

# 山西干旱的气候变化特征及 多尺度组合预测模型

姚彩霞<sup>1</sup> 魏凤英<sup>2</sup> 韩 雪<sup>3</sup> 任 璞<sup>1</sup> 杨 英<sup>1</sup> 郭俊龙<sup>1</sup>

(1. 山西省气象台,太原 030006; 2. 中国气象科学研究院;  
3. 中国科学院大气物理研究所)

**提 要:** 使用山西省内 59 个测站 1961—2005 年月降水量、月平均气温资料和同期北半球 500hPa 高度、北太平洋 10°S~50°N、120°E~80°W 范围的海表温度等资料,首先定义了表征山西干旱程度的指数;使用三次样条函数及功率谱等统计方法分析了山西省干旱的气候特点及其前兆信号。分析结果表明,山西干旱不仅具有明显的年代际变化特征,此外还具有 2 年、3.5 年和 5.6 年的显著年际变化特征。在此分析基础上对原华北多尺度组合干旱预测模型进行了改进与调整,建立了山西干旱的多尺度组合预测模型,并进行了一系列预测效果检验。2000—2005 年各月、季独立样本的干旱等级预测结果表明,该预测模型对山西大部分地区的干旱具有较好的预测能力。

**关键词:** 多尺度 干旱预测 检验

## Climatic Characteristics of Drought in Shanxi Province and the Multi-scale Integration Prediction Model for Drought

Yao Caixia<sup>1</sup> Wei Fengying<sup>2</sup> Han Xue<sup>3</sup> Ren Pu<sup>1</sup> Yang Ying<sup>1</sup> Guo Junlong<sup>1</sup>

(1. Shanxi Provincial Meteorological Observatory, 2. Chinese Academy of Meteorological Sciences  
3. Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Science)

**Abstract:** Using the monthly precipitation and temperature dataset from 59 stations over Shanxi Province, and the 500hPa height data in North hemisphere and sea surface temperature over 10°S~50°N、120°E~80°W in North Pacific during 1961—2005, first of all, the index which represent the drought grade in Shanxi Province were defined; secondly, the climatic variability and anterior signals of drought in Shanxi were analyzed by using the triple spline-function and power spectrum. The results show that the drought exhibits a statistically significant interdecadal variability and interannual timescale variabilities with near 2 year, 3.5 year and 5.6 year periods. Based

on this analysis, a Huabei predicting drought model on an integration of multi-scale was improved and modulated and a series of prediction results were proof-tested in months and seasons. By analyzing the forecast of drought grade in months and seasons during 2000—2005, it shows that the modeling technique catches the change in drought well and exhibits a higher prediction skill.

**Key Words:** Multi-scale drought prediction proof-test.

## 引 言

山西地处华北地区西部,境内沟壑纵横,海拔高度多在 1000m 以上,生态环境脆弱,干旱灾害发生极为频繁。1980 年代以来在全球增暖的重叠效应下,山西的干旱更加趋于严重,不但对农业作物造成极大威胁,甚至出现人畜饮水困难,还对山西经济的可持续发展造成了一定的影响。因此,提供月、季甚至更长时间尺度的预测服务已成为气候业务的重要内容。但是由于影响干旱的因素很多,也很复杂,致使干旱的预测难度很大,特别是干旱业务预测的准确率远远达不到政府和公众的要求。因此,要提高干旱的短期气候预测水平就要不断探索新的预测方法。

魏凤英在分析华北地区干旱的变化特征时发现,华北地区干旱变化存在显著的年际和年代际变化特征<sup>[1-2]</sup>,而影响干旱年代际和年际变化的因素是不同的,年代际变化主要受太阳活动等外强迫影响,而年际变化不仅与气候背景密切相关,且与前期大气、海洋的异常强信号有关<sup>[2-4]</sup>。本文在分析山西旱涝气候特征基础上,建立了山西干旱多尺度组合预测模型,并进行干旱预测效果检验。

## 1 资料

本文选用右玉、天镇、偏关、五寨等山西省内 59 个县(市)1961—2005 年月降水量、月平均气温资料和国家气候中心气候诊断预测室提供的同期北半球 500hPa 高度、北太平洋 10°S~50°N、120°E~80°W 范围的海表温度资料。

## 2 山西干旱的气候变化特征及前兆信号

### 2.1 干旱指数的确定

以降水量  $P$  减蒸发量  $E$  作为表征山西干旱程度的物理量,其中地面实际蒸发量  $E$  采用高桥浩一郎提出的计算陆面实际蒸发的公式<sup>[5]</sup>算出,假定某时段  $P-E$  服从 Person III 型分布,则可将其概率密度函数转换得到:

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

式中  $C_s$  为偏态系数,  $\varphi_i$  为月标准化变量。这里将逐月  $P-E$  量记为  $F$ , 即有:

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^N (F_i - \bar{F})^3}{N\sigma^3} \quad (2)$$

$$\varphi_i = \frac{F_i - \bar{F}}{\sigma} \quad (3)$$

其中  $\bar{F}$  和  $\sigma$  是  $F$  的平均值和标准差,这里  $N$  为样本量,由式(1)就可以得到山西 59 个测站月、季的  $Z$  指数,以此作为表征山西干旱程度的指数。

### 2.2 山西干旱的气候变化特征

我们使用三次样条函数算出山西春、夏、秋、冬 4 季干旱指数的长期变化趋势(图 1 中光滑曲线)。由图 1a 较光滑曲线可以看出,山西春季近 45 年来经历了 4 个主要气候阶段,即 1960 年代的相对偏涝、1970 年代偏旱,1970 年代末至 1990 年代初相对偏涝和 1990 年代以来偏旱时期。而夏季的干旱趋势(图 1b)与春季有所不同,1960—1970 年代初旱,1970 年代偏涝,1970 年代末以后进入

持续偏早期,在 1980 年中期干旱有所缓和,1990 年代以来夏季干旱加重。秋、冬季干旱变化相对平缓,两季变化趋势基本一致,从图

1c 和 d 可以看出,秋、冬季旱涝大致可分为两个阶段,即 1970 年代以前相对偏涝时期和之后的持续偏早期。

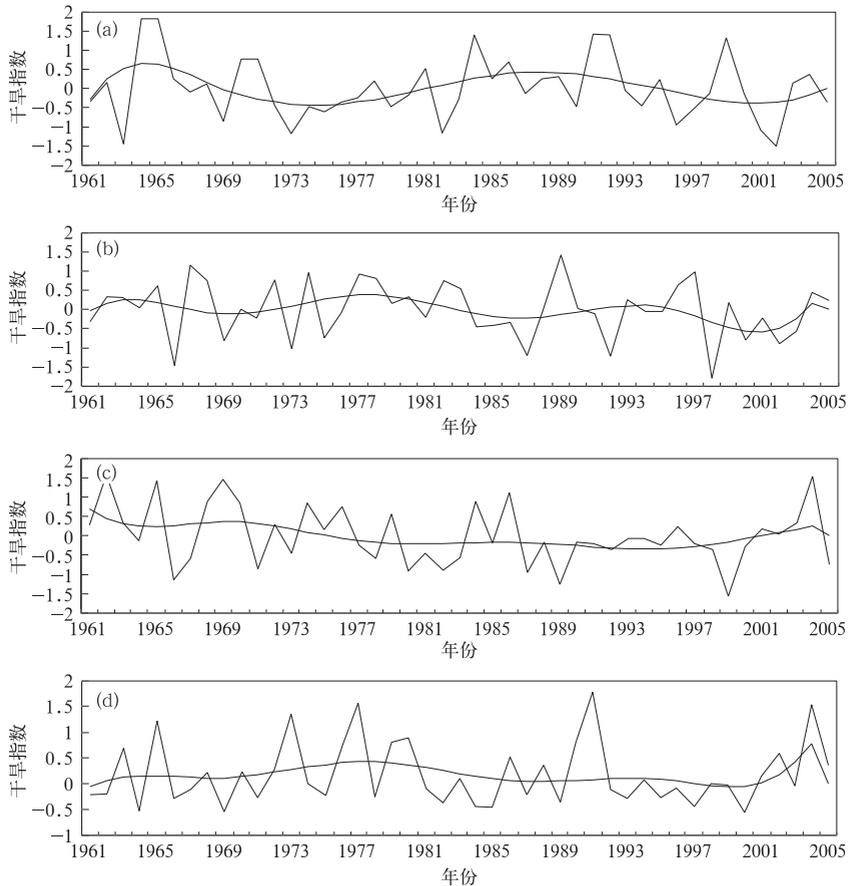


图 1 山西 4 季干旱长期变化趋势  
(a)春季 (b)夏季 (c)秋季 (d)冬季

由上述分析可见,山西干旱具有明显的年代际变化特征,为了了解山西干旱的年际变化特征,我们对 4 季干旱指数进行了功率谱分析,超过 0.05 显著性水平的显著周期列于表 1。从表 1 可以看出,山西干旱存在 2 年左右、3.5 年和 5.6 年的显著周期变化。

表 1 山西 4 季干旱指数显著周期 (单位:年)

季节	春季	夏季	秋季	冬季
显著周期	7.0,5.6 3.5,4.0	2.0~2.5 3.5,5.6 4.0	2.3,7.0 9.3,5.6	3.5,2.5 3.0,4.0

### 2.3 山西干旱前兆信号

山西在发生干旱的前期常常会有较强的信号出现。2000 年秋季山西出现了全省大范围的严重干旱,我们以此次干旱为例来分析发生干旱前期的前兆信号。图 2 是 2000 年山西秋季发生异常干旱前期 8 月的 500hPa 和北太平洋海温信噪比场。图中信噪比值超过 1.5 就表明为信号区。由图 2 (a)可见,2000 年 8 月 500hpa 东亚中纬度地区上空为一个较强的信号区,这说明在山西发生异常干旱前期,东亚地区特别是包括山西

在内的华北大部地区由强的高压控制。另外在 60°N 以西的西亚地区也有一信号区。从图 2(b)可以看出,在 2000 年秋季发生异常干旱前期,北太平洋海温场没有强信号出现。

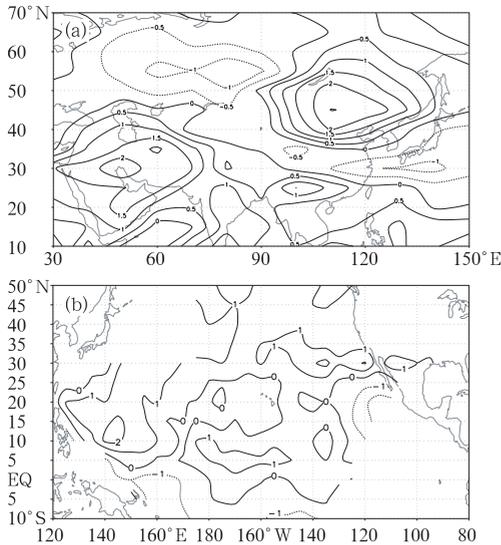


图 2 2000 年山西秋季发生异常干旱前期 8 月的 500hPa(a)和北太平洋海温(b)信号场

### 3 山西干旱多尺度组合预测模型及预测效果检验

#### 3.1 预测模型

由上一节分析我们可知,山西干旱不仅具有明显的年代际变化,而且有显著的年际变化。将山西各站的月或季的干旱强度指数  $L$  看作由年代际变化  $L_L$ 、年际变化  $L_S$  和气象噪音  $e$  的合成<sup>[3,6-7]</sup>,即

$$L = L_L + L_S + e \quad (4)$$

其中年代际尺度的预测模型为:

$$L_L(t) = a\bar{L}_L(t) + \varepsilon_L \quad (5)$$

$$t = 1, 2, \dots, N + q$$

年际尺度的预测模型为:

$$L_S(t) = a\bar{L}_S(t) + \sum_{i=1}^s b_i G_{iE}(t) \quad (6)$$

$$t = 1, 2, \dots, N + q$$

这里  $G_{iE}(t)$  是第  $i$  个强信号区域面积平均序列,  $a$  和  $b$  为回归系数,由最小二乘法估计。

#### 3.2. 2000—2005 年季节干旱预测效果检验

分别用 1961—1999、1961—2000、1961—2001、1961—2002、1961—2003、1961—2004 年冬、春、夏、秋季平均干旱强度指数建立预测模型,分别制作 2000—2005 年各季独立样本的干旱等级预测。我们规定:预测与观测的干旱等级一致,或预测与观测的干旱等级相邻视为正确。

统计山西 59 站 2000—2005 年的历年各月、季干旱等级值的预测准确率。结果发现,预测模型对山西旱涝的预测能力较好。山西中部地区大部、大同市北部、朔州市大部、临汾市和运城市大部、长治市北部山区和东部地区的干旱等级值预测的准确率都在 60% 以上。其中,忻州市中部、太原市东部、晋中市平川北部、运城市西部等地准确率均在 70% 以上(图 3)。全省范围内,只有忻州市西部的高寒山区、大同市东南山区局部的干旱预测准确率低于 55%。

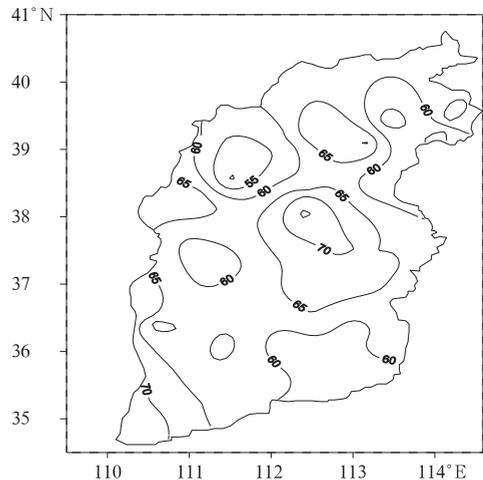


图 3 山西 2000—2005 年干旱等级值预测准确率空间分布

表 2 为山西 59 站平均的 2000—2005 年各季度干旱等级预测值与观测值结果对比。从全省平均情况来看,2000—2005 年的冬、夏季预测效果最好。6 年冬、夏季中,干旱等级值预测正确的均有 5 年,尤其是 2003 年夏

季,全省平均的干旱等级预测值为 5 级(偏旱),实况等级值也是 5 级(偏旱)。只有 2004 年冬季、2000 年夏季的干旱等级值预测

不正确。2000、2001、2002、2003、2005 年秋季的干旱等级预测值与观测值一致,春季只有 2000、2003、2004 年干旱等级值预测正确。

表 2 2000—2005 年各季山西全省平均干旱等级预测值与观测值结果对比

时间	59 站平均干旱等级预测	59 站平均干旱等级观测	评定	时间	59 站平均干旱等级预测	59 站平均干旱等级观测	评定		
2000 年	冬	3	4	√	2003 年	冬	4	4	√
	春	5	4	√		春	3	4	√
	夏	3	5	×		夏	5	5	√
	秋	6	4	×		秋	3	4	√
2001 年	冬	5	4	√	2004 年	冬	4	2	×
	春	3	6	×		春	4	4	√
	夏	5	4	√		夏	4	3	√
	秋	5	4	√		秋	5	2	×
2002 年	冬	4	3	√	2005 年	冬	4	4	√
	春	3	6	×		春	3	5	×
	夏	4	5	√		夏	4	4	√
	秋	5	4	√		秋	4	5	√

### 3.3. 2000—2005 年月干旱预测效果检验

2000—2005 年平均干旱等级预测准确率达到了 58% 以上(图 4)。其中,6 年中月预测准确率平均值超过 70% 的有 1 月、2 月、11 月、12 月。1 月份的干旱等级预测准确率最高,达到了 81.4%,其次是 11 月和 2 月,预测准确率分别为 76.6% 和 76.3%,12 月平均的预测准确率为 72.3%。6 月、4 月预测准确率分别为 65.8%、65.0%。7 月、9 月预测能力最差,准确率不到 50%。

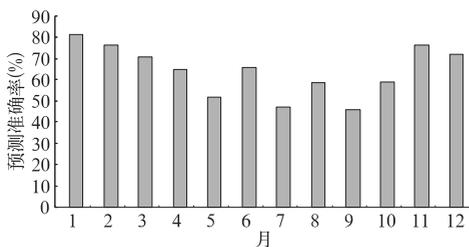


图 4 2000—2005 年干旱等级值月预测准确率平均

年平均情况看,2003 年的干旱等级月预测准确率最高,1—12 月预测准确率平均值达到了 74.6%,2000、2001、2002 年 12 个月预测准确率平均值在 64%~65% 之间,2005 年预测准确率最低,为 57.8%。

## 4 小 结

① 山西干旱年代际变化明显,1990 年代以来山西处在 45 年以来较严重的持续偏旱时期。另外,山西干旱具有 2 年左右、3.5 年和 5.6 年的显著周期变化。

② 利用山西干旱变化特点建立的多尺度组合预测模型对山西大部分地区的干旱等级预测能力较好,大部分地区的干旱等级预测准确率在 60% 以上。

## 参考文献

- [1] 魏凤英. 华北地区干旱强度的表征形式及其气候变异[J]. 自然灾害学报, 2004, 13(2): 32-38.
- [2] 魏凤英, 张京江. 华北地区干旱的气候背景及其前兆强信号[J]. 气象学报, 2003, 61(3): 354-363.
- [3] 魏凤英. 华北干旱的多时间尺度组合预测模型[J]. 应用气象学报, 2003, 14(5): 583-592.
- [4] 韩雪, 魏凤英. 华北地区干旱的持续性特征研究[J]. 中国沙漠, 2005, 25(增): 197-201.
- [5] 高桥浩一郎. 月平均气温、月降水量以及蒸发散量的推定方式[J]. 天气(日本), 1979, 26(12): 759-761.
- [6] Vautard R. A tool for noisy chaotic signal[J]. Physica D, 1992, 58: 95-126.
- [7] 黄荣辉, 徐予红, 周连童. 我国夏季降水的年代际变化及华北干旱化趋势[J]. 高原气象, 1999, 18(4): 456-476.