

西北地区干旱预测的 EOF 模型

张存杰 董安祥 郭 慧

(甘肃省气象局, 兰州 730020)

提 要

* 该文在经验正交函数(EOF)分析的基础上,设计了一种适合于西北地区干旱预测的 EOF 模型,利用均生函数法、多元回归法和典型相关法对 EOF 模型进行了有效的预测试验,结果表明这种模型对西北地区的干旱有一定的预报能力。

关键词: 西北地区 干旱预测 EOF 模型

中国西北地区地处大陆腹地,地形复杂、气候多样,主要以干旱和半干旱气候为主。旱灾是影响当地国民经济发展的最重要的自然因素。特别是西北地区东部(包括甘肃东部、青海东部、宁夏和陕西等地),受东亚季风、高原季风以及西风带等系统的影响,气候脆弱、易变。西北地区以雨养农业为主,对气候有很强的依赖性,所以造成粮食产量低而不稳。

本文以 EOF 为基础,利用多种数理统计分析方法对西北地区东部夏季的降水量进行了预测试验,在此基础上提出了一种适合西北地区干旱预测的概念模型。

1 资料和方法

在西北地区东部选取 30 个代表站,计算 1961~1996 年夏季(6~8 月)降水量变化 Z 指数,把 30 个代表站的降水 Z 指数作为分析和预报的对象。Z 指数的计算公式如下:

$$Z = \frac{6}{C_s} \left(\frac{C_s}{2} X + 1 \right)^{1/3} - \frac{6}{C_s} + \frac{C_s}{6} \quad (1)$$

式中 X 为降水的标准化变量, C_s 为偏态系数。

本文分别采用了均生函数方法、多元回归方法和典型相关分析方法来作西北地区东部夏季(6~8 月)降水量 Z 指数场的 EOF 时间系数的预测,然后用时间系数与特征向量进行合成^[1]。

2 西北地区东部夏季降水场的 EOF 分析

对西北地区东部 30 个代表站 1961~1990 年夏季的降水场进行 EOF 分析,前 10 个

* 1998-07-13 收到,1998-11-04 收到修改稿。

典型场的累积方差达到 85%，所以取前 10 个典型场和时间系数进行分析就可以反映降水场的主要特征。这里给出前 2 个典型场的特征图(图 1)和对应的时间系数(图 2)。

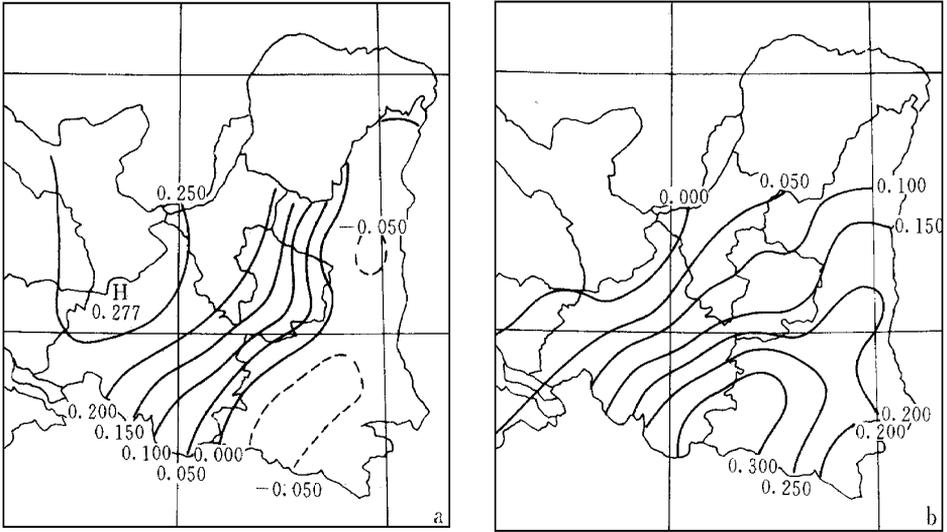


图 1 西北地区东部夏季降水 EOF 分析的第一典型场(a)和第二典型场(b)

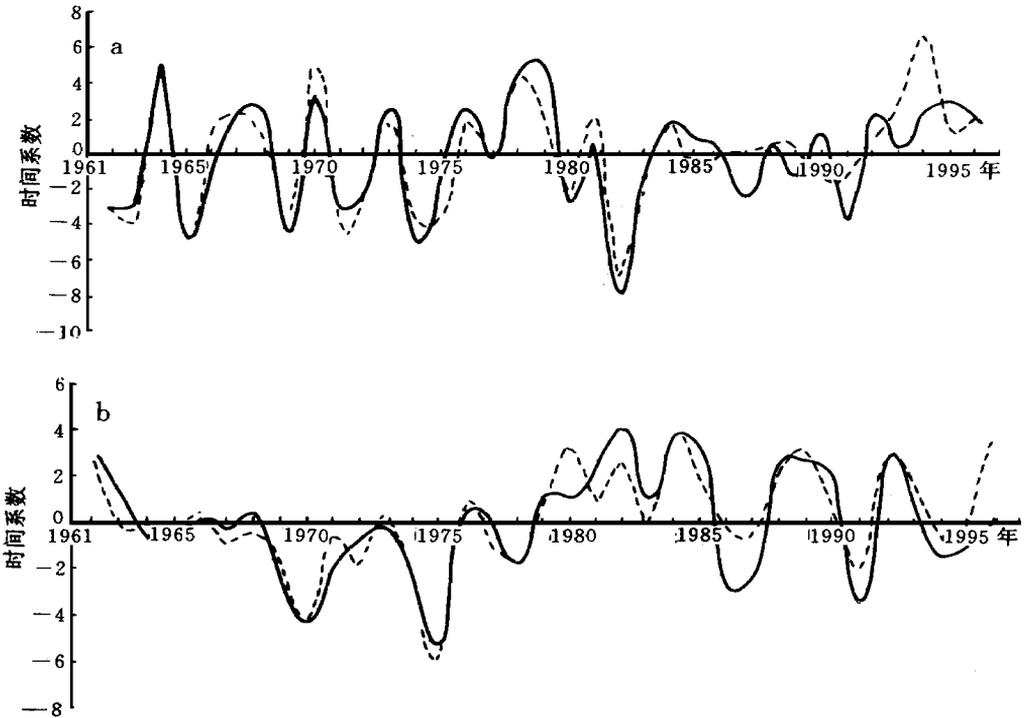


图 2 西北地区东部夏季降水 EOF 分析的时间系数

(a)第一时间系数 (b)第二时间系数

(实线为实际的时间系数,虚线为多元回归 EOF 模型模拟和预报的时间系数)

第一典型场(图 1a)呈东负西正形势,零线位于甘肃和陕西交界处.陕西除白于山一带外其余均为负值,表明陕西省夏季降水的一致性;甘肃河东、宁夏均为正值,表明这一区域降水的一致性,中心在兰州、定西一带.第二典型场(图 1b)表现为整个西北地区东部均为正值,中心在汉中盆地一带,这反映了西北地区东部夏季降水的一致性,由于受地形的影响,降水量由东南向西北逐渐减少.

对前几个时间系数进行了小波分析,发现第一时间系数除有较弱的 7~8 年周期外,其他周期均不明显;第二时间系数 30 年左右的周期较为明显,1965 年至 1978 年为负位相,1979 年至 1995 年为正位相;第三时间系数 8~9 年的周期较为明显.

3 均生函数 EOF 预测模型

对西北地区东部夏季降水量场进行 EOF 展开,取前 10 个特征向量场来代表降水量的主要特征,建立相应的时间系数序列的均生函数预报模型,并外推 6 步,即对 1961 年~1990 年的各时间系数进行拟合,对 1991 年至 1996 年的时间系数进行预报,最后用计算出的前 10 个时间系数与前 10 个特征向量场合成,得到拟合和预报的降水量场.表 1 给出了用均生函数 EOF 模型拟合和预报的西北东部夏季降水量场的均方根误差、距平相关系数和趋势一致率.表 1 表明,均生函数 EOF 模型对 1961 年~1990 年夏季降水量场的模拟效果相当好,距平相关系数达到 0.76,趋势准确率也近 80%.预报效果除 1991 年较好外,其余年份相关系数较差,趋势预报一般.这说明,西北地区东部夏季降水量场自身演变的周期性不是很好,这可能是由于影响此地降水量变化成因的复杂性而造成.所以,要预报西北地区东部夏季降水量变化不能只依靠降水量场的自身规律,还要考虑其它外界因素.

表 1 均生函数 EOF 模型对西北地区东部夏季降水拟合和预报一览表

	回报平均	1991	1992	1993	1994	1995	1996
均方根误差	0.6427	1.7160	1.5852	1.3812	1.0633	1.1407	1.2042
距平相关系数	0.7557	0.2860	-0.1855	-0.1405	0.1316	-0.1825	-0.0133
趋势一致率(%)	79	70	50	50	60	46	56

4 多元回归 EOF 模型

由于影响西北地区东部降水量变化的因素很多,如大气环流、海温、极冰、太阳活动以及青藏高原热力影响等,要预测降水量变化,必须考虑到影响因子的多元性.多元回归 EOF 模型就是将要素场 EOF 展开,取前几个时间系数,分别筛选与时间系数相关性较好的影响因子,然后用逐步回归方法建立预报方程,对时间系数作出预报,最后与特征向量场合成预报的要素场.

选取影响因子时,由于受资料限制,仅考虑了大气环流、海温、太阳活动以及前期的降水等几个因素,因子所处时段为前一年 1 月至当年 2 月,降水因子为前一年夏季代表站的

降水量. 表 2 给出了与前 2 个时间系数相关性较好的预报因子(取前 10 个).

表 2 第一和第二时间系数的预报因子

第一时间 系数因子	相关系数	第二时间 系数因子	相关系数
前一年 2 月北半球极涡中心位置	- 0.48	前一年 1 月太平洋副高北界	0.46
前一年 8 月北非大西洋北美副高脊线	0.47	前一年 1 月亚洲区极涡面积指数	- 0.51
前一年 8 月北美大西洋副高脊线	0.46	前一年 5 月北美区极涡面积指数	- 0.47
前一年 10 月亚洲经向环流指数	- 0.49	前一年 6 月北半球极涡面积指数	- 0.47
前一年 10 月冷空气次数	0.46	前一年 8 月北半球极涡中心位置	0.51
前一年 6 月南方涛动指数	- 0.49	前一年 10 月北非大西洋北美副高脊线	0.51
前一年 7 月 Nino 1 区海温	0.49	前一年 10 月北非大西洋北美副高北界	0.50
当年 1 月亲潮区海温	- 0.46	前一年 3 月南方涛动指数	- 0.45
当年 1 月西风漂流区海温	- 0.47	前一年 4 月西风漂流区海温	- 0.41
前一年夏季华山站降水量	- 0.44	前一年夏季安康站的降水量	0.48

从表 2 可以看出, 第一时间系数的影响范围较广, 包括大气环流、海温等许多方面, 第二时间系数与极涡的相关性较好, 第三时间系数的影响因子(略)与代表站降水量相关性较好, 这说明第三特征向量场反映了降水量自身演变规律的特征.

我们用逐步回归分析方法对前 10 个时间系数都建立了预报方程. 同前面一样, 对 1961 年至 1990 年的时间系数进行了回报, 对 1991 年至 1996 年的时间系数进行了预报(如图 2 虚线所示). 将回报和预报的时间系数与特征向量场进行合成, 并对回报和预报的降水量场的准确率进行了检验. 表 3 给出了多元回归 EOF 模型预报的西北地区东部夏季降水的均方差、距平相关系数和趋势一致率. 表 3 表明, 多元回归 EOF 模型与均生函数 EOF 模型相比较, 回报准确率和预报准确率都有所提高, 特别是预报的距平相关系数平均达 0.47, 趋势一致率平均达 70%, 尤其是 1991 年预报效果达到较高的水平. 这说明多元回归 EOF 模型对西北地区东部夏季降水量变化趋势有一定的预报能力, 预报效果也较好. 如果我们选取的因子范围再广一点, EOF 截断误差再小一点, 预报效果可能会更好.

表 3 多元回归 EOF 模型对西北地区东部夏季降水拟合和预报一览表

	回报平均	1991	1992	1993	1994	1995	1996
均方根误差	0.5769	0.7539	0.7612	0.8951	1.0213	0.8633	1.2880
距平相关系数	0.7626	0.8827	0.5080	0.2935	0.6685	0.4437	0.0268
趋势一致率(%)	79	86	73	56	70	73	63

5 典型相关(CCA) EOF 模型

利用典型相关 EOF 模型^[3]来建立 7 月份 500hPa 环流场与西北地区东部 7 月份降水

量场之间的完全预报模型, 如果动力气候模式能提前预报出 7 月份的 500hPa 平均高度场, 那么通过这种模型可以计算出各代表站的降水量. 具体步骤如下:

(1) 对 1961~1990 年 7 月的东亚区域(50°~140°E 20°~65°N)的 500hPa 位势高度场和西北地区东部 30 个代表站的降水场分别进行 EOF 分析, 取前 10 个时间系数进行下一步的 CCA 分析(高度场的累计方差为 90%, 降水场的累计方差为 84%).

$$\begin{aligned} X_{p,n} &= V_{p,k} \cdot A_{k,n} \\ Y_{q,n} &= V_{q,k} \cdot B_{k,n} \end{aligned} \quad k \leq q \quad (1)$$

这里 $n=30$ 为资料年代, $p=100$ 为高度场格点数, $q=30$ 为降水场的站点数.

(2) 利用 CCA 方法建立高度场时间系数 A 和降水场的时间系数 B 之间的回归方程, 回归系数 R 是由两个场的特征共同确定的.

$$B_{m,n} = R_{m,q} \cdot A_{q,n} \quad (2)$$

这里 $m=10$.

(3) 利用已知的 1991 年至 1996 年 7 月份 500 hPa 高度场资料, 求得其相应的时间系数, 公式如下:

$$\hat{A}_{m,l} = V'_{m,p} \cdot X_{p,l} \quad (3)$$

这里 $l=6$.

(4) 用前面建立的回归方程, 求出相应的降水场的时间系数

$$\hat{B}_{m,l} = R_{m,q} \cdot \hat{A}_{q,l} \quad (4)$$

(5) 合成降水场

$$\hat{Y}_{q,l} = V_{q,m} \cdot \hat{B}_{m,l} \quad (5)$$

表 4 给出了用典型相关 EOF 模型拟合和预报西北地区东部 7 月份降水的均方根误差、距平相关系数和趋势一致率.

表 4 典型相关 EOF 模型拟合和预报西北地区东部 7 月份降水一览表

	回报平均	1991	1992	1993	1994	1995	1996
均方根误差	0.8042	0.6289	1.2363	0.7323	0.9507	0.9378	1.1789
距平相关系数	0.5352	0.5295	0.5431	0.2852	0.1643	0.1996	-0.2450
趋势一致率(%)	67	56	66	63	60	40	56

表 4 表明, 如果仅用 500hPa 高度场来预报当月降水量场, 趋势准确率最高只能达到 70% 左右, 而且随着时间的延长, 准确率在逐渐降低. 造成这种结果有两方面的原因, 一方面是由于考虑的因素太少, 只考虑了大气环流, 而西北地区的降水是由多种因素造成的, 应将海温、极冰、高原热力等因素考虑进去; 另一方面是由于典型相关 EOF 模型的 3 次截断误差而造成, 前两次是由于只取了 2 个要素场 EOF 展开的前几个时间系数, 另一次是由于只取了 CCA 分析的主要几个典型变量来求回归系数. 由于受计算条件的限制, 不可能取得太多, 把主要信息抓住就可以了.

参 考 文 献

- 2 魏凤英, 曹鸿兴. 长期预测的数学模型及其应用. 北京: 气象出版社, 1990. 49~ 90.
- 3 王绍武. 气候预测研究. 北京: 气象出版社, 1996. 139~ 159.

EOF MODEL FOR DROUGHT PREDICTION IN NORTHWEST CHINA

Zhang Cunjie Dong Anxiang Guo Hui
(Gansu Meteorological Bureau, Lanzhou 730020)

Abstract

Based on empirical orthogonal function (EOF) analysis, an EOF model suitable for drought prediction in Northwest China was designed. Forecast experiment based on EOF model was carried out by using the mean generating function method, multiple regression method and canonical correlation analysis (CCA) method. The results show that there is a specified predictive capability for the drought in Northwest China.

Key words: Northwest China Drought prediction EOF model