

# 山西省春季降水异常时空特征研究

王振华<sup>1</sup>, 钱锦霞<sup>2</sup>, 王 雁<sup>1</sup>, 赵丽平<sup>1</sup>

(1. 山西省气象科学研究所, 山西 太原 030002; 2. 山西省气候中心, 山西 太原 030002)

**摘 要:** 采用主成分分析(EOF)、旋转主成分分析(REOF)、小波分析方法, 对山西省 1960~2004 年春季降水标准化距平场进行分区, 并对春季降水异常的空间分布特征、时间变化规律进行分析。结果表明: 山西省春季降水的主要空间异常型表现为全省一致的多雨或少雨型, 这是山西省春季降水异常的主要特征。降水异常区域大致可划分为 3 个区, 即北部区、中部区、南部区。各异常区春季降水都存在 10 a 以上长周期和 3~10 a 短周期振荡, 但其显著周期及其年代变化差异较大。

**关键词:** 主成分分析; 旋转主成分分析; 小波分析; 春季降水; 时空分布; 山西省

**中图分类号:** S161.6<sup>+</sup>1      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-7601(2006)05-0213-05

春季正值冬小麦返青、拔节、抽穗和玉米等春播作物播种、出苗的关键时期, 春季降水对农业生产有着重要的影响, 近年来有许多学者对春季降水、春旱进行了研究<sup>[1~5]</sup>。山西地处中纬度, 南北跨度较大, 研究春季降水的异常时空分布特征、年际变化的地区差异, 对建立春季降水预测模型以及因地制宜、指导农业生产具有重要意义。

## 1 资料和方法

本文取山西省较为均匀分布的 26 个站 1960~2004 年 45 a 春季降水资料。为了消除地理位置、地形、年际变化的影响, 对资料首先做标准化处理, 得到 26 个测站 45 a 标准化资料矩阵  $(x_{ji})_{mn}$ , 其中:  $j=1, 2, 3, \dots, m$ ,  $i=1, 2, 3, \dots, n$ ,  $m$  为测站数,  $n$  为样本。

### 1.1 主成分分析(EOF)

根据 EOF 原理, 对任意标准化资料阵  $mX_n$  总可以展开成下列矩阵运算<sup>[6]</sup>:

$$mX_n = (mV_k \cdot \sqrt{\lambda_k}) \times \left[ \frac{1}{\sqrt{\lambda_k}} \cdot {}_kT_n \right] = {}_mL_k \cdot {}_kF_n$$

式中,  ${}_kT_n$  为时间系数阵;  ${}_mV_k$  为空间特征向量阵;  ${}_mL_k$  为空间荷载向量(VL)阵;  ${}_kF_n$  为主成分(CP)阵;  $\lambda_k$  为  $mX_n$  的相关系数阵  ${}_mR_n$  的特征值。

### 1.2 旋转主成分分析(REOF)

在主成分分析基础上, 采用 Horel<sup>[7]</sup>使用的方差最大正交旋转法, 进行旋转主成分分析(REOF), 得到旋转载荷向量(VRL)和对应的旋转主成分(CRP)。旋转主成分分析所得的荷载场, 对于实际

降水量空间分布具有清晰的分区功能, 他们实际上将降水量年际变化信息特征集中映射到荷载场所表示的优势空间型上<sup>[7]</sup>。

### 1.3 小波分析

对各区代表站资料进行小波变换, 以讨论各区降水的多时间尺度变化。小波变换的基本数学思想是用一簇函数去表示或逼近一个信号或函数。本文采用的是 Morlet 小波变换, Morlet 小波是复数形式的小波, 复数形式的小波在应用中比实数形式的小波有更多的优点, 由于它的实部和虚部位相相差  $\pi/2$ , 从而消除了由于小波函数本身的振荡而引起的信号的虚假振荡<sup>[8~10]</sup>。

Morlet 小波的形式为:  $\psi(x) = \pi^{-\frac{1}{4}} e^{ix} e^{-\frac{x^2}{2}}$

研究表明, 变换系数零点对应位置反映了突变点的位置所在。用 Morlet 小波变换来判别气候变化不同尺度下的突变点, 是具有严格的数理意义的, 是其它统计方法所不具备的。对于某一尺度变化, 可以从小波系数的变化趋势反映出来<sup>[10]</sup>。因此, 将 Morlet 小波应用于气候变化分析, 小波系数的零点反映气候突变点位置, 小波系数的变化与气候信号的起伏基本一致。并且小波系数的模值越大, 表示其对应的时段和时间尺度的信号周期性特征越明显<sup>[10]</sup>。

## 2 春季降水异常时空分布特征

对山西省 26 个站春季降水量进行主成分和旋转主成分分析, 其主成分荷载向量 VL 和旋转荷载向量 VRL 能够很好地反映降水量的空间异常特征。前 3 个 EOF 表示出场总方差的 83% 左右。表

1 给出了前 3 个主成分和旋转主成分对场总方差的贡献、贡献率和累计贡献率。由表 1 可见,前 3 个 REOF 与前 3 个 EOF 表示出的场方差的总量相等,这是因为我们取了前 3 个 EOF 做方差最大正交旋转。

图 1 给出 EOF 分析得到的前 3 个主成分荷载向量。可见,第一荷载向量场(VL1)全省呈同一符号的正值,最大中心荷载量为 +0.9096,说明了春

季降水受大尺度气候异常的影响,表现为春季降水整体偏多或偏少(方差贡献为 69.01%);第二荷载向量场(VL2)反映了春季降水变化的南北差异,即南多北少或南少北多的分布(方差贡献为 8.20%);第三荷载向量(VL3)反映了春季降水变化中部与南北的差异,即中部多南北少或中部少南北多的分布(方差贡献为 5.84%)。

表 1 前 3 个 EOF 和 REOF 分量对场的总方差的贡献

Table 1 Contribution of the first three EOF and REOF vectors to total variances

| 载荷向量<br>Loading<br>vector | EOF                              |                                |                                              | REOF                             |                                |                                              |
|---------------------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------|
|                           | 方差贡献<br>Variance<br>contribution | 贡献率(%)<br>Contribution<br>rate | 累计贡献率(%)<br>Accumulated<br>contribution rate | 方差贡献<br>Variance<br>contribution | 贡献率(%)<br>Contribution<br>rate | 累计贡献率(%)<br>Accumulated<br>contribution rate |
| 1                         | 17.94                            | 69.01                          | 69.01                                        | 8.12                             | 31.22                          | 31.22                                        |
| 2                         | 2.13                             | 8.20                           | 77.21                                        | 7.49                             | 28.80                          | 60.02                                        |
| 3                         | 1.52                             | 5.84                           | 83.05                                        | 5.99                             | 23.03                          | 83.05                                        |
| 合计 Total                  | 21.59                            | 83.05                          |                                              | 21.59                            | 83.05                          |                                              |

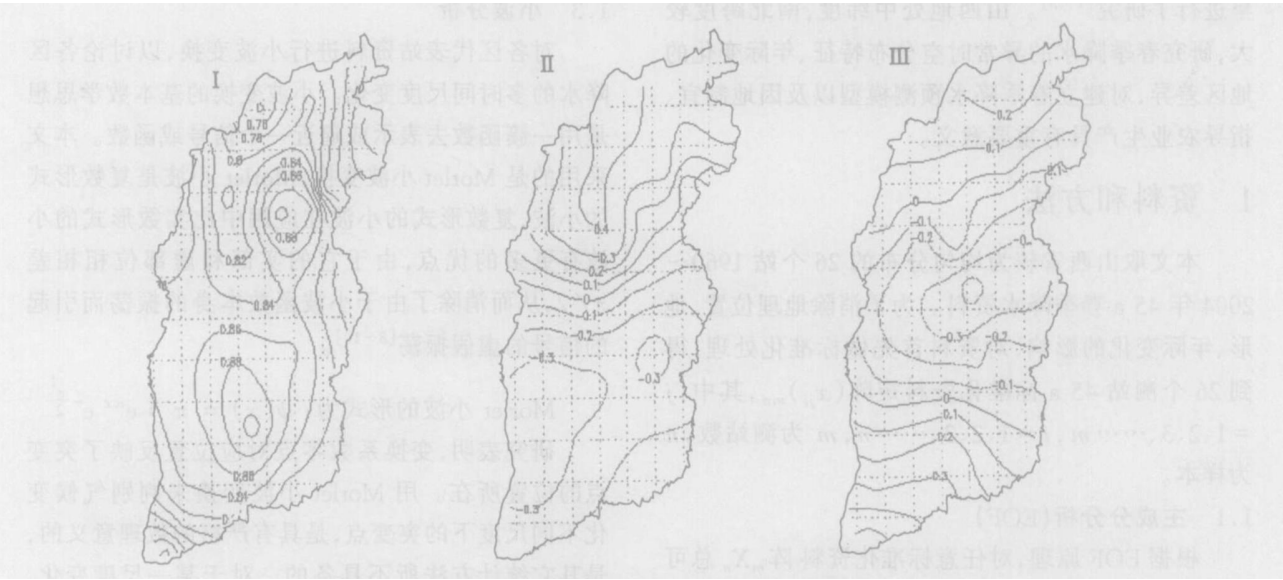


图 1 山西春季降水量第 I、第 II、第 III 主成分荷载向量

Fig.1 The first three EOF loading vectors of spring precipitation in Shanxi

由于我们使用的资料是经过标准化处理的,因此,每站方差变为 1,场的总方差为 26。本文的荷载向量是把归一化的空间特征向量乘以对应特征值的平方根,分布形势与归一化的空间特征向量完全一样,但量值上更有意义,它在每个格点上的值等于这个格点上降水序列与该空间型的时间系数序列间的相关系数,格点上值的平方是该空间型对这个格点的资料序列的方差贡献,又因为每格点上方差为 1,所以也是对这个格点的方差的贡献率。因而,图上只有平方值大的区域才有意义<sup>[11]</sup>。

为了进一步说明山西省春季降水变化不同地域气候特点,本文取前 3 个荷载向量(其累计方差贡献

率为 83%)进行 REOF 分析。图 2 给出前 3 个 REOF 分析得到的旋转主成分荷载向量。可见,第一旋转主成分侧重反映了北部春季降水变化(方差贡献为 31.22%),第二旋转主成分反映了中部春季降水变化(方差贡献为 28.80%),第三旋转主成分反映了南部春季降水变化(方差贡献为 23.03%),3 个空间型共表示出场总方差的 83%。CRP 反映了所对应的 VRL 空间异常型的时间变化,而 VRL 的高值表示 CRP 与该站原降水序列的相关性<sup>[9]</sup>,故我们取每个异常区 VRL 的高值站代表该区,将全省春季降水可划分为 3 个异常气候区如图 3。

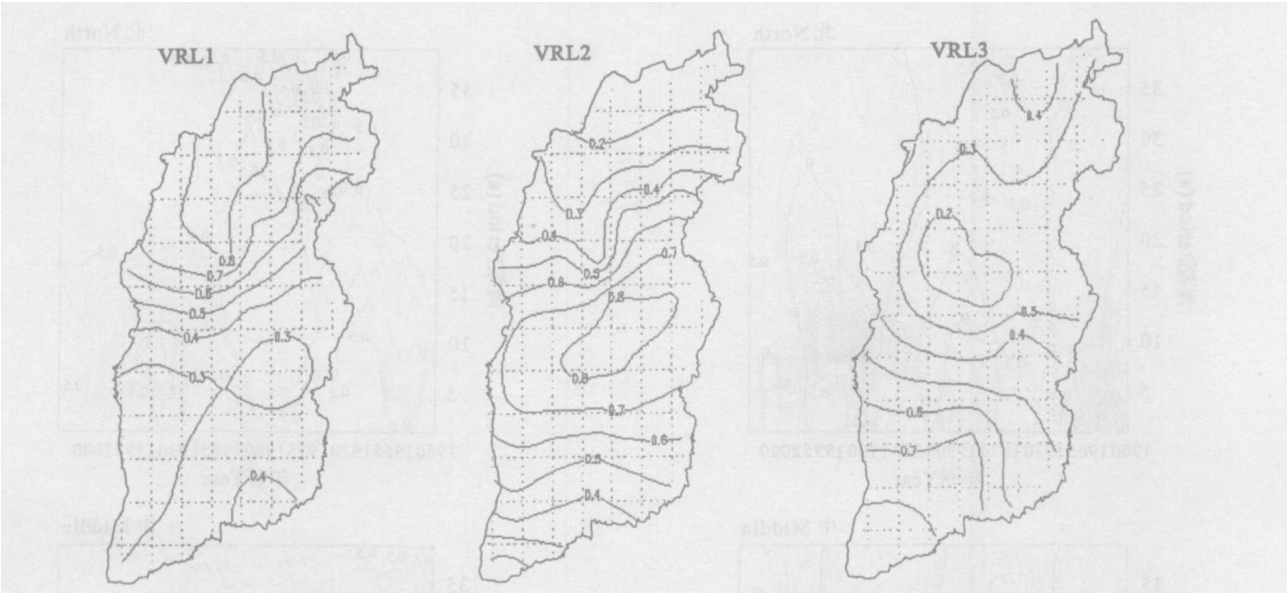


图 2 春季降水量第一、第二、第三旋转主成分荷载向量

Fig.2 The first three REOF loading vectors of spring precipitation in Shanxi

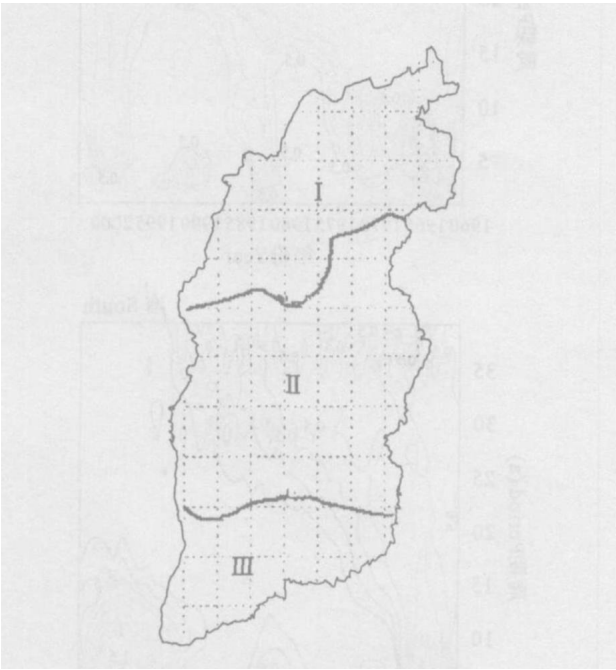


图 3 山西春季降水的空间型

Fig.3 The spatial types of spring rainfall in Shanxi

第Ⅰ区——北部区,旋转荷载向量 VRL1 的大值区在北部,中心值达+0.8295,代表站为右玉。

第Ⅱ区——中部区,旋转荷载向量 VRL2 的大值区在中部,中心值达+0.8285,代表站为介休。

第Ⅲ区——南部区,旋转荷载向量 VRL3 的大值区在南部,中心值达+0.8680,代表站为芮城。

以上春季降水异常区域的划分与气候背景基本吻合,这对于做好山西春季降水异常的气候预测具有较好的指导意义。

3 各异常区春季降水变化多时间尺度分析

图 4 为 3 个主要异常区代表站的 Morlet 小波系数的实部。由图可清楚地看出:山西省春季降水变化存在多时间尺度结构,时域上具有局部化特征;各异常区春季降水都存在较长周期,长周期中又包括短周期,表明山西省春季降水的气候变化是由不同周期振荡叠加而成的,但各区的显著周期及其年代变化差异较大。北部存在着 3~10 a 小时间尺度周期和 25~35 a 的大时间尺度周期;中部主要表现出 5 a 左右特征时间尺度和 20~30 a 左右特征时间尺度,20~30 a 左右特征时间尺度有变大的趋势;南部存在着 3~8 a 左右的小时间尺度的周期和 30~35 a 左右的大时间尺度的周期。

图 5 为 Morlet 小波变换系数模( $\geq 0.5$ )的分布,可以看出北部 3~10 a 尺度周期信号最强,60 年代 5 a 左右的周期信号最明显,80~90 年代 10 a 尺度的周期信号最明显,25~35 a 尺度周期信号在 70~80 年代较为明显;中部 20~30 a 尺度周期信号最强,且特征时间尺度有增加的趋势,5 a 左右的周期信号也比较明显,在所讨论的时域上都有体现,局部变化较小;南部 3~8 a 尺度周期信号最强,90 年代以后 5 a 左右的周期信号尤为明显,30~35 a 左右尺度周期信号在所讨论的整个时域上都有体现。

综上所述,各异常区春季降水都存在 20~35 a 长周期和 3~10 a 短周期振荡,大、小周期在研究时段内有交错出现的特点。

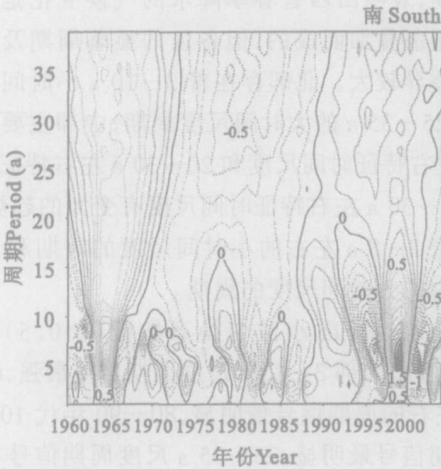
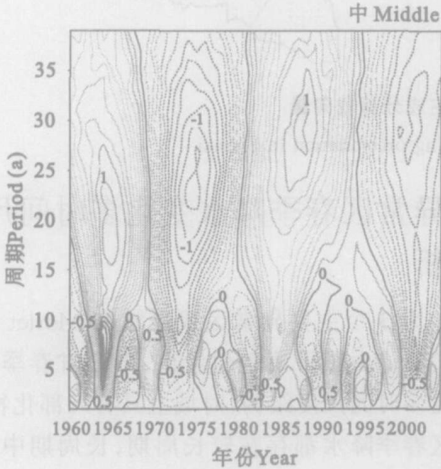
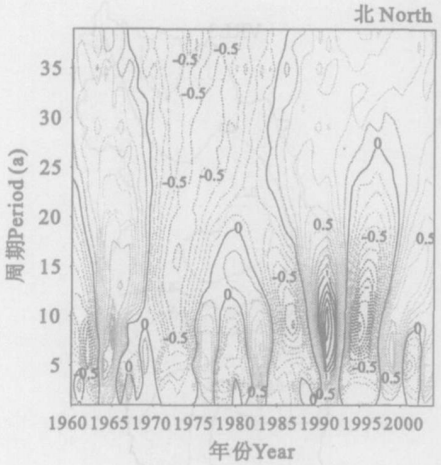


图 4 各区春季降水 Morlet 小波系数  
Fig.4 Wavelet coefficients of spring precipitation of each subregion

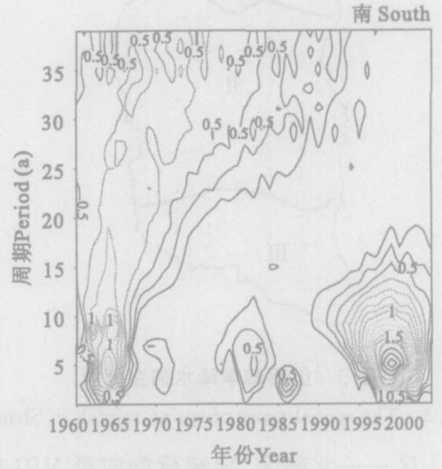
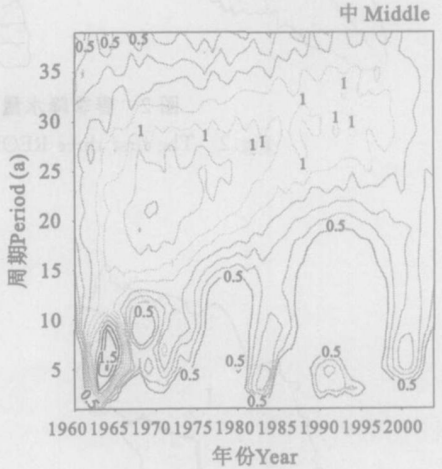
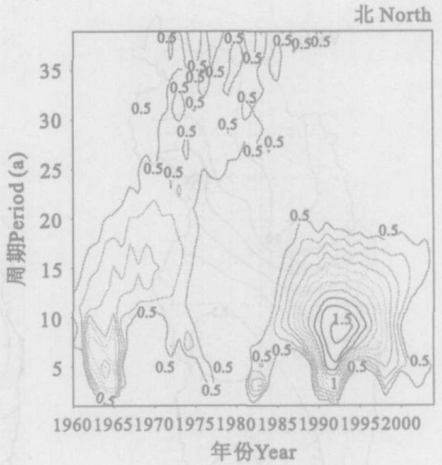


图 5 各区春季降水 Morlet 小波系数的模  
Fig.5 Wavelet modulus of spring precipitation of each subregion

图 6 为 30 a 时间周期尺度的小波系数变化曲线。可以看出,各气候区春季降水具有明显时间差异。北部表现为两个偏多期和一个偏少期,即 1960~1969 年和 1985 年至今为偏多期,1970~1984 年为偏少期;中部表现为两个偏多期和两个偏少期,即 1960~1969 年和 1981~1994 年为偏多期,1970~

1980 年和 1995 年至今为偏少期;南部表现为两个偏多期和一个偏少期,1960~1973 年和 1990 年至今为偏多期,1974~1989 年为偏少期。目前,中部区春季降水处在较少时期,但有上升趋势,北部和南部春季降水处在较多的时期,但有下降趋势。

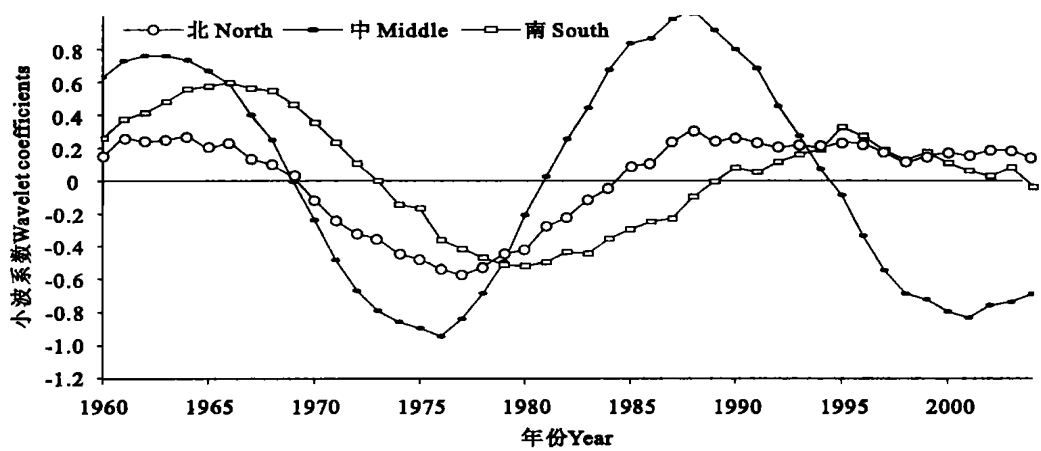


图 6 30 a 周期的小波变换系数  
Fig. 6 Wavelet coefficients of 30-years periodic oscillations

4 结 论

- 1) 春季降水量的第一荷载向量为全区一致的多雨或少雨型,这是山西省春季降水变化的主要气候特征。
- 2) 各异常区春季降水都存在 20~35 a 长周期和 3~10 a 短周期振荡,大、小周期在研究时段内有交错出现的特点。
- 3) 春季降水在 30 a 时间尺度的周期变化中,中部区目前降水处在较少的时期,但有上升趋势。北部和南部目前降水处在较多的时期,但有下降趋势。

参 考 文 献:

[1] 叶燕华,郭江勇,王 风.黄土高原春季降水的气候特征分析[J].干旱地区农业研究,2004,22(1):11-17.  
[2] 郭江勇,李耀辉,王 文,等.甘肃黄土高原春旱的气候特征及预测方法[J].中国沙漠,2004,24(2):211-217.

[3] 林 纾,李富洲.甘肃河东早春旱和春旱的监测与预测[J].干旱地区农业研究,2005,23(4):191-199.  
[4] 霍治国,郑江平,徐祥德,等.华北春旱年型对冬小麦影响的模拟试验[J].资源科学,2000,22(2):72-76.  
[5] 王 萍,李廷全,闫 平,等.近年黑龙江省春旱频繁发生的研究分析[J].自然灾害学报,2005,14(3):95-98.  
[6] 黄嘉佑.气象统计分析与预报方法.北京:气象出版社,2004. 121-140.  
[7] Horel J D. A rotated principal component analysis of the interannual variability of the Northern Hemisphere 500 mb Height Field. Mon wea rev, 1981, 109, 2080-2092.  
[8] 纪忠萍,谷德军,谢炯光.广州近百年来气候变化的多时间尺度分析[J].热带气象学报,1999,15(1):48-55.  
[9] 尤卫红,段 旭,杞明辉.连续小波变换在云南百年气温和降水变化分析中的应用[J].高原气象,1999,18(1):47-54.  
[10] 林振山,邓自旺.子波气候诊断技术的研究.北京:气象出版社,1999. 20-25.  
[11] 中国冬季月平均气温异常的旋转 EOF 分析[J].南京气象学院学报,1995,18(3):349-354.

Analysis on temporal and spatial features of  
spring precipitation anomalies in Shanxi Province

WANG Zhen-hua<sup>1</sup>, QIAN Jin-xia<sup>2</sup>, WANG Yan<sup>1</sup>, ZHAO Li-ping<sup>1</sup>  
(1. Institute of Meteorological Science in Shanxi Province, Taiyuan 030002, China;  
2. Shanxi Climate Center, Taiyuan 030002, China)

**Abstract:** Using the methods of empirical orthogonal function (EOF), rotated empirical orthogonal function (REOF) and wavelet analysis, this paper zones the standardized spring precipitation field of Shanxi Province during 1960 to 2004, and analyzes the temporal and spatial features of spring precipitation. The results show that the main spatial anomaly feature is coincidently wet or dry type, and the whole province can be divided into 3 climate regions in accordance with spring precipitation. There are oscillations of spring precipitation with over 10a long-term and 3-10a short-term periods in all climate regions, but their obvious periods and annual changes are much different from each other.

**Keywords:** EOF; REOF; wavelet analysis; spring precipitation; spatial and temporal feature; Shanxi Province