

# 湖南省区域干旱模糊评价

张剑明<sup>1,2</sup>, 黎祖贤<sup>3</sup>, 章新平<sup>2</sup>, 张 健<sup>2</sup>, 邵泽峰<sup>4</sup>

(1. 株洲市气象局, 株洲 412003; 2. 湖南师范大学资源与环境科学学院, 长沙 410081;

3. 湖南省气象局, 长沙 410007; 4. 湖南省高速公路管理局, 长沙 410005)

**摘 要:** 本文采用湖南省 80 个地面气象站点 1970–2005 年的月降水、蒸发资料, 河道来水量资料和农作物受旱面积资料, 运用模糊综合评价、M–K 突变及小波分析等方法分析了湖南省 36 年来区域干旱的时间变化特征。选用降水距平百分率、蒸发降水比、河道来水量和农业受旱面积组成区域干旱评级指标体系, 将干旱分为由湿润到特大干旱 9 个等级, 建立模糊综合评价模型, 确定旱涝的等级。在 1970–2005 年期间, 特大干旱年共发生了 5 年, 严重干旱年发生了 2 年, 中等干旱年发生了 6 年, 轻度干旱发生了 3 年。过去 36 年湖南省综合干旱指标呈微弱增加趋势, 其中 1970 年代和 1990 年代处于湿润时期, 1980 年代处于干旱时期, 进入 21 世纪后有变干的趋势。综合指标于 1990 年代初有一个由干向湿的转变过程, 且存在 3 年、6 年和 16 年三个时间特征尺度。2005 年之后小波系数仍将是负值, 表明未来若干年湖南将仍处于干旱期, 之后可能进入一个湿润期。

**关 键 词:** 湖南省; 干旱; 模糊评价; 变化趋势

## 1 引言

旱灾涉及面广、后续和潜在危害大, 干旱已经成为影响面最广、造成经济损失最大的自然灾害<sup>[1]</sup>。然而长期以来对于干旱没有一个统一定义, 存在着不同的理解<sup>[2–3]</sup>。美国气象学会在总结各种干旱定义的基础上将干旱分为 4 种类型: 气象干旱、农业干旱、水文干旱和社会经济干旱。干旱的评价方法也随干旱的不同划分而不同, 有区域旱涝指数(DAI/FAI)法<sup>[4]</sup>、湿润度和干旱度指标法<sup>[5]</sup>、PDSI 干旱指标法<sup>[6]</sup>、供需水关系指标法<sup>[7]</sup>等等。这些对干旱的各种评价方法, 存在评价主体片面、评价指标单一的问题, 若用来对区域进行干旱评价, 不能反映城市生活、工业、农业、环境等各方面的缺水状况。

模糊综合评判法是 20 世纪 60 年代扎德教授创立了模糊数学之后, 逐渐发展起来的一种评价方法<sup>[8–9]</sup>。它把模糊数学理论应用到判别事物优劣、等级等领域。由于区域干旱的影响因素众多, 综合多方面对区域干旱进行整体评价难免带有模糊性和主观性, 因此适合用模糊概念来分析这个问题。运用模糊综合评判法建立模型评价区域干旱状况, 方法比较简单, 只要把观测到的数据输入到模型中,

通过运算, 就能获得直观的评价结果。

湖南省几乎年年发生旱灾, 即使是大水年也同样经常会出现干旱, 只是范围不同, 程度不一。干旱缺水已成为制约湖南省社会经济可持续发展重大因素。因此, 全面正确评价干旱时间变化特征, 成为应对干旱、保障社会经济可持续发展的当务之急。

## 2 资料与方法

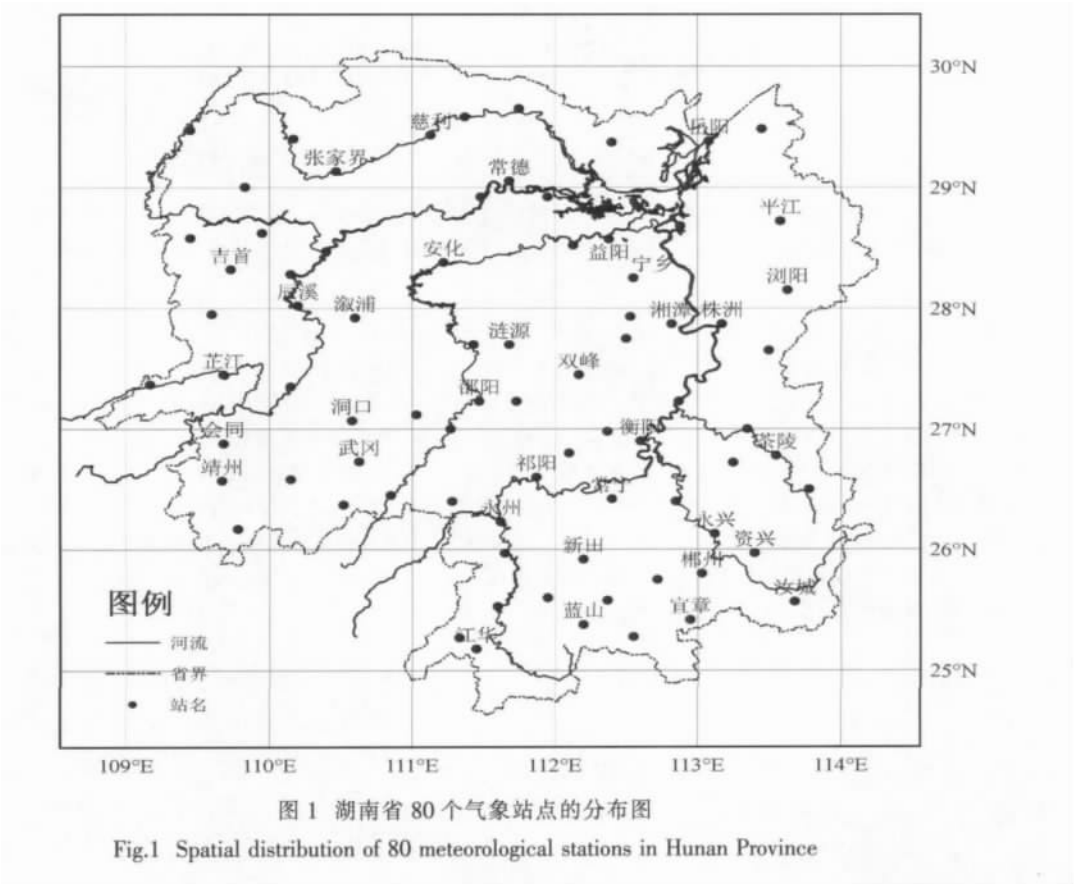
### 2.1 资料来源

本文选用湖南省 80 个地面气象站点 (图 1) 1970–2005 年降水和蒸发资料, 湘、资、沅、澧四水控制站年径流量资料及农作物受灾面积和播种面积资料。对个别站点缺测月的降水和蒸发采用克里金(Kriging)插值进行了插补<sup>[10–11]</sup>。部分台站于 1990 年代中期由小型蒸发器换装成 E–601B 蒸发器进行观测, 为了将两种不同蒸发器观测资料衔接使用, 本文用《小型蒸发器对 E–601B 蒸发器的折换系数》<sup>[12]</sup>进行换算。由于蒸发量是用小型蒸发器测得的, 不能代表实际的蒸散量, 但是还是能反映区域干湿的变化。因此本文采用蒸发量资料评价区域干旱, 还是具有一定意义的。

收稿日期: 2008–12; 修订日期: 2009–02.

基金项目: 国家自然科学基金项目(40871094; 40871043); 湖南省重点学科建设项目。

作者简介: 张剑明(1982–), 男, 湖南长沙人, 硕士研究生, 主要从事环境演变与自然灾害研究。E-mail: zhaolanxiai@sina.com



2.2 研究方法

Mann–Kendall 方法是一种非参数检验方法<sup>[13]</sup>。对具有  $n$  个样本量的时间序列  $x$ , 构造一秩序列

$$S_k=\sum_{i=1}^k r_i \quad (k=1,2,\cdots,n) \tag{1}$$

式中：秩序列是第  $i$  时刻数值大于  $j$  时刻数值个数的累计数。

在时间序列随机独立的假定下,定义统计量

$$UF_k=\frac{S_K-E_{(sk)}}{\sqrt{Var_{(sk)}}} \quad (k=1,2,\cdots,n) \tag{2}$$

式中： $E_{(sk)}=k(k+1)/4$ ,  $Var_{(sk)}=k(k-1)(2k+5)/72$ 。

这里  $UF_i$  是标准正态分布，它是按时间序列  $x$  顺序  $x_1,x_2,\cdots,x_n$ , 计算出的统计量序列, 给定显著性水平  $\alpha$ , 查正态分布表, 若  $|UF_i|>U_\alpha$ , 则表明序列存在明显的趋势变化。

按时间序列  $x$  逆序  $x_n,x_{n-1},\cdots,x_1$ , 重复上述过程, 同时使  $UB_k=-UF_k,k=n,n-1,\cdots,1,UB=0$ 。如果  $UF_k$  和  $UB_k$  焦点位于置信线之间, 而  $UF_k$  线随后超过置信线, 交点被认为有突变发生。

由小波分析可以分析出时间序列周期变化的局部特征, 能更清楚地看出各周期的变化情况<sup>[14-15]</sup>。

Morlet 小波是常用的复数形式的小波函数, 其表达式为:

$$\varphi(x)=\pi^{-1/4}e^{-x^2/2}e^{icx} \tag{3}$$

其小波变换形式为:

$$\omega_{a,b}=\int_{-\infty}^{\infty} f(x)\frac{1}{\sqrt{a}}\overline{\phi(\frac{x-b}{a})}dx \tag{4}$$

式中： $\omega_{a,b}f(x)$  为一个信号平方或平方可积函数； $a>0$  为分辨尺度； $b\in R$  为平移因子；“—”表示共轭，一维连续小波变换将一维信号变换到由尺度参数  $a$  和平移参数  $b$  所构成的小波平面上。小波系数模、小波系数实部是 Morlet 小波变换得到的最重要的变量。小波系数模的大小表示特征时间尺度信号的强弱, 其模值越大, 表明其所对应的时段和尺度周期性越明显。Morlet 小波变换系数的实部可以用来判别气候资料序列中所包含的不同时间尺度降水的结构。模糊综合评价是以模糊数学为基础, 应用模糊关系合成的原理, 通过构造等级模糊子集把反映被评价目标的模糊指标进行量化 (即确定隶属度), 利用模糊交换原理对各指标总和。即按照确定隶属度函数的一般原则, 给出单个因素对评价结果的影响程度的隶属函数，并得出其隶属度向量, 在

将所有因素的隶属度向量组合成模糊关系矩阵,将此矩阵与权重分配向量进行复合运算,就可得到最终的评价结果。

依据模糊数学中关于综合评价的模糊数学模型,建立干旱模糊综合评价模型如下。

设  $X$  为影响干旱的各因素组成的向量,  $X=(x_1, x_2, \cdots, x_n)$ ,  $n$  为影响因素的个数;干旱评价结果的评语集合为  $V=\{v_1, v_2, \cdots, v_m\}$ ,  $m$  为干旱等级的分级数。

单因素隶属向量的确定:对于  $X$  中的任一影响因素  $x_i$ ,按照常用的模糊分布中的梯形分布确定其隶属函数,计算出  $x_i$  对各干旱等级  $v_j$  的隶属度,构成  $x_i$  的干旱等级隶属度向量。 $r_i=(r_{i1}, r_{i2}, \cdots, r_{im})$  (5)

式(5)中  $r_{ij}(i=1,2,\cdots,n, j=1,2,\cdots,m)$ 表示第  $i$  个影响因素隶属与第  $j$  分级的隶属度。

将各影响因素干旱等级隶属度向量组成的综合评价矩阵  $R$ ,  $R$  的表达式为(6)。

$$R=\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \cdots & \cdots & \ddots & \cdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

(6)

权重向量的确定:由于各影响因素间关系不是十分明显,本文采用适用范围较广的主观赋权法,设  $A$  为各因素权重组成的向量,采用专家打分得到  $A=(a_1, a_2, \cdots, a_n)$ 。将权重向量  $A$  与综合评价矩阵  $R$  进行复合运算,可得(7)。

$A \times R = W$

(7)

(7)中复合向量  $W=(w_1, w_2, \cdots, w_n)$ ,  $W$  为干旱程度综合评价向量。向量  $W$  中的元素  $W_i$  可表示为(8)。

$$W_i = \sum_{j=1}^n r_{ji} a_j \quad i=1, 2, \cdots, m$$

(8)

评价结果的处理:采用加权平均法,用多年平均年降水量的分级特征值向量与  $W$  向量的各元素相对应,可求得干旱程度评价指标  $CI$ 。  $CI$  的表达式为(9)。

$$CI = \sum_{i=1}^n w_i P_i$$

(9)

根据  $CI$  值的大小将旱情划分为四个等级(特大干旱、严重干旱、中度干旱和轻度干旱),即对应 4 个区间。

### 3 湖南省 1970–2005 年干旱等级分析

#### 3.1 干旱指标分级

评价标准是干旱等级划分的依据,根据国家防汛抗旱总指挥部《抗旱预案编制导则》<sup>[16]</sup>中的有关规定,结合湖南省的实际情况,将降水量、蒸发降水比、河道来水量、受灾率四种指标从湿润到特大干旱划分为九个等级。按旱涝对称原则,将四个指标分级,结果见表 1。

#### 3.2 干旱等级分析

考虑资料的一致性,评价年份选择从 1970–2005 年。综合考虑湖南省降水量和水资源的具体特点,经专家打分后,通过分析与优选,确定各影响因素的权重向量为:  $A=(0.30 \ 0.30 \ 0.30 \ 0.10)$

降水距平百分率分级特征向量为:  
 $P=(-16 \ -12 \ -8 \ -4 \ 0 \ 4 \ 8 \ 12 \ 16)$

下面以 2003 年为例说明具体计算过程。  
 $A=(0.30 \ 0.30 \ 0.30 \ 0.10)$

$$R=\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.6 & 0.4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0.6 & 0.4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R'=\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.18 & 0.12 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0.18 & 0.12 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.1 \end{bmatrix}$$

$$W=(0 \ 0 \ 0 \ 0.18 \ 0.12 \ 0 \ 0 \ 0.18 \ 0.52)$$

$P=(-16 \ -12 \ -8 \ -4 \ 0 \ 4 \ 8 \ 12 \ 16)$

则干旱程度评价综合指标为:

$$CI = \sum_{i=1}^m w_i P_i = -9.76$$

(10)

用同样的方法可以得到其他各年份的干旱评判结果(表 2)。对比降水量与综合指标的变化(图 2),

表 1 湖南省各指标旱涝等级划分表  
Tab.1 Classification of flood-drought grade of evaluation indexes in Hunan Province

评价指标	降水量/mm	蒸发降水比	河道来水量/(10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> )	农作物受旱率/%
湿润	>1629.2	<0.85	>2213.3	<-5.6
较湿润	1573~1629.2	0.80~0.85	1957.9~2213.3	-5.6~-4
中度湿润	1516.9~1573	0.85~0.90	1872.8~1957.9	-4~-3
轻度湿润	1460.7~1516.9	0.90~0.95	1787.6~1872.8	-3~-1
正常	1348.3~1460.7	0.95~1.05	1617.4~1787.6	-1~1
轻度干旱	1292.1~1348.3	1.05~1.10	1532.3~1617.4	1~3
中度干旱	1236~1292.1	1.10~1.15	1447.1~1532.3	3~4
严重干旱	1179.8~1236	1.15~1.20	1191.8~1447.1	4~5.6
特大干旱	<1179.8	>1.2	<1191.8	>5.6

二者变化趋势基本一致,由图 3 可以看出综合指标与降水量之间的关系为: $C=0.058P+80.932$   $r=0.95$  式中; $C$  代表综合指标, $P$  代表降水量, $r$  为相关系数。二者的变化呈正相关,相关系数达到 0.95,超过 0.001 信度,说明综合指标与降水量的正相关性是显著的。

综合指标分级:由于综合指标是 4 种因素综合的结果,计算年降水量距平百分率和综合指标两序列差值的比值,参考年降水量等级划分的距平率 16%、12%、8%、4%,将降水距平率用比值来

除以,算出综合指标的旱涝等级划分标准(表 3)。  
根据上述等级划分标准,用此模型评判湖南省干旱等级情况(表 4)。经综合评定(表 4),在 1970~20

表 2 湖南省旱涝综合评价指标计算结果  
Tab.2 Calculated results of comprehensive evaluation on flood-drought indicators

年份	降水距平百分率	综合指标	年份	降水距平百分率	综合指标	年份	降水距平百分率	综合指标
1970	16.02	15.85	1982	9.69	12.38	1994	18.78	15.80
1971	-18.37	-14.66	1983	-0.05	2.32	1995	1.56	2.05
1972	-4.77	-7.05	1984	-11.2	-9.47	1996	3.26	6.54
1973	14.12	15.51	1985	-16.89	-15.32	1997	13.52	11.75
1974	-15.38	-13.70	1986	-14.72	-14.68	1998	8.7	6.33
1975	11.45	11.85	1987	-3.14	-3.83	1999	7.84	7.05
1976	-1.31	2.76	1988	-8.58	-9.79	2000	0.61	1.15
1977	6.23	8.26	1989	-1.85	-1.94	2001	-8.06	-7.85
1978	-18.32	-15.33	1990	3.88	-0.65	2002	34.16	15.90
1979	-13.01	-11.51	1991	-4.78	-2.93	2003	-13.79	-9.76
1980	7.32	6.17	1992	-4.16	-5.48	2004	-0.18	-3.64
1981	-0.82	-3.50	1993	11.23	11.54	2005	-8.96	-7.89

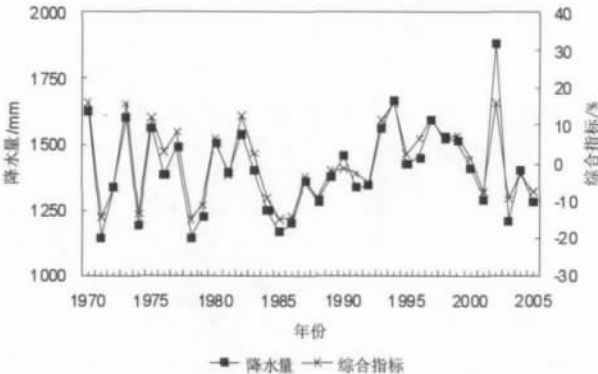


图 2 湖南省年降水量与年综合评价结果对照图  
Fig.2 Comparison of precipitation and composite indicators of Hunan Province

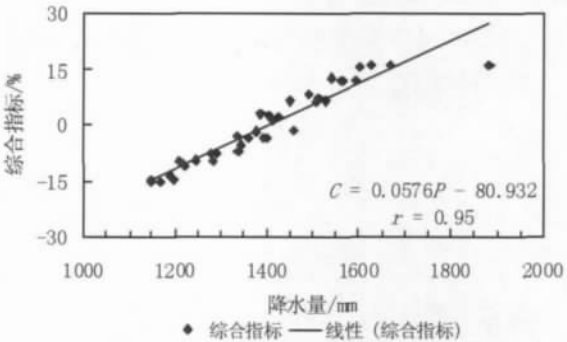


图 3 湖南省降水量与综合评价结果的相关散布  
Fig.3 Scatters of precipitation and composite indicators of Hunan Province

表 3 综合指标旱涝等级划分标准表

Tab.3 The composite indicators of flood-drought grade

旱涝等级	湿润	较湿润	中度湿润	轻度湿润	正常	轻度干旱	中度干旱	严重干旱	特大干旱
	IV'	III'	II'	I'	0	I	II	III	IV
综合指标	>13.45	10.08~13.45	6.72~10.08	3.36~6.72	-3.36~3.36	-6.72~-3.36	-10.08~-6.72	-13.45~-10.08	<-13.45

表 4 湖南省干旱等级情况表

Tab.4 The drought grade situation of Hunan Province

年份	综合指标	按综合指标划分等级	年份	综合指标	按综合指标划分等级	年份	综合指标	按综合指标划分等级
1970	15.85	IV'	1982	12.38	III'	1994	15.80	IV'
1971	-14.66	IV	1983	2.32	0	1995	2.05	0
1972	-7.05	II	1984	-9.47	II	1996	6.54	I'
1973	15.51	IV'	1985	-15.32	IV	1997	11.75	III'
1974	-13.70	IV	1986	-14.68	IV	1998	6.33	I'
1975	11.85	III'	1987	-3.83	I	1999	7.05	II'
1976	2.76	0	1988	-9.79	II	2000	1.15	0
1977	8.26	II'	1989	-1.94	0	2001	-7.85	II
1978	-15.33	IV	1990	-0.65	0	2002	15.90	IV'
1979	-11.51	III	1991	-2.93	0	2003	-9.76	II
1980	6.17	I'	1992	-10.11	III	2004	-3.64	I
1981	-3.50	I	1993	11.54	III'	2005	-7.89	II



05 年期间,特大干旱年共发生了 5 年,发生频率为 13.9%;严重干旱年发生了 2 年,分别为 1979、1992 年;中等干旱年发生了 6 年,分别为 1972、1984、1988、2001、2003、2005 年,占 16.7%;而轻度干旱发生了 3 年,即 1981、1987、2004 年,占 8.3%。其余为 7 年平水年,占 19.4%;3 年轻度湿润年,占 8.3%;2 年中度湿润年,占 5.6%;4 年较湿润年,占 11.1%;4 年湿润年,占 11.1%。上述评价结果尽管是综合评价结果,但并没有考虑需水的影响,只是水文气象评价结果,而不是自然社会经济综合评价结果。因此,评价结果为湿润年,并不是说该年不缺水,而只是从水文气象的角度,该年比较湿润。

4 综合指标的时间变化

4.1 综合指标的变化趋势

为了分析湖南省综合指标的变化趋势,利用线性回归方法计算出综合指标的倾向率,并通过线性回归方程表示综合指标序列的线性变化趋势。图 4 给出了综合指标的逐年变化。在过去 36 年,综合指标呈微弱上升趋势。7 年滑动平均曲线表明,综合指标变化总趋势是在波动中上升,1970 年代略高于平均值,但干湿变化明显。1980 年代初前后综合指标由大变小,1980 年代中期综合指标最小,处于干旱时期,1980 年代末综合指标开始由大变小,1990 年代以后综合指标明显增加,处于湿润时期,进入 21 世纪后综合指标呈减少的趋势。

4.2 综合指标的 M-K 突变分析

对湖南省综合指标进行突变分析绘制出 M-K 曲线(图 5),UF 曲线表明 1980 年代末以后湖南省综合指标有增大的趋势。根据 UF 和 UB 曲线交点的位置,确定湖南省年综合指标 1990 年代初的综合指标增大是一突变现象,具体是从 1990 年开始的。进入本世纪后 UF 曲线转向负方向变化,说明进入 21 世纪后湖南省综合指标有减小趋势,进入一个相对干旱的时期。

4.3 综合指标的周期性分析

图 6 是对湖南省综合指标作小波分析做 Morlet 小波变换得到的小波系数实部等值线图。图中横坐标值为年代,纵坐标值为周期,实线表示处于湿润期,虚线表示处于干旱期。

图 6 显示湖南省综合指标存在 3 个特征时间

尺度,分别是 3、6 和 16 年。3 年时间尺度在 36 年中始终存在,且周期振荡稳定。6 年左右的时间尺度,在 1980 年代中期以前比较明显,之后较弱。16 年左右的时间尺度的周期振荡贯穿整个研究时段且表现稳定,36 年大致经历了 4 次干湿交替,20 世纪 70 年代中期为干旱期,70 年代中期-80 年代初为湿润期,80 年代初-90 年代初为干旱期,90 年代初-90 年代末为湿润期,进入 21 世纪后为干旱期。

无论是根据 16 年左右、还是 6 年左右的周期

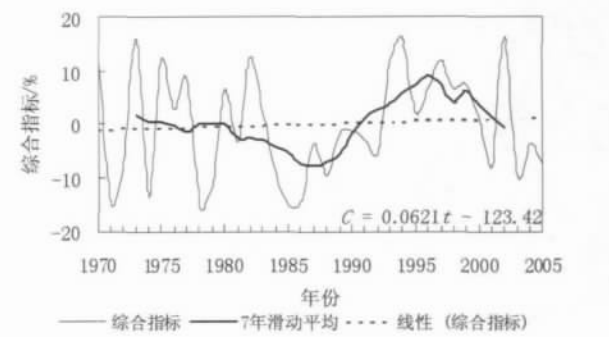


图 4 近 36 年来湖南省综合指标的变化趋势  
Fig.4 Variations of composite indicator in Hunan Province in the past 36 years

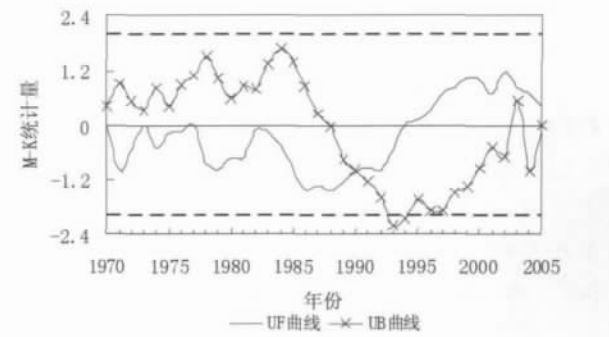


图 5 近 36 年来湖南省综合指标 M-K 曲线图  
Fig.5 M-K test curve of composite indicators in Hunan Province in the past 36 years

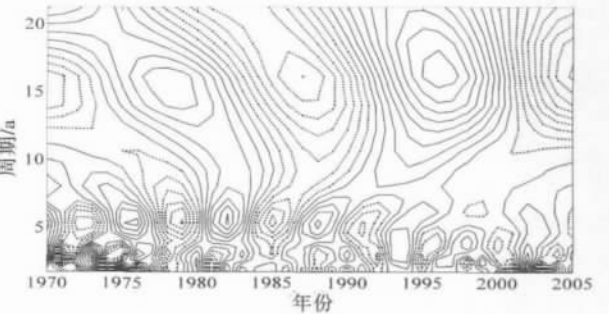


图 6 湖南省综合指标 Morlet 小波系数实部等值线图  
Fig.6 The contours of the real part of Morlet wavelet coefficients of composite indicators in Hunan Province

振荡,2005 年之后小波系数仍将是负值,表明未来若干年湖南将仍处于干旱期,之后可能进入一个湿润期。这与一些研究结果<sup>[17-19]</sup>是一致的,近年来湖南发生的干旱事件也证明了这一点。

需指出 2-3 年周期振荡与平流层大气环流的准 2 年周期振荡(QBO)较一致。平流层 QBO 通过纬向风的垂直切变来影响对流层顶乃至对流层,平流层的 QBO 改变着对流层的大气环流形势从而影响着对流层中的降水过程<sup>[20]</sup>。6 年的周期则与 ENSO 事件的 5-7 年的准周期相联系,说明 ENSO 事件一定程度上影响湖南省干湿变化<sup>[21]</sup>。

## 5 讨论

气候学家从气象资料分析发现长江中下游地区的干湿变化表现为波动变化趋势<sup>[22-23]</sup>,其中 20 世纪 50 年代为湿润期,60-70 年代为干旱期,80-90 年代为湿润期<sup>[24-25]</sup>,其中 90 年代是长江中下游地区近百年来降水最多的 10 年<sup>[26]</sup>。长江流域为我国五个干旱中心之一,3-11 月均发生干旱,主要集中在夏秋季节<sup>[27]</sup>。对于湖南省来说,70 年代干湿变化明显,80 年代处于干旱时期,90 年代以后处于湿润时期,进入 21 世纪后有变干的趋势,与全球旱涝变化一致。而且该地区的干湿振荡具有的 3 年、6 年的周期与长江中游旱涝变化一致;但 16 年周期变化与我国旱涝变化的 22-23 年的振荡周期不吻合<sup>[28]</sup>。通过 M-K 突变曲线发现湖南省干湿转变发生在 90 年代左右,与有些研究指出长江流域发生在 80 年代末<sup>[29-30]</sup>一致。

## 参考文献

- [1] 郑远长. 全球自然灾害概述. 中国减灾, 2000, 10 (1):14-19.
- [2] Richard R. Hein Jr. 美国 20 世纪干旱指数评述. 干旱气象, 2006, 24(1):79-89.
- [3] 袁文平, 周广胜. 干旱指标的理论分析与研究展望. 地球科学进展, 2004, 19(6):982-990.
- [4] Von Straten. Modeling and managing shallow lake eutrophication with application to lake Balaton, 1983.
- [5] 谢应齐. 关于干旱指标的研究. 自然灾害学报, 1993, 2 (2):55-62.
- [6] Palmer W C. Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: The new crop moisture index. Weatherwis, 1968, 21.
- [7] 钱云平, 张美丽. 应用干旱指标法研究黄河流域干旱特征. 水科学进展, 1994, 3:6-7.
- [8] 方述诚, 汪定伟. 模糊数学与模糊优化. 北京, 科学出版社, 1996.
- [9] 胡宝清. 模糊理论基础. 武汉, 武汉大学出版社, 2004.
- [10] 郭伦, 刘瑜, 张修军. 地理信息系统—原理、方法和应用. 北京, 科学出版社, 2001.
- [11] 蔡秀华, 曹鸿兴. 资料插值的进展. 气象, 2005, 31(8):3-7.
- [12] 任芝花, 黎明琴, 张纬敏. 小型蒸发器对 E-601B 蒸发器的折算系数. 应用气象学报, 2002, 13(4):508-512.
- [13] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术. 北京: 气象出版社, 1999.
- [14] Chirstopher Torrence, Gilbert P Compo. A practical guide to wavelet analysis. Bulletin of the American Meteorological Society, 1998, 79(1):61-78.
- [15] 林振山. 子波气候诊断技术的研究. 北京: 气象出版社, 1999.
- [16] 国家防汛指挥部. 干旱评估标准(试行), 2006.
- [17] 刘会玉, 林振山, 张明阳. 湖南汛期降水异常的时空分布特征研究. 热带气象学报, 2004, 20(4):409-418.
- [18] 张剑明, 黎祖贤, 章新平. 1960-2005 年湖南的降水变化. 气候变化研究进展, 2008, 4(2).
- [19] 张剑明, 章新平, 黎祖贤, 等. 湖南省 46 年来降水的气候特征. 热带气象学报, 2008, 24(5):512-518.
- [20] 郑彬, 梁建茵. 对流层准两年周期振荡的研究进展. 热带气象学报, 2005, 21(1):79-86.
- [21] 施能, 陈绿文, 封国林, 等. 1920-2000 年全球陆地降水气候特征与变化. 高原气象, 2004, 23(4):435-443.
- [22] 翟盘茂, 任福民, 张强. 中国降水极值变化趋势检测. 气象学报, 1999, 57(2):208-216.
- [23] 赵亮, 邹力, 王成林. NESO 年东亚夏季风异常对中国江淮流域夏季降水的影响. 热带气象学报, 2006, 22(6):618-624.
- [24] 王叶红, 王谦谦, 赵玉春. 长江中下游降水异常特征及其与全国降水 and 气温异常的关系. 南京气象学院学报, 1999, 22(4):685-691.
- [25] 江志红, 丁裕国. 近 40 年我国降水量年际变化的区域性特征. 南京气象学院学报, 1994, 17(1):73-78.
- [26] 龚道溢, 王绍武, 朱锦红. 1990 年代长江中下游地区多雨的机制分析. 地理学报, 2000, 55(5):567-575.
- [27] 陈峪. 我国的干旱. 气象知识, 2006, (2):24-27.
- [28] 王绍武. 近百年中国气候变化的研究. 中国科学基金, 1998, 12(3):167-170.
- [29] Buda Su, Tong Jiang, Yafeng Shi, et al. Rainstorm and precipitation trends in the Yangtze River Catchment 1951 -2002. Clamate Change and Yangtze Floods, 2004, 101-121.
- [30] 张永领, 高全洲, 丁裕国. 长江流域夏季降水的时空特征及演变趋势分析. 热带气象学报, 2006, 22(2):161-168.

## A Fuzzy Evaluation of the Regional Drought in Hunan Province

ZHANG Jianming<sup>1,2</sup>, LI Zuxian<sup>3</sup>, ZHANG Xinping<sup>2</sup>, ZHANG Jian<sup>2</sup>, SHAO Zefeng<sup>4</sup>

(1. Meteorological Bureau of Zhuzhou, Zhuzhou 412003, Hunan, China;

2. College of Resources and Environment Sciences, Hunan Normal University, Changsha 410081, China;

3. Hunan Provincial Meteorological Bureau, Changsha 410007, China;

4. Hunan Provincial Expressway Management Bureau, Changsha 410005, China)

**Abstract:** China's water issues are mainly manifested in threats of floods and drought disasters, shortage of water resources and deterioration of the eco-environment of the 21st century. Among the three problems, the shortage of water resources has become the important restrict factor for the sustainable development of society and economy. Therefore, it is essential to evaluate the degree of the drought of a district and work out the drought preparedness plans. Using data of annual precipitation and evaporation, river runoff and drought disaster affected cropping areas, the temporal distribution of regional drought in Hunan Province during 1960–2005 is analyzed by fuzzy comprehensive evaluation, M–K test, wavelet analysis, abrupt change analysis, cluster analysis, EOF and REOF. In addition, the responses between regional drought–flood in Hunan Province and global change are studied.

(1) Using an appropriate evaluation system, the fuzzy comprehensive evaluation model was established, and the level of regional drought–flood was identified.

(2) The results showed that the composite indicator in Hunan Province has a weak increasing trend in the past 36 years, of which the 1970s and 1990s were in flood periods, the 1980s were in drought period. There was a decreasing trend upon entering the 21st century, and there was an abrupt change from dry to wet in the early 1990s. Generally, the composite indicator presented variations of three periods. In the late 2000s, Hunan Province will be in a period of drought, after that it will be in a period of flood.

**Key words:** Hunan Province; drought; fuzzy evaluation; changing trend