

山西气象干旱指标的确定及干旱气候变化研究

周晋红^{1,2}, 李丽平¹, 秦爱民³

(1. 南京信息工程大学大气科学学院, 江苏 南京 210044; 2. 太原市气象局, 山西 太原 030082;

3. 山西省气象局, 山西 太原 030002)

摘要: 应用山西省 62 个气象站 1961~2008 年逐季、年降水资料, 在对 3 种常用气象干旱指标对比分析的基础上, 对 Z 指数进行修正, 确定山西单站季、年旱度指标, 并在此基础上建立全省区域干旱指标。研究发现, 近 48 年来, 山西出现 1 年重旱、4 年大旱、3 年偏旱, 重旱年出现在 20 世纪 60 年代中期, 而大旱和偏旱年大部分出现在 20 世纪 80 年代中期以后。冬、春季重旱年分别出现在 20 世纪 60 年代初和 90 年代末到 21 世纪初, 而夏、秋季重旱年均出现在 90 年代末期。山西各季、年干旱空间分布特征, 最常见的是全省一致干旱型; 年、各季干旱的出现不仅存在明显的年代际尺度变化, 而且年际变化也显著。近 48 年来, 山西区域年干旱指数下降趋势显著, 1977 年后, 年干旱指数发生突变, 山西进入持续干期。

关键词: 气象干旱指标; 年代际变化; 年际变化; 山西

中图分类号: P338+.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)03-0240-08

山西省地处我国华北平原西部和黄土高原东部黄河中游地区, 四周山岭环绕, 地形起伏显著, 三分之二以上为山地、丘陵, 属于暖温带大陆性半干旱季风气候。年内各季降水分布极不均匀, 冬季干冷, 降水稀少, 夏季湿热, 雨热同季。由于地理环境和技术条件限制, 干旱历来是山西省最严重的气象灾害, 并且随着山西经济社会发展, 干旱造成的经济损失越来越严重。

关于华北干旱, 近年来我国学者开展了多方面研究, 1998 年魏凤英等^[1]以降水量为主, 兼顾底墒及蒸发状况, 定义了华北地区站春、夏季干旱指数; 2000 年孙安键等^[2]用 Z 指数对华北平原地区夏季严重旱涝特征进行了诊断分析; 2003 和 2004 年, 魏凤英等^[3,4]对华北地区干旱的气候背景及其前兆强信号以及华北地区干旱强度的表征形式及其气候变异进行研究, 张庆云等^[5]研究了近 50 年华北干旱的年代际和年际变化及大气环流特征; 2008 年荣艳淑等^[6]利用华北地区实测的月降水量资料、美国 NCAR/NCEP 再分析资料, 分析了华北地区 1972 年和 1997 年这两个干旱年干旱空间分布、强度分布和持续时间, 以及西太平洋副热带高压变化、季风进退和欧亚大气环流异常情况。这些成果为研究华北干旱做了许多的工作, 得出许多有意义结论。随着全球气候变暖, 华北干旱化在加剧^[4,5], 山西 20 世纪 90 年代以来干旱化尤为显著^[7]。

由于不同的地理位置、下垫面性质及人类活动的影响, 各地气候千差万别, 因而气象中对干旱强度的表征在不同地区、不同时段有很多不同的指数和指标。本文通过对几种干旱指标的对比分析, 确定表征山西气象干旱的具有较好时空代表性和比较性的单站和区域干旱指标, 进而分析山西干旱的年代际及年际变化特征, 为山西防旱抗旱提供科技支撑和科学依据。

1 资料和方法

应用山西省分布较为均匀的 62 个气象站 1960 年 12 月~2008 年 12 月历年逐月降水资料, 计算出 1961~2008 年逐季、年降水量。主要研究方法: 气候趋势系数^[8], 经验正交函数分解^[9], Morlet 小波分析^[10]及 Mann-Kendall 气候突变检验^[10]等。

2 几种常见气象干旱指标的对比分析及山西单站、区域干旱指标的确定

2.1 常见的几种干旱监测指标

(1) 降水距平百分率 P_a

降水距平百分率反映某段时间降水量相对于常年同期平均降水量的偏离程度, 其表达式为:

$$P_a = \frac{R - \bar{R}}{\bar{R}} \times 100\% \quad (1)$$

式中, R 为某时段降水量; $\bar{R}$ 为同期降水量历年平均

收稿日期: 2009-12-28

基金项目: 山西省气象局科研项目(SXKYBQH20103222)

作者简介: 周晋红(1968—), 女, 山西太原人, 高级工程师, 主要从事天气、气候分析和预报技术研究。E-mail: zjhlwh@sohu.com。

值。分级标准见参考文献[10]。

(2) 降水标准化变量 M

降水标准化变量 M 是用某一时段的降水量距平值与历年同期降水量标准差的百分比来表示,其平均值为 0,方差为 1。计算公式为:

$$M_i = 100(X_i - \bar{X})/\sigma \tag{2}$$

式中, σ 为标准偏差; X_i 为某一时段的降水量; $\bar{X}$ 为同期降水量历年均值。分级标准见参考文献[10]。

(3) 降水 Z 指数

由于半干旱地区月、季、年降水量一般并不服从正态分布,现假设其服从 PersonⅢ 型分布,根据文献[11],对降水量序列进行正态化处理,可将概率密度函数 PersonⅢ 型分布转换为以 Z 为变量的标准正态分布^[11],其转换公式为:

$$Z_i = \frac{6}{C_S} \left(\frac{C_S}{2} \varphi_i + 1 \right)^{1/3} - \frac{6}{C_S} + \frac{C_S}{6} \tag{3}$$

式中, φ_i 为标准化变量; C_S 为偏态系数; σ 为标准偏差,均可由降水资料序列计算求得; n 为序列长度。分级指标见表 1^[11]。

2.2 三种干旱指标在山西的适用性对比分析

首先选取全省 11 个地市 62 站中的 11 个国家基本、基准站(表 2),这些站点的选取既考虑了地理分布,又考虑了年平均降水量的大小。11 个代表站年降水量的一些统计特征列于表 2 中。可以看出,山西省年降水量从北向南为增加趋势,年平均降水

表 1 Z 指数旱涝等级标准

Table 1 Drought and flood grade of Z index

等级 Grade	Z 值 Z Value	类型 Type
1	$Z > 1.645$	重涝 Severe flood
2	$1.037 < Z \leq 1.645$	大涝 Heavy flood
3	$0.842 < Z \leq 1.037$	偏涝 Slight flood
4	$-0.842 \leq Z \leq 0.842$	正常 Normal
5	$-1.037 \leq Z < -0.842$	偏旱 Slight drought
6	$-1.645 \leq Z < -1.037$	大旱 Heavy drought
7	$Z < -1.645$	重旱 Severe drought

量越大,一般标准差越大。

偏态系数可以用来检验资料序列是否服从正态分布^[12],值越大,说明平均值与众数之间的距离越大。在 $\alpha = 0.05$ 的显著水平下,有

$$|C_S| < 1.96 \sqrt{\frac{6(n-2)}{(n+1)(n+3)}}$$

则认为该要素服从正态分布。经过计算,对于 48 a 序列,偏态系数小于 0.651 时序列服从正态分布。对山西 62 站季、年降水量序列进行正态检验,从表 2 中可以看出,11 个代表站年降水量除天镇、垣曲不服从正态分布外,其它各站均服从正态分布;夏季降水量多服从正态分布,冬、春、秋三季降水量多不服从正态分布。统计 62 站各季资料也可得出相同的结论,62 站中约有 10% 的台站年降水量不服从正态分布。

表 2 11 个代表站年降水量统计特征

Table 2 Annual precipitation statistical characteristics of 11 representative stations

站点 Station	天镇 Tianzhen	朔州 Shuozhou	五寨 Wuzhai	兴县 Xingxian	太原 Taiyuan	榆社 Yushu	阳泉 Yangquan	侯马 Houma	襄垣 Xiangyuan	陵川 Lingchuan	垣曲 Yuanqu
平均值 Mean(mm)	392.5	412.7	462.5	480.7	439.4	547.3	541.0	509.4	521.0	617.9	615.2
标准差(mm) Standard deviation	96.42	108.21	103.84	130.90	117.64	129.55	143.53	107.98	114.66	142.57	146.07
偏态系数 Coefficients of skewness	年 Annual	0.796	0.533	0.106	0.587	0.470	0.146	0.293	0.424	0.391	0.476
	冬 Winter	1.608	1.149	0.881	0.697	1.156	0.869	1.159	0.915	0.923	1.091
	春 Spring	0.982	1.575	0.575	0.682	1.251	0.708	0.831	0.831	0.782	0.554
	夏 Summer	0.639	0.591	0.282	0.407	0.905	0.261	0.651	0.213	0.238	0.692
	秋 Autumn	1.008	0.747	1.187	1.105	0.688	0.426	0.652	0.579	0.77	1.040

表 3 是按照距平百分率计算的 11 个代表站春季 1961 ~ 2008 年各级旱涝出现频率。分析表 3 可知,年降水量超过 600 mm 的陵川、垣曲春季大旱、重旱,大涝、重涝出现的频率明显少于年降水量 500 mm 以下的站,这是因为陵川、垣曲春季平均降水量相对较大,而距平百分率对平均值的依赖性大的缘故。在年降水量 500 mm 以下的站中,春季偏旱,大旱的频率远大于偏涝、大涝的频率,而出现重涝的频

率大于出现重旱的频率。从 11 站其它各季各级旱涝出现的平均频率看(表略),冬季因降水量小,重旱、重涝的频率明显偏大;从春到夏,随着降水量增加,出现重旱、重涝的频率逐步减少,且各季各级频率分布变化很大。

以上分析表明,距平百分率指标对平均值的依赖性很大,而且各级频率分布变化很大,对于不同时段、降水分布不均的不同区域不能使用相同的距平

百分率指标。

表 3 代表站 1961~2008 年春季各旱涝等级出现频率(降水距平百分率)

Table 3 Frequency of every grade of drought and flood in spring of 11 representative stations during 1961 to 1968 (precipitation anomaly percentage)

旱涝等级 Grade of drought and flood	天镇 Tianzhen	朔州 Shuozhou	五寨 Wuzhai	兴县 Xingxian	太原 Taiyuan	榆社 Yushe	阳泉 Yangquan	侯马 Houma	襄垣 Xiangyuan	陵川 Lingchuan	垣曲 Yuanqu
重涝 Severe flood	8	10	6	6	10	10	10	10	10	4	8
大涝 Heavy flood	8	8	4	6	8	6	10	2	2	4	6
偏涝 Slight flood	8	6	8	8	8	6	6	8	13	15	6
正常 Normal	35	40	54	58	33	42	33	46	46	50	54
偏旱 Slight drought	33	15	19	6	21	19	19	21	15	21	15
大旱 Heavy drought	6	19	8	13	17	15	15	10	13	4	8
重旱 Severe drought	0	2	0	2	2	2	6	2	2	2	2

表 4 是利用降水标准化变量计算的 11 个代表站春季 1961~2008 年 48 a 各级旱涝出现频率。分析表 4 可知,春季各站各级旱涝出现频率比较稳定,不随均值不同而变化,但是各级频率分布极不均匀,正常年份频率只占到 25% 左右,偏旱、大旱频率普遍高于偏涝、大涝频率,所占比例太大,而重涝频率又明显多于重旱频率。分析其它各季的情况也出现了相近的情况,标准化降水变量不适合作为山西单站干旱监测指标。

表 5 是利用降水 Z 指数计算的 11 个代表站春季 1961~2008 年 48 年各级旱涝出现频率。从表 5

可以看出, Z 指数消除了平均值不同的影响,而且各站频率分布特征基本相同。从表中分析看,属于 4 级的频率占到 60% 左右,3 级和 5 级出现的频率共 10% 左右,2 级和 6 级出现的频率共 20% 左右,而 1 级和 7 级出现的频率占到 10% 左右。也就是说,大旱和大涝的出现频率要超过偏旱和偏涝的出现频率,这不符合一般大旱、大涝的出现少于偏旱和偏涝的事实。我们对代表站其它各季和年的旱涝频率分布进行统计分析也发现了类似的情况(表略)。这说明 Z 指数 7 级旱涝划分的界限值存在问题。

表 4 代表站 1961~2008 年春季各旱涝等级出现频率(标准化降水变量)

Table 4 Frequency of every grade of drought and flood in spring of 11 representative stations during 1961 to 1968 (Standardized precipitation variable)

站点 Stations	天镇 Tianzhen	朔州 Shuozhou	五寨 Wuzhai	兴县 Xingxian	太原 Taiyuan	榆社 Yushe	阳泉 Yangquan	侯马 Houma	襄垣 Xiangyuan	陵川 Lingchuan	垣曲 Yuanqu	平均 Mean
重涝 Severe flood	8	6	8	10	10	13	8	10	10	8	8	8
大涝 Heavy flood	10	13	6	8	8	6	13	4	13	6	8	11
偏涝 Slight flood	13	13	25	10	10	15	10	19	8	23	10	13
正常 Normal	25	21	17	35	21	23	21	23	23	25	23	24
偏旱 Slight drought	15	25	21	19	31	19	23	23	25	13	35	21
大旱 Heavy drought	29	23	19	15	19	23	25	17	19	21	13	20
重旱 Severe drought	0	0	4	2	0	2	0	4	2	4	2	3

2.3 单站季、年干旱指数的确定

为了达到合理的频率分布,根据公式(3)和标准正态分布公式,对 Z 的旱涝等级重新划分(表 6),适当缩小正常级别的理论频率,使其减小到 40%,从而使偏旱和偏涝的理论频率分别达到 15%。

用新标准对山西 62 个台站各季、年 Z 指数进行计算和划分,每级的理论频率和平均实际频率见表 7。从表 7 可以看出,4 级正常的频率占 40% 左

右,3 级偏涝、5 级偏旱的频率分别占 15% 左右,2 级大涝、6 级大旱的频率分别占 10% 左右,1 级重涝和 7 级重旱的频率分别占 5% 左右。这种分布与理论分布比较一致,也比较符合实际情况。我们认为修正后的 Z 指数其资料易获,计算较为简便,意义明确,频率分布合理,更适合作为山西干旱监测指数。因此选择修正后的 Z 指数作为山西单站干旱监测指标。

表 5 代表站 1961~2008 年春季各旱涝等级出现频率(Z 指数)

Table 5 Frequency of every grade of drought and flood in spring of 11 representative stations during 1961 to 2008(Z index)

站点 Stations	重涝 Severe flood	大涝 Heavy flood	偏涝 Slight flood	正常 Normal	偏旱 Slight drought	大旱 Heavy drought	重旱 Severe drought
天镇 Tianzhen	6	13	2	58	10	10	0
朔州 Shuozhou	4	13	2	60	10	4	6
五寨 Wuzhai	6	6	2	63	6	13	4
兴县 Xingxian	6	8	4	65	0	8	8
太原 Taiyuan	6	10	4	63	2	13	2
榆社 Yushhe	6	10	2	58	6	15	2
阳泉 Yangquan	6	8	6	63	2	10	4
侯马 Houma	2	10	4	67	2	10	4
襄垣 Xiangyuan	8	4	10	60	2	13	2
陵川 Lingchuan	4	10	0	63	10	8	4
垣曲 Yuanqu	6	8	4	69	0	6	6
平均 Mean	5.5	9	3.6	62.7	4.6	10	3.8
理论频率 Theoretical frequency	5	10	5	60	5	10	5

表 6 修正的 Z 指数旱涝等级标准

Table 6 Drought and flood grade of modified Z index

等级 Grade	Z 值 Z value	类型 Type	理论频率 Theoretical frequency (%)
1	$Z > 1.645$	重涝 Severe flood	5
2	$1.037 < Z \leq 1.645$	大涝 Heavy flood	10
3	$0.524 < Z \leq 1.037$	偏涝 Slight flood	15
4	$-0.524 \leq Z \leq 0.524$	正常 Normal	40
5	$-1.037 \leq Z < -0.524$	偏旱 Slight drought	15
6	$-1.645 \leq Z < -1.037$	大旱 Heavy drought	10
7	$Z < -1.645$	重旱 Severe drought	5

2.4 区域干旱指标

山西区域干旱指数计算方法:

$$X_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m X_{ij}$$

式中, X_i 为某年第 i 季(年)区域干旱指数; X_{ij} 为 i 季(年) j 站干旱指数; m 为区域内站数, 指标界限值同

表 7 62 站 1961~2008 年冬、春、夏、秋、年各旱涝等级平均出现频率(修正的 Z 指数)

Table 7 Mean frequency of every grade of drought and flood in winter, spring, summer, autumn and year of 62 stations during 1961 to 1968(Modified Z index)

等级 Grade	重涝 Severe flood	大涝 Heavy flood	偏涝 Slight flood	正常 Normal	偏旱 Slight drought	大旱 Heavy drought	重旱 Severe drought
冬 Winter	6	9	14	40	15	11	4
春 Spring	6	9	14	43	15	9	5
夏 Summer	6	10	14	41	14	10	5
秋 Autumn	6	11	13	37	18	12	3
年 Annual	6	9	14	42	14	10	5

表 6。

3 山西干旱的空间分布及多时间尺度变化特征

3.1 年、各季干旱出现年份基本特征

表 8 是根据山西区域干旱指数及指标所确定的近 48 a 来年、各季干旱年份。可以看出,就山西年平均而言,近 48 a 来,山西出现一年重旱,为 1965 年;出现 4 年大旱,为 1972、1986、1997、2001 年;出现 3 年偏旱,为 1974、1991、1999 年。可见山西重旱年出现在 20 世纪 60 年代中期,而大旱和偏旱年大部分出现在 20 世纪 80 年代中期以后。随着全球气候变暖,山西 20 世纪 80 年代末气候呈变暖趋势^[7],山西干旱也在加剧,这与华北地区 20 世纪 80 年代以后的干旱时段相对应^[4]。冬、春季重旱年分别出现在 20 世纪 60 年代初和 90 年代末到 21 世纪初,而夏、秋季重旱年均出现在 90 年代末期;各季大旱、偏

旱年份主要出现在 60 年代中后期和 80 年代以后。进一步分析可知,春夏、夏秋连旱,或夏季、秋季重旱、大旱是造成山西严重干旱年的重要原因。如 1965 年山西重旱是夏、秋连续大旱造成,1972、2001 年大旱则是春夏连旱造成,而 1986 年大旱是夏秋连

旱造成,1997 年大旱是夏季重旱造成。这 5 年是山西 20 世纪 60 年代以来典型的旱灾年份,给山西农业生产造成了重大损失,对人民生活也造成重大影响。

表 8 山西各季、年重旱、大旱、偏旱年份

Table 8 Seasonal and annual severe, heavy, slight drought years in Shanxi province

旱灾年型 Drought type	冬 Winter	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	年 Annual
重旱年份 Severe drought year	1963, 1999	1962, 2001	1997	1998	1965
大旱年份 Heavy drought year	1968, 1983, 1984	1972, 1981 1995, 2000	1965, 1972 1986, 1991	1965, 1979 1986, 1988	1972, 1986 1997, 2001
偏旱年份 Slight drought year	1965, 1981, 1986 1988, 1992, 1994 1996	1968, 1974, 1996	1968, 1974, 1999 2001, 2002, 2008	1966, 1970, 1977 1981, 1982, 2004 2006	1974, 1991, 1999

3.2 山西省干旱的空间分布特征

对山西省 62 个台站 1960 ~ 2008 年的年、四季干旱指数分别进行经验正交函数分解(EOF),其载荷向量能较好地反映全省干旱指数的空间分布特征。从年及四季干旱指数 EOF 分析的前 5 个特征向量的累积方差贡献率看(表略),均达到 75%或以

上,特别是秋、冬季达到 85% 以上;EOF 的第一特征向量表征了干旱指数场最主要的空间分布特征,其解释的方差贡献率除夏季略小于 50% 外,其它均在 50% 以上。图 1 给出了年、四季干旱指数 EOF 第一特征向量(EOF - 1)的空间分布特征。

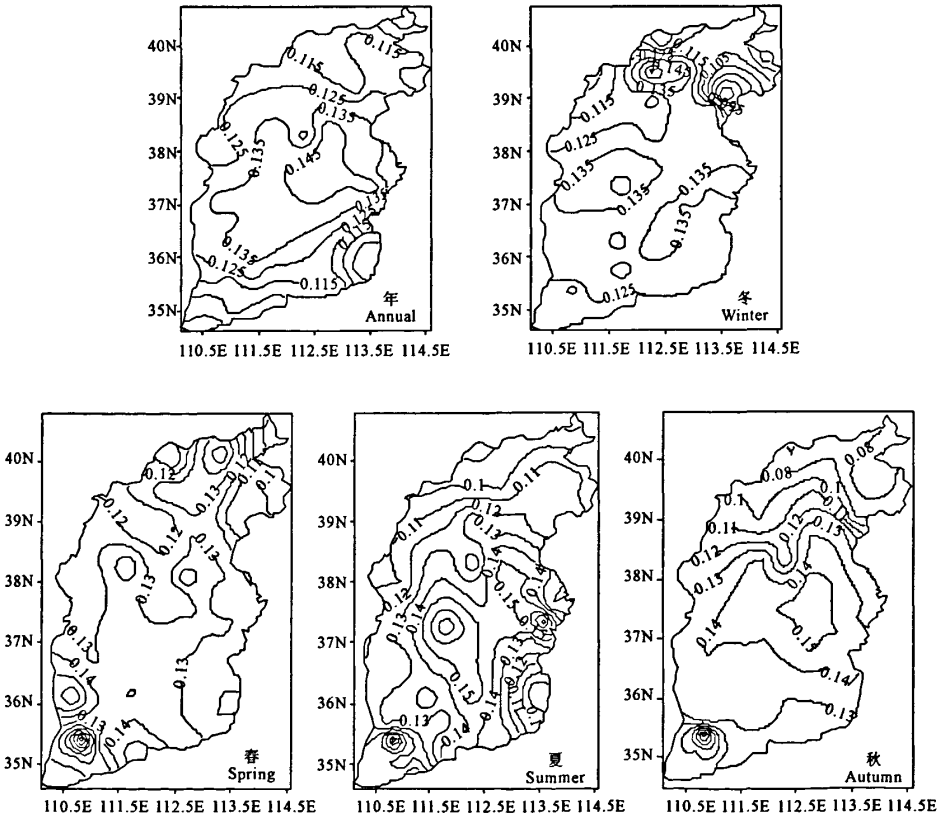


图 1 1961 ~ 2008 年 62 站年、冬、春、夏、秋 Z 指数 EOF 第一特征向量空间分布

Fig.1 The spatial distribution of EOF - 1 on annual and seasonal Z index from 1961 to 2008 for 62 stations

该向量场年、四季的空间分布均为正值,反映了大多数年份全省年、四季干旱指数变化整体具有一致性,呈现全省性的年或季节干旱或雨涝。第一模态年、冬、春、夏、秋的空间变率最大中心分别位于山西省中部的太原、忻州、晋中,西北部朔州,北部大同,中部太原、晋中,中东部太原、阳泉、晋中区域,是年、冬、春、夏、秋的全省整体干旱型(或雨涝型)的代表区。这反映出受大的大气环流异常的影响,山西省干旱出现的最大概率是全省趋于整体一致的年或季节干旱。

图2是年干旱指数 EOF 第二特征向量(EOF-2)的空间分布图,可以看出,其呈南北反位相的分布特征,0线呈东西向从山西中部穿过,大值区在山西西北部朔州,小值区在山西临汾、晋城南部,这些区域是这一南北反向分布的代表地区。从各季干旱指数 EOF 第二模态的空间分布看(图略),也呈反位相变化,0线均呈东西向从山西中部穿过。可见山西各季、年有时会出现南涝(旱)北旱(涝)的降水分布。

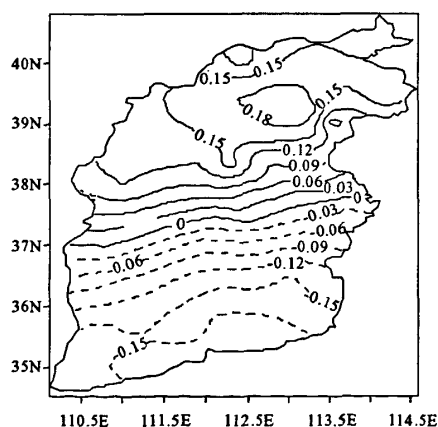


图2 1961~2008年62站年Z指数 EOF 第二特征向量空间分布

Fig.2 The spatial distribution of EOF-2 on annual Z index from 1961 to 2008 for 62 stations

3.3 山西干旱的多时间尺度特征

3.3.1 年、各季干旱指数的多时间尺度特征 为了分析年及各季干旱指数的多时间尺度分布特征及周期震荡,我们对山西省62站48 a年及各季Z指数 EOF 分析第一特征向量(EOF-1)对应时间系数做小波分析。从图3a可以看出,就年干旱指数而言,从年代际尺度看,山西经历了3个干期,分别出现在20世纪60年代末期到70年代中期,80年代初期到末期,90年代中期到21世纪初,并且20世纪60年代~90年代中期,干旱指数的14 a周期变化比

较明显。从10 a以下尺度看,20世纪60年代到70年代中期,2~3 a左右周期变化最显著,70年代中期后90年代末,有6 a左右的弱周期,其后是4 a左右的弱周期,且干旱强度变化幅度在增大,说明90年代末以来干旱出现的频率和强度在增加。

从各季小波变换平面图比较看,1961~2008年,山西冬季(图3b)同样存在3个干期,分别出现在20世纪60年代初到70年代初,80年代初期到中后期,90年代中期到21世纪初,与整年相比,各干早期开始得早,结束得也早,且存在14~16 a显著的变化周期,干旱强度变化幅度是四季中最显著的,且后两个干期振幅加大。从10 a以下尺度看,冬季干旱指数还存在3年左右的变化周期。

春季(图3c),从年代际尺度看,1961~2008年,山西有2个干期,出现在70年代到80年代初以及90年代中期到21世纪中期,干旱指数存在23 a左右的弱变化周期。从10 a以下尺度看,20世纪60~90年代,干旱指数变化存在6~7 a变化周期,21世纪以来,有4 a左右周期震荡。

夏季(图3d),年代际尺度变化与年基本一致,并存在14年左右弱周期变化。10 a以下尺度上,20世纪60年代到70年代末,存在2~3 a周期变化,之后到90年代末存在6~7 a周期变化,90年代末以来,3~4 a周期比较显著。

秋季(图3e),从年代际尺度看,是四季中干旱强度变化幅度最弱的季节,年代际周期变化不显著。从10 a以下尺度看,20世纪60年代到70年代初有较明显的6 a左右周期,之后为8~9 a显著周期变化。

3.3.2 山西省干旱强度的突变检验 用MK方法对62站年、四季干旱指数 EOF 第一特征向量对应时间系数进行要素突变检验,图4中两条平行线是显著性水平 $\alpha=0.05$ 时, $U_{\alpha}=\pm 1.96$ 的临界值。从图中可以看出,冬、春季干旱指数变化不显著;夏季UF总体为下降趋势,秋季20世纪60年代到90年代为下降趋势,21世纪以来呈现上升趋势,但均不显著。从年UF变化曲线看,20世纪60年代以来UF变化曲线总体为下降趋势,并从80年代后期呈现明显下降趋势,特别是90年代后期以来,UF变化曲线一直处于-1.96以下,干旱指数下降显著。进一步分析可知(图5),年干旱指数在1977年后发生突变,山西进入持续干期。这正是山西80年代以来气温持续变暖,干旱化加剧的气候背景。

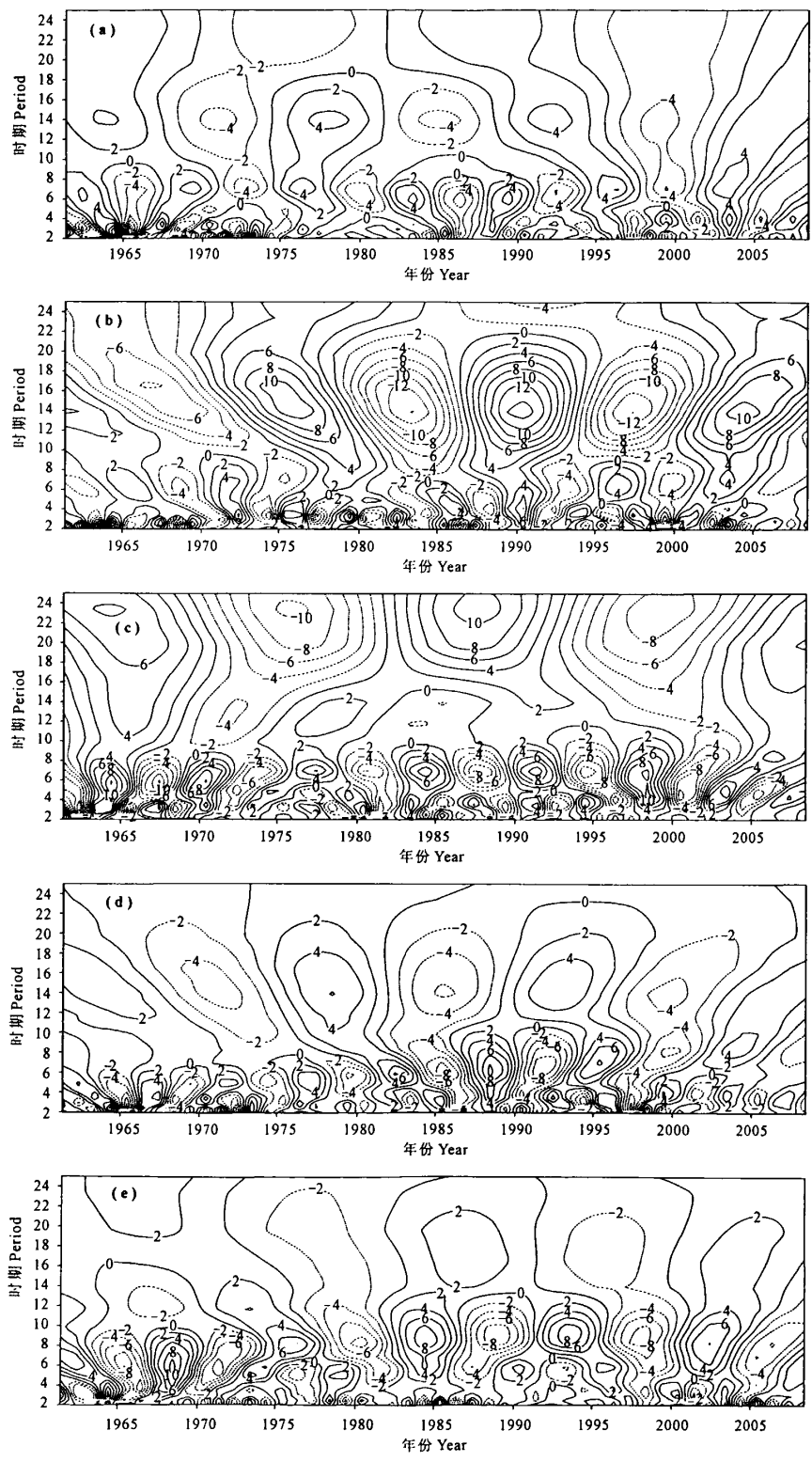


图 3 EOF 第一特征向量对应时间系数小波变换平面图:年(a)、冬(b)、春(c)、夏(d)、秋(e)

Fig.3 The wavelet transform plane of time coefficient of EOF-1: Annual(a), winter(b), spring(c), summer(d), autumn(e)

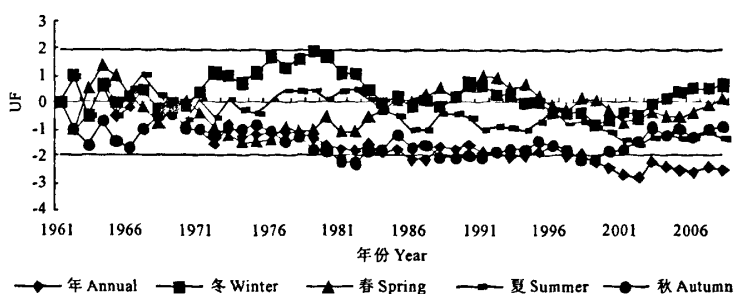


图4 第一时间系数 MK 检验 UF 值

Fig.4 The UF value of MK test on the time coefficient of EOF-1

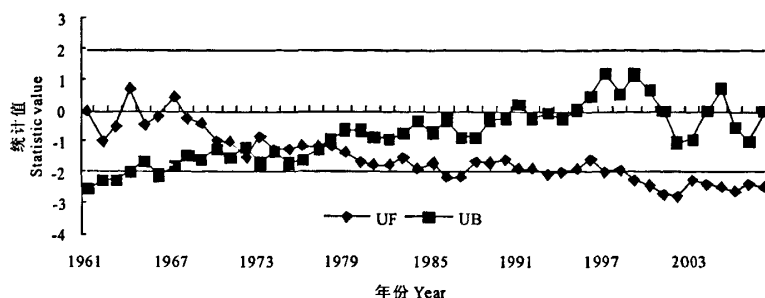


图5 年 Z 指数第一特征向量对应时间系数 MK 检验

Fig.5 The MK test on the time coefficient of EOF-1 for annual Z index

4 总结

1) 本文所确定的山西单站季、年干旱指标各等级概率接近理论概率,且分布合理,可以较好地表征山西干旱强度状况。

2) 近48年来,山西出现1年重旱、4年大旱、3年偏旱,重旱年出现在20世纪60年代中期,而大旱和偏旱年大部分出现在20世纪80年代中期以后。冬、春季重旱年分别出现在20世纪60年代初和90年代末到21世纪初,而夏、秋季重旱年均出现在90年代末期;各季大旱、偏旱年份主要出现在60年代中后期和80年代以后。春夏、夏秋连旱,或夏季、秋季重旱、大旱是造成山西严重干旱年的重要原因。

3) 山西干旱空间分布特征,最常见的是全省一致干旱型,其次是南涝(旱)北旱(涝)的空间分布。

4) 近48年来,从年代际尺度看,山西年及冬、夏季存在3个干期,年和夏季干期出现时间基本一致,冬季干期与夏季相比,各干旱期开始得早,结束得也早,且存在14~16 a显著的变化周期。春季则有两个干期,秋季年代际变化不显著。从10 a以下尺度看,春、夏、秋季都存在6~7 a、冬、春、夏都存在3~4 a的显著变化周期。

5) 夏、秋干旱指数的减少是年干旱指数持续减

少的直接原因,1977年后,年干旱指数发生突变,山西进入持续干期,这一变化与华北区域是一致的^[4]。

参考文献:

- [1] 魏凤英,曹鸿兴.华北干旱异常的地域特征[J].应用气象学报,1998,9(2):205—211.
- [2] 孙安键,高波.华北平原地区夏季严重旱涝特征诊断分析[J].大气科学,2000,24(3):393—402.
- [3] 魏凤英,张京江.华北地区干旱的气候背景及其前兆信号[J].气象学报,2003,61(3):354—363.
- [4] 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.
- [5] 张庆云,卫捷,陶诗言.近50年华北干旱的年代际和年际变化及大气环流特征[J].气候与环境研究,2003,8(3):307—318.
- [6] 荣艳淑,段丽瑶,徐明.华北地区1972年和1997年干旱特征及其影响系统分析[J].海河大学学报,2007,35(6):643—646.
- [7] 赵桂香,赵彩萍,李新生,等.近47年来山西省气候变化分析[J].干旱区研究,2006,23(3):500—505.
- [8] 曹鸿兴,李月洪,魏凤英.我国短期气候变化及成因研究[M].北京:气象出版社,1996:49—50.
- [9] 施能.气象科研与预报中的多元分析方法[M].北京:气象出版社,2002:205—217.
- [10] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:气象出版社,2007:106—112,69—72.
- [11] 鞠笑生,杨贤为,陈丽娟,等.我国单站旱涝指标确定和区域旱涝级别划分的研究[J].应用气象学报,1997,8(1):26—32.
- [12] 黄嘉佑.气象统计分析与预报方法[M].北京:气象出版社,2004:25—27.

(英文摘要下转第264页)

- 1063—1071.
- [3] 余晓珍. 美国帕尔默旱度模式的修正和应用[J]. 水文, 1996, (6).
- [4] 黄妙芬. 黄土高原西北部地区的旱度模式[J]. 气象, 1990, 17(1): 23—27.
- [5] 冯建民, 梁旭, 张智. 宁夏旱涝灾害动态监测指标及其应用[J]. 干旱区资源与环境, 2003, 17(6): 71—77.
- [6] 同海丽. 陕西省干旱特征与抗旱对策及应急供水[J]. 地下水, 2005, 27(4): 232—233.
- [7] 刘庚山, 郭安红, 安顺清, 等. 帕尔默干旱指标及其应用研究进展[J]. 自然灾害学报, 2004, 13(4): 21—26.
- [8] Guttman N B. Comparing the palmer drought index and the standardized precipitation index[J]. Journal of American Water Resource Association, 1998, 34: 113—121.
- [9] 张强. 华北地区干旱指数的确定及其应用[J]. 灾害学, 1998, 13(4): 34—38.

Research on application of Palmer drought model in Jinghuiqu irrigation area

LIU Zhao¹, YAN Ai-ling², QIAO Chang-lu¹

(1. Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710064, China;

2. Department of Water Resources of Shaan'xi Province, Xi'an, Shaanxi 710004, China)

Abstract: Based on long series of hydrology and meteorology data of Jinghuiqu irrigation district at the dry area of north bank of the Weihe River, Palmer drought model suitable for the area was developed by undetermined coefficient method and regression method. Then the drought model was applied for drought characteristic analysis of Jinghuiqu irrigation district, and the frequency of different degree of drought and its distribution in a year was given, and some valuable conclusion was drawn. For example, a severe drought could be arise in winter irrigation period and spring irrigation period, and the drought trend of the irrigation area was also proved. All these results are coincident with actual drought situation of the irrigation area for many past years. Therefore, the Palmer drought model developed for the irrigation area was correct, with a definite physical meaning and can reflect the drought characteristics of the area.

Keywords: drought; Palmer drought model; drought index; Jinghuiqu irrigation area

(上接第 247 页)

Study on the determination of meteorological drought index and drought climate changes in Shanxi Province

ZHOU Jin-hong^{1,2}, LI Li-ping², QIN Ai-min³

(1. Atmospheric Science Institute, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing, Jiangsu 210044, China;

2. Taiyuan Meteorological Bureau, Taiyuan, Shanxi 030082, China; 3. Shanxi Meteorological Bureau, Taiyuan, Shanxi 030002, China)

Abstract: Based on 62 meteorological stations' seasonal and annual precipitation data during 1961 ~ 2008 in Shanxi Province, three meteorological drought indexes are compared and Z index is modified, so seasonal and annual drought indexes for certain stations and Shanxi area are established. The research results show that there is one year of severe drought, four years of heavy drought and three years of slight drought in recent 48 years in Shanxi; The year of severe drought emerged in the mid 1960s, while most of years of heavy and slight drought emerged after the mid 1980s; The years of severe drought in winter and spring emerged separately in the early 1960s and in the late 1990s to the early 21st century, while years of severe drought in summer and autumn emerged in the late 1990s. Uniformly drought is the most common for the special distribution of seasonal and annual drought in Shanxi; The emergence of seasonal and annual drought has not only obvious inter-decadal changes but also significant inter-annual changes. In the recent 48 years, annual drought index in Shanxi presented a significantly downward trend, and an abrupt change emerged after 1977, then the climate in the province has been entering a continuous dry period.

Keywords: meteorological drought index; inter-decadal changes; inter-annual changes; Shanxi