

近 37 年甘肃省夏季旱涝特征分析

王 燕^{1,2}, 王润元^{1,2}, 王毅荣¹, 王鹤龄¹

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室, 甘肃 兰州 730020; 2. 兰州交通大学环境与市政工程学院, 甘肃 兰州 730070)

摘 要: 选取甘肃省 61 个气象站 1965~2001 年共 37 a 夏季(6~8 月)逐日降水资料, 应用正态化 Z 指数变换, 对甘肃省夏季降水进行了旱涝等级划分, 并应用 EOF、REOF、Maxican hat 小波分析等方法对旱涝发生的空间分布和时间演变规律进行了研究。结果表明, 就整个夏季而言, 干旱出现机率明显高于雨涝; 6~7 月旱涝机率均等, 7~8 月较重干旱的出现机率明显高于较重雨涝。甘肃省夏季旱涝主要存在 3 种变化模态, 并可将旱涝分为 5 个敏感区。甘肃省旱涝从 26a 以上尺度范围看呈干旱化趋势, 旱涝准 4a 周期在各个年代均比较显著。

关键词: 夏季旱涝; 等级评定; 空间分布; 时间演变; 甘肃省

中图分类号: S422; S423 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)03-0214-07

近百年来, 全球气候正经历一次以变暖为主要特征的显著变化。IPCC 第四次评估报告指出, 近百年来(1906~2005)全球气温上升了 0.74°C, 并预测 21 世纪末, 全球地表平均增温 1.1°C~6.4°C^[1]。全球变暖可能导致西北地区降水增加^[2,3], 但由于气候变暖可能导致蒸发加强, 进而导致干旱化的发展和加剧^[4]; 另有研究表明, 在全球变暖的背景下, 陇东黄土高原土壤呈干旱化趋势, 源于此处降水的逐年减少^[5,6]。正确认识全球气候变暖背景下区域旱涝规律和特征, 对于协调区域经济发展和人类生存环境的关系, 促进区域社会经济与生态环境建设具有重要意义。

众多学者从大尺度范围对甘肃的旱涝特征做了研究。20 世纪 80 年初罗哲贤等人^[7]对甘肃省近 500 a 旱涝周期特征进行了分析, 姚辉等人^[8]将甘肃省历史旱涝资料延续至 520 a(1470~1989), 对甘肃省近 520 a 旱涝特征及其频率变化进行了研究, 韦志刚^[9]等人对甘肃省中东部地区近 520 a 旱涝演变中的突变现象进行了研究, 徐国昌等人^[10]、韩永翔等人^[11]将甘肃省旱涝资料延续至 525 a(1470~1995)^[11], 对甘肃省近 525 a 的旱涝气候背景进行了研究。这些研究为我们提供了甘肃省近五百多年来的气候背景、旱涝演变规律、旱涝突变点及旱涝特征, 对甘肃旱涝特征分析积累了大量有意义的经验和结论。但是, 限于器测气候数据资料年代较短(甘肃器测纪录自 20 世纪 30 年代起), 这些研究基于历

史旱涝资料, 分辨率不高, 这是大尺度气候研究不能避免的缺陷, 而中小尺度气候研究在这方面具有优势。

在全球气候变暖、特别是上个世纪后半叶变暖异常突出的背景下, 作为西北区极其重要的一个农业区域, 甘肃省夏季旱涝从中小尺度范围又如何响应? 这一问题的研究工作并不多见, 本文对此进行了研究。

1 资料与方法

1.1 资料选取

选取甘肃省 1965 年以前建站的数据比较齐全的 61 个地面观测站逐日降水资料, 它们较为均匀地分布在甘肃省境内, 资料年代为 1965~2001 年共 37 a(图 1)。

1.2 方法

气象中旱涝现象的识别有很多标准^[12]。学者在确定旱涝标准方面已做过许多工作^[13~15]。由于各地的地理位置、下垫面情况以及人类活动影响等因素的不同, 无论哪一种旱涝指标都有一定的局限性^[15]。

鉴于甘肃的气候状况, 本文采用张存杰^[9]提出的西北地区 Z 指数分级标准(表 1)来评估甘肃夏季旱涝等级(表 2, 表 3)。具体做法是, 首先分别计算各测站夏季月降水量, 对月降水量作标准化处理后进行 Z 值变换:

收稿日期: 2008-12-20

基金项目: 科技部科研院所社会公益研究专项(2005DIB3J100)再资助项目; 甘肃省自然科学基金(3ZS061-A25-010)

作者简介: 王 燕(1974-), 女, 甘肃武威人, 在读硕士, 主要从事气候变化与气象灾害方面的研究。E-mail: wangyan0935@126.com。

$$Z_i = \frac{6}{C_s} \left[\frac{C_s}{2} Y_i + 1 \right]^{1/3} - \frac{6}{C_s} + \frac{C_s}{6}$$

式中, $Y_i = \frac{R_i - R}{S}$ 为夏季月降水量的标准化值, R_i

为夏季月降水量, R 为均值, $S = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (R_i - R)^2}$

为均方; $C_s = \frac{\sum_{i=1}^N (R_i - R)^3}{nS^3}$ 为偏态系数。

利用上式对原降水量进行 Z 值变换后获得服从正态分布的标准化序列, 并依据表 1 进行旱涝等级划分。

由于 EOF、REOF 在提取气象场优势信号、反映气象场空间分布特征等方面有独到之处, 在探讨甘肃旱涝灾害的空间异常特征时, 我们对各测站旱涝等级作了 EOF、REOF 分析。

由于小波分析在时域和频域上同时具有良好的局部性质, 可以分析出时间序列周期变化的局部特征, 从而能更清楚地看到周期随时间的变化情况, 因此在分析甘肃旱涝时间变化规律时我们采用了小波分析。本文采用的小波变换为:

$$W(\tau, a) = |a|^{-\frac{1}{2}} \int f(t) g\left(\frac{t-\tau}{a}\right) dt$$

式中, τ 是时间参数, 是相对时间 t 做了长度为 τ 的平移; $1/a$ 为频率; $g(t)$ 为小波母函数。

Maxican hat 小波变换能有效地揭示原序列的振荡位相^[16], 因此本文采用 Maxican hat 小波母函数, 其解析式为:

$$g(t) = (1 - t^2) \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2}$$

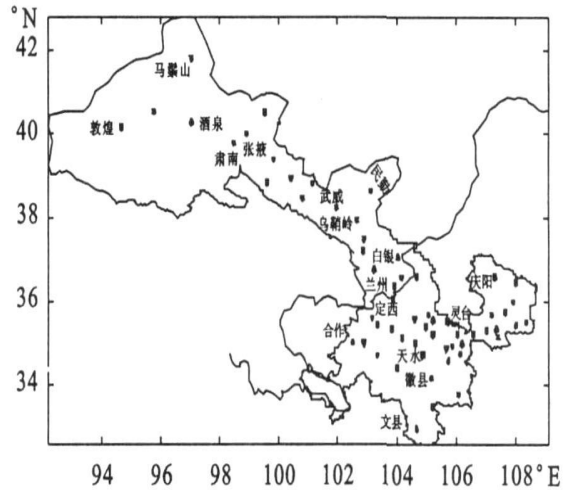


图 1 甘肃省 61 个气象站点分布
Fig. 1 Distribution of 61 observational stations in Gansu Province

表 1 旱涝等级划分

Table 1 Grades of flood and drought by Z-index

旱涝指数 Index of flood and drought	等级 Grades	累计频率(%) Cumulative frequency	类型 Type of flood and drought
$1.654 < Z$	1	>95	大涝 Severe flood
$1.037 < Z \leq 1.654$	2	85~95	涝 Flood
$0.524 < Z \leq 1.037$	3	70~85	偏涝 Relative flood
$-0.524 < Z \leq 0.524$	4	30~70	正常 Normal
$-1.037 < Z \leq -0.524$	5	15~30	偏旱 Relative drought
$-1.645 < Z \leq -1.037$	6	5~15	旱 Drought
$Z < -1.654$	7	<5	大旱 Severe drought

2 甘肃省夏季旱涝等级评定

表 2 和表 3 分别给出了近 37 年来甘肃省夏季旱涝的评定等级和旱涝出现的机率, 其中较重雨涝包括涝和大涝, 较重干旱包括旱和大旱, 雨涝包括所有类别的涝, 干旱包括所有类别的旱。

从上述两表我们可以看出, 在 1965~2001 年间就整个夏季而言, 甘肃省干旱出现机率明显高于雨涝。37 年间旱(6 级)、涝(2 级)出现次数相等, 但大旱(7 级)出现次数是大涝(1 级)的 3 倍。这说明甘

肃省夏季旱涝灾害以旱灾为主, 而且一旦出现就有可能是较重干旱(6 级以上)。从夏季各月情况(表 3)看, 6~7 月旱涝机率均等, 雨水特别集中的 7~8 月, 旱涝除具有 6~7 月的特征外, 较重干旱(6 级以上)的出现的机率明显高于较重雨涝(2 级以下), 这一时期的雨涝主要是以偏涝的形式出现, 看来 7~8 月我们更应该关注旱灾给我们带来的影响。另外, 6 月大涝大旱各出现过 3 次, 7 月大涝 2 次, 大旱 1 次, 8 月大涝 1 次大旱 3 次, 而大旱各月均出现过 2 次。综上所述, 甘肃省夏季以干旱灾害为主。

表 2 甘肃省夏季(6~8 月)旱涝等级评定表(1965~2001 年)

Table 2 Evaluation about grades of flood and drought in summer (6~8 monthes) in Gansu province

时间 Time	大涝 Severe flood	涝 Flood	偏涝 Relative flood	偏旱 Relative drought	旱 Drought	大旱 Severe drought
6 月 June	1984	1980	1985	1968	1995	1969
	1994	1986	1996	1974	1998	1982
	2000	1987	—	1975	—	1997
	—	1992	—	1977	—	—
7 月 July	1966	1978	1984	1970 1971	1982	2000
	1979	1993	1988	1972 1973	1991	—
	—	1996	1990	1974 1976	—	—
	—	1999	1998	1977 1983	—	—
	—	—	—	1985 1987	—	—
—	—	—	1994 2001	—	—	
8 月 August	1973	1968	1967	1969	1987	1965
	—	1977	1983	1970	1991	1976
	—	1979	1988	1971	—	1999
	—	1981	1990	1974	—	—
	—	1992	2000	1975	—	—
	—	1995	—	1986	—	—
	—	—	—	1996	—	—
—	—	—	1997	—	—	
6~7 月 June~July	1979	1966	1977	1970	1968	1982
	—	1978	1983	1971	1969	—
	—	1984	1986	1972	1974	—
	—	1993	1988	1973	1991	—
	—	1996	1992	1976	1997	—
—	1999	1994	2000	2001	—	
7~8 月 July~August	1979	1966	1968	1969	1965	1991
	—	1976	1973	1970	1971	—
	—	1978	1984	1972	1974	—
	—	1981	1988	1986	1982	—
	—	1993	1990	1994	1987	—
	—	—	1992	1997	2001	—
	—	—	1995	2000	—	—
—	—	1998	—	—	—	
6~8 月 June~August	1979	1966	1973	1970	1965	1974
	—	1978	1988	1972	1969	1982
	—	1981	1990	1975	1971	1991
	—	1984	1996	1987	1976	—
	—	1992	—	—	1997	—
—	1993	—	—	2001	—	

3 甘肃省夏季旱涝空间分布

对甘肃省 61 个测站旱涝等级作 EOF、REOF 分析。从表 3 给出的旋转前后方差贡献率可以看出，

旋转后的各分量方差贡献比旋转前要均匀分散。前 5 个旋转前和旋转后的向量累计方差分别为 66.9% 和 60.4%，它们能够反映出分解后的主要信息。

表 3 甘肃省 6~8 月旱涝出现的机率(%) (1965~2001 年)

Table 3 The percentage of flood/drought in summer (June~August) in Gansu Province from 1965 to 2001

时间 Time	雨涝 All kinds of flood	较重雨涝 Relatively severe flood	较重干旱 Relatively severe drought	干旱 All kinds of drought
6 月 June	24	19	14	24
7 月 July	27	16	8	41
8 月 August	32	19	14	35
6~7 月 June~July	35	19	19	35
7~8 月 July~August	38	16	19	38
6~8 月 June~August	30	19	24	35

由于 EOF 前 3 个模态的方差贡献率较大,我们给出前 3 个载荷向量场空间分布情况(图 2)。第 1 载荷向量场(图 2a)反映的是甘肃旱涝分布的整体异常情况,全省境内表现为一致的正值,大值中心在甘肃中部的通渭,载荷向量值为 0.871。由于该模态的方差贡献率较大(34.3%),这说明整个甘肃省一般处于同一大尺度天气系统控制之下,表现为全省一致的旱或涝(简称全省一致型)。从气候特征看,由于甘肃地处内陆,受高原和山脉阻挡,水汽输送不足,降水较少,干旱仍是甘肃的首要气候特点。第 2 载荷向量场(图 2b)的空间分布特征为自西北向东南呈“+”、“-”、“+”的变化趋势(简称东南-西北反向型),负值中心在甘肃中部的白银,载荷向量值为-0.618,两个正值中心分别在河西的酒泉和陇东的正宁,载荷向量分别为 0.714 和 0.546。旱涝等级的这种异常分布主要是由甘肃所处的地理位置所决定,一般来说甘肃的水汽主要来源于青藏高原南侧的西南气流,由于青藏高原的阻挡作用加上水汽的长途跋涉,南亚西南季风到达甘肃中部时已经很弱,所以很难到达陇东及河西地区。第 3 载荷向量场(图 2c)中等值线基本呈东南-西北走向,表现为东南(-)与西北(+) 反向变化趋势,分界线大致以渭河为界,以东的负值区包括陇东及陇南地区,大值中心在康县,载荷向量值为-0.482,以西正值区主要包括甘肃中部的兰州、白银以及河西地区,大值中心在鼎新,载荷向量值为 0.592。这种分布与影响甘肃雨季降水的主导系统西太平洋副热带高压有关,当副高位置异常偏西、偏北时,甘肃河西北侧多雨,而东南侧为晴热天气,当副高位置正常西进,冷暖空气在黄河甘肃段一带交汇,时常造成黄河东南侧多雨而河西北侧少雨或无雨。

以上讨论了甘肃省年旱涝等级的总体空间异常结构,可以看出既有一致的方面,也存在明显的东南或西北差异。为了进一步分析不同区域之间的差异,本文在以上主成分分析的基础上,取前 10 个载

荷向量及对应的主成分参加旋转,由前 5 个旋转载荷向量进行空间异常型分析,得到甘肃省旱涝的 5 个主要空间异常区域(旱涝敏感区,参见图 3)。

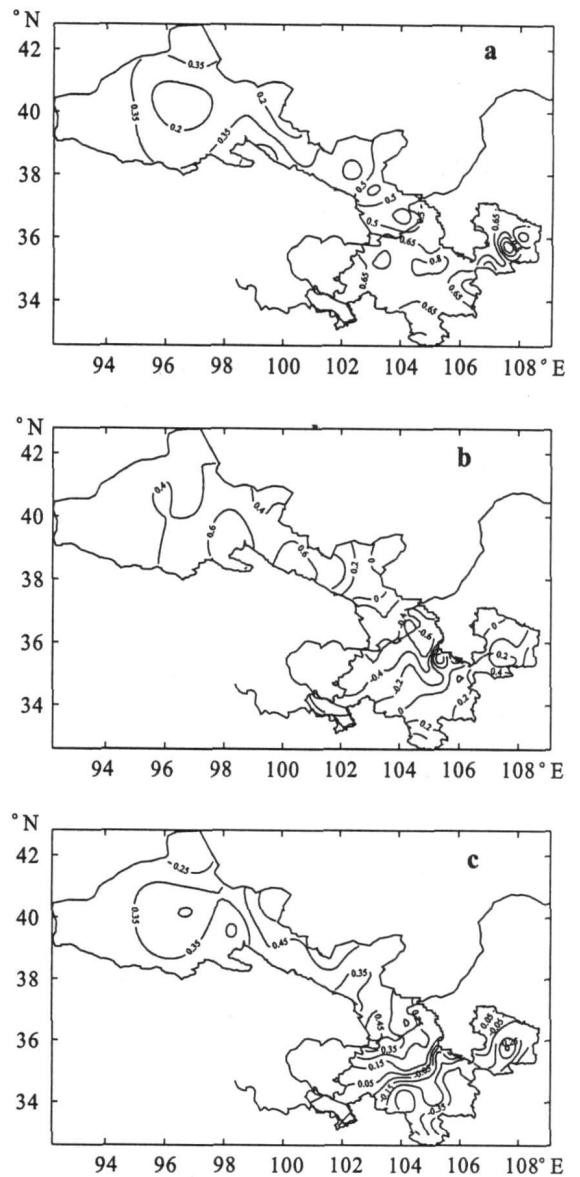


图 2 主成分分解的第 1 载荷向量(a)、第 2 载荷向量(b)、第 3 载荷向量场(c)的空间分布

Fig.2 Distribution of the spatial structures of the first 3 loading vectors (a, b and c)

表 4 前 10 个旋转载荷向量场对总方差的贡献(%)

Table 4 The contribution rate of the first ten rotated load vectors to the whole variance

序号 Number	旋转前 Before rotation		旋转后 After rotation	
	方差贡献率 Variance	累计方差贡献率 Cumulative variance	方差贡献率 Variance	累计方差贡献率 Cumulative variance
1	34.288	34.288	18.015	18.015
2	12.574	46.863	14.517	32.532
3	10.034	56.897	9.384	41.920
4	5.413	62.310	9.384	51.304
5	4.557	66.867	9.145	60.448
6	3.774	70.641	6.298	66.746
7	3.621	74.262	4.378	71.124
8	2.971	77.233	4.086	75.210
9	2.510	79.743	3.650	78.859
10	2.312	82.055	3.196	82.055

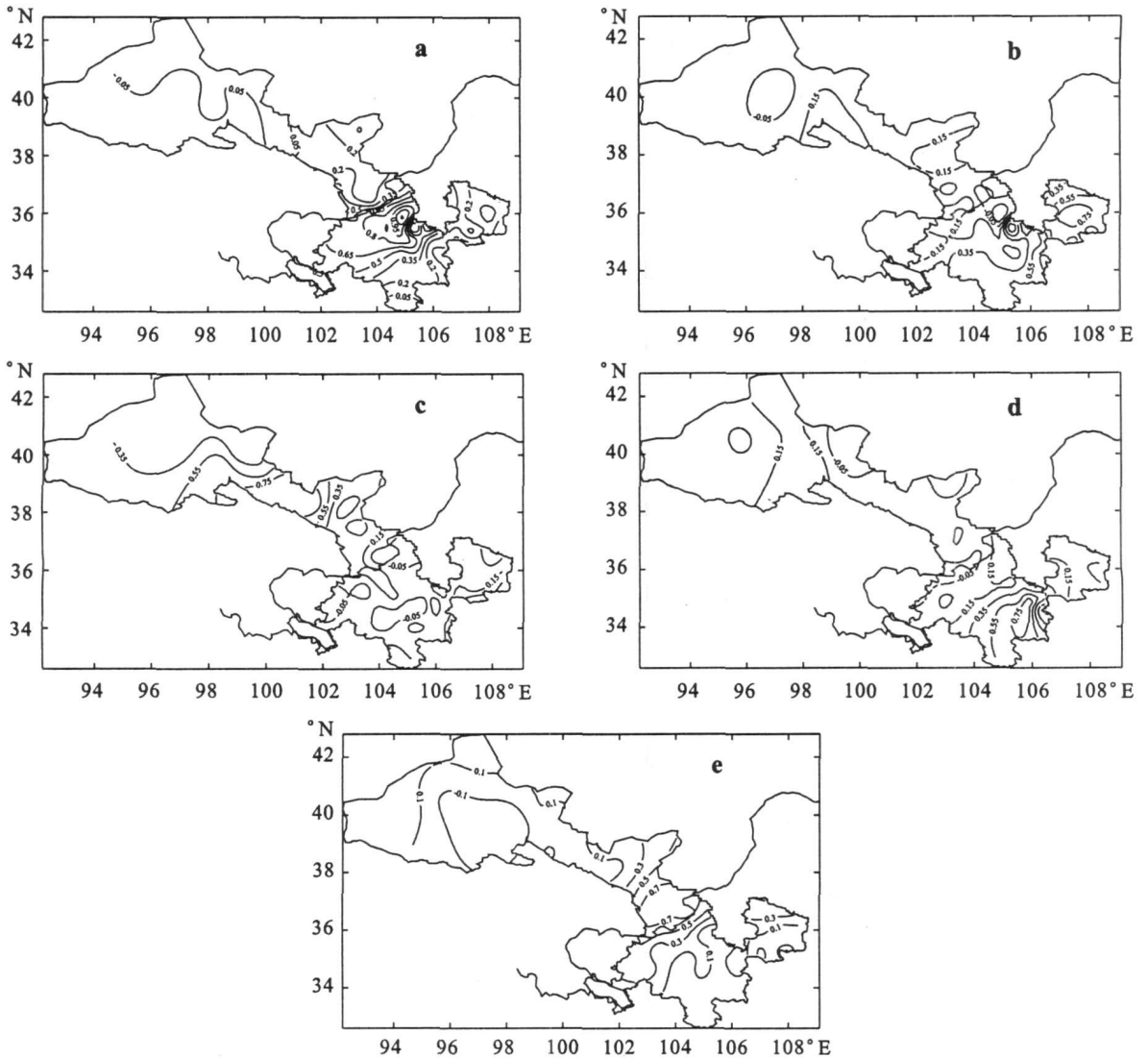


图 3 前 5 个旋转载荷向量场的空间结构分布图

Fig. 3 Distribution of the spatial structures of the first five rotated loading vectors

第 I 区:渭河流域区,旋转载荷向量 RVL 的大值区包括定西、临夏和甘南的一小部分地区(图

3a),大值中心在定西,为 0.917。

第 II 区:陇东区,旋转载荷向量 RVL 的大值区

在庆阳、平凉一带(图3b),大值中心在西峰,为0.837。

第Ⅲ区:河西走廊区,旋转载荷向量RVL的大值区包括武威、张掖及酒泉地区(图3c),大值中心在张掖,为0.893。

第Ⅳ区:陇南区,旋转载荷向量RVL的大值区包括天水、陇南地区(图3d),大值中心在天水,为0.903。

第Ⅴ区:陇中区,旋转载荷向量RVL的大值区在兰州、白银(图3e),大值中心在永登,为0.866。

4 甘肃省夏季旱涝时间演变

由于EOF空间载荷向量场所对应的时间系数代表了该载荷向量场所表征的分布式的时间变化特征,我们取第一载荷向量场对应的时间系数进行小波分析(图4)。

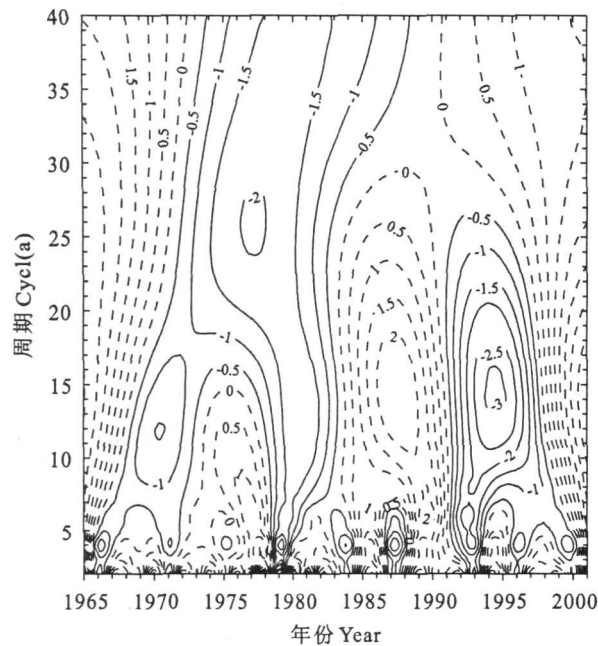


图4 1965~2001年甘肃省旱涝等级小波指数分布

Fig. 4 Wavelet index distribution of grades about flood and drought in Gansu Province in 1965~2001

Maxican hat 小波变换系数等值线在某一时间尺度下过零点的位置对应于该时间尺度下的可能突变点,如果两相邻过零点间的小波系数绝对值小于0.5,该两点不算为突变点^[17]。由图4分析,就大于26 a 时间尺度而言,近37 a 来突变点有2个,对应于由旱变涝的1972年和由涝变旱的1997年;就15 a 时间尺度而言,突变点增加为4个,分别为1970年和1992年(旱变涝)、1984年和1999(涝变旱);当时间尺度为10 a 时,突变点增加为6个,分别为1968、1979年和1992年(旱变涝)以及1974、1985年和

1995年(涝变旱);当时间尺度为4 a 时,情况非常复杂,突变点猛增。由以上分析可知,甘肃省旱涝灾害在不同时间尺度下具有不同的突变点,如果抛开时间尺度来谈论突变意义不大。

由突变点来分析甘肃降水的年代际变化特征。从26 a 以上尺度范围看,近37年来甘肃气候呈干旱化趋势,但从15 a 以下尺度而言,则旱涝交替,呈现“旱—涝—旱—涝—旱”的趋势。

由图4分析,1965~2001年间,甘肃旱涝准4 a 周期在各个年代均比较显著;甘肃旱涝演变还存在11~12 a 左右的次长周期,震荡中心在1970年、1987年和1995年;26 a 左右的长周期也存在,震荡中心在1977年,由于所用资料时间较短,这一周期有待于进一步验证。

5 结论与讨论

1) 就甘肃省整个夏季而言,干旱出现机率明显高于雨涝;6~7月旱涝机率均等,7~8月较重干旱出现的机率明显高于较重雨涝。

2) 甘肃省夏季旱涝主要存在3种变化模式:全省一致型、东南—西北反向型、自西北向东南呈正、负、正变化型,可将旱涝分为5个敏感区:渭河流域区、陇东区、河西走廊区、陇西区和陇中区。

3) 甘肃省旱涝从26 a 以上尺度范围看,近37年来甘肃旱涝呈干旱化趋势,旱涝准4 a 周期在各个年代均比较显著;甘肃旱涝演变还存在11~12 a 左右的次长周期和26 a 左右的长周期。

致谢: 本稿写作过程中得到甘肃省气候中心杨苏华科长及其同科室成员李青燕、郭俊琴、张东方等同志,白银市气象局陈少勇老师,中国气象局兰州干旱气象研究所副研究员王劲松、康凤琴,助理研究员张凯、赵鸿等帮助,图书馆刘萍老师在资料查阅方面提供了帮助,谨致谢意!

参考文献:

- [1] IPCC Summary for Policymakers of Climate Change 2007: The Physical Science Basis Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [2] 施雅风,沈永平,胡汝骥. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨[J]. 冰川冻土, 2002, 24(3): 219-226.
- [3] 施雅风,沈永平,李栋梁,等. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J]. 第四纪研究, 2003, 23(2): 152-164.
- [4] 马柱国,符宗斌,谢力,等. 土壤湿度和气候变化关系研究中的某些问题[J]. 地球科学进展, 2001, 16(4): 563-568.

- [5] 王润元, 杨兴国, 梁东升, 等. 陇东黄土高原土壤水年内年际变化与气候[J]. 地球科学进展, 2007, 22(149): 87-95.
- [6] 王润元, 杨兴国, 张久林, 等. 陇东黄土高原陆面蒸发年际变化与气候[J]. 地球科学进展, 2007, 22(149): 96-103.
- [7] 罗哲贤, 刘德祥, 胡心玲. 甘肃省近五百年旱涝周期特征[J]. 甘肃气象, 1982(试刊): 38-42.
- [8] 姚 辉, 徐国昌. 甘肃省近 520 年旱涝特征及干旱频率变化[J]. 干旱区资源与环境, 1992, 6(1): 68-74.
- [9] 韦志刚, 王宝灵. 甘肃中东部地区最近 520 年旱涝长期演变中的突变现象[C]//谢金南. 中国西北干旱气候变化与预测研究. 北京: 气象出版社, 2000: 79-83.
- [10] 徐国昌, 姚 辉. 中国西部全新世历史气候的变化[J]. 水科学进展, 1991, 2(4): 277-288.
- [11] 韩永翔, 姚 辉, 姚志华, 等. 近 525 年甘肃旱涝的气候背景及早涝趋势研究[J]. 甘肃气象, 2000, 18(3): 17-20.
- [12] 王建林, 林日暖. 中国西部农业气象灾害(1961-2000)[M]. 北京: 气象出版社, 2003: 1-303.
- [13] Kite G W. Frequency and Risk Analysis in Hydrology[M]. Colorado 80522: Water Resources Publication, 1978.
- [14] 吴爱敏, 郭江勇, 王劲松. 中国西北地区伏期干旱指数及干旱分析[J]. 干旱区研究, 2007, 24(7): 227-233.
- [15] 张存杰, 王宝灵, 刘德祥, 等. 西北地区旱涝指标的研究[J]. 高原气象, 1998, 17(4): 381-389.
- [16] 张存杰, 董安祥, 白虎志, 等. 甘肃省河东地区伏旱的小波分析[J]. 应用气象学报, 1998, 9(3): 291-297.
- [17] 邓自旺, 尤卫红, 林振山. 子波变换在全球气候多时间尺度变换分析中的应用[J]. 南京气象学院学报, 1997, 20(4): 505-510.

Study on characteristics of drought-flood in summer in Gansu Province

WANG Yan^{1,2}, WANG Run-yuan^{1,2}, WANG Yi-rong², WANG He-ling²

(1. Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration,

Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Key Open Laboratory of Arid Change and Disaster Reduction of CMA, Lanzhou 730020, China; 2. School of Environmental and Municipal Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Based on the daily precipitation data of 61 meteorological stations in Gansu Province during the period of 1965~2001, the grades of flood-drought in summer (June-August) were evaluated with Z index, the methods of EOF, REOF and Maxican hat wavelet analysis were used, and the characteristics of the spatial anomaly and temporal evolution rule of summer flood-drought in Gansu Province were analyzed. The results showed as follows: firstly, as a whole system, the probability of occurrence of drought in summer was greater than that of flood; for a single month, the frequency of flood was equal to that of drought in June and July, while the frequency of relative severe drought was higher than that of flood in July and August; secondly, there were three models representing the spatial distribution of flood-drought in Gansu, and the province could be divided into five regions of flood-drought sensitivity; finally, the jumping points of flood-drought varied in different temporal scales, there was a increasingly dry trend in the long period of 26 years and a distinct 4-year cycle in very 10-year period.

Keywords: flood-drought in summer; grade of evaluation; spatial distribution; temporal evolution; Gansu Province