

# 春季海温对中国夏季降水影响的诊断研究和预测试验\*

王 蕾

(北京大学物理学院大气科学系, 100871; 中国气象局培训中心, 北京, 100081)

张人禾

黄嘉佑

(中国气象科学研究院, 北京, 100081)

(北京大学物理学院大气科学系, 北京, 100871)

## 摘 要

文中利用季降水异常集合的典型相关预测模式, 以全球春季(3~5月)海温场作为因子场, 对中国夏季降水场进行了诊断研究, 并对 1998、1999 及 2000 年这几个典型的夏季降水进行了回报试验。结果表明, 春季海温与中国夏季降水之间存在较好的关系, 春季海温在很大程度上决定了中国夏季降水雨带及其分布类型。考虑面积因子的集合典型相关预测方案对中国夏季降水具有较强的回报能力, 此模式不仅能诊断出降水场和海温场中一些比较典型的空模态和时间变化规律, 而且可以再现 1998 和 2000 年中国大部分地区的旱涝灾害。揭示了全球春季海温的异常变化在中国夏季(6~8月)降水异常中的作用。

关键词: 集合的典型相关预测模式, 季节降水预测, 春季(3~5月)海表温度异常, 夏季(6~8月)降水场。

## 1 引 言

自 Glahn<sup>[1]</sup> 提出典型相关分析以来, 在气候预测中典型相关分析得到了广泛的应用, 它在 ENSO 和美国地面要素的预测中取得了令人瞩目的成就。近年来, 国内也将基于 EOF 的 CCA 方法用在了场分析和地面要素的预测中<sup>[2~5]</sup>。由于 EOF-CCA 方法既浓缩了原场的主要信息, 同时又考虑了场与场之间的联系, 使得大范围数值场的预测成为可能。

用于季降水异常预测的“集合的典型相关预测模型”(简称 E-CCP), 是美国 NASA 宇航局 Goddard 空间飞行中心最新研制的短期气候预测方法<sup>[6]</sup>。这种新方法考虑不同海域的海表温度各自对区域气候的影响权重综合作出预测, 大大提高了各季降水的可预测性。本文利用此方法, 研究全球海温场对中国降水的影响, 并通过预测试验, 考察此方法对于中国季降水的预测能力。E-CCP 预测方法实际是 BP<sup>[7]</sup> 方案的一种改进, 它既考虑了 EOF-CCA 方法的优点, 同时又引进了集成预测的概

念<sup>[8]</sup>, 因此不仅可以单纯考察某一因子在气候变化中的作用, 而且尽可能地多考虑多个因子场对要素场的变化进行主体描述, 可有效地提高预测的准确性。由于海洋具有很强的“记忆力”和持续性, 海气相互作用在气候变化中起着重要的作用。本文用海温作为因子场, 用此模式对全球海温场在中国夏季旱涝预测中的作用进行验证和分析, 研究前期海温场对中国夏季降水的影响过程, 并用此模式对中国夏季旱涝进行预测试验。

## 2 资料和预处理

本文利用美国气候预测中心 Smith 等<sup>[9]</sup> 1996 年重建的月平均海面温度(SST)(45°S~69°N), 1951 年 1 月~2000 年 12 月 2°×2°的月平均海温资料作为因子场。预测量场资料是基于最新版的 1951 年 1 月~2000 年 12 月 Xie-Arkin 全球陆地月降水资料集, 空间分辨率是 2.5°×2.5°。模式输入时, 分别将月平均海温和降水资料进行了季节滑动平均的处理。春季(3~5月)海温距平场共有

\* 初稿时间: 2004 年 5 月 18 日; 修改稿时间: 2004 年 8 月 12 日。

资助课题: 国家自然科学基金项目(40225012)和国家基础研究重大项目前期研究专项(2001CCB00500)。

1074 个格点 (60 × 28 经纬距), 为消除小尺度的噪音影响, 模式中将海温资料进一步平滑成了 6° (经度) × 4° (纬度) 的资料集, 其中格点资料是剔除缺测的资料后得到的; 在模式移植中构造了中国地形文件, 夏季 (6~8 月) 降水距平场中有 157 个格点 (28 × 17 经纬距)。平均值用的是 1961~1990 年的气候值, 在模式进行 EOF 分解时, 进一步作了标准化处理。

### 3 集合的典型相关预测模式算法的改进和计算步骤

最优集合典型相关预测模式是 Barnett 和 Preisendorfer<sup>[7]</sup> CCA 方案的一种改进, 每个预测都是基于对两个连续场进行 EOF 分解的典型相关分析, 而且该方法引进了集成预测的概念, 集成预测的最优权重主要取决于每个预测场的均方误差, 均方误差愈小, 权重愈大。为了减少较高纬度的资料带来的噪音, 程序中还考虑了面积因子。因此新的 CCA 模式的改进包括以下几点: (1) 计算中考虑了面积因子; (2) 预测产品的检验和评价; (3) 通过均方误差场计算预测误差, 可进行定量的预测质量评估; (4) 多种预测的最优集成。

#### 3.1 典型场的分析及预测

(1) 对因子场和预测场分别进行 EOF 分解, 对两场分别计算 EOF 的系数  $X_n(t)$  和  $Y_m(t)$  作为 CCA 的输入场。其中

$$X_n(t) = \sum_{i=1}^k \frac{1}{\sqrt{\lambda_n^x}} \phi_n(x_i) X(x_i, t) A_i \quad (1)$$

$$A_i = \cos \phi_i \Delta\theta \Delta\phi$$

其中  $\phi_n(x_i)$  是因子场的第  $n$  个特征向量,  $\lambda_n^x$  是第  $n$  个特征值,  $X(x_i, t)$  是因子场,  $J_x$  是因子场中格点的总数。  $A_i$  为第  $i$  个网格点所代表的经纬度范围的面积,  $\phi_i$  是第  $i$  个网格点的纬度,  $\Delta\theta$  和  $\Delta\phi$  分别是此面积范围的经度与纬度间隔。对预测量场的系数  $Y_m(t)$  可用同样的方法求得。在本文的试验中选取的前特征向量的个数: 因子场为  $p$ , 预测场为  $q$ , 实际选取为  $p = q = 15$ ,  $k = \min(p, q)$ 。

(2) 计算谱空间的交叉协方差矩阵

$$\tilde{\sum}_{XY} \approx \frac{1}{K} \sum_{t=1}^K X_n(t) Y_m(t) \quad (2)$$

$$\tilde{\sum}_{XY} = \tilde{\sum}_{YX} \quad (3)$$

这里,  $K$  为资料的长度。

(3) 对两场分别进行 CCA 分析, 并保证特征值是非负的且两矢量是相互正交的。

(4) 考虑面积因子后, 分别计算两场的第  $k$  个空间模态。

$$u_k(x_i) = \sum_{n=1}^p u_{n,k} e_n^X(x_i) / \sqrt{\lambda_n^X} \quad (4)$$

$$v_k(y_i) = \sum_{m=1}^q v_{m,k} e_m^Y(y_i) / \sqrt{\lambda_m^Y} \quad (5)$$

其中

$$e_n^X(i) = \phi_n(x_i) \sqrt{A_i} \quad (6)$$

$$e_m^Y(j) = \phi_m(y_j) \sqrt{B_j}$$

这里  $u_{n,k}$  和  $v_{m,k}$  分别为因子场和预测场中第  $k$  个模态的权重;  $\phi_m(y_i)$  为预测场第  $m$  个特征向量。

(5) 分别计算两场第  $k$  个典型变量  $U_k(t)$ ,  $V_k(t)$

$$U_k(t) = \int_{\Omega_X} d\Omega_X X(x_i, t) u_k(x_i) \quad (7)$$

$$V_k(t) = \int_{\Omega_Y} d\Omega_Y Y(y_i, t) v_k(y_i) \quad (8)$$

其中,  $\Omega_X$  和  $\Omega_Y$  分别为因子场和预测场的面积

(6) 计算两场第  $k$  个典型相关系数  $\rho_k$ , 使得

$$\rho_k = \max R(U_k, V_k) \quad (9)$$

(7) 计算  $t'$  时刻预测量场

$$\hat{Y}(y_i, t') = \sum_{n=1}^p \left[ \sum_{k=1}^p v_{n,k} \rho_k U_k(t) \right] \cdot \sqrt{\lambda_n^Y} \phi_n(y_i) \quad (10)$$

#### 3.2 预测技巧的评估

模式预测技巧的估计采用两种检验方法。第 1 种被称为“Pattern Correlation”的评估方法。表达式为

$$r = \frac{\sum_i R_i \hat{R}_i}{\sqrt{\sum_i R_i^2} \sqrt{\sum_i \hat{R}_i^2}} \quad (11)$$

这里  $R_i$  为第  $i$  年预测场的观测距平值,  $\hat{R}_i$  为第  $i$  年的预测距平值。

具体做法是: 每次模式预测方程的建立, 是由所有可用资料中去掉第  $k$  年的资料, 然后用保留的第  $k$  年的因子资料作为因子场观测值进行预测, 而保留的第  $k$  年的预测对象资料作为实况。重复以上过程, 使  $k$  取遍所有可能的取值, 可以得到预测值序列和实况序列。通过计算两个序列的相关系数 (称为预测技巧) 来衡量预测的效果。因为保留的资料没有参与任何与模式方程建立有关的过程, 所以

这些资料可以认为是独立的。按照这种做法, 预测检验的结果接近实际预测情况, 而非事后预测。第 2 种被称为“Heidke Score”的评估技巧, 采用两级评估, 表达式为:

$$H_s = \frac{H - E}{T - E} \times 100 \quad (12)$$

其中,  $T$  为预测的总数,  $E$  是正确随机预测的期望值,  $H$  是正确预测的实际数。当预测距平值和观测距平值同号时, 认为预测是正确的。如果每次预测都是正确的, 那么  $H_s$  为 100, 如果全部错报, 则  $H_s$  为 -100。

### 3.3 预测误差的估计

本模式采用均方误差的估计方法。误差场被定义为

$$\varepsilon^2(y) = \left\{ \left[ Y(y, t') - \hat{Y}(y, t') \right]^2 \right\} \quad (13)$$

$$\varepsilon^2(y) = \varepsilon_q^2(y) + \varepsilon_r^2(y) \quad (\text{预测误差加上残差误差}) \quad (14)$$

$$\text{预测误差 } \varepsilon_q^2(y) = \sum_{m=1}^q \varepsilon_m^2 \phi_m^2(y) \quad (15)$$

而第  $m$  个模态的预测误差为

$$\varepsilon_m^2 = \lambda_m^y \sum_{k=1}^q \left( 1 - \rho_k^2 \right) \left( v_m^{(k)} \right)^2 \quad (16)$$

以上的数学原理和方法可详看文献[6]。

## 4 中国夏季降水与全球春季海温分布特征

对 1951~1998 年全球春季(3~5月)海温距平场和当年中国夏季(6~8月)降水距平场经过标准化处理后分别进行 EOF 分解。中国夏季降水经过 EOF 分解后, 前 10 个特征向量其累积方差贡献为

71%, 前 15 个特征向量浓缩了 83% 的信息。图 1a, b 为中国夏季降水 EOF 分解的第 1 和第 2 特征向量, 它主要浓缩了中国夏季降水的气候特征。从图中可以看到, 中国夏季降水分布不均, 各地区降水差异较大。第 1 特征向量场(图 1a, 方差贡献为 12.4%)表明中国夏季降水最主要的分布特征呈正、负区域相间分布, 中国东部地区近于纬向分布, 反映江淮流域和东北地区北部的夏季旱涝变化趋势与黄河流域及华北地区和华南大部分地区汛期旱涝变化趋势相反。当长江流域和东北地区北部降水偏少时, 黄河流域和华北及华南大部分地区降水偏多; 反之, 当长江流域和东北地区北部降水偏多时, 黄河流域和华北及华南大部分地区降水偏少。降水变化最明显的区域分别位于黄河上中游及长江流域。

第 2 特征向量(图 1b, 方差贡献为 11.0%)和第 1 特征向量所反映的中国夏季降水的分布明显不同, 表明中国夏季降水次主要分布特征呈近于南北经向分布。东北、黄河下游、长江下游, 青藏高原东部及云贵高原西部降水偏多外, 其余大部分地区降水偏少, 反之亦然, 旱涝表现最集中的地区位于河套附近及长江中游及华南地区。上述两个主要分布型基本反映出了中国夏季降水变化的主要特征。

从全球春季海温前两个特征向量场(图 2)可以看到, 第 1 模态(方差贡献为 22.0%)主要表现了太平洋地区 ENSO 事件的特征, 即整个太平洋海温场的分布关于赤道对称, 赤道中东太平洋海温偏低(高)时, 中纬度南北太平洋海温偏高(低); 热带印度洋海温表现出一致的偏低(高)型; 大西洋海温在美

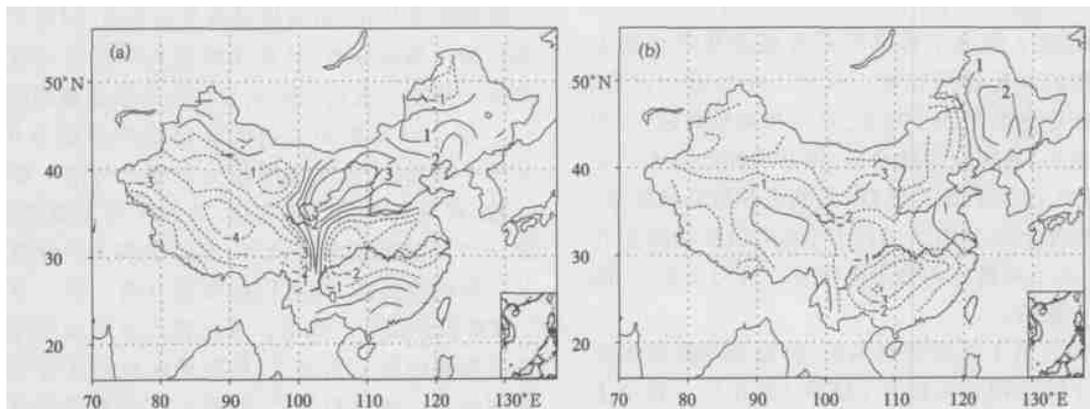


图 1 中国夏季降水第 1 和第 2 特征向量场

(a. 第 1 特征向量, b. 第 2 特征向量)

Fig. 1 The first (a) and second (b) spatial patterns of summer precipitation in China

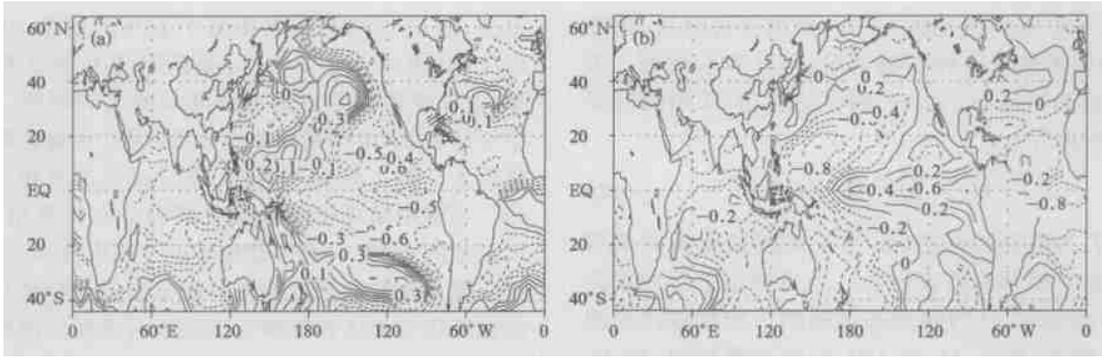


图2 全球春季海温的第1,2特征向量场

(a. 第1特征向量, b. 第2特征向量)

Fig. 2 The first (a) and second (b) spatial patterns of SSTA from Mar to May of global

国大陆附近与低高纬度的海温呈反向分布。第2模态(方差贡献为9.7%)与第1模态相比,东赤道太平洋为正距平,西北太平洋为负距平,黑潮-西风漂流区为正距平,即当赤道东太平洋和黑潮-西风漂流区海温出现正(负)异常时,西北太平洋为负(正)异常,而印度洋和大西洋海温的分布与第1模态相比基本相似。

## 5 春季全球海温场与中国夏季降水场的遥相关分布特征

对春季海温场和中国夏季降水场做自然正交函数展开后,为了充分提取原场的主要信息,缩小维数,减小计算量,根据特征值的大小,对两场进行截断处理,海温场取 $p$ 个主分量,降水场取 $q$ 个主分量,CCA过程中所取分量数 $k = \min(p, q)$ 。在本文试验中,分别取 $k = p = q = 10$ ,  $k = p = q = 15$ ,  $k = p = q = 20$ ,表1给出了选取不同海温场和降水场主分量个数的试验结果比较。从表1中可看出,CCA过程中所取的典型因子越多,典型相关系数越大,均方误差越小,其拟合程度愈好,但其预测效果不一定越好,而取15对典型因子时,其预测效果是最好的,这说明在增加典型因子的同时,虽然能够增加拟合程度,但也不可避免的会带来噪音。这与文献[2]的结论是一致的。

图3为第1对典型相关场,海温场与降水场之间的第1模态相关系数 $R_1(U, V)$ 为0.95。这个主要模态的相关系数越大,说明拟合效果越好。从图3可看出,春季海温大致呈纬向分布,海温变化最明显的区域位于西赤道太平洋和北大西洋地区。北大

西洋、北大西洋、西赤道太平洋及赤道东太平洋及以南海温升高,赤道印度洋海温升高,阿拉伯海温降低时,对应中国黄河以南,长江流域及河套西部、新疆西部降水偏多,其他地区降水偏少。当海温出现相

表1 选取因子数和预测场主分量个数的试验结果比较

Table 1 The comparison of experimental results of principal components numbers selected from predictor field and predictand field

CCA中所取分量数	10	15	20
第一典型相关系数	0.76	0.95	0.97
平均均方根误差	0.46	0.42	0.39
预测技巧	0.05	0.19	0.11

注:这里的预测技巧采用了Pattern Correlation的评分方法,即用式(11)计算的。

反变化时,即对应这些地区的降水也呈相反变化。总之,第1对典型因子表现出太平洋、大西洋、印度洋海温距平场正、负区域呈南北分布时,对应中国夏季雨带呈纬向分布,且降水响应最明显的区域位于西南—华中—黄河以南及长江流域及新疆的西部。

第2对典型相关场的模态相关系数为0.86。从图4可看出,太平洋海温分布变化与第1型基本一致,基本呈南北纬向变化,北大西洋海温降低,黑潮-西风漂流区海温升高,赤道中东太平洋有一狭长的海温降低区,赤道以南海温升高。这一点与第1型海温分布是一致的。变化较大的是印度洋和大西洋海温由第1型的正、负距平区域南北分布改为东西分布。谭言科等<sup>[10]</sup>利用长期观测资料分析了印度洋海温距平的年际变化及其海气耦合特征,结果表明热带印度洋海温距平的变化存在显著的距平符号东西一致的单极型和距平符号东西相反的偶极

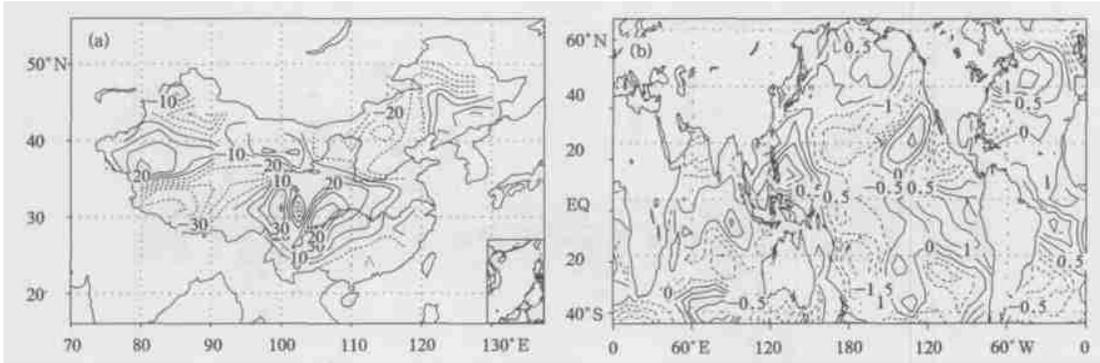


图 3 中国夏季降水 (a) 与全球春季 SSTA (b) 的第 1 对典型相关场 ( $R = 0.95$ )

Fig. 3 The first couple of canonical correlation field between precipitation (a) during summer in China and the SSTA (b) from spring over global

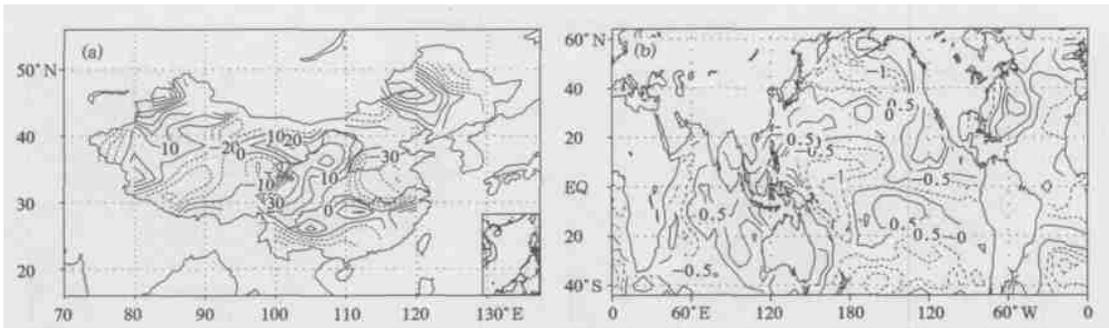


图 4 中国夏季降水 (a) 与全球春季 SSTA (b) 的第 2 对典型相关场 ( $R = 0.86$ )

Fig. 4 The second couple of canonical correlation field between precipitation during summer in china and the SSTA from spring over global

型,其出现的概率分别为 67% 和 33%。李崇银<sup>[11]</sup>对近百年的观测资料的分析表明,赤道印度洋海温存在着偶极子型振荡的变化特征,它在 9~11 月最强,而在 1~4 月最弱。因此赤道印度洋在春季主要表现为南北振荡,但有时候也表现为东西振荡(负位相)的形式。陈烈庭<sup>[12]</sup>的分析研究指出,在 El Nino 期间,印度洋东暖西冷的海温梯度是减弱的,而在反 El Nino 时期这种冬暖西冷的温度梯度是加强的。当全球海温这样分布时,对应中国夏季降水 105°E 以西呈经向分布,以东雨带呈纬向分布。即东北北部、华北、江淮及华南沿海降水偏多。如果海温呈相反变化,其相应雨带也呈相反变化。

前两对春季海温的典型相关场表明,春季全球海温与中国夏季雨带及其分布型式之间存在较好的关系。当前期北太平洋、北大西洋海温、赤道西太平洋海温和赤道印度洋海温上升(或下降)时,对应江淮、西南地区的西部、以及西北地区的西部降水偏多(或偏少),黄河以北和华南降水易偏少(或偏多)。

当赤道东太平洋出现厄尔尼诺(或反厄尔尼诺)时长江上中游及西北地区西部易出现多雨或少雨,黄河以北及华南易出现少雨或多雨。全球春季海温和中国夏季降水 CCA 第 1 模态的典型相关变量  $U_1$  和  $V_1$  的变化曲线及  $V_1$  的四阶多项式拟合曲线(图 5)的变化特点:20 世纪 50 年代至 60 年代中期为线性下降趋势,60 年代中期至 80 年代中期为上升趋势,80 年代后期至 90 年代中期又处于下降趋势。

## 6 全球春季海温对中国夏季降水的预测试验

前节的分析表明,全球春季海温变化对中国夏季降水及其分布型有较大的影响。本节将利用集合的典型相关预测模式,用 1951~1998 年春季海温场和中国夏季降水场资料,取它们做自然正交函数展开后前 15 对典型因子,分别对中国 1998,1999 和 2000 年这几个典型年的夏季降水场进行回报试验。图 6 给出了 1998 年回报场(图 6a)和观测场(图 6b)。

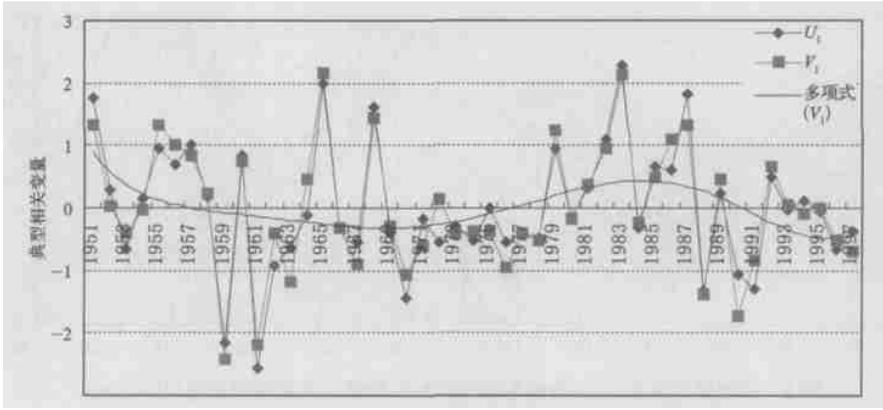


图5 CCA第1模态的典型相关变量  $U_1$ ,  $V_1$  及  $V_1$  4阶多项式拟合

Fig. 5 The canonical component time series for mode 1 and fourth order polynomial regression

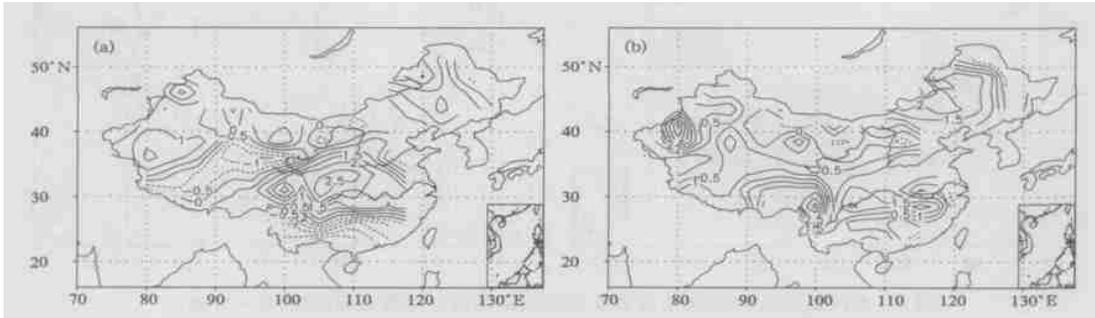


图6 1998年中国夏季降水的预测场(a)和观测场(b)

Fig. 6 Predicted (a) and observed (b) precipitation field of JJA 1998.

The prediction was made from the previous season MAM SST.

The time lag is hence one season

从这两张图上可看出回报场和观测场极为相似，几条大的雨带基本都报出来了。四川西部-华中-长江上中游地区的多雨带、东北雨带、新疆西部雨带及河套附近的多雨带，还有黄河以北至华北和华南地区的少雨带，都与实况基本一致。有趣的是，预测场和降水的第1个典型因子图极为相似。这也正说明了EOF-典型相关分析的优点，它既提取了原场的主要信息，同时又考虑了两场之间的联系，因此提高了预测的准确性。所以用这种模式可以再现1998年中国大部分地区夏季的旱涝形式。

图7是模式对预测技巧的评估情况。从图7a中可看出，48a的回报试验场与实况场之间均为正相关，且有37a两场的场相关系数  $\geq 0.4$ ，最大的相关系数为0.84，说明回报场和观测场是非常相似的，表明预测模型有很好的预测能力。图7b是另一种预测技巧评分，从这个两级评分中可看出，48a预

测评分均为正，最大Heidke评分为0.64，说明预测场和观测场的同号率是很高的。

均方误差(简称RMSE)反映预测值和实际值之间的均方差异。从图8中可看出，长江以南-青藏高原及河套地区均方误差较大，这与中国降水的气候变化特点是一致的。在这些地区，降水量变化较大，预测误差也较大。

为了进一步检验模式的预测能力，又用全球春季海温对中国1999和2000年的夏季降水做了回报试验。试验中对1999年夏季降水的回报不是很好(图略)，但对2000年的预测是比较成功的，预测场和观测场基本一致(图9)。江淮的洪涝和黄河以北的旱情预测都是较为准确的，几个旱涝的中心都基本跟实况相符。它的型相关和 $H_s$ 评分50a中均有49a为正相关，其中有40a型相关系数  $\geq 0.4$ ，最大型相关系数为0.82。张人禾<sup>[13, 14]</sup>、黄荣辉<sup>[15]</sup>对

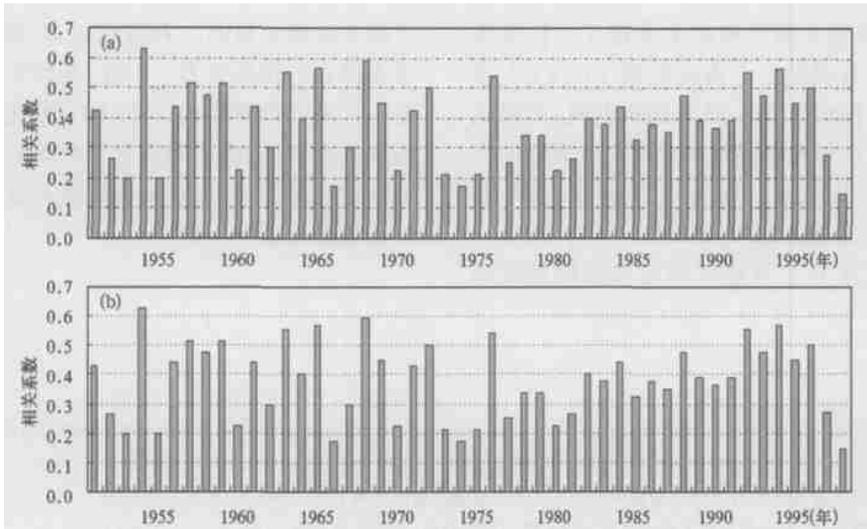


图 7 1951~ 1998 年期间春季海温对中国夏季降水的型相关系数 (a) 和预测技巧评分(b)

Fig. 7 Forecasting skills of using previous season MAM SST to predict JJA precipitation (a. pattern correlation , b. Heidke score . EOFs were computed using the data during 1951- 1997)

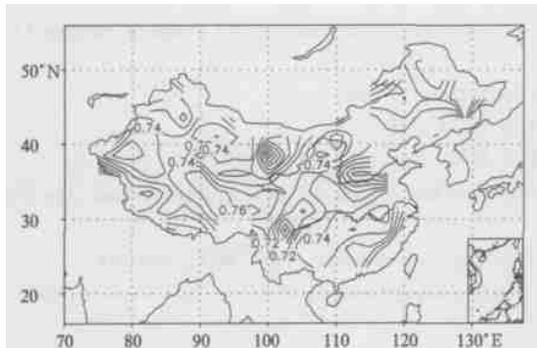


图 8 春季海温对中国夏季降水的预报均方误差场

Fig. 8 Expected values of the forecasting error field when predicting JJA precipitation using the previous season MAM SST

El Nino 影响中国不同季节的降水做了诊断研究, 发现 El Nino 在其成熟位相对中国降水有明显影响。进一步的研究表明, El Nino 期间常伴随着弱的印度季风, 这时西南季风较弱, 而东南季风增强, 强盛的西北太平洋副高控制华南使得那儿的降水稀少。另外, 印度季风的减弱, 使得到达华北的水汽较少, 因而华北降水稀少。而位于副高西北侧的强盛的西南气流使得江淮流域降水偏多。这可以作为解释 1998 和 2000 年 El Nino 事件影响中国夏季旱涝的可能依据。

### 7 结论与讨论

春季全球海温与中国夏季降水之间存在较好的

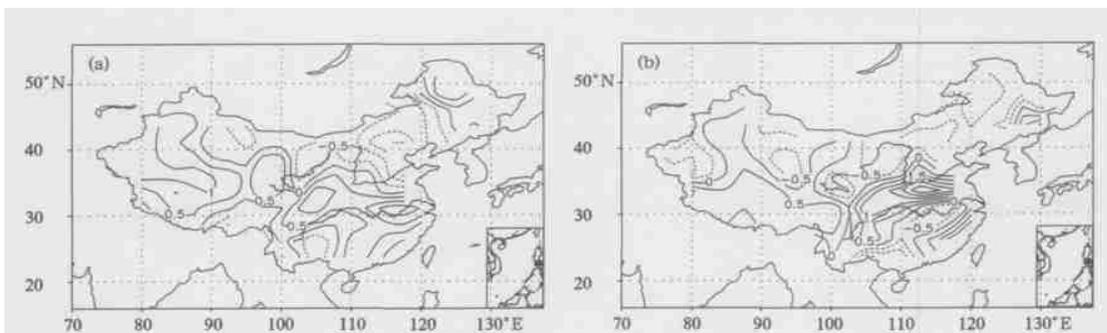


图 9 2000 年中国夏季降水的预测场(a)和观测场(b)

Fig. 9 Predicted (a) and observed (b) precipitation field of JJA 2000

关系, 春季全球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。考虑面积因子的 CCA 方案是一个有效的预测工具。回报试验表明, 此模式不仅能诊断出降水场和海温场中一些比较典型的空间模态和时间变化规律, 而且可以再现 1998 和 2000 年中国大部分地区的旱涝灾害。

虽然 E-CCA 方法只是预测场和观测场两场

之间非线性关系的一种线性近似, 但它有效地提高了季降水的预测能力。不过, 在数学方法上, 它仍然是一个统计预测模式, 而短期气候变化包含着大量的非线性部分, 因此如何充分考虑不同因子如积雪、陆面过程的影响, 进一步提高模式的可预测性, 是下一步需要考虑的问题。

## 参考文献

- 1 Glahn H. Canonical correlation and its relationship to discriminant analysis and multiple regression. *J Atmos Sci*, 1968, 25: 23~ 31
- 2 黄茂怡, 黄嘉佑. 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*, 2000, 11(增刊): 31~ 39
- 3 黄嘉佑, 黄茂怡. 主分量逐步筛选因子典型相关分析及其预报试验. *应用气象学报*, 2000, 11(增刊): 72~ 78
- 4 晏红明, 严华生, 谢应齐. 中国汛期降水的印度洋 SSTA 信号特征分析. *热带气象学报*, 2001, 17(2): 109~ 116
- 5 余金波, 吴洪宝. 3 个月平均气温距平的 CCA 预报方法. *南京气象学院学报*, 2001, 24(2): 171~ 177
- 6 Samuel S P Shen, William K M, Lau A. Canonical Ensemble Correlation Prediction Model for Seasonal Precipitation Anomaly. NASA/TM, 2001, 209989
- 7 Barnett T P, Preisendorfer R. Origins and levels of monthly and seasonal forecast skill for United States surface air temperatures determined by Canonical correlation analysis. *Mon Wea Rev*, 1987, 115(9): 1825~ 1847
- 8 杜钧. 集合预报的现状和前景. *应用气象学报*, 2002, 13(1): 16~ 28
- 9 Smith T M, Reynolds R W, Livezey R E, et al. Reconstruction of historical sea surface temperature using empirical orthogonal functions. *J Climate*, 1996, 9: 1403~ 1420
- 10 谭言科, 张人禾. 热带印度洋海温的年际异常及其海气耦合特征. *大气科学*, 2003, 27(1): 53~ 66
- 11 李崇银, 穆明权. 印度洋海温偶极子和太平洋海温异常. *科学通报*, 2001, 46(20): 1747~ 1751
- 12 陈烈庭. 热带印度洋-太平洋海温纬向异常及其对亚洲季风的影响. *大气科学(特刊)*, 1988, 142~ 148
- 13 Zhang Renhe. Relations of water vapor transports from Indian monsoon with those over East Asia and the summer rainfall in China. *Adv Atmos Sci*, 2001, 18: 1005~ 1017
- 14 Zhang Renhe. A diagnostic study of the impact of El Niño on the precipitation in China. *Adv Atmos Sci*, 1999, 16(2): 229~ 241
- 15 Huang Ronghui, Zhang Renhe. The 1997/98 ENSO cycle and its impact on summer climate anomalies in East Asia. *Adv Atmos Sci*, 2000, 17(3): 348~ 362

## DIAGNOSTIC ANALYSES AND HINDCAST EXPERIMENTS OF SPRING SST ON SUMMER PRECIPITATION IN CHINA

Wang Lei

*(Department of Atmosphere Sciences, School of Physics, Peking University, Beijing 100871;  
Training Center of China Meteorological Administration, Beijing 100081)*

Zhang Renhe

*(China Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)*

Huang Jiayou

*(Department of Atmosphere Sciences, School of Physics, Peking University, Beijing 100871)*

### Abstract

Based on the ensemble canonical correlation prediction (E-CCP) model for seasonal precipitation anomaly, diagnostic analyses and hindcast experiments were made on summer (JJA) precipitation in China for these typical years, such as 1998, 1999 and 2000, using global spring sea surface temperature anomalies (SSTA) as predictor fields. The results show that the correlation between global spring (MAM) SSTA and summer precipitation in China is obvious. To a great extent, MAM SSTAs determine the patterns of summer rain belt in China. The E-CCP scheme with an area-factor performs well in the forecasting of summer precipitation in China. It not only can make out some typical space modes and their time changes in precipitation and SST field, but also can reproduce the drought/flood of summer in 1998 and 2000.

**Key words:** Ensemble canonical correlation prediction model, Seasonal precipitation forecasting, Spring (MAM) sea surface temperature anomaly (SSTA), and Summer (JJA) precipitation in China, strong signal.