

陆面热力因子应用于中国夏季降水预测的初步试验^{*1}

朱 蒙^{1,2} 陈海山^{1,2} 蒋 薇³ 谭桂容^{1,2}

ZHU Meng^{1,2} CHEN Haishan^{1,2} JIANG Wei³ TAN Guirong^{1,2}

1. 南京信息工程大学气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 气象灾害教育部重点实验室, 南京, 210044

2. 南京信息工程大学, 大气科学学院, 南京, 210044

3. 江苏省气候中心, 南京, 210008

1. *Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Key Laboratory of Meteorological Disaster (NUIST), Ministry of Education, Nanjing 210044, China*

2. *School of Atmospheric Sciences, Nanjing University of Information Science and Technology (NUIST), Nanjing 210044, China*

3. *Jiangsu Climate Centre, Nanjing 210008, China*

2013-12-13 收稿, 2014-05-21 改回.

朱蒙, 陈海山, 蒋薇, 谭桂容. 2014. 陆面热力因子应用于中国夏季降水预测的初步试验. 气象学报, 72(6):1135-1142

Zhu Meng, Chen Haishan, Jiang Wei, Tan Guirong. 2014. A preliminary test of the summer rainfall prediction in China based on the land surface thermal factors. *Acta Meteorologica Sinica*, 72(6):1135-1142

Abstract Based on the correlation analysis between the April soil temperature (ST) over the Eurasian continent, the global sea surface temperature (SST) in the previous winter and the summer precipitation in eastern China, STs and SSTs over the key regions are selected as the predictors of the summer rainfall prediction. Based on the observations during the period 1961–1990, the Barnett-Preisendorfer canonical correlation analysis (BP-CCA) and the ensemble canonical correlation analysis (ECC) are used to build statistical prediction models of the summer rainfall in eastern China with taking ST, SST or SST combined with ST as the predictors, respectively. The independent sample test is performed by using the observations during 1991–2010. The results show that the model using SST combined with ST as predictor exhibits higher predictive skill than that only using one of them, implying that consideration of the ST improves the performance of the prediction model. The prediction model based on the land surface thermal factors has some skills in predicting the summer precipitation in eastern China, and the way using the combination of SST with ST shows a better performance in the summer precipitation prediction.

Key words Summer precipitation, Seasonal prediction, Soil temperature, Canonical Correlation Analysis (CCA), Ensemble Canonical Correlation Analysis (ECC)

摘 要 基于对中国东部夏季降水与欧亚大陆土壤温度和全球海表温度的相关分析, 选取不同关键区的土壤温度和海表温度作为夏季降水的预测因子。利用 1961—1990 年的资料, 分别以土壤温度作为第 1 组预测因子, 海表温度作为第 2 组预测因子, 综合海表温度与土壤温度因子作为第 3 组预测因子, 使用改进的典型相关分析和集合典型相关分析法对中国东部夏季降水场进行预测, 建立了相应的预测模型。然后, 利用 1991—2010 年的资料进行了独立样本预测试验。在独立样本预测试验中, 综合海表温度与土壤温度因子建立的模型比只用海表温度进行预测的各项预测评分高, 说明加入土壤温度因子后预测效果有所提高。基于陆面热力因子的预测模型对夏季降水有一定的技巧, 而综合海温与陆面热力因子的预测模型对中国东部

* 资助课题: 科技部公益性行业(气象)科研专项(GYHY201206017)、国家自然科学基金(41230422)、江苏省自然科学基金-杰出青年基金项目(BK20130047)、“新世纪优秀人才支持计划”。

作者简介: 朱蒙, 主要从事短期气候预测研究。E-mail: zhumeng88430@126.com

通讯作者: 陈海山, 主要从事陆面过程与气候数值模拟、气候变化与短期气候预测研究。E-mail: haishan@nuist.edu.cn

夏季降水有较高的预测能力。

关键词 夏季降水, 季节预测, 土壤温度, 典型相关分析, 集合典型相关分析

中图法分类号 P456

1 引言

中国夏季降水预测是中国短期气候预测业务的重点, 也是中国学者广为关注的科学问题, 经过多年的努力, 在夏季降水的成因和预测方面取得了很大进步。然而, 由于中国夏季降水的影响因素众多, 目前乃至今后的一段时间, 中国夏季降水的预测问题仍然面临巨大的挑战。尤其值得指出的是, 数值模式在降水预测中虽然发挥了越来越大的作用, 但基于物理统计的预测方法在降水预测中仍然扮演着十分重要的角色。目前, 关于中国夏季降水的成因研究和预测, 主要考虑的物理因子有: 环流(如季风、副热带高压等)、海温、积雪、地温等。大量的研究表明, 环流因子与中国夏季降水有密切的联系。同时, 中国学者在夏季降水预测模型方面也开展了大量研究。从大气环流因子出发, 朱锦红(1999)、魏凤英等(2010)先后通过统计方法建立了中国夏季降水量的预测模型, 发现降水分布与 500 hPa 高度场环流形势和各项环流指标关系较为密切。随着数值模式的发展, 康红文等(2012)、顾伟宗等(2012)利用模式输出的高度场和风场资料, 建立了区域夏季降水异常预测模型, 发现大气环流因子可为中国夏季降水预测提供有用的信息。海温场一直被视为中国夏季降水预测的重要因子。毛恒青等(1998)、王蕾等(2004)分别以太平洋海温场和全球春季海温场作为因子场, 对中国夏季降水进行了诊断研究和预测试验。结果表明, 海温与中国夏季降水存在密切关系, 海温在较大程度上决定了中国夏季降水雨带及其分布类型。青藏高原的相关要素也被广泛应用于中国夏季降水预测, 例如: 宋敏红等(2000)发现, 可用青藏高原热通量预测中国夏季降水, 而彭京备等(2006)利用青藏高原积雪和海温建立了中国夏季降水的预测模型。这些研究表明, 环流因子、海温、高原积雪均可作为中国夏季降水的预报因子。需要指出的是, 在影响中国夏季降水的因子中, 就下垫面强迫而言, 中国夏季降水不仅受海洋热状况的影响, 而且受陆面过程的影响。汤懋苍等(1986a, 1986b, 1987, 1988)先后研究了中国地温与春、夏季降水的

关系, 发现冬季地温的变化与同一地区后期降水有密切的关系, 认为地温是气候预测的重要因子。

在统计预测方法研究方面, Glahn(1968)首次将典型相关分析(CCA)法应用于统计天气预测。此后, 一些学者先后利用改进的典型相关分析亦简称 BP-CCA(Barnett-Preisendorfer canonical correlation analysis)法(两个场主成分分析基础上的典型相关分析或称 EOF-CCA)建立了非洲地区和加拿大地区的降水预测模型, 发现使用改进的典型相关分析法能保留资料中时空尺度大的变化成分的方差, 消除一些小尺度变化及噪声的影响(Barnston, et al, 1996; Shabbar, et al, 1996)。中国亦有一些工作采用典型相关分析或改进的典型相关分析法建立短期气候预测模型。例如: 毛恒青等(1997)利用典型相关分析法对中国冬季气温进行了预测试验。最近, 该方法被用来建立中国夏季降水和冬季气温的预测模型(黄茂怡等, 2000; 贾小龙等, 2010)。然而, 典型相关分析和改进的典型相关分析法的预测效果并不稳定。谭桂容等(2012)曾利用动力与统计相结合的方法进行气候预测。李芳(2012)利用多模式集合方法对中国夏季降水进行季度概率预测。Lau 等(2002)提出集合典型相关(ECC)法, 利用不同海区的海温作为预测因子对美国夏季降水进行预测。结果表明, 不同海区的海温能识别出不同的强迫作用, 集合典型相关分析模式能大幅度提高预测技巧。集合典型相关分析法还被用于预测撒哈拉夏季降水和美国夏、冬季的地面气温, 结果表明, 不同变量因子能识别不同的强迫作用(Kingtse, et al, 2002, Kingtse, 2003)。中国使用集合典型相关分析法的研究尚少, 陈小兰等(2007)、贺晓霞等(2008)分别利用集合典型相关分析法预测中国冬季气温和中国东南夏季干旱指数。这些研究表明, 集合典型相关分析法是目前气候统计预测的有效手段。

目前对中国夏季降水的大多数预测研究所考虑的因子主要是环流因子和海温, 利用陆面因子建立中国夏季降水预测模型的研究较少, 利用中国区域以外的陆面热力因子对中国夏季降水的预测也较少。汤懋苍等(1986a, 1986b, 1987, 1988)曾经使用

地温资料预测中国夏季降水,而李跃凤等(2002)、梁红丽等(2010a,2010b)研究发现,热带非洲大陆和亚洲部分地区的土壤温度与中国夏季降水存在密切联系,并表明影响中国夏季降水的地温区域不仅在中国范围,欧亚大陆乃至更广泛区域对中国夏季降水的影响也不容忽视。诸多学者对陆面和海表热力状况与中国夏季降水的关系做了深入的研究,但是对中国夏季降水进行预测时,考虑陆面热力因子的预测研究尚少,业务预测中尚未利用陆面热力因子建立可靠的降水预测模型。因此,本研究试图通过研究欧亚大陆土壤温度与中国夏季降水的关系,在此基础上提取不同关键区的土壤温度作为夏季降水的预测因子,分别通过改进的典型相关分析和集合典型相关分析建立单个因子和多因子集合的预测模型。尝试将陆面热力因子用于中国夏季降水预测,以期为中国夏季降水预测业务提供一定的参考。

2 资料与方法

预测对象为中国东部 318 个气象台站夏季(6—8 月)降水,资料取自中国气象局气象信息中心提供的 753 个常规气象台站的逐日降水资料。预测因子取自欧洲中期天气预报中心(ECWMF)ERA-40 水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 的逐月再分析次表层土壤温度资料(深度为 72 cm)和欧洲中期天气预报中心 ERA-interim 水平分辨率为 $1.5^{\circ} \times 1.5^{\circ}$ 的逐月再分析第 3 层土壤温度资料。为了保证资料的统一,ERA-interim 资料通过双线性插值到 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 的网格上。此外,还用了 NOAA 扩展重构的海表温度资料,水平分辨率为 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 。资料时段均为 1961—2010 年。为了保证预测因子的时间超前于预测对象,选取 4 月的土壤温度和前期冬季(12、1、2 月)平均海表温度作为预测因子。

2.1 改进典型相关分析法

典型相关分析的基本思想是:从左场和右场资料分别分离出线性组合新变量,使得新变量间相关系数达最大、次大…,这种新变量叫做典型相关变量,然后通过对它的研究,代替原来的左右场资料。本研究使用的改进(或称变形)典型相关分析法,是在对两个场做主成分分析基础上的典型相关分析,其等价于用经验正交函数分解和主成分分析对资料进行预过滤后再做典型相关分析。由于大气科学中分析场的格点数往往较多,或者说维数很高,相应地

典型相关分析识别出的模态数目较多,反映的信息也不集中。而经验正交函数分解(或主成分分析)能够提取场的时空变化的主要信息,或者说压缩变量的自由度,保留时空尺度大的变化成分的方差,而消除一些小尺度变化及噪声的影响(吴洪宝等,2005)。

2.2 集合典型相关分析预报法

建立集合预报可以采用不同方法,本研究采用回归集合平均方法。

对每个预测因子场 S_m , $m=1,2,\dots,M$ (M 为集合成员的个数),第 m 个单因子场通过典型相关分析得到的预测值记为 $\hat{z}_{jt,m}$ 。回归集合平均法中,回归集合平均与集合的成员满足线性关系

$$\hat{z}_{jt} = \sum_{m=1}^M [b_{m,j} \hat{z}_{jt,m}] \quad (1)$$

式中,组合系数 $b_{m,j}$ 采用回归方法确定,原则是使集合平均预测值 $\hat{z}_{jt}$ 和对应的观测值 z_{jt} 在训练期的误差方差最小;对于第 j 空间点, z_{jt} 为回归的对象; $\hat{z}_{jt,m}$ 为回归因子; $b_{m,j}$ 为回归系数;误差方差为

$$V_j = \sum_{t=1}^N [\hat{z}_{jt} - z_{jt}]^2 \quad (2)$$

2.3 预测评估方法

为了对预测结果进行客观定量的评价,主要使用距平同号率(P)、预测评分(S_P)、技巧评分(S_S)、距平相关系数(C_{AC})来检验预测效果。距平同号率(P)是最普遍使用的评分方法,但有时会受气候概率的影响。预测评分(S_P)和技巧评分(S_S)是中国业务预测中经常使用的方法。距平相关系数(C_{CA})是国际上通用的预测距平和实况距平的相关系数,反映预测距平与实况距平空间分布的一致程度。

3 中国东部夏季降水的时空特征分析

将存在缺失数据的站点定义为缺失站点,不用于分析。选取中国东部 318 个气象台站(105°E 以东)用于代表中国东部夏季降水。对中国东部夏季降水的标准化距平做经验正交函数分解。

第 1 空间特征向量由南至北呈现“+ - +”分布,方差贡献为 10.9%,所占比重最大,是最主要的降水异常空间分布类型。该空间型与 I 类雨型(北方型)空间分布一致,体现了长江中下游及江淮地区与华北、东北、华南地区降水的反位相关系。结合第 1 空间特征向量的时间系数序列,20 世纪 60 年代初,长江中下游及江淮地区降水为负异常而华北、东

北、华南地区降水为正异常;90年代末,各区降水异常相反。第2模态的方差贡献率为9.2%,空间分布从南到北呈现“- +”分布,该空间型与Ⅱ类雨型(中间型)空间分布一致。结合时间系数序列,70年代末至90年代初,多雨带位于黄河和长江之间,雨带中心一般在淮河流域。第3模态的方差贡献率为8.3%,空间分布从南到北呈现“+ -”分布,该空间型与Ⅲ类雨型(南方型)空间分布一致。

夏季中国东部地区降水分布不均匀,年际变化很大,经验正交函数分解可较准确地反映中国东部夏季降水的主要特点,为降水预测提供基础。

4 关键区及预测因子的选取和预测模型的建立

利用上述中国东部夏季降水经验正交函数分析的前3个时间序列分别与欧亚大陆第3层土壤温度和海表温度进行相关分析。根据相关关系,选取相关系数通过95%以上显著检验的点所在经纬度作为区域的边界,即预测因子的关键区。

如图1所示,降水经验正交函数分解第1时间序列与欧亚大陆土壤温度的相关系数分布呈南北反

向,通过显著检验的区域为欧亚大陆中高纬度的负相关区域;第2时间序列与欧亚大陆土壤温度的相关系数分布同样呈南北反向,负相关区域的范围更大,通过显著检验的区域为欧亚大陆中高纬度的负相关区域;第3时间序列与欧亚大陆土壤温度的相关系数分布由南至北呈“+ - +”分布,通过显著检验的区域为欧亚大陆高纬度的正相关区域。在欧亚大陆上选取3个土壤温度关键区:A区(52.5°N — 70°N , 105°E — 127.5°E)、B区(42.5°N — 75°N , 47.5°E — 137.5°E)、C区(70°N — 75°N , 75°E — 117.5°E),可见A、B区域为负相关区,C区域为正相关区。

从降水经验正交函数前3个时间序列与海表温度的相关系数分布(图2)可以看出,通过检验的正相关区域在热带太平洋部分地区,负相关区域在中纬度南半球的热带太平洋地区。在海洋上选取5个海表温度关键区:S1区(2°S — 24°N , 110°W — 162°W)、S2区(40°S — 20°S , 80°W — 162°W)、S3区(14°S — 14°N , 82°W — 138°W)、S4区(46°S — 16°S , 176°E — 86°W)、S5区(4°N — 30°N , 90°E — 160°E),可见S1、S3、S5区域为正相关区,S2、S4区域为负相关区。正负相关区域的预测因子对中国夏季降水都有一定

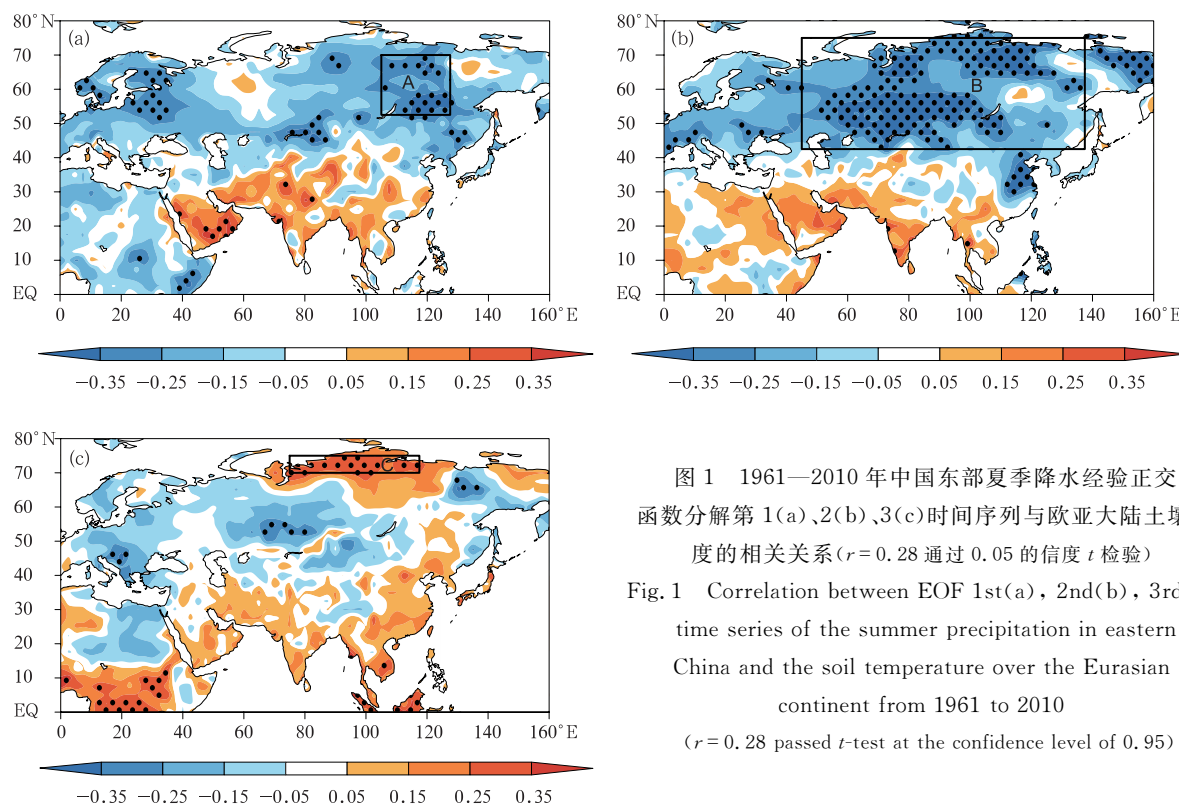


图1 1961—2010年中国东部夏季降水经验正交函数分解第1(a)、2(b)、3(c)时间序列与欧亚大陆土壤温度的相关关系($r=0.28$ 通过0.05的信度 t 检验)

Fig.1 Correlation between EOF 1st(a), 2nd(b), 3rd(c) time series of the summer precipitation in eastern China and the soil temperature over the Eurasian continent from 1961 to 2010

($r=0.28$ passed t -test at the confidence level of 0.95)

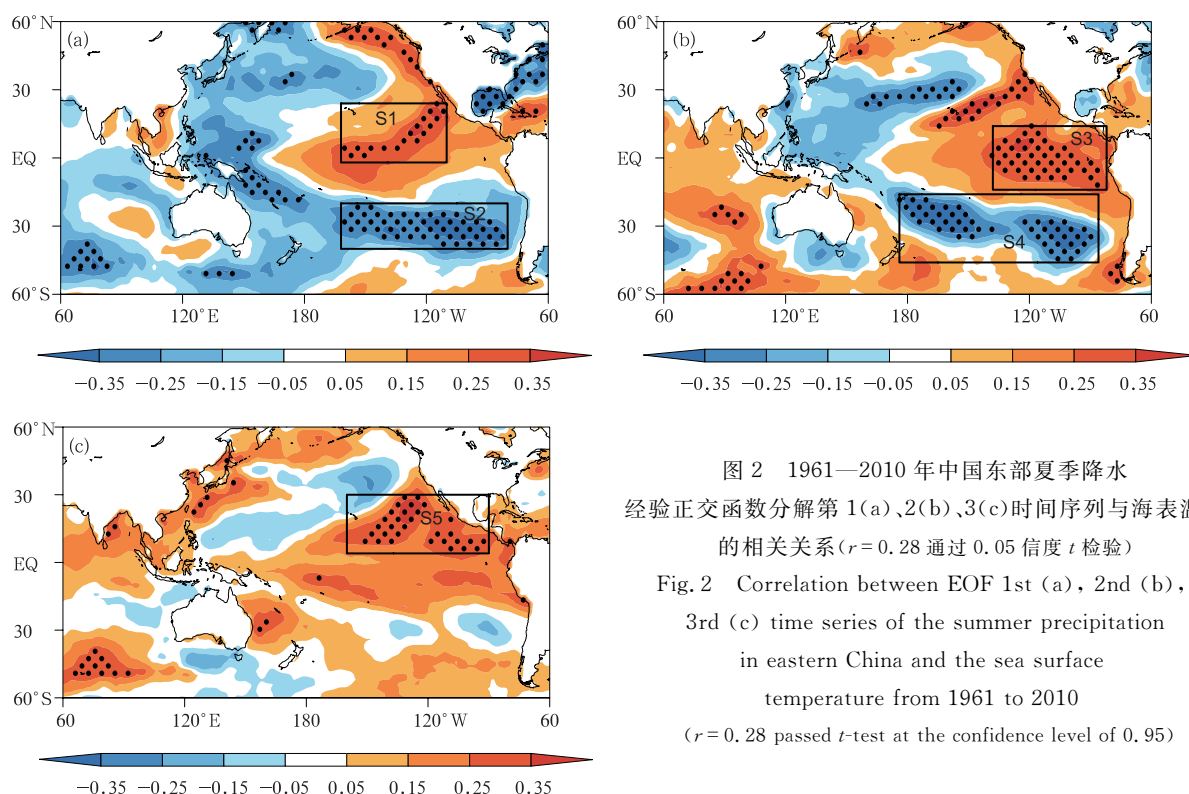


图2 1961—2010年中国东部夏季降水经验正交函数分解第1(a)、2(b)、3(c)时间序列与海表温度的相关关系($r=0.28$ 通过0.05信度 t 检验)

Fig. 2 Correlation between EOF 1st (a), 2nd (b), 3rd (c) time series of the summer precipitation in eastern China and the sea surface temperature from 1961 to 2010 ($r=0.28$ passed t -test at the confidence level of 0.95)

的预测能力,在预测模型中的作用十分复杂。

根据欧亚大陆土壤温度和全球海表温度与中国东部夏季降水的相关分析,将不同关键区的欧亚大陆土壤温度和海表温度作为预测因子对中国东部夏季降水进行预测。首先通过改进的典型相关分析建立单个因子的预测模型,针对改进的典型相关分析法的局限性,使用集合典型相关分析法建立集合多因子预测模型。其中,对1961—1990年夏季降水进行历史预测试验,对1991—2010年夏季降水进行独立样本预测试验。

5 历史预测试验

利用选取的陆面热力因子和海表温度因子作为预测因子,建立3组降水预测模型。欧亚大陆上3个关键区的土壤温度作为第1组预测因子,5个关键区的海表温度作为第2组预测因子,综合海表温度与土壤温度共8个关键区的因子作为第3组预测因子,以中国东部夏季降水场为预测对象场,进行历史预测试验。使用距平同号率(P)和预测评分(S_p)对3组预测试验的结果进行客观定量的评估。从图3可以看出:(1)无论是海表温度因子还是土壤温度因子对中国东部夏季降水进行预测都有预测技巧。

(2)在这30 a中,综合海温和土壤温度的预测模型的降水距平百分率只有1973、1974、1984、1988年这4 a低于只用海表温度建立预测模型时的评分。因此,加入土壤温度因子进行夏季降水预测时,预测效果更加稳定,预测技巧有所提高。(3)综合考虑海温和土壤温度的30 a距平同号率(P)的平均值为73.1%,只用海表温度的距平同号率的平均值为69.5%,这说明土壤温度因子能提供对中国夏季降水有用的预测信号。

6 独立样本预测试验

为了检查集合典型相关法的实际预测能力,利用上述建立的降水预测模型对1991—2010年中国东部夏季降水进行预测,计算降水实况和预测值的相关系数。图4a为使用海表温度因子对中国东部夏季降水进行预测,在东北、华北和华中地区有预测技巧。图4b为使用土壤温度因子对中国东部夏季降水进行预测,在东北部分地区和长江流域及华南地区的预测效果较好。图4c为综合海表温度与土壤温度因子对中国东部夏季降水进行预测,在东北、华北部分地区和长江流域地区的预测效果较好。通过独立样本预测试验可以看出,只使用海表温度进

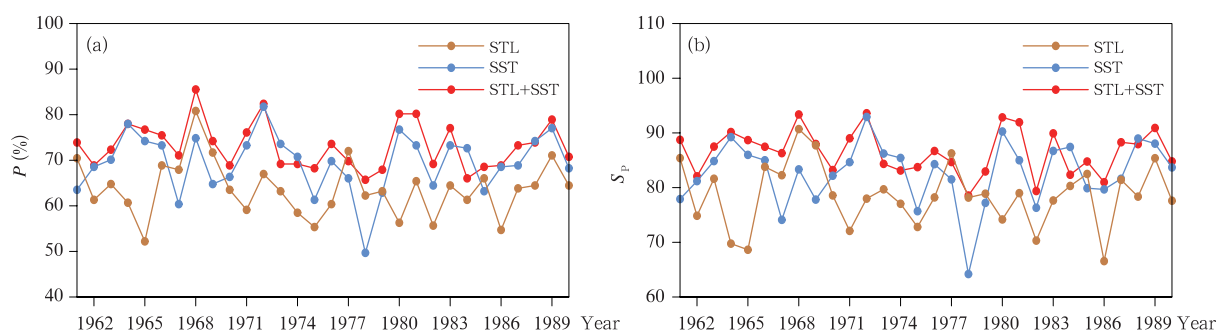


图3 1961—1990年使用3组预测模型得到的中国东部夏季降水量的距平同号百分率 P (a)和预测评分 S_p (b)

Fig. 3 Prediction score P (a) and S_p (b) of the summer precipitation in eastern China using three sets of prediction model from 1961 to 1990

行预测时,中国东部不同地区的预测效果差别很大,加入土壤温度因子后,提高了长江流域地区的预测效果。综合海温与陆面热力因子进行预测时,土壤温度因子提供了对中国东部夏季降水预测的有效信号,对预测效果有提高作用。

表1列出了1991—2010年以海表温度因子、土壤温度因子和集合海表温度与陆面热力因子的中国夏季降水预测模型的气候评分的多年平均。对比这3组预测评分,中国业务预测中常用的预测评分(S_p)超过60分,说明这3组预测模型都有一定的预测能力。距平相关系数(C_{AC})为国际通用的预测评

估参数,是预测距平和实况距平的一种相关系数,反映预测距平与实况距平空间分布的一致程度。在短期气候要素预测中,由于降水距平百分率的预测值和观测值的方差有较大差别,目前业务预测中距平相关系数都偏低。在中国长江流域地区,只用海表温度进行预测时,距平相关系数(C_{AC})多年平均值为 -0.03 ,综合海温与陆面热力因子进行预测时,距平相关系数(C_{AC})提高到 0.09 。加入土壤温度因子对中国东部地区降水预测时,距平相关系数(C_{AC})从 -0.02 提高到 0.01 。这说明,陆面热力因子对中国夏季降水的预测能够提供可靠的预测信号。

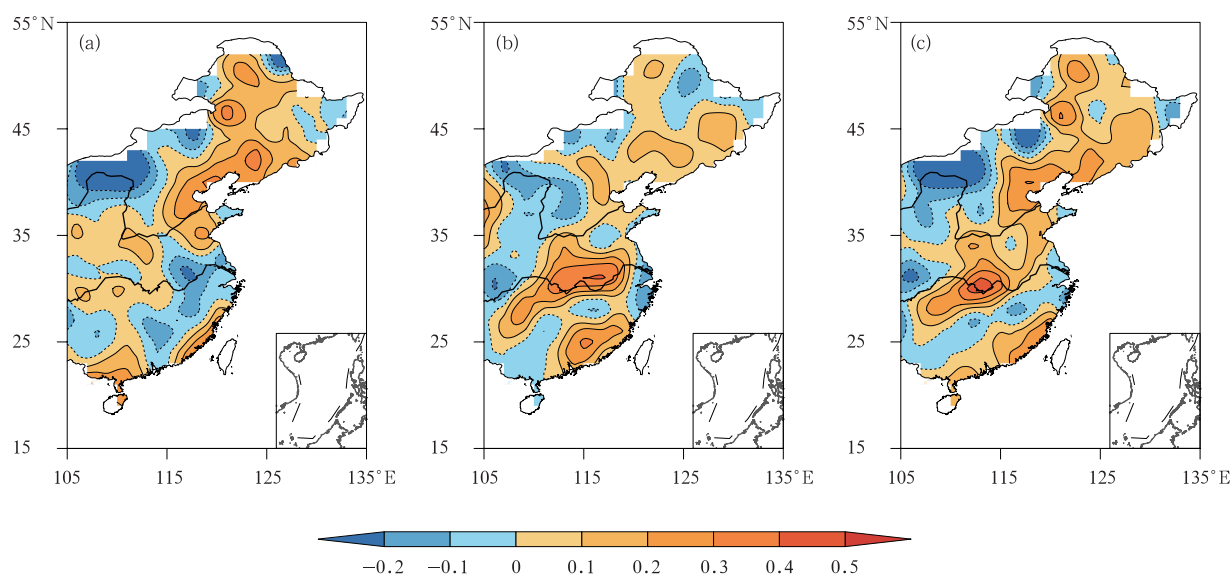


图4 1991—2010年利用海温因子(a)、土壤温度因子(b)、组合海温与土壤温度因子(c)预测模型得到的每个测站预测和实测降水场相关系数分布

Fig. 4 Geographical distribution of the correlation coefficient of the regressed precipitation by only the SST factors (a), only the soil temperature factors (b), and both SST and soil temperature factors (c) with the observed precipitation from 1991 to 2010

表1 1991—2010年用海温、土壤温度和组合预测模型得到的中国东部夏季降水的检验评分的多年平均值
Tabel 1 The averaged prediction scores of the summer precipitation in eastern China by using only the SST factors, only the soil temperature factors, and, both SST and soil temperature factors over 1991 to 2010

地区	预测因子	$P(\%)$	S_P	$S_S(\%)$	C_{AC}
东北地区	海表温度因子	52.5	64.6	13.6	0.09
	土壤温度因子	50.8	63.8	10.6	0.04
	综合海温和土壤温度因子	51.7	66.2	12.1	0.07
长江流域地区	海表温度因子	47.3	63.7	4.2	-0.03
	土壤温度因子	55.1	66.6	18.4	0.17
	综合海温和土壤温度因子	53.8	66.9	16.0	0.09
中国东部地区	海表温度因子	49.1	64.0	7.5	-0.02
	土壤温度因子	52.6	66.0	13.8	0.07
	综合海温和土壤温度因子	50.4	66.2	9.7	0.01

7 结 论

通过相关分析选取影响中国东部夏季降水的预测因子,建立了基于陆面热力因子的中国夏季降水预测模型,并使用该模型对1991—2010年的降水进行独立样本检验。得到如下结论:

(1)根据中国东部夏季降水经验正交函数分解的前3个时间序列与欧亚大陆土壤温度和全球海表温度的相关关系,选取了欧亚大陆3个土壤温度关键区和5个海表温度关键区作为典型相关分析预测的预测因子,土壤温度因子和海表温度因子对中国夏季降水的预测都有一定的预测技巧。

(2)土壤温度因子、海表温度因子和综合土壤温度因子与海表温度因子对中国东部夏季降水的预测效果不相同,同一个因子对中国不同区域的预测效果也不相同。

(3)在独立样本预测检验中,长江流域和中国东部地区,综合使用海表温度和土壤温度因子的气候预测评分高于只用海表温度因子的预测评分,这说明陆面热力因子中含有对中国东部夏季降水有用的预测信号。东北地区,海表温度因子各项预测评分比土壤温度因子高,这说明陆面热力因子对中国东部夏季降水的预测信号在东北地区较弱,但仍能为中国夏季降水预测提供必要的参考。

(4)以1961—1990年资料建立降水预测模型,并对1991—2010年中国东部夏季降水的预测结果进行预测评估。在长江流域,预测评分66.9分,距平相关系数为0.09,表明该预测模型具有一定的预测能力。

长期以来,针对季风、海洋、青藏高原对中国夏季降水的影响及其物理过程开展了大量深入的研

究,为夏季降水预测提供了坚实的基础,尤其用海温作为影响的关键信号,建立了预测模型,在中国夏季降水业务预测中发挥了重要作用。相比之下,陆面过程,尤其是陆面热力状况对夏季降水影响的研究还不够,相关的物理过程尚不清楚,还需要做大量的工作。本研究在中国夏季降水的预测试验中加入了陆面热力因子,进行历史试验和独立样本预测试验,发现加入陆面热力因子后的预测模型对中国夏季降水有较高的预测能力。但是中国夏季降水预测是一个复杂又困难的问题,所建立的考虑陆面热力因子的预测模型是初步的,预测效果的好坏和关键区的选取是分不开的,尚需对关键区选取的方法做更多的尝试。如果能够从陆面热力因子影响中国夏季降水的物理机制出发来选取预测因子关键区,可能会得到更好的预测效果。同时,本研究的土壤温度因子只选取了欧亚大陆上关键区的土壤温度,其他区域是否存在与中国夏季降水密切相关区,还需要进一步的研究。

在独立样本检验中,3个降水预测模型对于不同地区的效果不同,由于影响中国夏季降水的因子较多而且复杂,当综合海表温度与土壤温度因子建立模型时,预测效果反而有所变差,这一现象也是今后尚需继续研究和探索的问题。值得注意的是,虽然本研究有关距平相关系数的值偏低,却是基于考虑陆面因子预测夏季降水的初步尝试。魏凤英等(2010)利用降水预测模型对6月进行预测,预测试验中57a的距平相关系数平均值为0.128。孙林海等(2001)利用青藏高原积雪、高纬度积雪与青藏高原积雪和高纬度积雪组合因子建立预测模型来预测中国夏季降水,在1996—2000年的夏季降水预测试验中,青藏高原积雪因子的距平相关系数仅为0.06,

高纬度积雪因子的距平相关系数为 -0.01 , 青藏高原积雪和高纬度积雪组合因子距平相关系数为 -0.01 。陈丽娟等(2008)利用中国国家气候中心月尺度预测业务中使用的统计方法, 对 1991—2006 年进行预测试验, 距平相关系数平均值在 0.05 以下。贾小龙等(2010)利用改进的典型相关分析法对中国冬季降水进行降尺度季节预测, 预测试验的 1983—2006 年的距平相关系数平均为 0.08。在本研究的工作中, 中国长江流域, 只用海表温度进行预测时, 距平相关系数多年平均值为 -0.03 , 综合海温与陆面热力因子进行预测时, 距平相关系数提高到 0.09。加入土壤温度因子对中国东部地区降水预测时, 距平相关系数从 -0.02 提高到 0.01。这一方面说明距平相关系数确实很小, 夏季降水预测的难度较大; 另一方面也说明陆面热力因子能为中国夏季降水的预测提供一定的预测信号。本研究的着眼点是从陆面热力状况入手, 尝试性建立和发展考虑陆面因子的夏季降水预测的方法和模型, 但预测模型的一些问题尚待在后续的工作中加以完善。

参考文献

- 陈丽娟, 李维京, 刘绿柳等. 2008. 中国区域月气候预测方法和预测能力评估. 高原气象, 27(4): 838-843
- 陈小兰, 吴洪宝, 丁留贯等. 2007. 中国冬季气温的集合典型相关分析和预报. 南京气象学院学报, 30(5): 623-631
- 顾伟宗, 陈丽娟, 李维京等. 2012. 降尺度方法在中国不同区域夏季降水预测中的应用. 气象学报, 70(2): 202-212
- 贺晓霞, 吴洪宝, 陈小兰. 2008. 我国东南夏季干旱指数的 ECC 预测方法. 南京气象学院学报, 31(1): 10-17
- 黄茂怡, 黄嘉佑. 2000. CCA 对中国夏季降水场的预报试验和诊断结果. 应用气象学报, 11(增刊): 31-39
- 贾小龙, 陈丽娟, 李维京等. 2010. BP-CCA 方法用于对中国冬季温度和降水的可预报性研究和降尺度季节预测. 气象学报, 68(3): 398-410
- 康红文, 祝从文, 左志燕等. 2012. 多模式集合预报及其降尺度技术在东亚夏季降水预测中的应用. 气象学报, 70(2): 192-201
- 李芳. 2012. 基于多模式集合方案的中国东部夏季降水概率季度预测. 气象学报, 70(2): 183-191
- 李跃凤, 丁一汇. 2002. 海表温度和地表温度与中国东部夏季异常降水. 气候与环境研究, 7(1): 87-101
- 梁红丽, 晏红明, 段玮. 2010a. 冬季亚洲大陆的热力差异和中国气候的关系. 热带气象学报, 26(4): 409-420
- 梁红丽, 晏红明, 肖子牛等. 2010b. 冬季亚洲大陆年际热力差异与中国气候的关系. 气象科学, 30(6): 754-762
- 毛恒青, 李小泉. 1997. 典型相关分析(CCA)对我国冬季气温的短期气候预测试验. 应用气象学报, 8(4): 385-392
- 毛恒青, 李小泉. 1998. 我国夏季降水与前期太平洋海温场关系的典型相关分析. 南京气象学院学报, 21(1): 130-137
- 彭京备, 陈烈庭, 张庆云. 2006. 多因子和多尺度合成中国夏季降水预测模型及预报试验. 大气科学, 30(4): 596-608
- 宋敏红, 吴统文, 钱正安. 2000. 高原地区 NCEP 热通量再分析资料的检验及在夏季降水预测中的应用. 高原气象, 19(4): 467-475
- 孙林海, 宋文玲. 2001. 冬季积雪对我国夏季降水预测的评估分析. 气象, 27(8): 24-27
- 谭桂容, 段浩, 任宏利. 2012. 中高纬度地区 500 hPa 高度场动力预测统计订正. 应用气象学报, 23(3): 304-311
- 汤懋苍, 尹建华, 蔡洁萍. 1986a. 冬季地温分布与春、夏降水相关的统计分析. 高原气象, 5(1): 40-52
- 汤懋苍, 张建, 王敬香. 1986b. 用冬季地温预报汛期降水距平的初步方法. 高原气象, 6(2): 150-160
- 汤懋苍, 王敬香, 张建. 1987. 利用冬季 0.8 米地温距平场预报春季降水场的初步方法. 高原气象, 6(3): 244-255
- 汤懋苍, 张建, 王敬香等. 1988. 我国季平均的 0.8 米地温距平场与后一季降水场的相关分析. 气象学报, 46(4): 481-485
- 王蕾, 张人禾, 黄嘉佑. 2004. 春季海温对中国夏季降水影响的诊断研究和预测试验. 气象学报, 62(6): 851-859
- 魏凤英, 黄嘉佑. 2010. 大气环流降尺度因子在中国东部夏季降水预测中的作用. 大气科学, 34(1): 202-212
- 吴洪宝, 吴蕾. 2005. 气候变率诊断和预测方法. 北京: 气象出版社, 148-149
- 朱锦红. 1999. 中国夏季降水的可预报性研究. 应用气象学报, 10(增刊): 79-87
- Barnston A G, Thiao W, Kumar V. 1996. Long-lead forecasts of seasonal precipitation in Africa using CCA. Wea Forecasting, 11(4): 506-520
- Glahn H R. 1968. Canonical correlation and its relationship to discriminant analysis and multiple regression. J Atmos Sci, 25(1): 23-31
- Kingtse C M, Thiaw W M. 2002. Ensemble canonical correlation prediction of precipitation over the Sahel. Geophys Res Lett, 29(12), doi:10.1029/2002GL015075
- Kingtse C M. 2003. Ensemble canonical correlation prediction of surface temperature over the United States. J Climate, 16(11): 1665-1683
- Lau K M, Kim K M, Shen S P. 2002. Potential predictability of seasonal precipitation over the United States from canonical ensemble correlation predictions. Geophys Res Lett, 29(7), doi: 10.1029/2001GL014263
- Shabbar A, Barnston A G. 1996. Skill of seasonal climate forecasts in Canada using canonical correlation analysis. Mon Wea Rev, 124(10): 2370-2385