

IAP 数值气候预测系统对 2004 年 中国夏季气候的预测

陈红 林朝晖 周广庆

中国科学院大气物理研究所国际气候与环境科学中心, 北京 100029

摘要 通过 1980~2000 年共 21 年的集合后报试验, 考察水平分辨率提高至 $2^\circ \times 2.5^\circ$ 的 IAP 短期数值气候预测系统对中国夏季气候异常的预报技巧。后报试验结果表明: 该预测系统对中国夏季气温异常具有较好的预报能力, 此外对夏季降水异常也具有一定的预报能力。利用 IAP ENSO 预测系统, 较好地预报出 2004 年 3 月以后热带太平洋海温的演变情况, 并在此基础上, 对 2004 年中国夏季气候进行了实时预测。与实况比较表明, IAP 数值气候预测系统总体上较好地预报出 2004 年夏季我国大范围的降水和温度异常分布, 特别是较好地预测出夏季我国北方大部、华南沿海等地区气温偏高, 而黄淮以及长江中上游地区气温偏低的观测事实。预测的温度距平与中国地区 160 个站观测实况的距平相关系数可达 0.39。

关键词 数值预测 集合预测 El Niño 夏季旱涝

文章编号 1006-9585 (2005) 01-0032-09 **中图分类号** P461 **文献标识码** A

Real-Time Prediction of 2004 Summer Climate Anomalies Using IAP Dynamical Climate Prediction System

CHEN Hong, LIN Zhao-Hui, and ZHOU Guang-Qing

Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

Abstract By increasing the horizontal resolution of IAP AGCM from $4^\circ \times 5^\circ$ to $2^\circ \times 2.5^\circ$, the IAP dynamical climate prediction system (IAP DCP) has been updated, and 21-year hindcast experiment during 1980—2000 has been conducted to assess the predictive skill of IAP prediction system in predicting the summer climate anomalies over China. Hindcast experiments show that, IAP dynamical seasonal prediction system is relatively skillful in the prediction of summer surface air temperature anomalies over China, and also exhibits certain skill in the prediction of summer rainfall anomalies. Using the IAP ENSO prediction system, the evolution of sea surface temperature anomalies (SSTA) over tropical Pacific Ocean from March 2004 has been quite well predicted, and then IAP dynamical climate prediction system has been applied to the prediction of summer climate anomalies over China based on the predicted SSTA over tropical Pacific Ocean. Comparisons with the observation show that, IAP DCP can quite well predict the observed large-scale pattern of summer rainfall and surface air temperature anomalies over China. Especially for the surface temperature prediction, the hot summer over most part of the Northern China and South China coastal areas has all been well predicted by IAP DCP, and the correlation coefficient between the predicted and observed surface air temperature in 160 stations over China can reach about 0.39.

Key words dynamical prediction, ensemble prediction, El Niño, summer drought/flood

收稿日期 2004-12-27, 2005-01-24 收到修定稿

资助项目 中国科学院知识创新方向性项目 KZCX3-SW-221、国家自然科学基金资助项目 40233027 及国家基金委创新研究群体项目 40221503

作者简介 陈红, 女, 1972 年 2 月出生, 博士, 主要从事气候预测研究。E-mail: chh@mail.iap.ac.cn

1 引言

中国是世界上气候灾害最为频繁的少数国家之一,为减轻旱涝灾害对国民经济和社会发展所造成的危害,中国科学院大气物理研究所早在 20 世纪 80 年代末就开始利用气候模式开展中国夏季旱涝趋势的跨季度数值气候预测^[1]。随后短期气候预测在国际上也越来越受到人们的重视,并已成为“气候变化及可预报性”(CLIVAR)等国际研究计划的重要内容,世界上诸多著名研究中心也纷纷开展短期气候预测领域的研究,建立各有特色的短期数值气候预测系统,并进行实时预测试验^[2~4]。

在曾庆存等^[1]开创性工作的基础上,中国科学院大气物理研究所建立了较为完善的第一代数值气候预测系统 IAP DCP-I^[5,6],实时预测结果表明该预测系统对中国夏季旱涝的大范围形势有着较好的预测能力^[7]。随后,通过对该预测系统中模式的改进,以及引入 IAP ENSO 预测系统^[8]等一系列改进和完善工作,林朝晖等^[9]建立了中国科学院大气物理研究所第二代跨季度数值气候预测系统(IAP DCP-II),并成功地应用于 1998 年特大洪涝灾害的实时预测。在以后的实时预测实践中,IAP DCP-II 也表现出较好的预测能力。如该预测系统很好地预测出 1999 年我国南涝北旱的大范围旱涝形势;对 2000 年我国主要雨带位于黄淮之间,北方地区持续干旱少雨的形势,模式预测的结果与观测也十分接近^[10,11];此外该预测系统还很好地预测出 2002 年我国华北、东北干旱少雨的大范围形势,同时预报出来的长江下游以及我国南方大部降水偏多的形势也与观测实况十分接近^[12]。总体说来,IAP DCP-II 对我国夏季旱涝形势有着良好的跨季度预测能力。

然而,虽然 IAP DCP-II 对中国夏季降水距平的大范围形势预测效果较好,但较降水分布的细致结构而言,还值得进一步改进。为此,张凤等^[13]在 IAP 第一代大气环流模式的基础上,将其水平分辨率从原先的 $4^{\circ} \times 5^{\circ}$ 提高到 $2^{\circ} \times 2.5^{\circ}$,模拟结果表明,水平分辨率的提高确实一定程度上改进了该模式对全球以及东亚区域气候的模拟能力。陈红等^[14]的研究还发现提高了水平分辨率

的 IAP 气候模式对中国春季气候具有一定的预报能力,特别是对春季中国西北地区降水异常和近地面风场具有较好的预报技巧。为此,有必要利用提高了水平分辨率的 IAP 气候模式来进一步改进原有的 IAP 数值气候预测系统,以提高我国夏季气候异常的预测能力。

在本文中,将首先考察提高了水平分辨率的 IAP 数值气候预测系统对中国夏季气候异常的预测能力,尤其是考察模式对夏季温度异常的预测技巧。在此基础上,利用该预测系统对 2004 年夏季气候异常进行实时预测,并与观测实况进行了比较检验。

2 夏季气候异常的后报试验

2.1 后报试验设计

为了将提高了水平分辨率的大气环流模式(水平分辨率为 $2^{\circ} \times 2.5^{\circ}$)应用于我国夏季旱涝趋势的实时预测,首先需要对该模式的预测性能进行系统性的评估。为此,我们利用该模式进行了 1980~2000 年共 21 年的夏季旱涝趋势的集合后报试验,通过与实测结果的比较来考察提高了水平分辨率的 IAP 数值气候预测系统对中国夏季气候的预测能力。

集合后报试验所采用的大气初始场资料取自美国国家环境预测中心(NCEP)1980~2000 年再分析资料,包括风场、相对湿度、高度场和温度场。后报试验的集合同本取为 28 个,即取每年 2 月 1~28 日的 NCEP 再分析的大气场作为初始场(与实时预测相对应),对于每个集合同本均积分 1 年,最后对 28 个集合同品取算术平均作为集合预测结果。

由于地温、地面湿度及雪盖等没有观测资料,则用模式积分第 60 年的模式气候场代替;后报试验中所采用的逐月海表温度取为模式气候海温与后报当年逐月观测的海温异常之和,其中观测的海表温度采用由 Reynolds 等^[15]分析的 1980~2000 年每月的全球海温资料。用于评估的观测降水取自 1951~2001 年中国大陆 160 站点的月平均降水量。具体的集合后报试验方案可见表 1。

2.2 后报试验结果分析

自 1999 年以来,我国北方地区(特别是华北

表 1 集合后报试验方案
Table 1 The scheme of hindcast experiment

预测系统 Prediction system	IAP DCP-II. b
大气模式 Atmospheric model	分辨率为 $2^{\circ}\times 2.5^{\circ}$ 的 IAP AGCM- I IAP AGCM- I with $2^{\circ}\times 2.5^{\circ}$ horizontal resolution
海表温度 Sea surface temperature	模式气候海温与实测海温异常之和 Climatological SST+Observed SSTA
大气初值 Atmospheric initial conditions	取自 NCEP 再分析资料, 并插值到大气模式的水平格点和垂直层次上 (模式水平分辨率为 $2^{\circ}\times 2.5^{\circ}$) Interpolate NCEP real-time analysis data into the model grid-point with $2^{\circ}\times 2.5^{\circ}$ horizontal resolution
地面温度、地面湿度、雪盖 Surface temperature, surface humidity, snow converge	取自大气环流模式的模式气候场 From the results of atmospheric circulation model
集合样本 Ensemble Size	28 个集合样本, 亦即大气初值取为 2 月 1~28 日的 NCEP 再分析结果 (集合后报时段为 1980~2000 年共 21 年) Each ensemble hindcast experiment has 28 members with different initial fields from Feb. 1 to 28, respectively. There are total 21 ensemble hindcast experiments during 1980~2000
集合方案 Ensemble scheme	算术平均 Arithmetic average
降水订正方案 Correction scheme	降水距平百分率订正 ^[16] Percentage rainfall anomaly correction method ^[16]
观测降水 Observed rainfall	中国大陆 160 个站点观测资料 (1980~2000 年) Observed data at 160 stations of China during 1980~2000

表 2 预测评估区域的划分
Table 2 Division for the regions which are used in prediction

区域 Region	范围 Domain
西部 Western China	105°E 以西 West of 105°E
东部 Eastern China	105°E 以东 East of 105°E
东北 Northeast China	42°N 以北, 105°E 以东 North of 42°N, east of 105°E
西北 Northwest China	38°N 以北, 105°E 以西 North of 38°N, west of 105°E
华北 North China	34~42°N, 100°E 以东 34~42°N, east of 100°E
江淮 Huaihe River and Yangtze River Valley	26~32°N, 105°E 以东 26~32°N, east of 105°E
华南 South China	30°N 以南, 100°E 以东 South of 30°N, east of 100°E

地区) 连续几年出现了高温酷热天气, 2003 年夏季我国南方大部地区也出现了罕见的高温酷暑天气, 这些均给国家的电力能源以及人民群众的身体健康等造成了很大的影响。为此, 在本节中我们除了考察提高了水平分辨率的 IAP 数值气候预测系统对中国夏季旱涝趋势的预测技巧, 还同时考察了该预测系统对中国夏季气温异常的预报能力。

本文将分区域来考察提高了水平分辨率的 IAP 数值气候预测系统对中国夏季气候的预测能力。我们将中国大陆沿 105°E 分为东、西两大部

万方数据

分, 此外又再划分为东北、西北、华北、江淮及华南等地区。具体的区域划分可见表 2。

2.2.1 夏季气温的预报技巧评估

图 1 给出了提高了水平分辨率的预测系统对中国 160 站夏季气温距平的集合后报 (1980~2000 年) 结果与实况的时间相关系数的空间分布。由图可见, 相关系数大值区的分布集中于除长江中上游地区外的我国大部分地区, 许多地区相关超过了 0.6, 通过了 0.01 的显著性检验 (相关系数大于 0.55)。预测与实况相关系数大于 0.2 的站数达 98 个, 占总站数的 60% 以上,

说明改进后的预测系统对我国夏季气温具有较好的预测能力。

为更直观地考察预测系统对我国夏季温度距平的预报能力,图 2 给出了该预测系统对中国 160 个站平均的夏季温度距平集合后报结果的时间序列,同时还给出了 1980~2000 年观测的 160 站平均温度距平时间序列。从图中可以发现,该预测系统对 1987 年以后的全国平均气温变化趋势的模拟结果与实况相比总体较为一致(虽然温度变化的幅值跟实际相比偏低);特别是 1994 年后全国气温持续偏高,预测系统的后报试验结果与实测十分相符。以上的集合后报结果表明,提高了水平分辨率的 IAP 数值气候预测系统可用来进行我国夏季气温异常的实时预测。

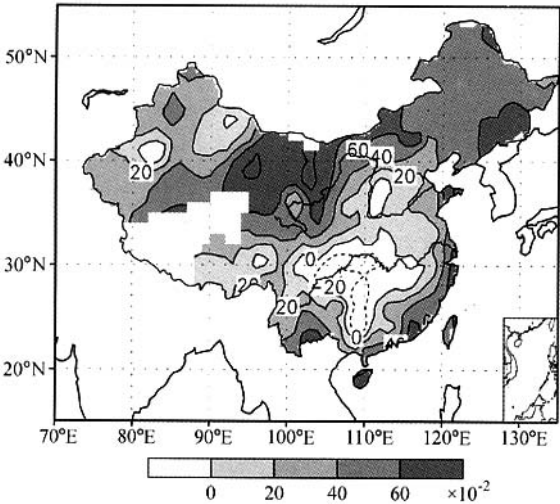


图 1 集合后报的中国夏季温度距平与实况相关系数的分布
Fig. 1 Spatial distribution of the anomaly correlation coefficient between the hindcast and observed surface air temperature

2. 2. 2 夏季降水距平百分率的预报技巧评估

本节主要考察水平分辨率提高后 IAP 数值气候预测系统对 1980~2000 年总共 21 年我国夏季降水趋势的集合后报技巧,并同分辨率改进之前的结果进行比较。本文主要采用距平相关系数(A_{cc})、同号率(T)以及业务评分(P_e)3 个评估指标^[17]来考察模式的预报技巧,表 3 给出的均是订正之后的结果。从表 3 可以发现,对于订正之后的预测结果,提高分辨率前后,各区域的同号率除华北外,均大于 0.50,说明水平分辨率提高前后, IAP 预测系统都能预测出中国主要的夏季降水趋势。就全国而言,3 项指标中均以新版本系统后报技巧略高。具体到各个分区,我们可以发现对于 T 和 P_e 来说,除东北外,提高了水平分辨率的预测系统的预测技巧略高于水平分辨率提高之前的结果;而对于 A_{cc} 而言,水平分辨率提高之后预测系统的预测技巧与分辨率提高之前基本相当,在西部和江淮地区距平相关系数略有提高,但在其他区域则略有下降。

从以上 3 个评估指标的比较可以看出,新版本预测系统对我国夏季降水的预测技巧相对旧版本略有改进,但基本相当。这可能是由于虽然模式水平分辨率有所改进,但模式的物理过程并没有较大改进的缘故。

3 2004 年夏季气候异常的实时预测

在上述后报试验的基础上,本节将给出提高了水平分辨率的 IAP 数值气候预测系统(IAP

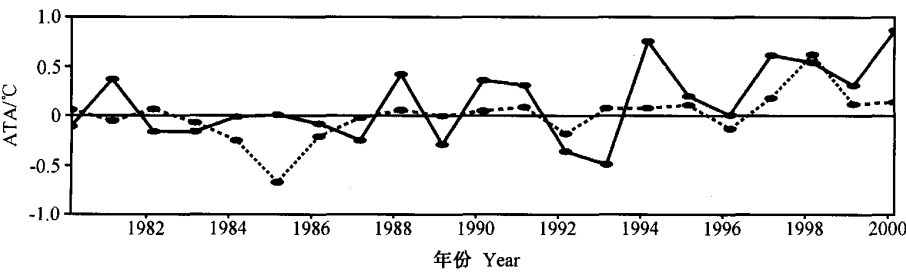


图 2 1980~2000 年中国 160 站平均的夏季气温距平(ATA)的年际变化。实线:观测结果;虚线: IAP 数值气候预测系统(IAPOCP-II. b)的集合后报结果
Fig. 2 Interannual variability of summer air temperature anomaly (ATA) averaged over the 160 stations in China during 1980—2000. Solid line; Observation; Dashed line; Ensemble hindcast results by IAP dynamical prediction system (IAPOCP-II. b)

表 3 水平分辨率提高前后 IAP 数值气候预测系统对 1980~2000 年共 21 年中国夏季降水异常集合后报技巧的比较
Table 3 The 21-year averaged ensemble hindcast skill during 1980—2000 for summer percentage rainfall anomalies over China for the IAP climate prediction system with horizontal resolution of $4^{\circ}\times 5^{\circ}$ and $2^{\circ}\times 2.5^{\circ}$ in latitude and longitude, respectively

区域	Region	水平分辨率提高前			水平分辨率提高后		
		Coarse horizontal resolution ($4^{\circ}\times 5^{\circ}$)			Higher horizontal resolution ($2^{\circ}\times 2.5^{\circ}$)		
		Acc	T	P _c	Acc	T	P _c
全国	China	0.04	0.52	76.00	0.06	0.54	77.15
西部	Western China	0.05	0.51	71.78	0.07	0.53	73.83
东部	Eastern China	0.06	0.53	72.15	0.05	0.54	72.61
东北	Northeast China	-0.08	0.55	73.82	-0.13	0.54	73.48
华北	North China	0.02	0.47	66.53	-0.01	0.49	67.38
江淮	Huaihe and Yangtze River Valley	0.15	0.59	70.05	0.15	0.60	70.73
华南	South China	0.10	0.51	69.27	0.08	0.53	70.42

表 4 赤道太平洋海域海表温度及其距平的演变
Table 4 Evolution of the sea surface temperature and its anomalies in four equatorial Pacific Ocean regions

月份	太平洋海温 Pacific SST							
	Niño 1+2		Niño 3		Niño 3.4		Niño 4	
	0°~10°S, 90~80°W		5°N~5°S, 150~90°W		5°N~5°S, 170~120°W		5°N~5°S, 160~150°W	
	海表温度距平	海表温度	海表温度距平	海表温度	海表温度距平	海表温度	海表温度距平	海表温度
Month	SSTA	SST	SSTA	SST	SSTA	SST	SSTA	SST
2004-09	-0.4	20.1	0.3	25.2	0.8	27.5	1.1	29.6
2004-08	-1.2	19.6	0.1	25.1	0.8	27.5	0.9	29.3
2004-07	-1.1	20.7	-0.2	25.4	0.6	27.7	0.8	29.4
2004-06	-1.4	21.6	-0.1	26.3	0.3	27.8	0.5	29.2
2004-05	-1.3	23.1	-0.3	26.7	0.3	28.1	0.5	29.2
2004-04	-0.2	25.3	0.0	27.4	0.2	27.8	0.3	28.8
2004-03	-0.5	25.9	0.1	27.2	-0.1	27.1	0.3	28.4
2004-02	-0.2	25.8	0.1	26.5	0.2	26.9	0.6	28.6
2004-01	0.1	24.6	0.3	25.9	0.2	26.7	0.7	28.8
2003-12	0.2	23.0	0.5	25.6	0.4	26.9	0.8	29.0
2003-11	0.3	21.9	0.5	25.4	0.5	27.1	1.0	29.3
2003-10	0.1	21.0	0.4	24.3	0.6	27.2	0.8	29.2

注: SST: sea surface temperature, SSTA: sea surface temperature anomalies.

DCP-II. b) 对 2004 年夏季气候异常,特别是对我国夏季的降水以及温度异常的实时预测结果,并与实况进行比较,以检验该预测系统的实时预测能力。

在实时预测过程中,我们采用的是“两步法”。首先利用 IAP ENSO 预测系统对热带太平洋地区的海温异常进行实时预测;随后利用预测的海温距平结合观测的 2004 年 2 月份全球海温距平,生成大气环流模式积分所需要的 2004 年 3~8 月下垫面海温距平^[9],并用之驱动大气环流模式,

开展集合预测试验。实时预测过程中大气初始场源自 NCEP 实时分析资料,取为 2004 年 2 月 1~28 日逐日的大气场,并积分至 2004 年 8 月 31 日,最后取 6、7、8 月的平均作为夏季平均。

3.1 热带太平洋地区海温演变及其实时预测

表 4 给出了 2003 年 10 月至 2004 年 9 月期间热带太平洋地区不同海域海表温度及其异常的演变情况。从表中可以看到,2003 年 10~11 月在赤道中东太平洋出现了一次弱的增暖过程, Niño3/3.4 区域的距平海表温度达到 0.5℃,但 2004 年

1 月即减弱到 0.3°C ; 而在中西太平洋一直维持较暖的状态。到 2004 年的 2 月, 整个赤道中东太平洋处于正常状态, 但西太平洋依然维持较暖的状态。在海洋次表层, 赤道中太平洋温跃层为 $3\sim 4^{\circ}\text{C}$ 正距平, 而东太平洋则是 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ 的负距平。在大气方面, 自 2003 年 11 月, 季节内振荡较活跃, 到 2004 年 2 月, 中太平洋低层 (850 hPa) 是东风距平, 高层是西风距平。SOI (Southern Oscillation Index) 指数也同样表现出很强的季节内变化。

随后几个月, 赤道海表温度继续降低, 东太平洋 (Niño3) 还出现了弱的负距平。到 2004 年 6 月, 赤道中、东太平洋海温停止下降并开始上升。7 月, 赤道中太平洋 ($175^{\circ}\text{E}\sim 140^{\circ}\text{W}$) 的温度距平达到了 $+1.0^{\circ}\text{C}$, Niño3.4 的距平也达到 0.6°C , 但在东太平洋还依然是负距平。在其后的几个月里, 海温继续上升, 并逐渐向东扩展, 显现出 El Niño 形成的初始状态。其中在中太平洋 ($160^{\circ}\text{E}\sim 145^{\circ}\text{W}$) 距平维持在 $+1.0^{\circ}\text{C}$, Niño3.4 的海温距平也达到 0.8°C , 按照美国 NOAA 业务标准已经构成一次 El Niño 事件; 但在赤道东太平洋, 海温增暖幅度并不大, Niño3 区的海温距平一直没有超过 0.5°C , Niño1+2 区更是一直维持着负距平。因此在 2004 年秋季以前, 热带中东太平洋海温状况处于正常状态, 距平幅度小于 0.5°C ; 进入秋季后, 海温有所升高, 但主要出现在中太平洋, 东太平洋虽也变暖, 但幅度不大, 还不能构成一次明显的 El Niño 事件。

利用中国科学院大气物理所 ENSO 预测系统, 2004 年 3 月对热带太平洋地区海表温度的演变进行了实时预测。在实际预测过程中, 分别从 2004 年 1、2、3 月 1 日的 00 时起报, 向前预测 12 个月, 将 3 个预测结果进行集合平均作为最终的预测结果。另外实际的预测过程还采用了两种不同的初值形成方法, 一种是采用原有方案^[8,18], 另一种采用海洋资料同化方案^[19,20], 两种方案的预测结果有所不同 (图 3)。方案一的预测结果显示, 赤道东太平洋海温在 2004 年前半年下降, 后半将逐渐升高, 但距平幅度均在 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 之内 (图 3a); 方案二的预测显示, 赤道东太平洋海温在 2004 年初期下降, 然后逐渐升高, 到 2004 年秋季

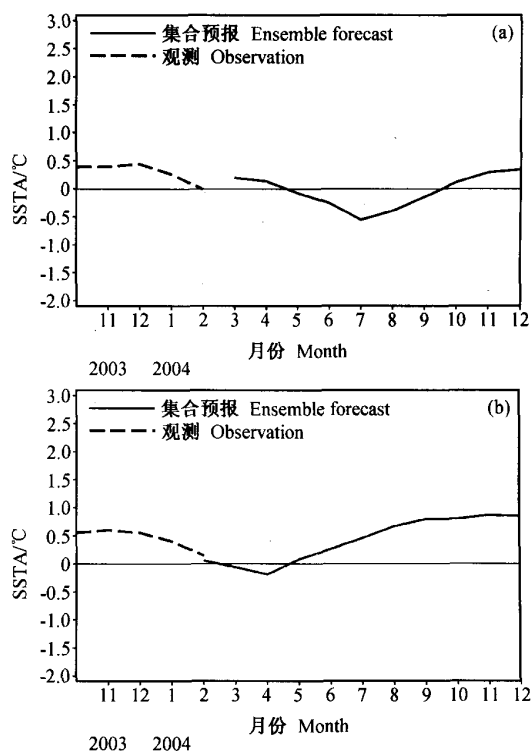


图 3 IAP ENSO 预测系统 2004 年春季预测的 Niño3 区海表温度距平 (SSTA) 演变。(a) 原有初值形成方案; (b) 海洋同化初值形成方案

Fig. 3 Predicted sea surface temperature anomalies (SSTA) in Niño 3 region initiated from February 2004 by IAP ENSO prediction system. (a) Initial conditions with the original scheme, (b) initial conditions with oceanic data assimilation

后会形成一次弱的暖事件 (图 3b)。与海温演变的实况比较可知, 总体上方案一的预测效果要好于方案二的结果。而在夏季气候异常的实时预测中, 我们所采用的热带太平洋区域的海温演变也是采用方案一的预测结果。

3.2 中国夏季温度及降水异常的实时预测

本节主要分析提高了水平分辨率的 IAP 数值气候预测系统对 2004 年我国夏季气候异常的实时预测结果。

图 4 给出了 2004 年夏季中国区域气温距平的观测结果以及气候预测系统的预测结果。从图 4a 的观测结果可以发现, 2004 年夏季我国北方大部温度偏高, 新疆东南部、内蒙古东北部、黑龙江和吉林两省西部偏高 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$; 而在黄淮以及长江中上游地区, 夏季温度则较常年偏低; 此外江苏

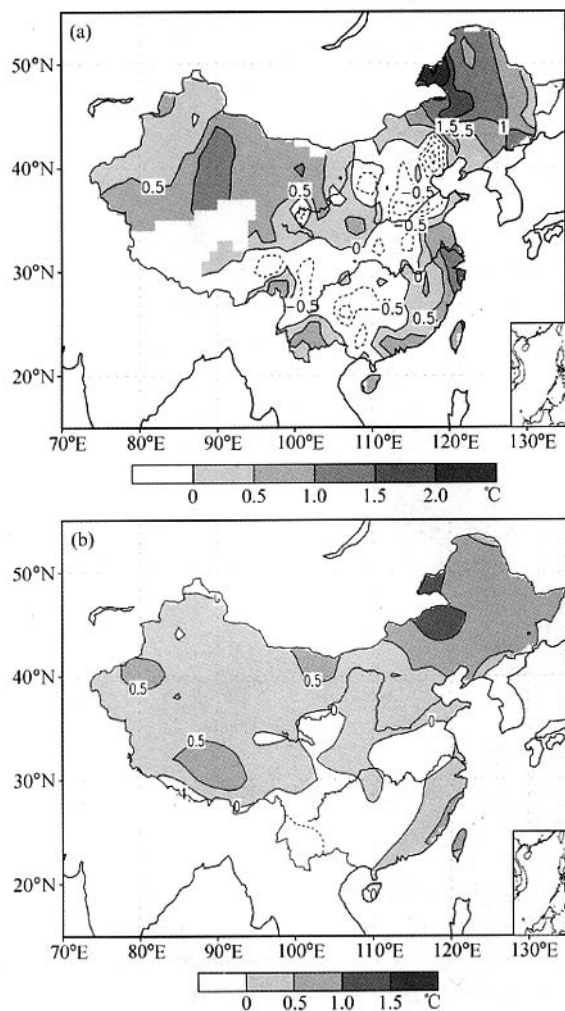


图4 中国2004年夏季平均气温距平分布。(a)观测;(b)预测

Fig. 4 Surface air temperature anomalies over China for the summer of 2004. (a) Observation; (b) Prediction by IAP dynamical prediction system

东南部、浙江东北部以及华南沿海地区的温度则较常年偏高。图4b为IAP数值气候预测系统的预测结果,与观测实况比较可以发现,该预测系统较好地预报出2004年夏季我国北方大部地区气温偏高的观测事实,还较好地预测出黄淮以及长江中上游地区的气温偏低区。对于我国浙江东部、华南沿海等地区的气温正距平区,观测与实况也较为相符。

另外,利用2004年中国大陆160站气温实况资料,并将预测结果插值到160个观测站点上,

计算了预测的2004年夏季温度距平与实况的距平相关系数和同号率。计算所得的相关系数为0.39,超过了0.01的显著性检验(相关系数大于0.244),温度距平同号率则达到了66%。因此,该预测系统较好地预测出了中国区域2004年夏季平均气温异常的分布。

对于降水而言,从观测图(图5a)可以发现,2004年夏季我国降水正距平主要位于河套、黄河下游地区以及黄淮之间,在长江中游地区以及湖南、贵州等地也存在降水正距平区;而东北大部、内蒙古东北部、西北大部地区及东南沿海一带降水量则偏少2~5成,内蒙古局部地区降水偏少达5~8成。比较未订正的IAP DCP的预测结果(图5b),可以发现,预测系统大体上较好地预测出了2004年夏季我国大范围的降水异常分布,如东北、东南沿海的少雨区,黄淮的降水偏多区等,但预测的降水距平百分率的量级则远小于实况。图5c还给出了订正之后降水距平百分率的预测结果,与实况比较可知,订正之后的预测结果与实测有较大的差异,主要是长江中下游地区的降水预报偏强,不如未订正之前的预测结果。

同样我们还计算了全国160个站点预测与观测的降水距平百分率的距平相关系数和同号率。对未订正预测结果,相关系数为0.232,通过了0.05的显著性检验(相关系数大于0.187),同号率为56%,表明该系统预测出了全国主要的降水趋势。而对订正后的预测结果,则其与实况的相关为0.179,同号率只有45%,显然不如订正前的预测结果。这可能是由于现有的订正系统采用的是距平百分率的订正技术,因此只能考虑到该预测系统的总体系统性偏差,但对模式与观测之间的偏差的年际和年代际变化却未能加以考虑。

4 小结与讨论

本文首先通过1980~2000年共21年的集合后报试验,考察提高了水平分辨率的IAP短期系统对中国夏季气候异常的预报技巧,并与水平分辨率改进之前进行了初步的比较。分析表明,提高了水平分辨率的IAP数值气候预测系统对中国夏季气温异常具有较好的预报能力,对我国夏季

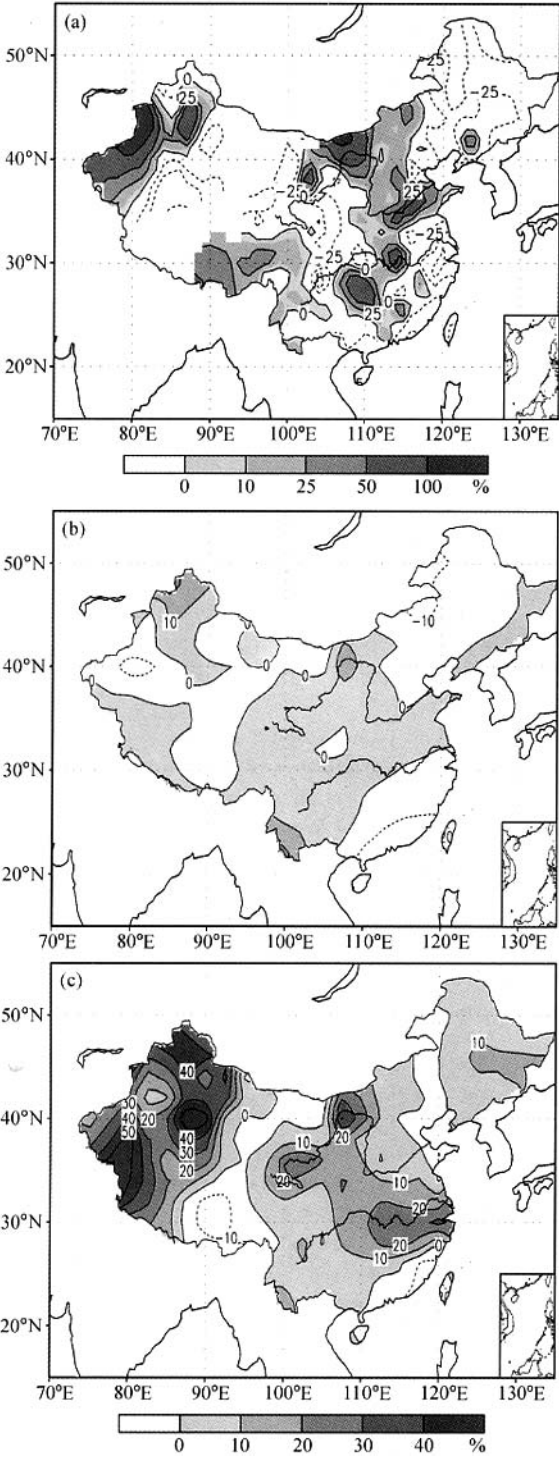


图 5 中国 2004 年夏季平均降水距平百分率的分布。(a) 观测；(b) 未订正的预测；(c) 订正后的预测
Fig. 5 Percentage rainfall anomalies over China for the summer of 2004. (a) Observation; (b) Uncorrected; (c) Corrected Prediction results by IAP dynamical prediction system

降水异常也具有一定的预报能力。此外，水平分辨率的提高对该预测系统对中国夏季降水预测数值气候预测能力的影响并不显著。这说明模式预测能力的提高，更主要需着眼于模式物理过程的改进。

随后利用提高了水平分辨率的 IAP 数值气候预测系统对 2004 年中国夏季气候异常进行了实时预测，并与实况进行了比较。结果表明，IAP 数值气候预测系统总体上较好地预报出 2004 年夏季我国大范围的降水和温度异常分布。对于降水距平百分率的预报而言，未订正结果要明显优于订正后的预测结果，这是由于现有的降水预测订正方案主要考虑了模式总体的系统性偏差，对长江流域降水偏多年的订正效果较好，而对长江流域降水偏少年则订正效果较差。这也说明现有的订正方案尚有不足之处，亟待进一步的改进。

此外，与实测的温度与降水距平百分率相比，虽然 IAP 短期数值气候预测系统对大范围趋势分布预测得较好，但预测结果的幅值要小于实测结果。这一方面可能是由于现阶段我们所采用的集合方法只是简单的算术平均，从而在一定程度上起到了平滑的作用；另一方面还可能是由于在现阶段的实时预测中，仅仅只是考虑了海温异常的外强迫作用，对土壤湿度、积雪、地表植被覆盖等异常强迫作用都没有考虑，而这些因子均会在较大程度上影响中高纬地区季度一年际尺度的气候可预测性。

因此，今后要进一步提高短期数值气候预测系统对我国夏季温度和降水的预测准确度，除了需要不断地发展和完善气候系统模式之外，还需要在预测过程中引入更多的预报因子（如土壤湿度等陆面状况），并进一步改进短期气候预测的集合方法及其订正技术。

参考文献

[1] 曾庆存, 袁重光, 王万秋, 等. 跨季度气候距平数值预测试验. 大气科学, 1990, 14 (1): 10~25
Zeng Qingcun, Yuan Chongguang, Wang Wanqiu, et al. Experiments in numerical extra-seasonal prediction of climate anomalies. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 1990, 14 (1): 10~25
[2] Molteni F, Buizza R, Palmer T N, et al. The ECMWF en-

- semble prediction system: Methodology and validation. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1996, **122**: 73~119
- [3] Masao K, Arun K, Hann-Ming H J, et al. NCEP dynamical seasonal forecast system 2000. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 2002, **83**: 1019~1037
- [4] Li Qingquan, Zhao zongchi. Extra-seasonal predictions of summer rainfall in China and ENSO in 2001 by climate models. *Acta Meteorologica Sinica*, 2002, **16** (4): 15~532
- [5] 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, 136pp
Li Xu. Studies on numerical simulation and prediction of short-term climate anomalies. Ph.D. dissertation (in Chinese), Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, 1992, 136pp
- [6] 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
Yuan Chongguang, Li Xu, Zeng Qingcun. Summary on the research of extraseasonal numerical prediction of climate anomalies. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 1996, **1** (2): 150~159
- [7] Zeng Qingcun, Yuan Chongguang, Li Xu, et al. Seasonal and extraseasonal predictions of summer monsoon precipitation by GCMs. *Advances in Atmospheric Sciences*, 1997, **14** (2): 163~176
- [8] 周广庆, 曾庆存. 一个可供预测的海气耦合环流模式及 1997/1998 ENSO 的预测. 气候与环境研究, 1998, **3** (4): 349~357
Zhou Guangqing, Zeng Qingcun. A coupled ocean-atmosphere general circulation model for ENSO prediction and 1997/1998 ENSO forecast. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 1998, **3** (4): 349~357
- [9] 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
Lin Zhaohui, Li Xu, Zhao Yan, et al. An improved short-term climate prediction system and its application to the extraseasonal prediction of rainfall anomaly in China for 1998. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 1998, **3** (4): 339~348
- [10] 林朝晖, 赵彦, 周广庆, 曾庆存. 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
Lin Zhaohui, Zhao Yan, Zhou Guangqing, and Zeng Qingcun. Prediction of summer climate anomaly over China for 1999 and its verification. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2000, **5** (2): 97~108
- [11] 林朝晖, 赵彦, 周广庆, 曾庆存. 2000 年中国夏季降水异常的数值预测. 自然科学进展, 2002, **12** (7): 771~774
Lin Zhaohui, Zhao Yan, Zhou Guangqing, and Zeng Qingcun. Dynamical prediction of summer monsoon precipitation anomalies over China for 2000. *Progress in Natural Science* (in Chinese), 2002, **12** (7): 771~774
- [12] 林朝晖, 孙建华, 卫捷, 等. 2002 年夏季气候及汛期适时预测与检验. 气候与环境研究, 2003, **8** (3): 241~257
Lin Zhaohui, Sun Jianhua, Wei Jie, et al. Real-time weather and seasonal climate predictions for 2002 summer and their verifications. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2003, **8** (3): 241~257
- [13] 张凤, 陈红, 林朝晖, 曾庆存. IAP AGCM- I 水平分辨率的提高及对全球和东亚区域气候的数值模拟. 气候与环境研究, 2004, **9** (2): 396~408
Zhang Feng, Chen Hong, Lin Zhaohui and Zeng Qingcun. Improvement of horizontal resolutions of IAP AGCM- I and its influence on the simulation of Global and East Asian climate. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2004, **9** (2): 396~408.
- [14] 陈红, 林朝晖, 周广庆. 我国春季沙尘天气趋势的数值气候预测试验. 气候与环境研究, 2004, **9** (1): 182~190
Chen Hong, Lin Zhaohui, Zhou Guangqing. Experimental dynamical prediction of spring dust storm events in China. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2004, **9** (1): 182~190
- [15] Reynolds R W., T. M. Smith. A high resolution global sea surface temperature climatology. *J. Climate*, 1995, **8**: 1571~1583
- [16] 赵彦, 李旭, 袁重光, 等. IAP 短期气候距平预测系统的定量评估及订正技术的改进研究. 气候与环境研究, 1999, **4** (4): 353~364
Zhao Yan, Li Xu, Yuan Chongguang, et al. Quantitative assessment and improvement to correction technology on prediction system of short-term climate anomaly. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 1999, **4** (4): 353~364
- [17] 陈桂英, 赵振国. 短期气候预测评估方法和业务初估. 应用气象学报, 1998, **9** (2): 178~185
Chen Guiying, Zhao Zhenguo. Assessment methods of short range climate prediction and their operational application. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (in Chinese), 1998, **9** (2): 178~185
- [18] Zhou Guangqing, and Zeng Qingcun. Prediction of ENSO with a coupled atmosphere-ocean general circulation model. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2001, **18** (4): 1587~1603
- [19] 周广庆, 李旭. 一个基于大洋环流模式的全球海洋资料同化系统. 短期气候预测业务动力模式的研制, 北京: 气象出版社, 2000, 393~400
Zhou Guangqing, and Li Xu. An oceanic data assimilation system based on a global OGCM. In: *Studies on Short-Term Climate Prediction System in China. Part II: Studies on Dynamical Models for Operational Short-Term Climate Prediction* (in Chinese), Beijing, China Meteorological Press, 2000, 393~400
- [20] Zhou Guangqing, Fu Weiwei, Zhu Jiang and Wang Hunjun. The impact of location-dependent correlation scales in ocean data assimilation, *Geophysical Research Letters*, 2004, **31**, L21306, doi: 10.1029/2004GL020579