

贾晓静, 韩启群. 2011. IAP AGCM 模式对地面气温长期趋势的预报分析 [J]. 气候与环境研究, 16 (6): 753–759. Jia Xiaojing, Han Qiqun. 2011. Analysis of the long-term climate trend of the surface air temperature in IAP AGCM seasonal ensemble forecast [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 16 (6): 753–759.

IAP AGCM 模式对地面气温长期趋势的预报分析

贾晓静 韩启群

浙江大学地球科学系, 杭州 310027

摘要 分析了1979~2004年共26年中国台站地面气温的观测资料以及中国科学院大气物理研究所的大气环流模式 IAP AGCM 在夏季和冬季的季节集合预报结果对地面气温长期变化趋势的预报。分析结果表明, 在所研究的26年中, 中国大部分地区是一个增温的趋势, 其中冬季增温比夏季增温显著。IAP AGCM 集合预报不能很好地预报出观测资料中的地面气温长期变化趋势的幅度和空间分布。进一步的分析表明, 改善数值模式对观测资料中地面气温的长期变化趋势的预报将能够提高数值模式对地面气温的预报技巧。而这种预报技巧的提高在冬季比夏季更为显著。

关键词 长期气候变化 数值模式 集合预报 季节预报

文章编号 1006-9585 (2011) 06-0753-07 **中图分类号** P467 **文献标识码** A

Analysis of the Long-Term Climate Trend of the Surface Air Temperature in IAP AGCM Seasonal Ensemble Forecast

JIA Xiaojing and HAN Qiqun

Department of Earth Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310027

Abstract The influence of the long-term linear trends on the seasonal forecast skill of the surface air temperature in summer and winter over China is investigated using both observations and ensemble seasonal forecast output from the numerical model IAP AGCM (Atmospheric General Circulation Model from the Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences) during the period from 1979 to 2004. The results show that the temperature during the 26 years show a warming trend over most of China while the warming trend in winter is more significant than that in summer. IAP AGCM ensemble forecasts cannot reasonably capture the characteristics of the long-term linear climate trends. Further study shows that the seasonal forecast skill of the surface air temperature over China can be significantly improved if the numerical model can perfectly capture the long-term linear trends in the forecasts.

Key words long-term climatic change, numerical model, ensemble forecast, seasonal forecast

收稿日期 2010-01-27 收到, 2011-09-17 收到修定稿

资助项目 中央高校基本科研业务费专项资金资助 2009QNA3001

作者简介 贾晓静, 女, 1977 年出生, 博士, 副教授, 主要研究方向为短期气候预测、动力气候。E-mail: xiaojing.jia@gmail.com

1 引言

目前的研究表明,全球变暖已经是一个不争的事实,第四届政府间气候变化专门委员会研究报告(IPCC, 2007)中用大量事实表明了目前全球气温升高的趋势。我国的气象学者对中国的气候长期变化也进行了很多研究(丁一汇和戴晓苏, 1994; 魏凤英和曹鸿兴, 2003)。研究结果表明,中国近百年温度变化以 20 世纪 30~40 年代和 80 年代以来两个时期增温最为显著(任国玉等, 2005; 赵宗慈等, 2005)。这个包括气温、降水、冰雪和其他一些物理变量的长期气候变化是由于人类活动,例如通过工业活动或者不合理的土地利用等释放大量的温室气体,和大气内部自身运动共同作用的结果(张仁健等, 2001; 杨昕和王明星, 2002)。

我国处在世界上最大的季风区内,降水、气温等气象要素的变率较大,使得短期气候预报比较困难(温之平等, 2006; 黄荣辉等, 2008)。在我国,洪涝和干旱等灾害频繁,经常给人民的生命和财产造成重大的损失。因此建立有效的短期气候预测系统是十分必须的。但短期气候预测是一个非常复杂的问题,目前还有很多问题尚未有解决。现有的短期气候业务预报方法主要有经验统计方法和动力学方法等。而利用大气海洋耦合模式进行预报是今后国际上的发展方向。目前改进数值模式预报效果的手段中,采用最多的就是利用集合预报方法,以降低由于模式初值误差所导致的预测结果的不确定性和随机性。我国的集合预报研究工作也取得一定的成效(Yang and Zhang, 2001; 金荣花等, 2002; 封国林和董文杰, 2003; 陈红等, 2005),中国科学院大气物理研究所从 20 世纪 80 年代初就开始进行短期气候的数值模式预测。最近几年利用大气环流模式 IAP AGCM 进行跨季度短期气候预测研究并取得了很大的进展。例如对 2002 年汛期降水异常就取得了比较成功的预报。然而,对于 2003 年江淮流域的洪涝以及之后两年长江以南的干旱等异常预报效果却不甚理想(王会军等, 2008)。

最近有研究表明,在全球变暖的大环境下,亚洲季风也已经受到其明显的影响。例如 Lal and

Harasawa (2000) 发现,随着空气中温室气体的增加,亚洲夏季风的季节变化和年际变化率都有着明显的提高。而季风的变化将会直接影响到数值模式的短期气候预报能力。本文试图通过分析多年的观测资料和 IAP AGCM 数值模式集合预报结果,揭示目前我国的气候动力模式的集合预报对地面气温的长期变化趋势的预报能力。进一步地,分析改善气候动力模式对地面气温长期变化趋势的预报对提高数值模式季节预报技巧的意义。希望研究的结果能够为今后改善我国数值模式的短期气候预测提供参考方向和科学依据。进一步地,希望研究结果能够为揭示数值模式集合预报对地面气温长期变化的预报误差来源提供思路。

2 资料和方法

本研究使用的观测资料来源于中国气象局国家气象信息中心资料室提供的中国 160 个测站 1979~2004 年的逐月平均地面气温资料。而在本研究中使用的数值模式是大气物理研究所的 9 层大气环流模式 IAP AGCM 的集合季节预报结果。亚太经合会的气候变化中心(Asian-Pacific Economic Cooperation Climate Center)在 2005 年进行了气候预报和社会应用(Climatic Prediction and its Application to Society, CliPAS)的项目研究。目的是通过利用目前世界上最先进的气候模式进行超级集合预报实验来研究目前数值模式对气候的预报水平以及气候模式未来的发展方向。CliPAS 项目召集了来自加拿大、中国、美国、澳大利亚、日本等全世界多个国家一共 14 个数值模式的参与。试验预报的时段是从 1979~2004 年。中国科学院大气物理研究所大气环流模式 IAP AGCM (Zeng et al., 1997; 郎咸梅等, 2004)也参加了这个试验项目。各个大气模式在相同海温的强迫驱动下进行预报,初始条件使用的是 NCEP/NCAR 再分析资料。具体的季节预报系统建立的描述可见 Wang et al. (2009)。其中 IAP AGCM 的预报长度是 6 个月,每个预报期间做 6 次预报。本研究使用的模式预报资料是从 5 月和 11 月开始的预报。为了消除初始条件的影响,去掉第一个月的预报,将后 3 个月的预报结果进行平均,也就是夏季(6~8 月)和冬季(12 月至次

年 2 月) 的季节平均的预报结果。

本研究中指的气候变化趋势, 是地面气温的长期线性变化部分。具体对于地球上某一点的地面气温, 有从 1979~2004 年 (共 26 年) 的资料。其线性趋势线可以用数学中的最小二乘法实现, 用下列公式表示:

$$Y_{\text{obs}} = m_{\text{obs}}t + b_{\text{obs}}, \quad (1)$$

其中, Y_{obs} 是观测的地面气温, t 是时间, m_{obs} 代表曲线的斜率, b_{obs} 是这 26 年中该点的气候平均值。 m_{obs} 就是我们要求的地面气温场的气候长期变化的线性趋势部分, 它代表了在这 26 年的时间段中的地面气温升高的程度。

对于模式地面气温的季节集合预报的结果可以做同样的分析,

$$Y_{\text{iap}} = m_{\text{iap}}t + b_{\text{iap}}, \quad (2)$$

其中, Y_{iap} 是模式资料中的季节集合预报结果, m_{iap} 代表曲线的斜率, b_{iap} 代表截距。

对于模式季节集合预报的预报技巧, 用模式资料和观测资料之间的时间相关系数 r 来表示, 可以由下列公式得到:

$$r = \frac{\sum (Y_{\text{obs}} - \bar{Y}_{\text{obs}})(Y_{\text{iap}} - \bar{Y}_{\text{iap}})}{\sum \sqrt{(Y_{\text{obs}} - \bar{Y}_{\text{obs}})^2} \sqrt{(Y_{\text{iap}} - \bar{Y}_{\text{iap}})^2}}, \quad (3)$$

其中 $\bar{Y}_{\text{obs}}$ 和 $\bar{Y}_{\text{iap}}$ 分别表示观测资料和模式资料的气候平均。

通过下面的步骤检验季节集合预报中的气候长期变化对季节预报技巧的影响:

首先, 去掉数值模式季节预报结果的气候长

期变化部分, 也就是令

$$Y_{\text{iap2}} = Y_{\text{iap}} - m_{\text{iap}}k, \quad (4)$$

其中, Y_{iap2} 是去掉气候长期变化部分 ($m_{\text{iap}}k$) 后得到的一组新的模式资料。

其次, 将观测资料中的气候长期变化部分叠加到公式 (4) 中, 也就是令

$$Y_{\text{iap3}} = Y_{\text{iap2}} + m_{\text{obs}}k, \quad (5)$$

Y_{iap3} 是去掉模式资料中自身的气候长期变化部分 ($m_{\text{iap}}k$), 然后将观测中的气候长期变化部分 ($m_{\text{obs}}k$) 加上后得到的另外一组模式资料。

计算利用公式 (5) 得到的新的模式资料的季节预报技巧并且和原始模式预报结果的预报技巧相比较, 从两者之间的差异可以看出改善模式对气候长期变化部分的预报对提高模式的季节预报技巧的意义。

3 观测资料和模式集合预报中的气候长期变化

图 1 给出了利用公式 (1) 计算的观测资料的地面气温在夏季 (6~8 月) 和冬季 (12 月至次年 2 月) 从 1979~2004 年的气候长期变化趋势。由图 1 可以看出, 在这 26 年中, 夏季和冬季的地面气温基本上都是一个变暖的趋势, 且冬季增温比夏季增温要显著。夏季地面气温的变暖主要是在北部地区, 26 年中增温超过 1°C 的地区包括华北地区的西部和新疆南部地区、东北地区和江苏省沿海。冬季增温超过 1°C 的区域覆盖中国的大部

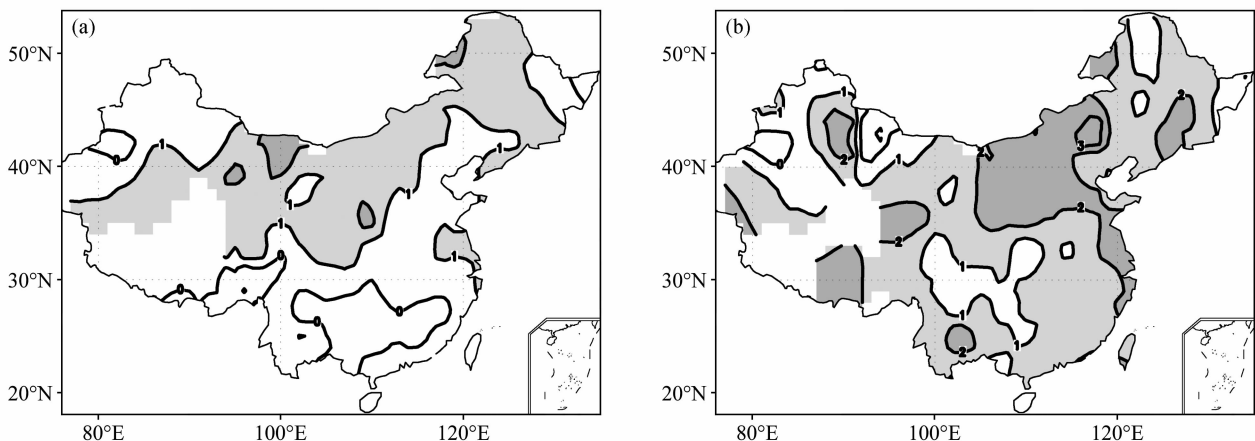


图 1 1979~2004 年观测资料中的 (a) 夏季和 (b) 冬季地面气温的长期变化趋势 (等值线间隔为 1°C)

Fig. 1 The observed linear trend in surface air temperature for (a) summer and (b) winter (the contour interval is 1°C) during 1979-2004

分地区。其中增温超过 2°C 的地区主要集中在华北和沿海地区。

为了检验模式集合预报对地面气温长期变化趋势的预报效果,图2给出了利用公式(2)计算的 IAP AGCM 的集合预报中地面气温在夏季和冬季的气候长期变化趋势。比较图2和图1可见,数值模式集合预报中的气候长期变化趋势跟观测资料相比有着明显的差别。IAP AGCM 集合预报中的气候长期增温趋势比观测资料中的气候长期变化趋势要弱得多,其增温幅度大约只有观测中气候长期变化的 $1/3$ 。从空间分布情况来看,模式集合预报资料和观测资料之间的差别也非常明显。由图2可以看出,在夏季,模式集合预报的增温

区域主要集中在中国的西北、东北和南方部分地区。在华北地区北部有一个非常明显的变冷趋势。在冬季,模式集合预报中的变暖主要集中在中国的东北地区 and 西南地区。总之,比较图1和图2可以看出, IAP AGCM 集合预报结果对气候长期变化趋势的预报不能令人满意。

4 地面气温的预报技巧

首先利用公式(3)计算 IAP AGCM 对地面气温集合预报和同期地面气温观测资料的相关系数(见图3)。由图3可以看出, IAP AGCM 对地面气温在所研究的 26 年期间预报效果都不甚理

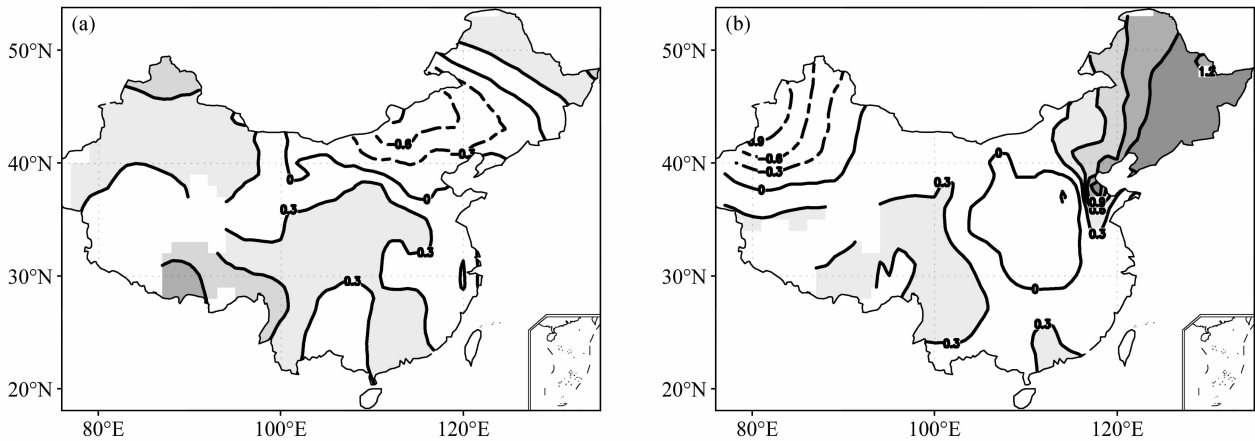


图2 同图1, 但为模式的季节集合预报资料

Fig. 2 Same as Fig. 1, but for the ensemble forecasts

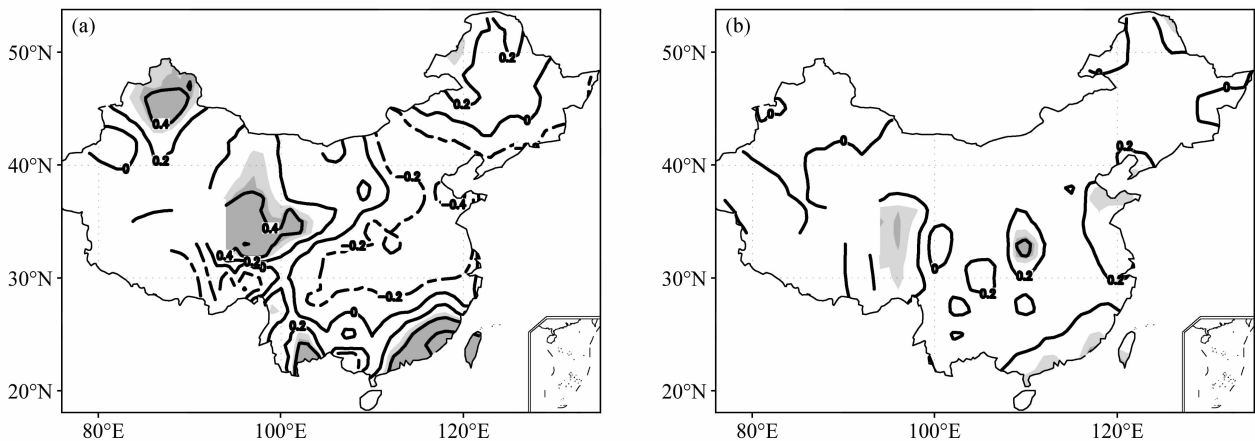


图3 数值模式和观测资料的地面气温在(a)夏季和(b)冬季的时间相关(浅色和深色阴影区分别通过0.1和0.05的显著性检验)

Fig. 3 The correlation between forecasted and observed surface air temperature for (a) summer and (b) winter (the light and dark shaded areas are above 0.1 and 0.05 significance levels, respectively)

想。在夏季,通过 0.1 显著性检验的预报技巧区域主要分布在新疆的西北地区、青海地区以及云南和广东的部分地区。而在冬季,模式对地面气温的预报技巧通过 0.1 显著性检验的区域比夏季要小得多。只有位于西藏高原的东边缘和华中几处区域通过了显著性检验。

如前文所言,本文的研究目的除了分析 IAP AGCM 的集合预报对地面气温长期变化的预报效果,更重要的是想揭示提高数值模式对地面气温长期变化趋势预报的意义。明确地说,是想知道改善数值模式对地面气温长期变化趋势预报对提高数值模式季节预报技巧的意义。为了实现这个目的,首先去掉了模式资料中的气候长期变化部分,然后将观测资料中的气候长期变化部分加上,得到一组新的预报资料。然后再计算这组新得到的资料和观测资料在这 26 年中的相关系数。这样做的目的是假设数值模式能够将观测到的气候长期变化“完全”理想地预报出来,那么数值模式的预报技巧能够有多大程度上的提高。当然,根据这样的假设得到的将是通过提高对地面气温长期趋势的预报能够提高模式季节预报技巧的上限。

由图 4 可见,假设数值模式能够“完全”准确地预报出地面气温的长期变化趋势,夏季和冬季地面气温的预报技巧都有了非常显著的改进。在夏季,大片的地区包括新疆北部、内蒙古、甘肃和青海的大部分地区,以及中国东北的大部分区域的季节预报技巧都通过了显著性检验。在南

方,云南和广东的预报技巧也有了一定程度的提高。地面气温预报技巧的提高在冬季比夏季更为显著。在原始的模式集合预报中,只有零星的一些区域能够通过显著性检验,而当我们假设观测资料中的气候长期变化能够被数值模式“完全”预报出来之后,大片地区的季节预报水平得到了提高。通过显著性检验的区域包括华北和长江流域的大部分区域、东南沿海一带、西藏和云南的东部以及新疆的部分地区。图 4 与图 3 的比较能够清楚地显示提高数值模式对地面气温长期变化趋势预报的重要性。

为了进一步了解改善数值模式对地面气温长期趋势的预报对提高地面气温季节预报技巧的意义,我们分别计算了数值模式原始的集合预报和观测资料之间的绝对误差以及通过公式(5)得到的新的资料和观测资料之间的绝对误差,并计算了他们之间的差值(图 5)。图 5 中阴影区域表示经过公式(5)计算得到的资料的绝对误差比数值模式原始的预报资料的误差要小。从图 5 中可以看出,提高数值模式对地面气温长期变化趋势的预报并不能保证所有区域的季节预报技巧都能够得到提高。在夏季,只有中国南方和新疆大部分地区能够受益提高对地面气温长期变化趋势的预报。但是在冬季,经过公式(5)的假设之后,可以看到我国大部分地区的地面气温预报的绝对误差都有了改进。

从上面的结果可以看出,冬季地面气温的季节预报效果的改善比夏季要明显。这是由于一方

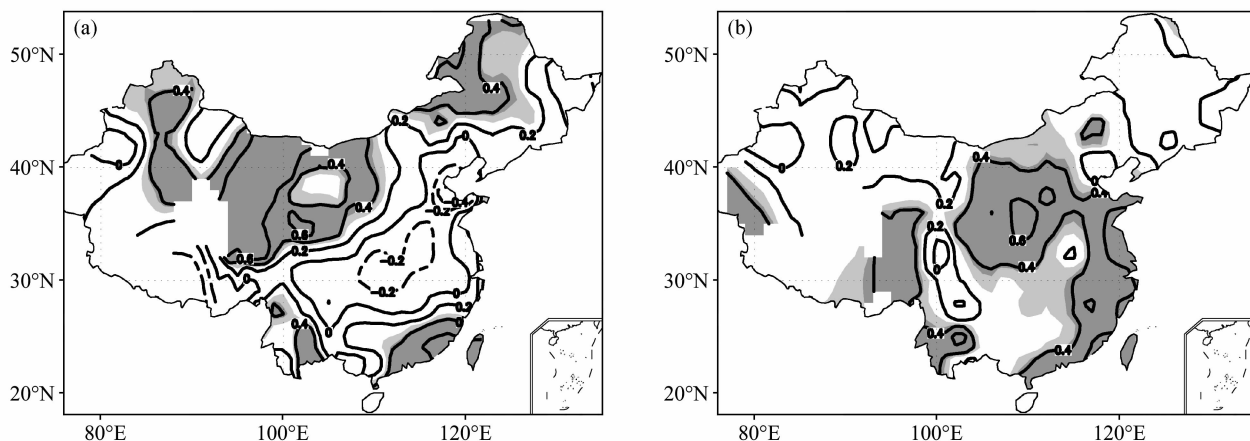


图 4 同图 3, 但为 Y_{iap3} 的模式集合预报资料

Fig. 4 Same as Fig. 3, but for the ensemble forecasts of Y_{iap3}

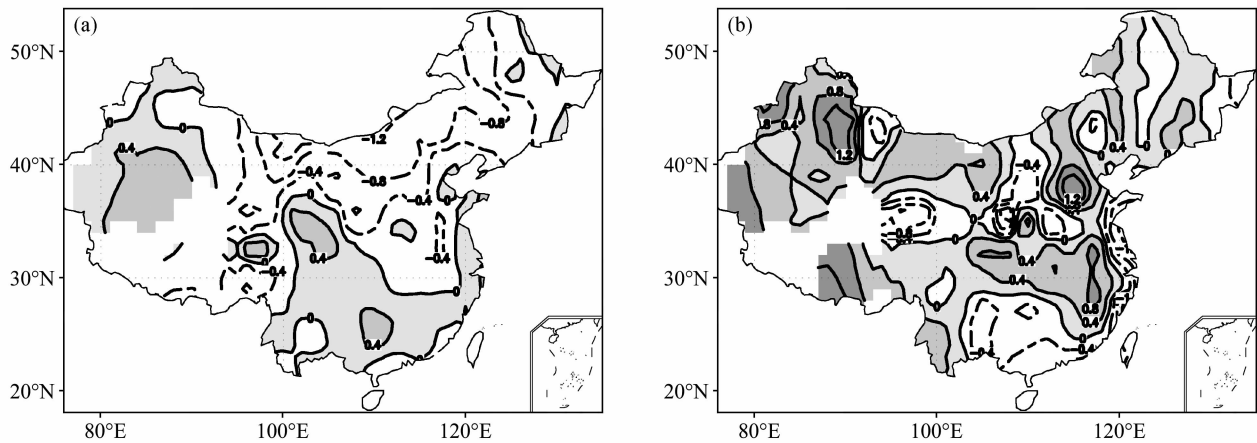


图5 数值模式 (a) 夏季和 (b) 冬季地面气温的原始集合预报的绝对误差和 Y_{iap3} 的绝对误差的差值 (单位: $^{\circ}\text{C}$)

Fig. 5 The difference of the absolute errors ($^{\circ}\text{C}$) between the original ensemble forecasts of the surface air temperature and Y_{iap3} for (a) summer and (b) winter

面冬季的地面气温的升高比夏季要显著得多 (见图 1)。另一方面数值模式在冬季对观测的地面气温中的这个显著的升温趋势的预报误差比较大, 这可以从图 1 和图 2 的比较看出。所以如果去掉数值模式自身预报的长期趋势, 然后加上观测资料中的地面气温的长期趋势, 相当于对数值模式的预报结果进行了比较大的订正。这样与数值模式原来的预报相比, 预报技巧的提高就可能比夏季要显著一些。

5 结论与讨论

本研究通过分析 1979~2004 年的夏季和冬季地面气温的观测资料以及数值模式的集合预报的结果来分析提高数值模式对地面气温长期变化趋势预报的意义。分析结果表明, 在所研究的 26 年中, 我国夏季和冬季的地面气温总体都是一个变暖的趋势, 而且在冬季, 地面气温的变暖趋势比夏季要显著。数值模式在这 26 年的集合预报结果表明, 模式集合预报中的地面气温长期变化趋势比观测资料中的地面气温长期变化趋势在幅度上要弱得多, 而且地面气温的长期变化趋势的空间分布与观测结果相比也有着很大的出入。数值模式集合预报中的地面气温长期变化的幅度大约只有观测资料中的地面气温长期变化趋势值的 1/3。在夏季, 数值模式集合预报中的地面气温的增温区域主要集中在中国的西部和南部, 并且在华北

地区北部有一个非常明显的变冷趋势。在冬季, 数值模式集合预报中的地面气温的变暖在我国大多数地区都超过了 1°C , 而在东北地区和西南地区其变暖幅度则超过了 2°C 。

数值模式原始的集合预报结果和观测资料的相关系数检验表明, 数值模式的季节预报技巧只在有限的区域内能够通过显著性检验。地面气温的季节预报技巧夏季要高于冬季。进一步的研究表明, 如果假定数值模式能够“完全”理想地将观测资料中的地面气温长期变化趋势预报出来, 数值模式的预报技巧在夏季和冬季都将会有着非常明显的改进, 而地面气温预报技巧的提高在冬季尤为明显。需要注意的是, 本研究所得到的结论对所使用的数据资料的时间区间的选取有一定的依赖性。在本研究中使用的数据资料是从 1979~2004 年期间的地面气温场, 在这个期间地面气温的增温非常显著。如果选取其他的时间段和其他的要素场, 可能得到的结论会有所不同。

值得强调的是, 本研究使用的数值模式的预报资料是去掉了第一个月的预报, 而将后面 3 个月的结果进行平均得到的结果。这样对季节预报影响较为显著的初始条件的因素大部分已经过滤掉了, 而且本研究使用的季节集合预报结果通过对多个预报成员进行平均而过滤掉大气内部自身动力过程的影响。也就是说本研究中使用的数值模式的地面气温集合预报中, 其气候长期变化部分主要是由于下垫面强迫造成的。而在观测资

料中, 地面气温的长期变化除了受下垫面强迫的影响, 其他因素比如温室气体和 O_3 的变化以及大气内部的动力因素等都有可能是造成气候长期变化的原因 (Zhao and Dirmeyer, 2004)。

参考文献 (References)

- IPCC. 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis [M]. Solomon S, Qin D, Manning M, et al., Eds. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 996pp.
- 陈红, 林朝晖, 周广庆. 2005. IAP 数值气候预测系统对 2004 年中国夏季气候的预测 [J]. 气候与环境研究, 10 (1): 32–40.
- Chen Hong, Lin Chaohui, Zhou Guangqing. 2005. Real-time prediction of 2004 summer climate anomalies using IAP dynamical climate prediction system [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 10 (1): 32–40.
- 丁一汇, 戴晓苏. 1994. 中国近百年来温度变化 [J]. 气象, 20 (12): 19–26.
- Ding Yihui, Dai Xiaosu. 1994. Temperature change during the recent 100 years over China [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 20 (12): 19–26.
- 封国林, 董文杰. 2003. 集合预报物理基础的探讨 [J]. 物理学报, 52 (9): 2347–2353.
- Feng Guolin, Dong Wenjie. 2003. On physical basis of ensemble prediction [J]. Acta Physica Sinica (in Chinese), 52 (9): 2347–2353.
- 黄荣辉, 顾雷, 陈际龙. 2008. 东亚季风系统的时空变化及其对我国气候异常影响的最近研究进展 [J]. 大气科学, 32 (4): 691–719.
- Huang Ronghui, Gu Lei, Chen Jilong. 2008. Recent progresses in studies of the temporal-spatial variations of the East Asian monsoon system and their impacts on climate anomalies in China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 32 (4): 691–719.
- 金荣花, 李维京, 孙照渤. 2002. 集合预报产品释用方法的研究 [J]. 南京气象学报, 25 (4): 442–448.
- Jin Ronghua, Li Weijing, Sun Zhaobo. 2003. Study on the interpretation method of ensemble prediction products [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese), 25 (4): 442–448.
- Lal M, Harasawa H. 2000. Comparison of the present-day climate simulation over Asia in selected coupled atmosphere–ocean global climate models [J]. J. Meteor. Soc. Japan, 78 (6): 871–879.
- 郎咸梅, 王会军, 周广庆. 2004. 应用 IAP9L-AGCM 对 2002 年中国夏季气候的预测及效果检验 [J]. 南京气象学报, 27 (1): 29–35.
- Lang Xianmei, Wang Huijun, Zhou Guangqing. 2002. Prediction of summer climate over China in 2002 with IAP9L-AGCM and its performance [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese), 27 (1): 29–35.
- 任国玉, 徐铭志, 初子莹. 2005. 近 54 年中国地面气温变化 [J]. 气候与环境研究, 10 (4): 717–727.
- Ren Guoyu, Xu Mingzhi, Chu Ziyang. 2005. Changes of surface air temperature in China during 1951–2004 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 10 (4): 717–727.
- Wang B, Lee June-Yi, Kang In-Sik. 2009. Advance and prospectus of seasonal prediction: Assessment of the APCC/CliPAS 14-model ensemble retrospective seasonal prediction (1980–2004) [J]. Climate Dyn., 33: 93–117.
- 王会军, 孙建奇, 郎咸梅. 2008. 几年来我国气候年际变异和短期气候预测研究的一些新成果 [J]. 大气科学, 32 (4): 806–814.
- Wang Huijun, Sun Jianqi, Lang Xianmei. 2008. Some new results in the research of the interannual climate variability and short-term climate prediction [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 32 (4): 806–814.
- 魏凤英, 曹鸿兴. 2003. 20 世纪 80~90 年代我国气候增暖进程的统计事实 [J]. 应用气象学报, 14 (1): 79–86.
- Wei Fengying, Cao Hongxing. 2003. Climatic warming process during 1980s–1990s in China [J]. Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese), 14 (1): 79–86.
- 温之平, 梁肇宁, 吴丽姬. 2006. 印度洋海温异常和南海夏季风建立迟早的关系 II. 机理分析 [J]. 大气科学, 30 (6): 1138–1146.
- Wen Zhiping, Liang Zhaoning, Wu Liji. 2006. The relationship between the Indian Ocean Sea surface temperature anomaly and the onset of the South China Sea summer monsoon—II. Analyses of mechanisms [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 30 (6): 1138–1146.
- Yang Hui, Zhang Daomin. 2001. An approach to extract effective information of monthly dynamical prediction—The use of ensemble method [J]. Adv. Atmos. Sci., 18 (2): 283–293.
- 杨昕, 王明星. 2002. 人类活动对气候影响的研究 I. 温室气候和气溶胶 [J]. 气候与环境研究, 7 (2): 247–254.
- Yang Xin, Wang Mingxing. 2002. Study on the effects of human activities on climate change I. Green house gases and aerosols [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 7 (2): 247–254.
- Zeng Qingcun, Yuan Chongguang, Li Xu. 1997. Seasonal and extraseasonal predictions of summer monsoon precipitation by GCMs [J]. Adv. Atmos. Sci., 14 (2): 163–176.
- 张仁健, 王明星, 郑循华, 等. 2001. 中国二氧化碳排放源现状分析 [J]. 气候与环境研究, 6 (3): 321–327.
- Zhang Renjian, Wang Mingxing, Zheng Xunhua, et al. 2001. Analysis on present emission status of carbon dioxide in China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 6 (3): 321–327.
- Zhao M, Dirmeyer P. 2004. Pattern and trend analysis of temperature in a set of seasonal ensemble simulations [J]. Geophys. Res. Lett., 31: L11202, 4.
- 赵宗慈, 王绍武, 徐影. 2005. 近百年我国地表气温趋势变化的可能原因 [J]. 气候与环境研究, 10 (4): 808–817.
- Zhao Zongci, Wang Shaowu, Xu Ying. 2005. Attribution of the 20th Century climate warming in China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 10 (4): 808–817.