

我国春季沙尘天气趋势的数值气候预测试验*

陈红 林朝晖 周广庆

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

摘要 利用 IAP 动力学气候预测系统 (IAP DCP) 对 1980~2000 年共 21 年进行了集合后报试验, 首先考察了 IAP DCP 对我国春季气候异常的预测能力, 并在此基础上利用该系统进行了春季沙尘天气异常的动力学气候预测试验。结果表明: 该系统对我国春季气候具有一定的跨年度预测能力, 特别是对春季西北地区降水异常和近地面风场具有较好的预报技巧。实时预测及其检验表明, IAP DCP 对我国 2003 年春季沙尘的预测结果与实况比较一致。对 2004 年春季气候异常及沙尘趋势的实时预测结果表明, 2004 年春季我国北方, 特别是西北及内蒙沙源地区降水偏多, 冷空气势力较常年弱, 因此 2004 年春季我国北方地区沙尘趋势应为正常或略偏弱。

关键词: 气候异常; 沙尘天气; 数值预测

文章编号 1006-9895 (2004) 01-0182-09 **中图分类号** P435 **文献标识码** A

1 引言

近年来, 随着强沙尘暴出现逐渐增加的趋势, 沙尘暴已成为我国北方地区严重的环境问题之一, 引起了国内和国外的注意。对沙尘天气的预测越来越引起人们的关注。国内对沙尘暴的研究, 目前大多集中在沙尘事件的活动时间和空间分布的统计及气候研究方面, 同时开展了一些沙尘输送的数值模拟^[1,4]和起沙机制的研究^[5]; 此外, 就沙尘天气的气候预测也进行了一些初步的探讨, 并取得了可喜的进展^[6,7]。

中国科学院大气物理研究所于 1989 年利用自行研制的大气环流模式进行了跨季度汛期降水预测试验^[8], 在此基础上建立了较为完善的跨季度数值气候预测系统 IAP DCP-I^[9]。随后又对系统作了一系列改进, 形成了第二代跨季度数值气候预测系统 (IAP DCP-II)^[10]。实时预测结果表明, 该系统对发生在我国较为重大的夏季旱涝趋势的预测效果是较好的^[11,12]。但该系统对春季气候异常以及春季沙尘天气趋势的实时预测尚未开展。鉴于 IAP DCP 对我国夏季气候较强的预测能力, 有必要将其推广到对春季气候的预测中去。为此, 本文将首先利用 IAP DCP 数值气候预测系统进行了 1980~2000 年共 21 年的集合后报试验, 考察 IAP DCP 对我国春季气候异常的预测能力, 在此基础上, 利用该系统进行了我国北方地区春季沙尘天气异常的动力学气候预测试验, 以期为将来建立用于春季沙尘天气的动力学气候预测系统提供基础。

2004-01-08 收到, 2004-02-10 收到修改稿

* 国家财政部“西北地区土壤水分、沙尘暴监测预测研究”项目 (Y0101) 及中国科学院百人计划“沙尘输送及其气候环境影响的数值模拟研究”项目资助

2 后报试验设计

试验所用的大气模式为水平分辨率提高到 $2^{\circ}\times 2.5^{\circ}$ 后的 IAP AGCM-I. c^[13]，该模式对当代气候以及亚洲气候等具有较好的模拟能力。试验所用的海温为逐月模式气候海表温度和当年逐月观测海表温度异常之和。大气初始场的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、相对湿度、高度场和温度场。由于地温、地面湿度及雪盖等没有观测资料，所以用模式积分第 60 年的模式气候场代替。

试验中，每年的预测均用 10 月 1~31 日的观测大气作为 31 个初始场，积分 1 年，将每个样本预测的次年 3、4、5 月气候变量的平均定为春季气候，最后对 31 个集合样本取算术平均，得到最终的集合后报结果，试验方案见表 1。用于评估的观测降水和气温取自中国大陆 160 站点的月平均值，风场则取自 NCEP 再分析资料。

表 1 试验方案

大气模式	IAP AGCM-I. c
海表温度	模式气候海温与观测海温异常之和
大气初值	将 NCEP 再分析资料插值到大气模式 $2^{\circ}\times 2.5^{\circ}$ 的水平格点和垂直层次上
集合个例	10 月 1~31 日共 31 个，1980~2000 年共 21 年
集合方案	算术平均

3 系统对我国春季气候异常的预测技巧分析

中国北方是沙尘天气出现较多的地区，而春季是我国北方沙尘（暴）天气的多发季节。当春季北方干旱少雨，且遇冷空气爆发，易引起近地面层和边界层大风，继而引发沙尘暴天气。所以准确地预报北方，特别是西北地区春季的降水状况，以及春季我国近地面层的风场，可以为我国春季沙尘天气趋势和气候预测提供一定的依据。为此本节从地面风场、气温场和降水场 3 方面来考察该预测系统对我国春季气候异常的预测技巧。

3.1 地面风场

图 1 为预测系统后报的次年春季地面风场与相应实测值的时间相关系数分布。对纬向风场（图 1a），除我国东北地区、长江流域和新疆东部地区相关系数为负外，我国其他区域均为正相关。对经向风场（图 1b），我国西部除新疆北部相关为负外，其他地区多为正相关；我国北方及蒙古国也基本为正相关。这说明预测系统对我国近地面风场的年际变化具有一定的描述能力。

为了解春季地面风场异常后报逐年的预报技巧，图 2 给出了后报的次年春季，我国及北方地区地面风场（经向风和纬向风）与实况的空间相关系数时间序列分布。由图可见，系统对中国区域地面风场异常的后报结果除了有 6 年以下为负相关外，其他年份均为正相关，有些年份正相关值超过了 0.5，19 年平均的相关系数值达到了 0.08 以上，说明系统对春季我国近地面风场具有较好的预测能力。

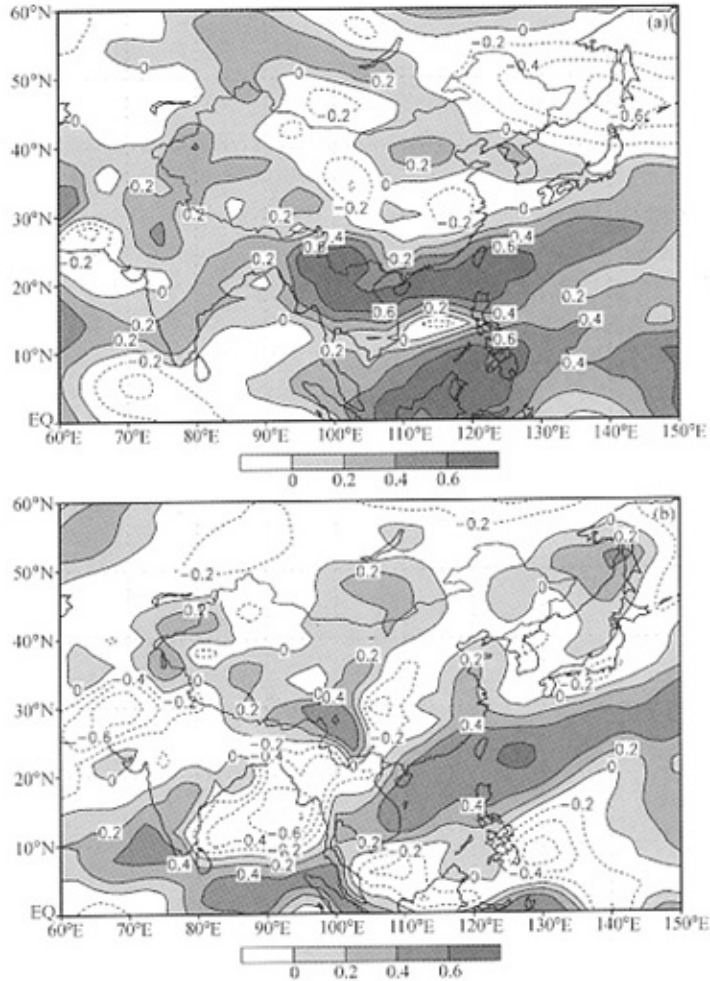


图1 地面风场异常的时间相关系数分布
(a) 纬向风; (b) 经向风

3.2 气温

图3给出了春季气温的时间相关系数分布。我国绝大多数地区相关系数均为正值,且大值区较为系统地分布于我国中部地区,部分地区相关超过了0.6,达到了99%的信度检验。模式后报的次年春季气温与实况相关系数大于0.20的站数为89站(共160站),近于总站数的一半以上,表明模式对春季气温的预测效果较好。

3.3 降水

春季沙尘(暴)天气跟我国北方地区降水的多寡密切相关,本节将考察IAP DCP对我国北方地区降水异常的后报技巧。为了解春季降水后报逐年的预报技巧,图4给出了系统后报的次年春季,我国北方及西北地区降水与实况的空间相关系数时间序列

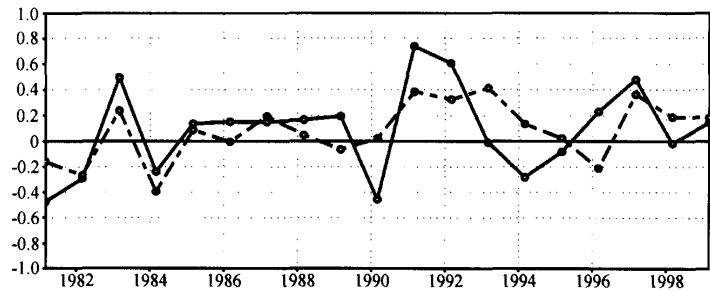


图 2 中国区域地面风场异常空间相关系数的年际变化
实线：纬向风，虚线：经向风

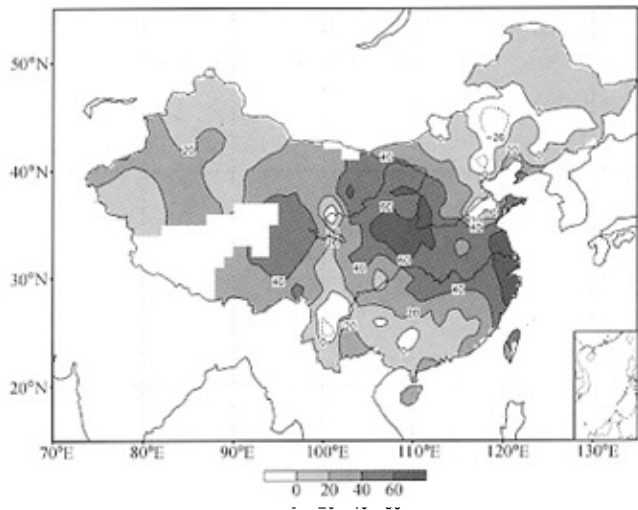


图 3 中国区域春季气温异常的时间相关系数分布

分布。由序列图可发现，后报结果与观测间距平相关系数年际变化幅度很大。系统对我国北方地区和西北地区的降水均具有一定的预报能力，其中对我国西北地区春季降水的可预测性较高，21 年中有 13 年相关系数为正值，21 年平均值为 0.09。这个结果将有利于为我国北方春季旱涝预测提供一定的依据。

此外，我们也分析了降水异常的时间相关系数分布（图略），发现系统对我国西北地区、东北地区 and 西南部分地区降水异常的可预报性较好，特别是对西北地区，有些地方相关系数达 0.4 以上，达到了 90% 的信度检验，因此可为春季沙尘暴的预测提供一定的依据。

综上所述，通过 IAP DCP1980~2000 年共 21 年后报结果的分析，可知该预测系统对我国春季西北地区的降水异常具有较好的预报能力，同时对近地面风场和气温也具有一定的预测能力。

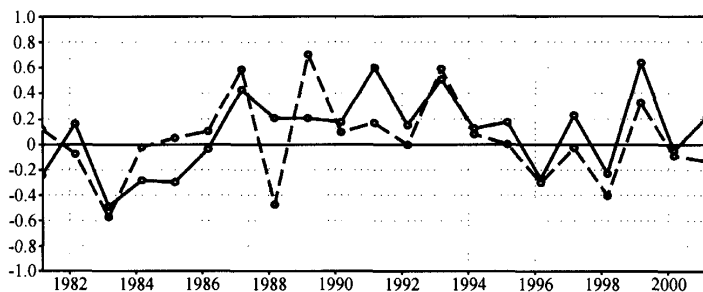


图4 降水距平百分率的空间相关系数年际变化

实线：西北；虚线：北方

4 实时预测检验

在上述后报试验的基础上,我们将利用 IAP DCP 对我国春季沙尘天气趋势进行实时预测试验,以检验该系统的实时预测能力。用 IAP DCP 进行实时预测时,模式的大气初始场使用 NCEP 再分析资料。模式的外强迫主要为海温异常,这是有一定根据的,研究表明,前期海温场与来年春季沙尘暴之间可能存在一定的关系^[14]。模式海温异常取为初始月实测海温异常与 IAP ENSO^[15]预测系统 9 月开始预报的热带太平洋地区海温距平的线性组合。根据已有的研究^[16],IAP ENSO 预测系统从 7 月到 9 月开始的预报,其高于 0.6 的相关技巧可达 16 个月,这对从秋季开始做次年春季气候异常的预测有重要的意义。

4.1 2003 年春季沙尘趋势预测

对 2003 年春季气候的预测,模式的大气初始场取为 2002 年 10 月 1~31 日,积分至 2003 年 8 月 31 日。海表温度异常取为 10 月实测海温异常与 IAP TOGA 预测系统 9 月预报的 2002 年 10 月至 2003 年 8 月热带太平洋地区海温距平的线性组合。

图 5a 给出了 2003 年春季降水异常的形势预测。预测结果表明,我国东部华北以南地区基本为降水的偏少区,我国西部、内蒙古、东北为降水的异常偏多区。因此,我国西北及内蒙古的沙源地区降水偏多,不利于春季沙尘天气的发生。

沙尘暴产生的原因一般是受强冷空气的影响,强冷空气可产生比较大的风,而大风是沙尘产生和输送的必要动力条件。从系统预测的近地面风场异常分布来看(图 5b),我国北方地区的风场比较正常,蒙古国以北为东南风距平,冷空气势力较常年弱,因而不利于局地起沙及沙尘向我国的输送。

综合 2003 年春季降水和风场的预测结果分析来看,2003 年春季我国沙尘趋势应为正常略偏弱。2003 年我国实际的沙尘天气特点为沙尘次数少、范围小、强度弱,与 IAP DCP 的预测结果基本一致。

4.2 2004 年春季沙尘趋势预测

在 2003 年初步预测试验的基础上,我们又利用预测系统对 2004 年春季气候进行了实时预测试验。模式所用的大气初始场和海温场等与 2003 年预测相似,只是取为

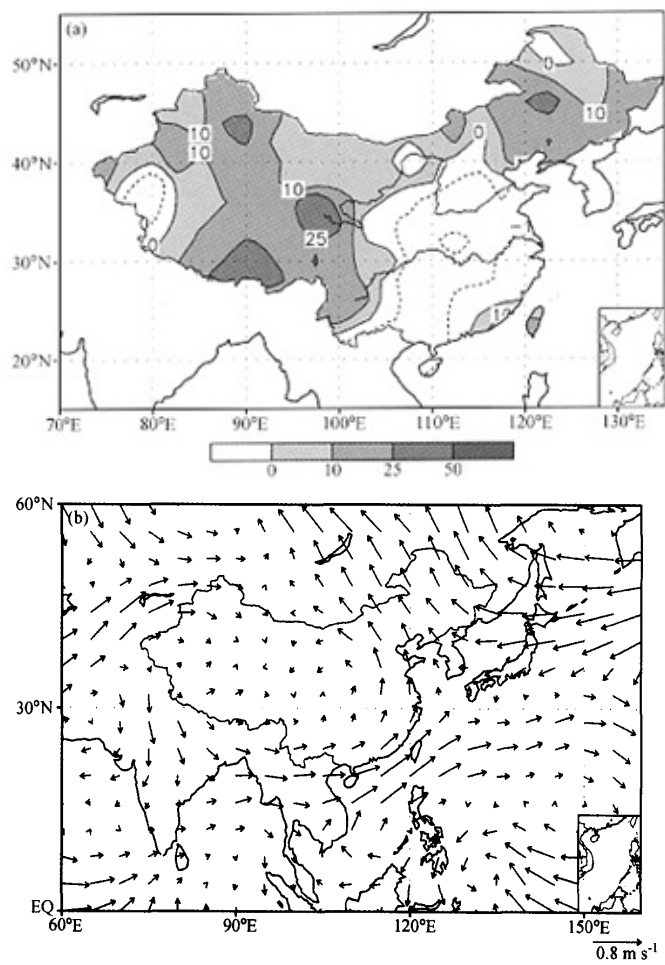


图 5 2003 年春季气候异常的预测结果
(a) 降水距平百分率；(b) 地面风场距平 (单位： m s^{-1})

2003 年的相关资料。

图 6a 给出了 2004 年春季降水异常的形势预测。预测结果表明，除了江淮流域大部、华北地区和东北北部为降水的偏少区外，我国西部、内蒙古、东北南部为降水的异常偏多区，因此我国沙源地区降水基本偏多，不利于春季沙尘天气的发生。

从地面风场异常的分布来看（图 6b），我国北方地区的风场比较正常，蒙古国以微弱的东风距平为主，没有明显的东北风距平，影响我国的冷空气活动较常年偏弱，因而也不利于起沙及沙尘向我国的输送。

综合 2004 年春季降水和风场的预测结果，我们预测 2004 年春季我国沙尘趋势应为正常或略偏弱。

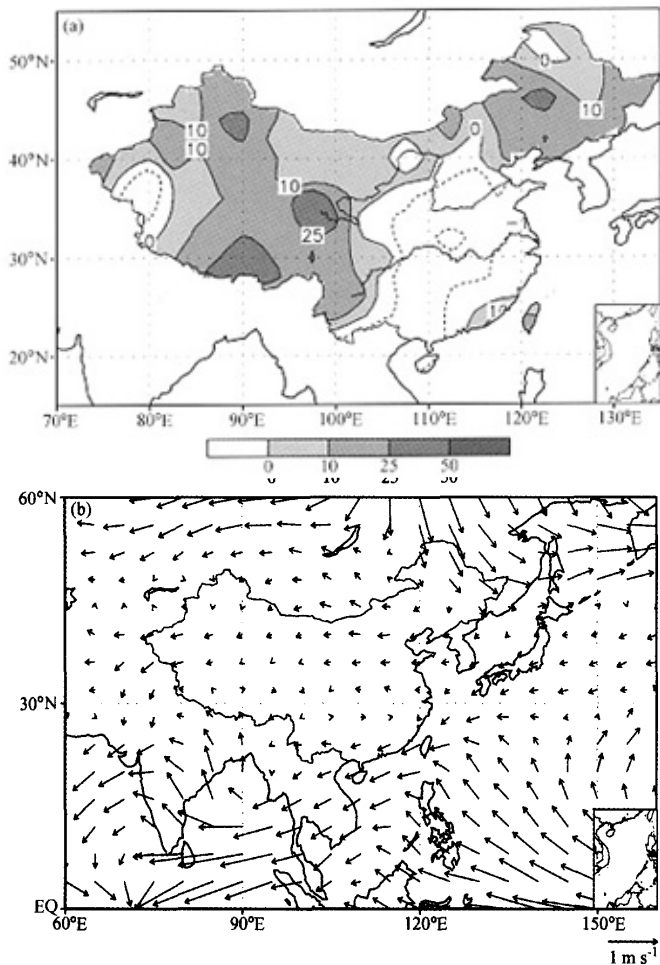


图6 2004年春季气候异常的预测结果
(a) 降水距平百分率; (b) 地面风场距平 (单位: m s^{-1})

5 结论与讨论

本文利用 IAP DCP 预测系统多年后报结果,考察了系统对我国春季气候异常的预测能力,在此基础上,利用该系统进行了春季沙尘天气趋势的动力学气候预测试验。结果表明:预测系统对我国春季北方气候异常具有一定的跨年度预测能力,特别是对春季西北降水异常以及我国近地面风场的预测,效果较好;预测系统较好地预测出2003年我国北方地区春季沙尘次数偏少的基本特征;对2004年的预测结果表明,2004年春季我国北方,特别是西北及内蒙古沙源地区降水偏多,冷空气活动势力偏弱,不利于沙尘天气的形成,因此我国不会出现超强的沙尘天气。

目前我们利用预测系统仅对 2003、2004 年两年的沙尘气候进行了预测,还缺少更多实际的检验,以后将通过适时预测的检验对系统进一步改进。由于沙尘预测中关注的重点是我国北方地区的气候状况,所以在利用气候模式进行预测时,仅仅考虑海温这个外强迫因子是不够的,土壤湿度、积雪等因子的作用也有待在模式中加以合理考虑。

致 谢 本文的工作得到中国科学院大气物理研究所曾庆存院士的的大力支持,在此表示真诚的感谢。

参 考 文 献

- 1 刘春涛、程麟生,黑风暴沙尘形成与输送参数化及中尺度数值试验,气象学报,1997, **55** (6), 726~738.
- 2 全林生、时少英、朱亚芬、钱维宏,中国沙尘天气变化的时空特征及其气候原因,地理学报,2001, **56** (4), 477~485.
- 3 成天涛、沈志宝,中国西北大气沙尘光学特性的数值试验,高原气象,2001, **20** (3), 291~297.
- 4 周自江,近 47 年中国扬沙和沙尘暴天气,第四纪研究,2002, **21** (1), 9~17.
- 5 孙建华、赵琳娜、赵思雄,一个适用于我国北方的沙尘暴天气数值预测系统及其应用试验,气候与环境研究,2003, **8** (2), 125~142.
- 6 王会军、朗咸梅、周广庆等,我国今冬和明春气候异常与沙尘气候形势的模式预测初步报告,大气科学,2003, **27**, 136~140.
- 7 郎咸梅、王会军、周广庆,2003,我国 2003 年冬季气候异常与 2004 年春季沙尘气候形势的实时预测初步报告,气候与环境研究, **8** (4), 381~386.
- 8 曾庆存、袁重光、王万秋、张荣华,跨季度气候距平数值预测试验,大气科学,1990, **14**, 10~25.
- 9 Zeng Qingcun, Yuan Chongguang, Li Xu et al., Seasonal and extraseasonal predictions of summer monsoon precipitation by GCMs, *Advances in Atmospheric Sciences*, 1997, **14**, 163~176.
- 10 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.
- 11 林朝晖、赵彦、周广庆等,1999 年中国夏季气候的预测与检验,气候与环境研究,2000, **5** (4), 374~381.
- 12 曾庆存、林朝晖、周广庆,跨季度动力气候预测系统 IAP DCP-II,大气科学,2003, **27** (3), 289~303.
- 13 张风,陈红,林朝晖,曾庆存, IAP AGCM-I 水平分辨率的提高及其对全球和东亚季风降水的数值模拟,“我国重大气候和天气灾害形成机理和预测理论研究”项目论文集(四),北京:气象出版社,2003, 67~79.
- 14 彭公炳、黄玫、钱步东、张时煌,北太平洋海温与我国西北地区沙尘暴的关系,气候与环境研究,2004, **9** (1), 174~181.
- 15 周广庆、李旭、曾庆存,一个可供 ENSO 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.
- 16 周广庆、曾庆存, IAP ENSO 预测系统预报技巧的时间依赖性及其对 1999 年 La Nina 事件的预测,气候与环境研究,2000, **5** (2), 109~117.

Experimental Dynamical Prediction of Spring Dust Storm Events in China

Chen Hong, Lin Zhaohui, and Zhou Guangqing

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

Abstract Hindcast experiments from 1980 to 2000 has been conducted by using IAP DCP (Institute of Atmospheric Physics, Dynamical Climate Prediction System), and the ability of this system to predict climate anomaly in spring has been discussed. Real-time prediction for the dust storm in spring was also done by using this system. Results show that: IAP DCP is capable for predicting the climate characteristics in China in spring, especially for the precipitation anomaly in the northwestern China and surface wind anomaly. Verification of real-time prediction expressed that the prediction for the dust storm in 2003 is close to the observation. The predicted precipitation in the northern part of China in 2004 spring is above normal, and cold air is weaker than normal. So, it could be expected that in 2004, there will not be so many opportunities for the occurrence of strong dust storm.

Key words: climate anomaly; dust storm; numerical prediction