

1999年中国夏季气候的预测和检验^{*}

林朝晖 赵彦 周广庆 曾庆存

(中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029)

摘要 利用改进的中国科学院大气物理研究所短期气候预测系统(IAP PSSCA), 结合IAP ENSO预测系统所预测的1999年热带太平洋地区的海温异常, 对1999年中国夏季气候进行了适时集合预测, 预测结果表明: IAP PSSCA较好地预测出了1999年夏季北半球大尺度环流场的异常情况, 并较好地预测出1999年中国南涝北旱的大范围降水形势。IAP PSSCA对长江下游的强降水中心、中国南方大部夏季多雨的特征以及中国北方大部的干旱少雨形势的预测, 与实测较相符。但IAP PSSCA预测的南方大范围雨带的北界比实测的略为偏北, 北方的小范围的降水正距平区域也没有能预报出来。另外, 对于月平均降水距平的预测亦存在较大的不确定性。这说明我们的预测系统还有待于进一步的改进和完善。

关键词: 气候异常; 短期气候预测; 旱涝预测

1 引言

中国地处东亚季风区, 季风的年际变化明显, 气候灾害频繁。据统计表明, 近10年来中国平均每年旱涝灾害所造成的经济损失均要超过1000多亿元, 死亡人数为3000多人。特别是1998年的特大暴雨和洪涝灾害所造成的直接损失超过2480亿元, 死亡人数为3656人, 受灾人口达到2.3亿人之多^[1]。若能较早地对这些气候异常作出预测, 就可以尽早地采取相应的措施, 从而减轻气候灾害所带来的严重后果。

早在1989年中国科学院大气物理研究所就开始利用气候模式开展了跨季度汛期降水距平预测, 并获得了初步成功^[2], 随后在此基础上建立了中国科学院大气物理研究所短期气候预测系统(IAP PSSCA)^[3]。在1990~1997年, 我们每年均利用此系统对中国夏季的旱涝形势进行了预测, 总的预测效果是在中国的东部地区尤其是长江流域和中国南方的预测效果较好, 而对于东北、华北预报技巧则相对较低^[4]。林朝晖等^[5]利用改进的IAP GCM改进了原来的IAP PSSCA, 同时还引入了IAP ENSO预测系统^[6]所预测的热带太平洋区域的海温距平。通过对1980~1994年的后报实验结果表明, 改进的IAP PSSCA对中国夏季旱涝形势的预测能力, 特别是对中国北方地区的预测水平有明显的提高。利用改进的IAP PSSCA对1998年中国夏季旱涝形势的预测结果表明, IAP PSSCA的预测效果是较好的; 该预测系统对1998年夏季中国大部分地区多雨, 尤其是长江流域、嫩江流域和新疆西北部的大正距平, 以及黄淮间的小负距平均预报得较好, 只是长江流域正距平的幅度报得不够。

为了进一步考察IAP PSSCA的预测能力, 本文报道该系统对1999年中国夏季气

候特别是降水形势的适时预测情况，该预测是以 1999 年 2 月份为初始场于同年 3 月份作出并向有关部门提供的。预测结果表明 IAP PSSCA 较好地预报出 1999 年夏季（6~8 月平均）中国南涝北旱的大范围降水距平的分布特征，但对于较小范围的旱涝特征则预测不准，对于月平均降水距平的预测亦存在较大的不确定性，有待进一步改进。

2 预报实验方案设计

利用改进的 IAP PSSCA 对 1999 年中国夏季旱涝进行实时集合预测时，所选取的集合样本为 28 个，亦即对于大气初值，选取 2 月 1 日~2 月 28 日的 NECP 实时分析资料^[7]，然后再插值到模式的网格点和层次上，从而得到进行集合预测时所需要的 28 个大气初值。

对于预测过程中所采用的海温距平，在热带太平洋地区我们考虑到了 IAP ENSO 预测系统所预报的海温距平。图 1 给出了 1999 年 3 月份我们进行汛期旱涝预测时 IAP ENSO 预测系统所预报的 Niño 3 区的海温距平的演变。从图中可以看到，1999 年的冷事件从 3 月份开始慢慢变弱，但仍将一直维持到年底。

在利用 IAP PSSCA 进行实际夏季气候预测过程中，我们采用两步法：首先，利用 IAP ENSO 预测系统预测出热带太平洋区域的海温异常，然后再用所预报的海温异常来驱动大气环流模式进行集合预报，从而得到 1999 年中国夏季的旱涝形势。对于热带太平洋以外地区，我们在预测过程中所采用的海温距平保持为 2 月份的观测海温距平，即： $\Delta T_{Fest} = \Delta T_{Feb}$ ；而在热带太平洋区域则同时考虑了 IAP ENSO 预测系统所预报

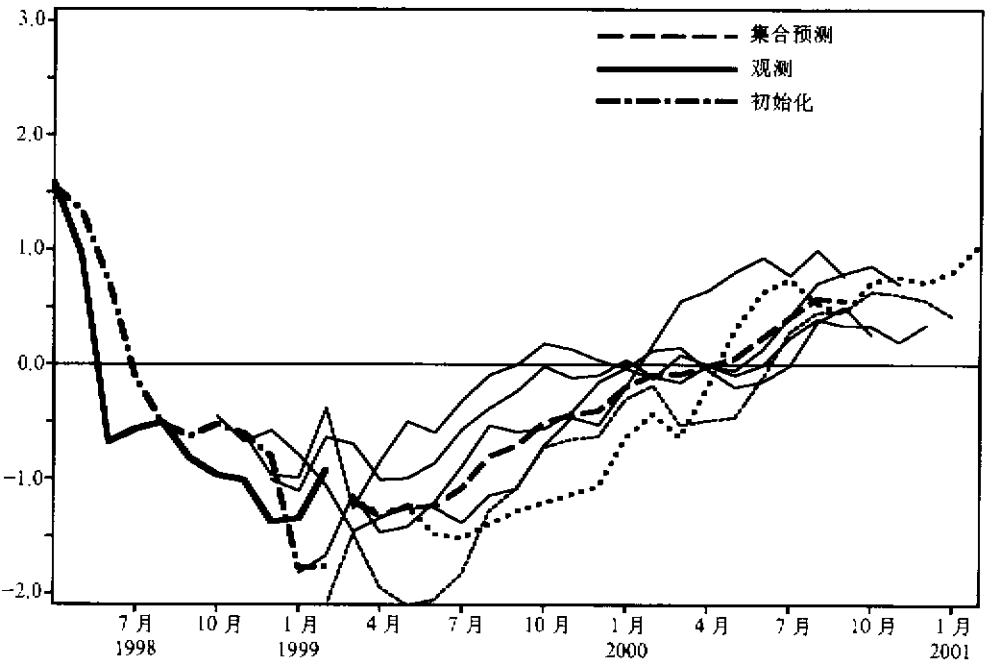


图 1 IAP ENSO 预测系统所预测的 Niño 3 指数

的热带太平洋区域的海温异常 (SSTA) 以及 2 月份观测海温距平, 即: $(\Delta T_{\text{Fest}})_t = \alpha(t)\Delta T_{\text{Feb}} + [1 - \alpha(t)](\Delta T_{\text{Mod}})_t$, 这里 ΔT_{Feb} 代表 1999 年 2 月份的观测海温距平, 而 $(\Delta T_{\text{Mod}})_t$ 则代表 IAP ENSO 预测系统所预报的热带太平洋区域逐月的海温距平, 其中 $t = 2, 3, \dots, 9$ 分别代表 2 月至 9 月。另外, 上式中的线性组合系数 α 是月份 t 的函数, 且随 t 的增加而逐渐减小。在 1999 年的预测实验中, α 的取值见表 1。

表 1 生成 IAP PSSCA 预测海温时线性组合系数 α 的取值

月 份	2	3	4	5	6	7	8	9
α	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2	0.1	0.1	0.0

预测过程中模式的积分时段为 1999 年 2 月 15 日~8 月 31 日, 并取 6~8 月的平均为夏季平均。另外, 在处理 28 个集合样本时是采用简单的算术平均, 但利用了相应的订正系统而得到最后的预报结果。

3 预测结果

3.1 夏季 (6~8 月平均) 旱涝形势的预测

首先来看 IAP PSSCA 对 1999 年中国夏季 (6~8 月平均) 降水距平百分率的预测情况, 并与实测进行比较。从图 2a 可以看到: 1999 年夏季中国降水的基本形势是南涝北旱; 中国长江以南大部地区降水距平百分率均为正值, 而且在长江下游附近还存在着降水正距平中心。另外, 在中国新疆北部也存在着降水正距平中心; 中国北方大部地区 (包括东北) 均为降水距平负值区, 但也存在小范围的降水正距平区域, 其中河套西南部的降水正距平范围相对较大。

图 2b 是 IAP PSSCA 对 1999 年中国夏季旱涝形势的集合预测结果, 从图中可以看到: 1999 年中国旱涝分布主要是南涝北旱, 中国南方大部降水偏多, 北方大部降水偏少。另外, 在长江中下游地区以及新疆北部存在降水正距平中心。这些均与实测结果十分相符。但是, 中国华北地区存在的小范围降水正距平区, IAP PSSCA 并没有很好地预报出来。另外, IAP PSSCA 预报的中国南方多雨区的范围也比实测要稍微偏北。这些可能与预测系统所采用的气候模式的水平分辨率较低有关。

图 3 给出了集合预报的离差以及降水距平百分率大于零的概率分布。从图 3a 可以发现, 在中国南方以及华北和东北的大部分地区集合预测的离差较小, 预测的可信度较高。但在河套及中国西北地区, 集合预测的离散度较大, 超过了预测的降水距平百分率, 预测的可信度较低。另外, 从图 3b 可以看到, 在长江中下游以及中国南方大部地区降水距平百分率大于零的概率均要大于 90%, 这也说明我们所预测的 1999 年夏季中国南方大部地区多雨的可信度是较高的。

3.2 月平均降水距平百分率的预测

再考察 IAP PSSCA 对夏季月平均尺度降水距平百分率的预测能力。图 4 给出了观测和预测的 1999 年 7 月份中国降水距平百分率分布, 同时还给出集合预测的离差分布。从图 4a 可以看到, 7 月份中国的雨带主要位于南方地区, 降水分布的特征是南方

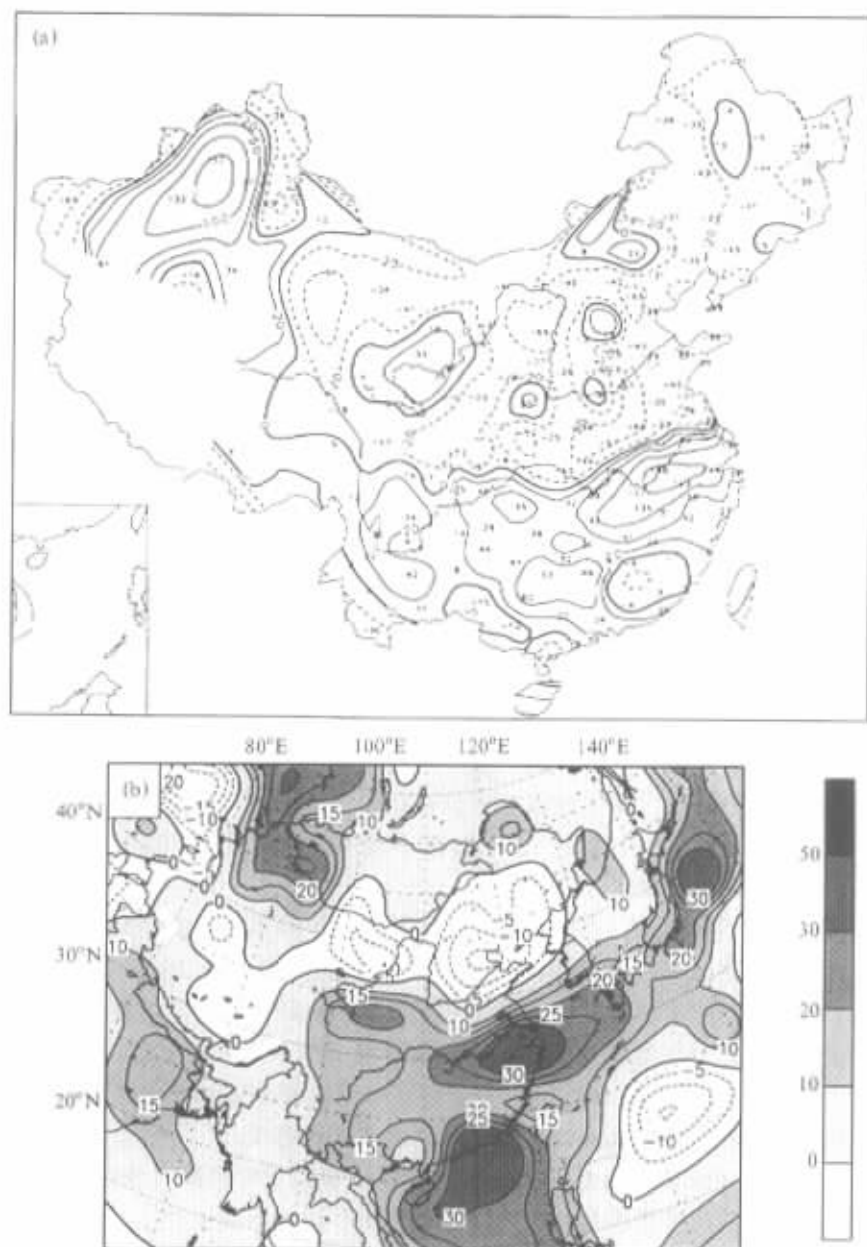


图 2 1999 年夏季中国降水距平百分率分布
(a) 实测情况; (b) 预测结果

多, 北方少。具体说来就是, 在中国江南至南岭以北大部地区, 贵州大部及云南、四川、甘肃等省的部分地区偏多 5 成至 1.5 倍, 江南部分地区偏多 1.5~2 倍。全国其余大部地区接近常年或偏少, 其中江淮、黄淮地区东部、东北地区中部和南部以及华北大部地区、新疆部分地区偏少 5 成以上。

图 4b 给出的是 IAP PSSCA 预测的结果。总的说来, 在中国南方降水距平均为正

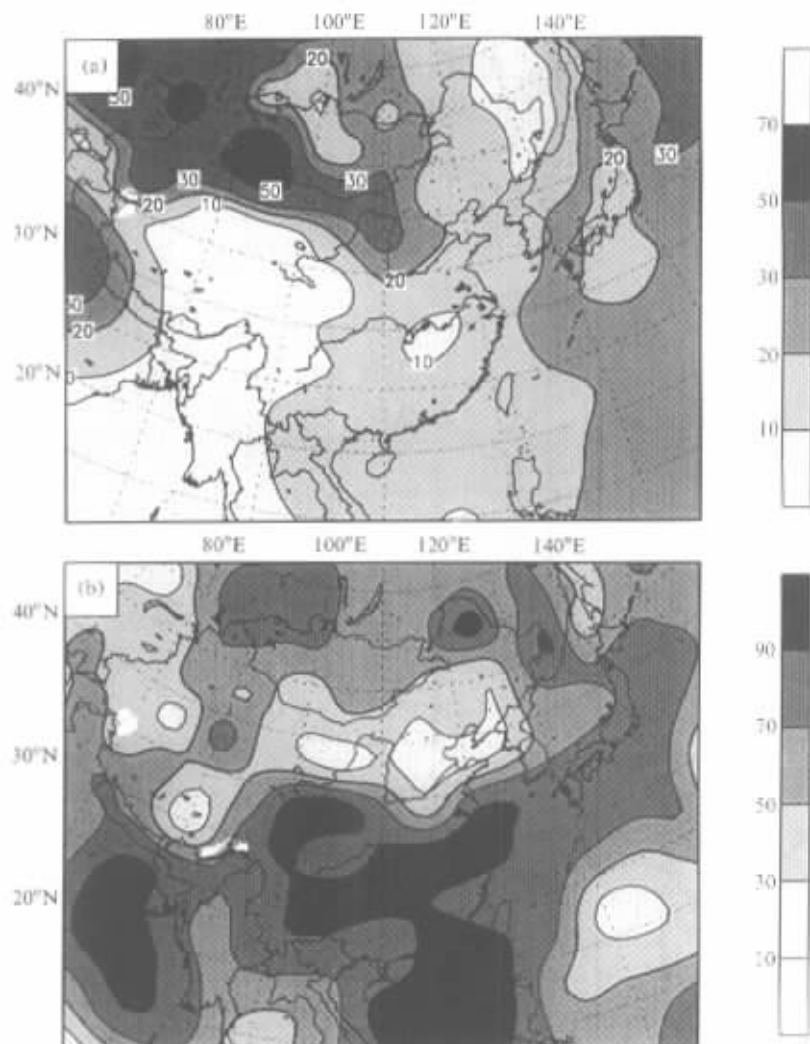


图3 (a) IAP PSSCA 所预测的 1999 夏季中国降水距平百分率的标准偏差; (b) 集合预测中降水距平百分率大于零的概率分布

值, 而中国华北则为降水负距平区, 同时在东北地区中部、新疆南部地区降水亦为负距平区, 这些均与实测较为接近。但江淮、黄淮地区东部等地区为降水正距平区, 这显然与实测不符。同时 IAP PSSCA 预测的降水正距平中心位于长江下游, 其位置与实测相比明显偏北。另外, IAP PSSCA 预测的降水距平百分率的幅度均要比实测来得小。

图 4c 给出了相应的集合预测的离差分布, 从图中可以看到, 相对而言在江淮流域以及中国南方集合预测的离差较小, 而在中国北方地区集合预测的离差较大, 特别是在中国西北地区最大可达 60%。相对于夏季平均降水距平百分率预报的离差 (图 3a) 而言, IAP PSSCA 对月平均降水距平百分率的预报的离差更大。因此, 其可信度也相对较低。

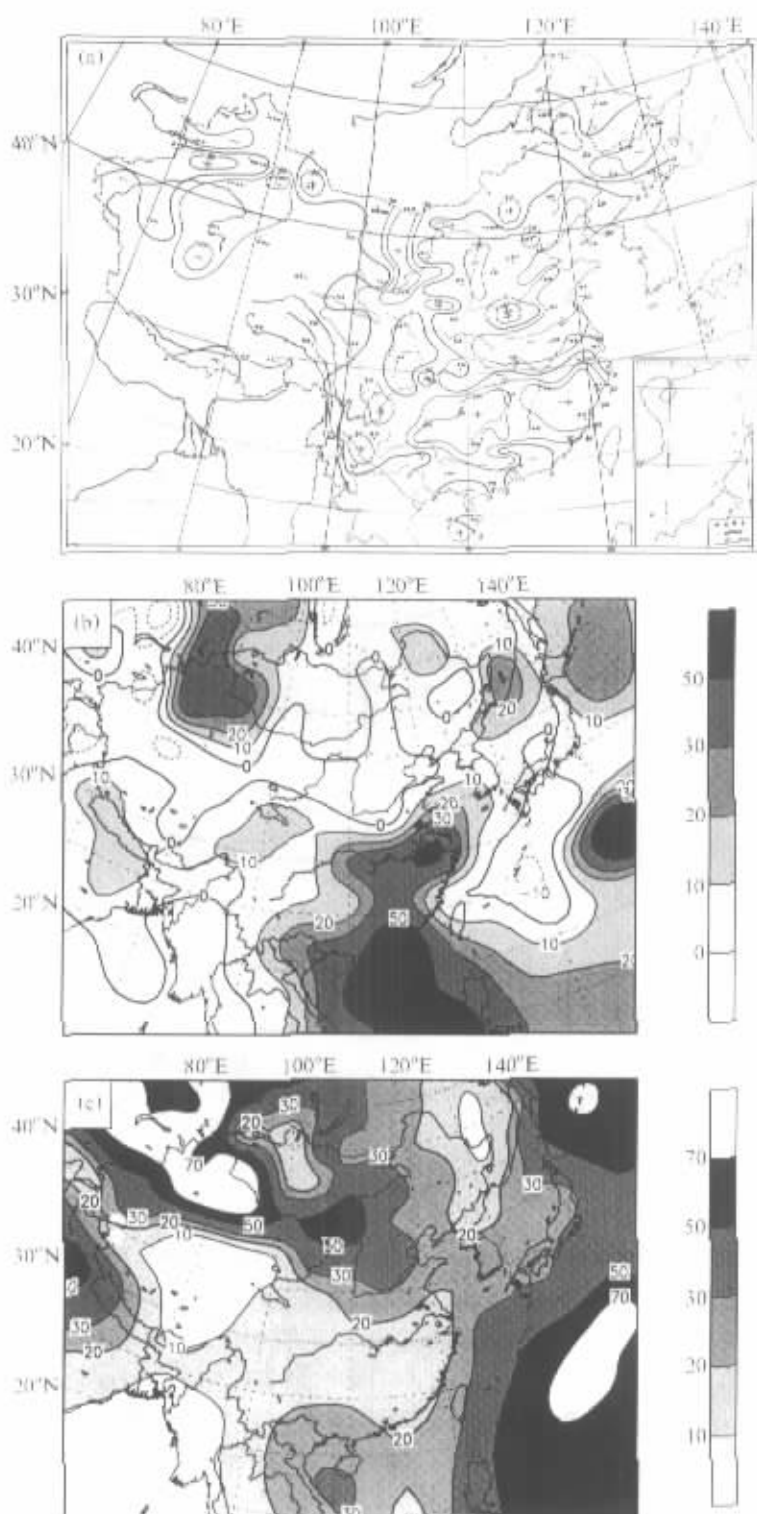


图4 1999年7月份中国降水距平百分率分布
(a) 观测; (b) 预测; (c) 集合预测的离差分布

图 5 给出的是 8 月份的情形。从图 5a 可以看到：8 月份中国降水的分布依然呈南多北少态势，具体说来是，在中国长江及其以南的大部地区仍为降水正距平区，特别是在江南、广东中部等部分地区偏多 1~3 倍，在新疆也存在降水距平百分率超过 100% 的地区；北方大部地区降水偏少，其中黄淮大部，华北东部和北部，东北东部以及西北的部分地区偏少 5 成以上。

从图 5b 我们可以看到，8 月份中国长江及其以南大部地区降水仍维持为正距平，新疆地区为降水正距平区，同时中国华北大部仍是降水负距平区，而且负距平区的范围要比 7 月份大，其强度也更强，这些均与实测十分相近。但是，相对于实测而言，IAP

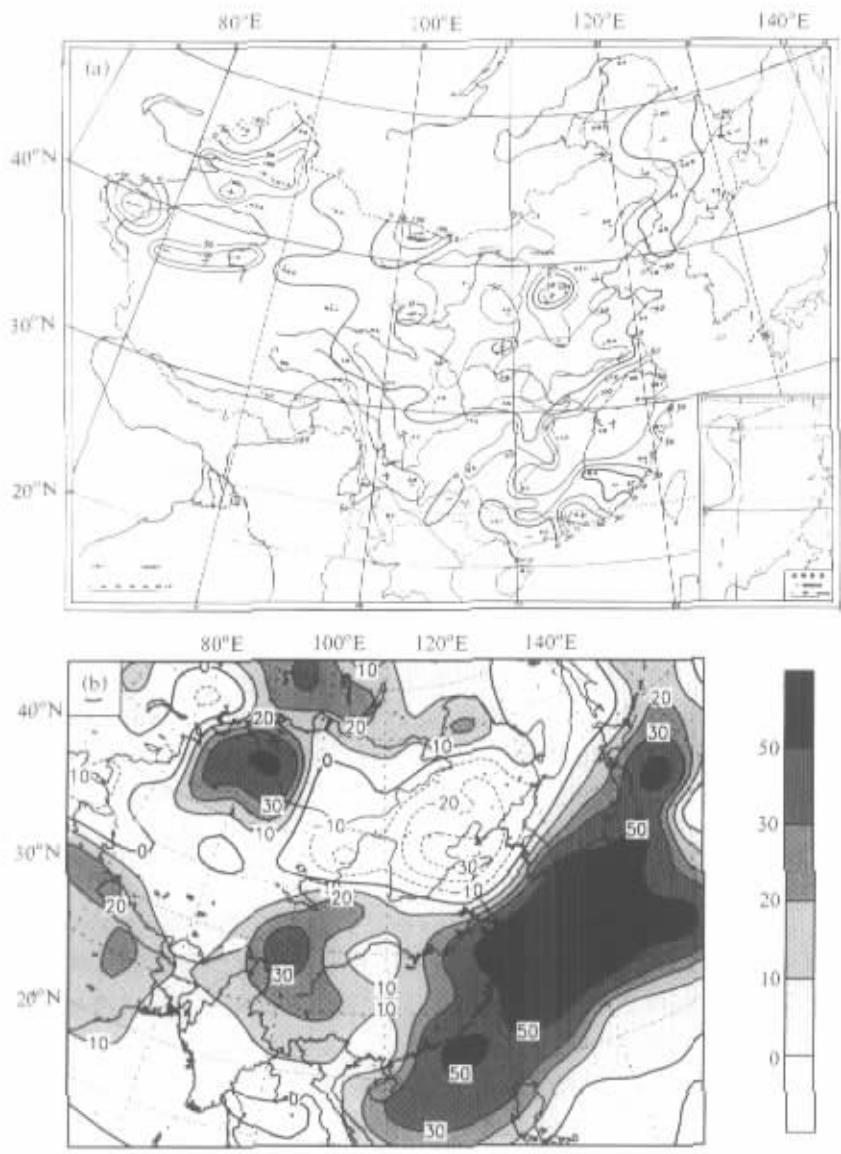


图 5 1999 年 8 月份中国降水距平百分率分布
(a) 观测；(b) 预测

PSSCA 预报的中国南方多雨的幅度不够, 降水正距平中心也偏移于东部海面; 另外 IAP PSSCA 也未能预报出山西、河北小部分地区正的降水距平。相对于 7 月份而言, IAP PSSCA 对 8 月份降水距平百分率的预报似乎更接近于实测。另外, 8 月份集合预测的离差分布与 7 月份十分相似 (图略), 其离差同样要大于夏季平均降水距平百分率预报的离差, 因此, 其可信度也一样相对较低。

从 IAP PSSCA 对 7、8 月份降水异常的预测情况我们可以看到, IAP PSSCA 对月平均降水距平同样显示出一定的预测能力; 但相对于季度平均时间尺度而言, IAP PSSCA 的预测结果与实测相差稍大, 而且集合预测的离差也相对较大, 因此其可信度也相对稍低, 其预测技巧相对于季度平均也要稍差。因此, 就现有的 IAP PSSCA 而言, 其预测技巧还只是局限于夏季平均上, 而对于更短时间平均尺度 (如月平均时间尺度), 其能力还是有一定欠缺的。这些结果也证实短期气候预测系统的预测能力是与所要预测变量的时间尺度紧密相关的^[8], 而现有的 IAP PSSCA 的预测能力也还局限于季平均尺度的预报上。

3.3 大尺度环流场的预报

在考察了 IAP PSSCA 对 1999 年夏季降水的预测后, 我们不妨再来看看 IAP PSSCA 对北半球夏季 500 hPa 高度场异常的预测情况, 并与 NECP 再分析结果进行比较, 从而考察 IAP PSSCA 对大尺度环流场的预测能力。首先, 图 6 给出了 7 月份的情形。从图 6a 我们可以看到, 在北半球中高纬地区的大部分地区, 7 月份 500 hPa 高度距平大都为正, 其中欧亚大陆、东北太平洋与极区正距平值达 40~80 gpm, 但在加拿大北部至大西洋西部、巴伦支海和喀拉海则存在着-40~-80 gpm 的负高度距平。另外, 在中低纬度, 西北太平洋地区副高较常年略为偏弱, 其他地区高度场则基本接近常年。

图 6b 给出的是 IAP PSSCA 的预测结果, 从图中可以发现在北半球的大部分地区, 特别是在欧亚大陆的广大地区, 500 hPa 高度场异常均为正值; 而在挪威海、巴伦支海附近则存在着负的高度距平区, 同时在加拿大北部也存在着负的高度距平区, 这些形势均与观测结果十分接近。但仔细比较分析可以发现, IAP PSSCA 所预报的北半球 500 hPa 高度负距平区与实测相比范围偏小, 而且强度偏弱许多; 同样预报的高度场正距平的强度与实测相比也偏弱。另外, 在北美中纬度地区 IAP PSSCA 还预测出虚假的强高度场正距平区。这说明 IAP PSSCA 预测的结果与实测相比还是存在着一定的差异。

图 7 给出的是夏季 (6~8 月) 平均的 500 hPa 高度场异常的再分析以及预测结果。从图 7a 我们可以看到, 就夏季平均而言, 在北半球中、低纬度 (60°N 以南地区) 存在着范围广泛的高度场正异常区; 而在高纬度地区 (60~80°N), 高度场的异常则为负值。图 7b 为 IAP PSSCA 的预测结果, 我们可以发现其基本形势与 7 月份的结果十分相似 (参见图 6b), 同样在北半球中、低纬度 (60°N 以南) 地区存在着 500 hPa 高度场的正异常区。另外, 在挪威海、巴伦支海附近以及加拿大北部存在着负的高度距平区, 只是其范围与 7 月份稍有差别, 这些均与实测结果较为接近。但对于实测中存在于白令海和鄂霍次克海附近的高度场异常的负距平区, IAP PSSCA 却不能很好地预报出来, 同时 IAP PSSCA 还在北美大陆预测出虚假的高度场正距平区。

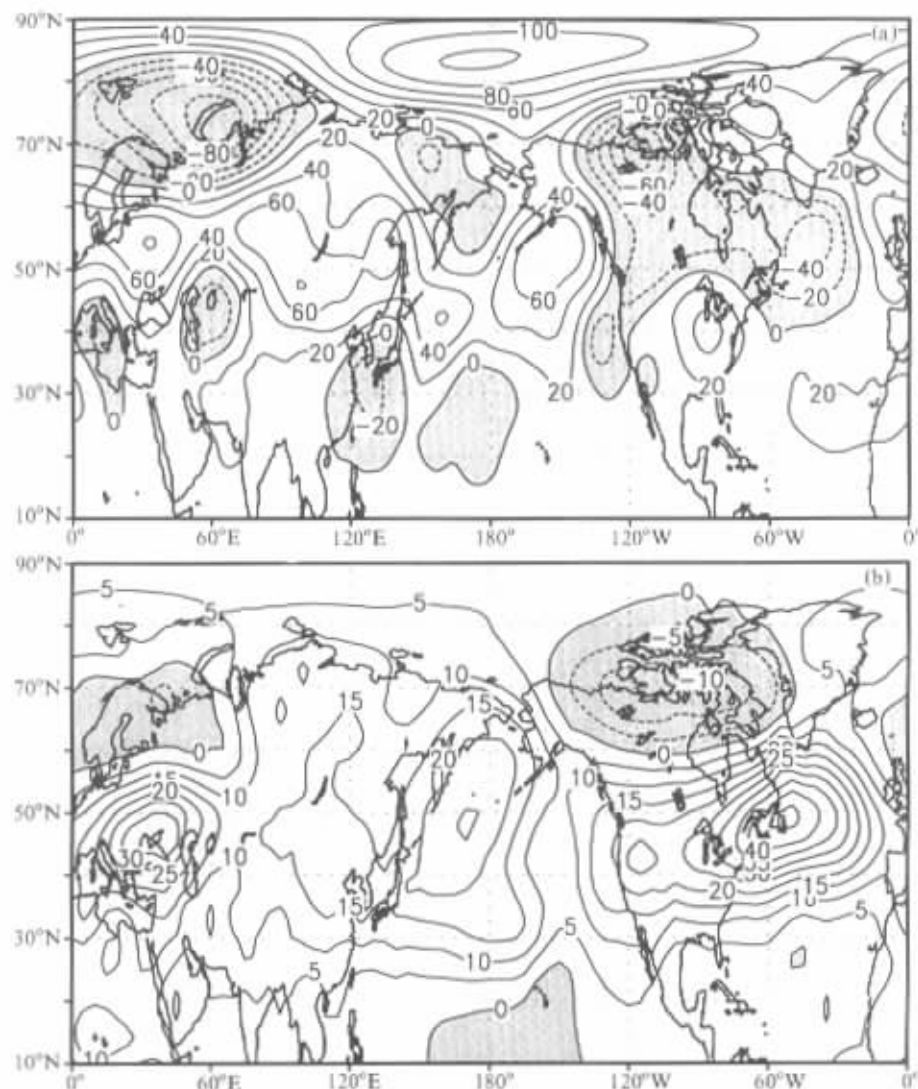


图 6 1999 年 7 月份北半球 500 hPa 高度场异常
(a) NCEP 再分析结果; (b) IAP PSSCA 预测结果, 单位: gpm

总之, 可以看出, IAP PSSCA 虽然大体上能较好地预测出北半球夏季 500 hPa 高度场的异常形势, 但是在范围及强度上也还存在着一定的偏差。

4 结论和讨论

本文利用改进的中国科学院大气物理研究所短期气候距平预测系统 (IAP PSSCA) 对 1999 年中国夏季气候异常进行了跨季度预测实验。预测结果表明, IAP PSSCA 对夏季北半球大尺度环流场的预测有一定的能力。对于降水距平百分率的预

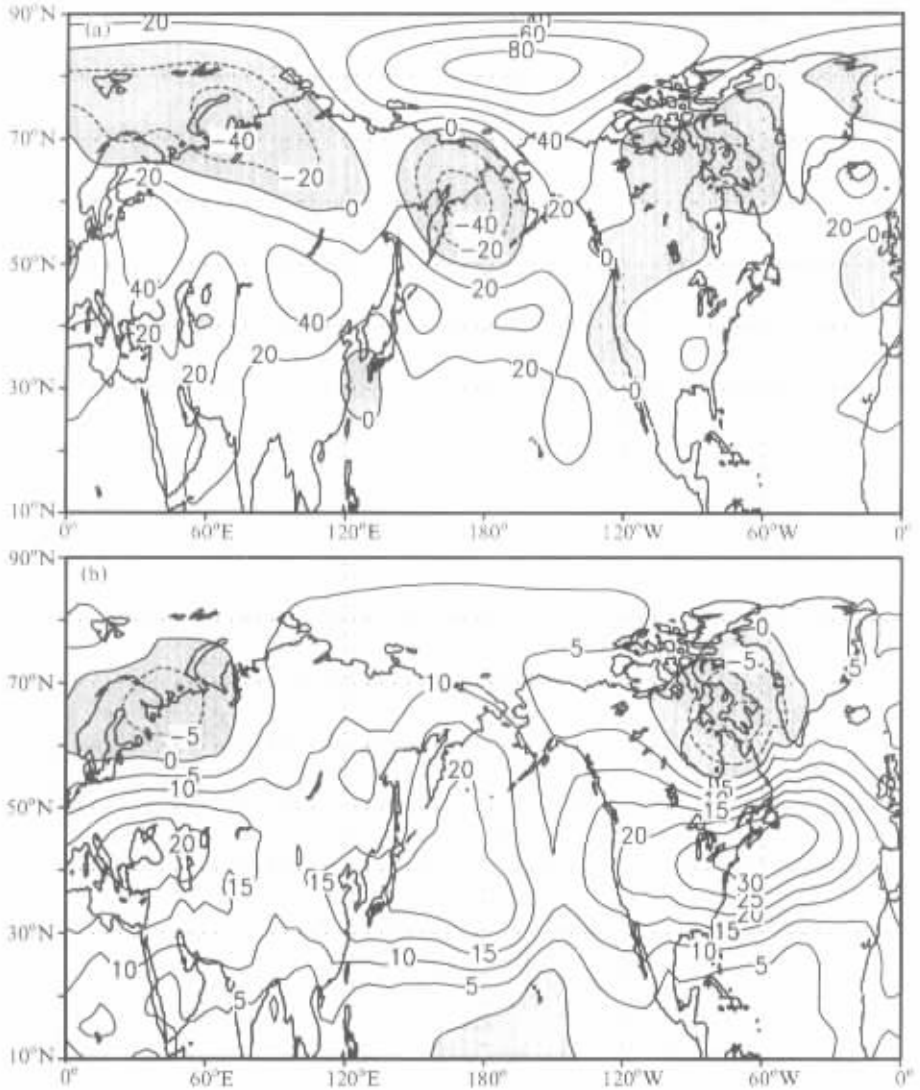


图7 1999年夏季(6~8月)平均500 hPa高度场异常
(a) NCEP再分析结果; (b) IAP PSSCA预测结果。单位: gpm

测,若预报的是整个夏季(6~8月)平均的降水距平百分率,IAP PSSCA的预测结果与实测结果很相近;若预报的是月平均降水距平百分率,IAP PSSCA虽然同样显示出一定的预测能力,但相对于季度平均而言,预测结果与实测相差稍大,而且集合预测的离散也相对较大,因此其可信度也相对稍低,其预测技巧也稍差。这表明短期气候预测系统的预测能力与所要预测变量的时间尺度是紧密相关的。另外,IAP PSSCA虽然对降水距平百分率大尺度分布形势预报效果较好,但对于降水距平分布的细致结构而言,还有一定的欠缺。例如,IAP PSSCA对中国华北地区存在的小范围降水正距平区就不能很好地预报出来,在对1998年夏季旱涝的预报过程中同样存在类似的问题^[5],这与

IAP PSSCA 中所采用的气候模式的空间分辨率较低有关。

要想进一步完善和发展 IAP PSSCA, 提高其对短期气候进行预测的能力, 首先应该针对该预测系统中的不足之处予以改进。而发展新一代高分辨率高精度的气候系统模式, 使之能较好地模拟出亚洲及全球季风系统的进退等基本特征以及气候的年际变化等, 并以之替代 IAP PSSCA 中原有的气候模式, 就有可能较好地描述中国夏季降水距平百分率的细致分布, 提高 IAP PSSCA 的预测能力。

许多研究表明, 陆面过程对短期气候有十分重要的影响^[9~13], 同样气候模式中陆面过程的改进可以提高短期气候预测的能力^[5]。因此, 发展更为完善的陆面过程模式, 并将之引进到气候系统模式中, 使之更好地表述陆气间的相互作用, 也是进一步改进和完善 IAP PSSCA 的路径之一。另外, Fennessy 和 Shukla 还发现, 陆表特征 (例如: 土壤湿度) 的初始化对短期气候预测也有较大的影响, 并且可以提高短期气候预测系统的预测能力^[14]。因此, 若能在 IAP PSSCA 中引入地表特征 (如: 土壤湿度、高原雪盖) 的初始化过程, 也可以进一步提高 IAP PSSCA 对中国夏季降水异常进行跨季度预测的能力。

参 考 文 献

- 1 中国气象局国家气候中心, 98 中国大洪水与气候异常, 北京: 气象出版社, 1998, 139pp.
- 2 曾庆存、袁重光、王万秋、张荣华, 跨季度气候距平预测实验, 大气科学, 1990, 14(1), 10~25.
- 3 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论文, 1992, 136pp.
- 4 Zeng Qingcun et al., Seasonal and extraseasonal prediction of summer monsoon precipitation by GCMs, *Advances in Atmospheric Sciences*, 1997, 14, 163~176.
- 5 林朝晖, 李 旭、赵 彦等, IAP PSSCA 的改进及其对 1998 全国汛期旱涝形势的预测, 气候与环境研究, 1998, 3(4), 339~348.
- 6 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.
- 7 Kalnay, E. et al., The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1996, 77(3), 437~471.
- 8 WCRP. CLIVAR—A Study of climate variability and predictability, WCRP-89, WMO/TD No.690, World Meteorology Organization, Geneva, 1995, 157pp.
- 9 Yeh, T-C, R.T. Wetherald and S. Manabe, A model study of the short-term climatic and hydrologic effects of the sudden snow-cover removal, *Mon. Wea. Rev.*, 1983, 111, 1013~1024.
- 10 Yang, S. and L. Xu, Linkage between Eurasian winter snow cover and regional Chinese summer rainfall, *Int. J. Climatol.*, 1994, 14, 739~750.
- 11 Yeh T.C. et al., The effect of soil moisture on the short-term climate and hydrology change - A numerical experiment, *Mon. Wea. Rev.*, 1984, 112, 474~490.
- 12 Yamazaki, K., A study of the impact of soil moisture and surface albedo changes on global climate using the MRIGCM-I, *J. Meteor. Soc. Japan*, 1989, 67, 123~146.
- 13 Lin Zhaohui and Zeng Qingcun, Simulation of east Asian summer monsoon by using an improved AGCM, *Advances in Atmospheric Sciences*, 1997, 14(4), 513~526.
- 14 Fennessy, M.J. and J. Shukla, Impact of initial soil wetness on seasonal atmospheric prediction, *Journal of Climate*, 1999, 12, 3167~3180.

Prediction of Summer Climate Anomaly over China for 1999 and Its Verification

Lin Zhaohui, Zhao Yan, Zhou Guangqing and Zeng Qingcun

(State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics,

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

Abstract In combination with the predicted equatorial Pacific Sea Surface Temperature Anomaly (SSTA) by IAP ENSO prediction system, the summer climate anomalies for year 1999 have been predicted by the improved IAP Prediction System of Short-Term Climate Anomaly (IAP PSSCA). Generally, the predicted pattern of the general circulation anomaly (e.g., 500 hPa geopotential height) agrees well with the observation. As for the prediction result for 1999 summer monsoon rainfall anomaly, verification map shows that, for the JJA mean, the positive rainfall anomalies over the Yangtze River valley, South China have been well predicted by IAP PSSCA, and the drought over most part of North China have also been predicted, although the detailed rainfall anomaly distribution has some discrepancies compared with the observation, especially over North China. As for monthly mean pattern of the rainfall anomaly, the uncertainties of the prediction and its disagreement with the observation are both relatively large compared with that in seasonal time scale, and this is due to the limitation of current seasonal to extraseasonal climate prediction system. All above results indicate that, although IAP PSSCA does show some skill in the prediction of summer monsoon rainfall anomaly over China, further improvements in this system are still needed.

Key words: climate anomaly; short-term climate prediction; flood / drought prediction