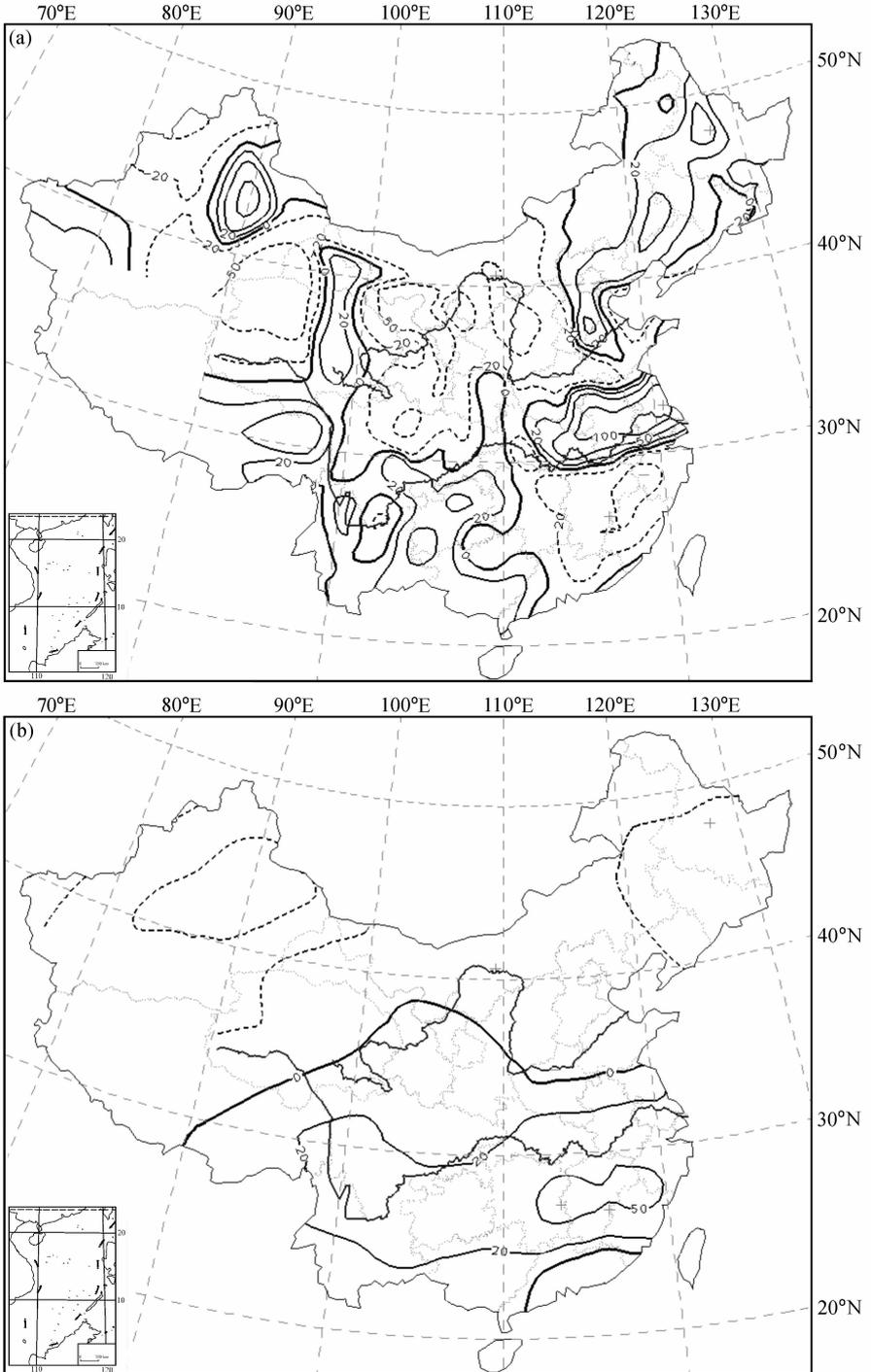


图 8 1991 年汛期降水距平百分率的实况 (a) 和模式的模拟 (b)

拟图上可以看到, 由于模式分辨率较低, 它对降水分布的描述比较粗略, 刻画不了在各地变率很大的小范围降水异常分布。

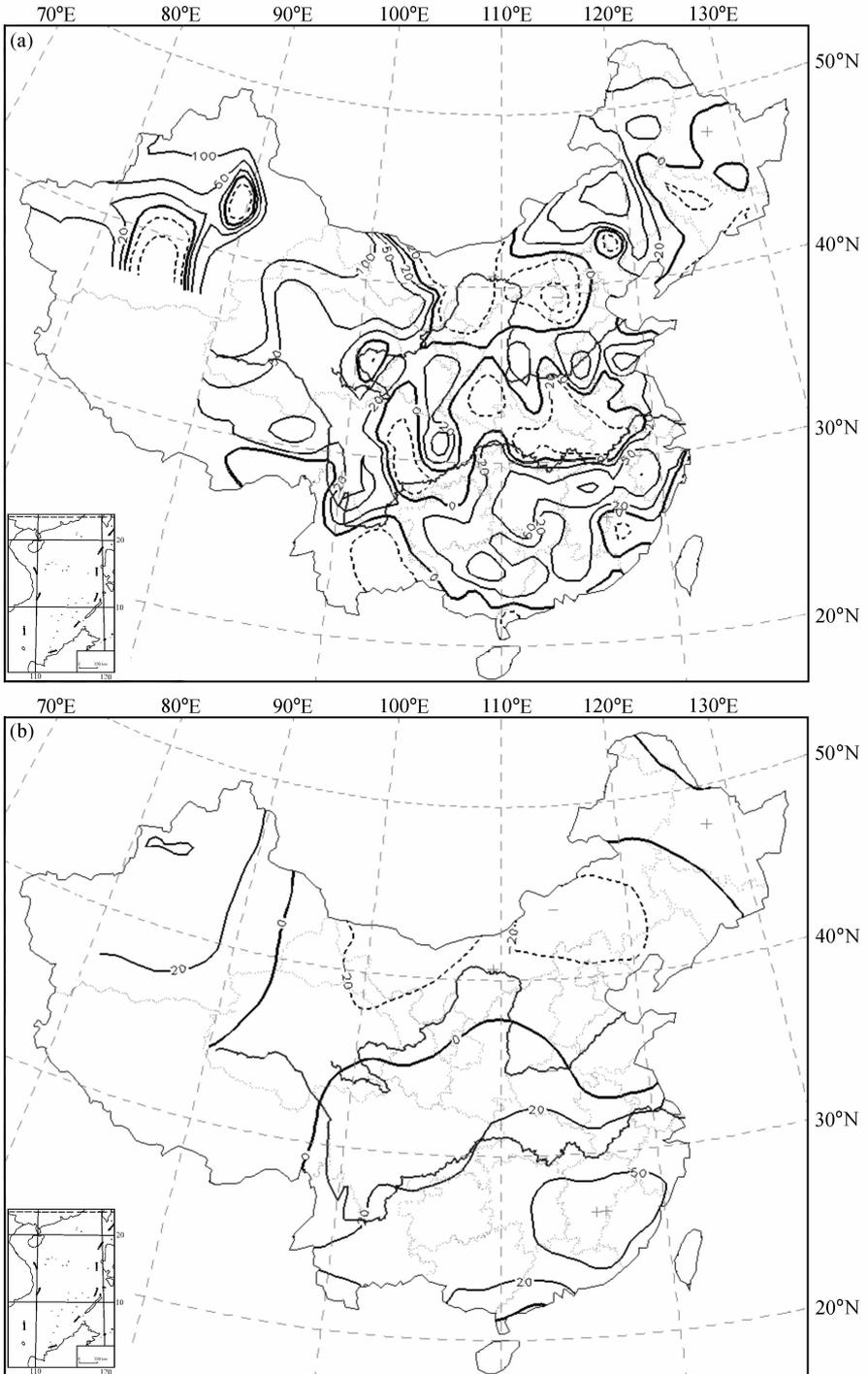


图9 1993年汛期降水距平百分率的实况 (a) 和模式的模拟 (b)

模式模拟的 1993 年降水和实况的相关系数为 0.12。这一年实况降水的主要特点是我国长江以南多雨；长江以北降水分布比较复杂，高值区和低值区相间分布（图 9a）。模式基本上模拟出了江南地区多雨的情况，但对长江以北地区降水的模拟有一定误差；

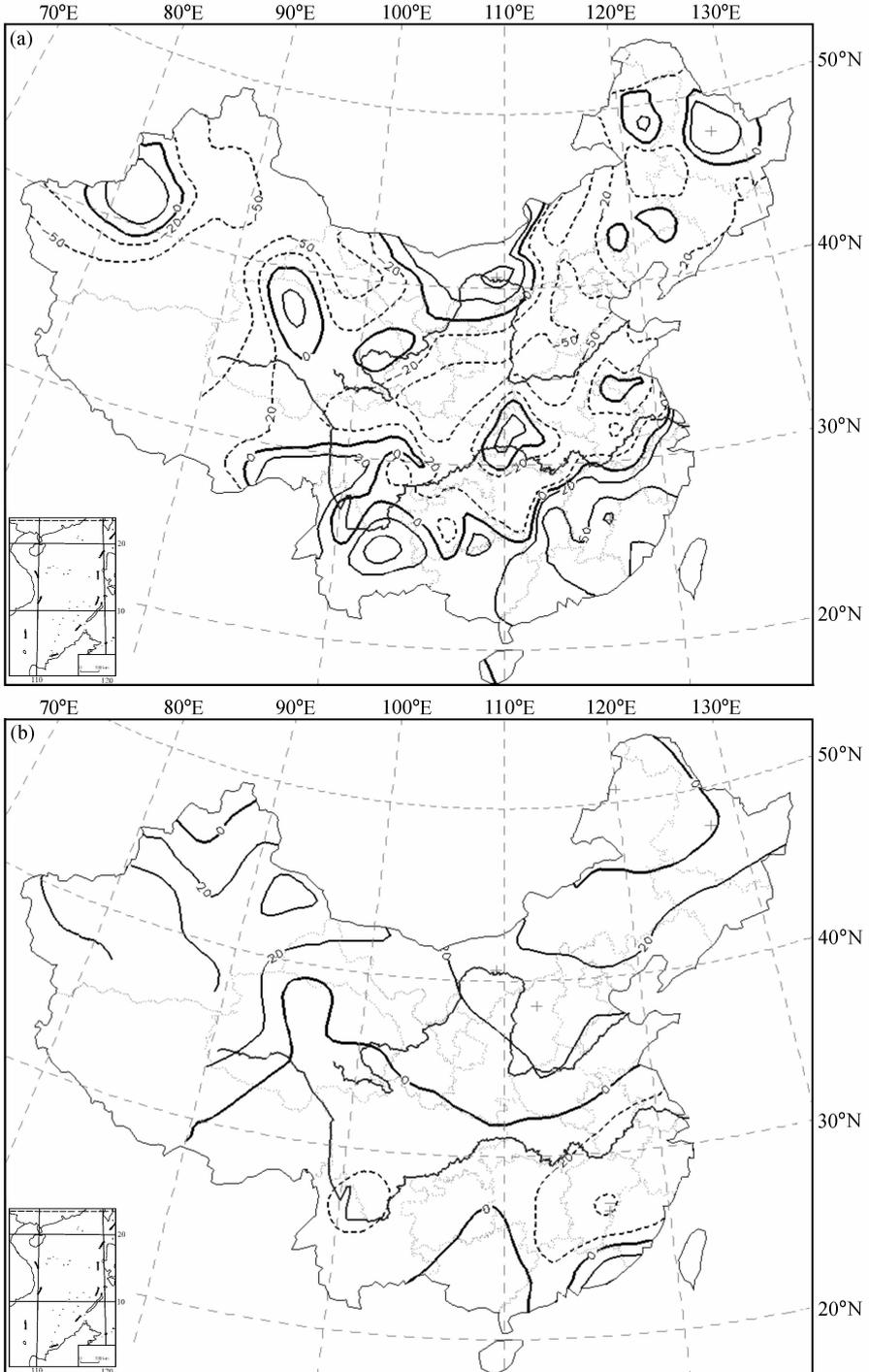


图 10 1997 年汛期降水距平百分率的实况 (a) 和模式的模拟 (b)

其中误差数值较大的是模式在靠近辽宁的内蒙古地区预测了一个大的负距平区,而实况中这里是一个大的正中心(图 9b)。

图 10 给出 1997 年的情况。从给出的实况(图 10a)可以看出,这一年我国降水的主要特点是北方(长江以南)大范围干旱和南方多雨。模式模拟的结果(图 10b)和实况正好相反,为北方多雨,南方少雨。1997 年在国家气候中心的汛期业务预测会商中,各方面的意见比较一致地认为我国北方将以多雨为主,当时考虑的主要预报因子是海温的影响。而这一年实况是北方出现了大旱。在 CCM3 的试验中,1997 年的预报效果也是 19 年中最差的,预测和实况的相关系数仅为 -0.43 。注意到这个试验中模式也仅有海温强迫,说明仅考虑海洋的作用,对东亚的短期气候预测至少有时是不够的,还需要考虑许多其他因素的影响,如充分考虑大气初始场的影响可能也会对预测效果的提高有所帮助^[10]。

5 问题和讨论

(1) CCM3 模式对中国区域气候中地面气温的模拟效果较好,对降水的模拟效果较差。对地面气温模拟的主要误差,为模拟的气温普遍偏低和模式不能模拟小地形变化引起的气温波动。降水模拟的最大误差是在中国中部出现了一个大的虚假降水中心。这和许多全球模式的结果类似,反映了东亚季风区降水模拟的难度。

(2) 观测海温强迫下的 CCM3 模式,对我国整体汛期降水的模拟预报能力较差。其原因一方面是由于模式性能不完善造成的,如所模拟的降水气候态与实况有较大差别。另外一个原因可能是由于模拟试验中没有考虑大气初值的影响。

(3) 观测海温强迫下的 CCM3 模式,对我国汛期降水的模拟预报能力在各地有很大差别,它在部分地区仍表现出较好的模拟效果,如长江流域。表明虽然模式对长江流域等地区气候场的模拟存在较大误差,但是当考察模式对该地区降水距平百分率的模拟能力时,则这种能力可能会相对提高。同时也反映出长江流域降水异常可能受海温的影响较其他地区更大。模式对北方地区降水的模拟效果不好,表明或者那里的可预报性就差,或者海洋对那里降水的影响不大,其他因素如大气初始场等的作用可能更重要。

(4) 观测海温强迫下的 CCM3 模式,对我国一些月份和汛期的地面气温有一定的模拟预测能力。其原因可能是由于模式模拟的气温气候态较好、气温可预报性较高及气温与海温联系更密切等。模式对气温模拟能力较高的地区一般位于长江以北,与降水的情况表现出很大的不一致性,其原因有待于进一步的试验结果分析。此外,由于中国汛期气温和降水较好的相关关系,将来可以考虑使用气温的预报结果对降水预报进行订正和补充工作。

参 考 文 献

- 1 李旭,短期气候异常的数值模拟与预测研究,中国科学院大气物理研究所博士学位论文,1992.
- 2 Lin Zhaohui, and Zeng Qingcun, Simulation of East Asian summer monsoon by using an improved AGCM, *Adv.*

- Atmos. Sci.*, 1997, **14** (4), 513~526.
- 3 林朝晖、李旭、赵彦等, IAP 短期气候预测系统的改进及其对 1998 年全国汛期旱涝形势的预测, 气候与环境研究, 1998, **3** (4), 339~348.
 - 4 袁重光、李旭、曾庆存, 跨季度气候距平数值预测研究小结, 气候与环境研究, 1996, **1** (2), 150~159.
 - 5 Zeng Qingcun, Yuan Chongguang, Li Xu et al., Seasonal and extraseasonal predictions of summer monsoon precipitation by Gcms, *Adv. Atmos. Sci.*, 1997, **14** (2), 163~176.
 - 6 赵彦, 中国汛期旱涝预测地机理研究和预测方法研究, 中国科学院大气物理研究所博士学位论文, 2000.
 - 7 林朝晖、赵彦、周广庆等, 1999 年中国夏季气候的预测和检验, 气候与环境研究, 2000, **5** (2), 97~108.
 - 8 林朝晖、赵彦、周广庆等, 2000 年中国夏季降水气候的预测和检验, 自然科学进展, 2002, **12** (7), 771~774.
 - 9 郎咸梅、王会军、姜大膀, 应用九层全球大气格点模式进行的跨季度短期气候预测系统性试验, 地球物理学报, 2004, **47** (1), 19~24.
 - 10 郎咸梅、王会军、姜大膀, 大气初始异常在跨季度短期气候预测中作用的研究, 大气科学, 2004, **28**.
 - 11 高学杰、赵宗慈, 北半球和中国气候的模拟及 1996 年汛期预测的试验及检验, 应用气象学报, 1997, **8** (增刊), 145~153.
 - 12 Gao Xuejie, and Zhao Zongci, Experiments of Short-term Climate Prediction by the OSU/NCC GCM for Summer Season in China, *Acta Meteor. Sinica*, 2000, **14** (3), 280~291.
 - 13 Wang Huijun, Taroh Matsuno, and Yoshio Kurihara, Ensemble Hindcast experiments for the flood period over China in 1998 by the use of CCSR/NIES atmospheric general circulation model, *J. Meteor. Soc. Japan*, 2000, **78** (4), 357~365.
 - 14 Kiehl, J. T., J. J. Hack, G. B. Bonan et al., The national center for atmospheric research community climate model: CCM3, 1998, *J. Climate*, **11**, 1131~1149.
 - 15 罗勇、王邵武、党鸿雁等, 近 20 年来气候模式的发展与模式比较计划, 地球科学进展, 2002, **17** (3), 372~377.
 - 16 Gao Xuejie, Zhao Zongci, Ding Yihui et al., Climate change due to greenhouse effects in China as simulated by a regional climate model, *Adv. Atmos. Sci.*, 2001, **18** (6), 1224~1230.
 - 17 徐影、丁一汇、赵宗慈, 近 30 年人类活动对东亚气候变化影响的检测与评估, 应用气象学报, 2002, **13** (5), 513~525.
 - 18 高学杰、周广庆、陈嘉滨, 仅引入质量守恒律的 T63 模式对全球大气环流和中国气候的模拟, 气候与环境研究, 2003, **8** (3), 339~347.
 - 19 蔡静宇, 近百年来中国降水年代际变率的诊断与模拟研究, 北京大学博士学位论文, 2002.

A Simulation of Regional Climate in China by Using CCM3 and Observed SST

Gao Xuejie¹⁾, Lin Wantao²⁾, Fred Kucharsky³⁾, and Zhao Zongci¹⁾

1) (*National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081*)

2) (*Institute of Atmospheric physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*)

3) (*The Abdus Salam International Center for Theoretical Physics, Trieste, Italy*)

Abstract Driven by observed SST and sea ice, 5 ensemble AMIP2 runs for 19 years (1979~1997) were conducted by NCAR/CCM3. Results of the runs in China focused on air surface temperature and precipitation were analyzed. It shows that the model can reproduce well the annual mean air surface temperature pattern in China. However the simulated temperature exhibits a general cold bias of a few de-

grees over extended regions while the bias may be even greater in the regions with the fine topography. The model fails in the simulation of precipitation. It tends to simulate a virtual big precipitation center in mid China, as the other GCMs did. Analysis of the simulated summer precipitation anomaly shows that the model has a generally poor ability in its simulation in China, but it does show the ability in some regions, e. g. Yangtze River valley. The model has a better performance to simulate the summer temperature anomaly, especially in eastern part of North China.

Key words: general circulation model; climate simulation; regional climate; short-term climate prediction