

山东旱涝气候变迁的五个阶段

燕子杰 杨洪昌
(山东大学数学系) (山东省气象台)

提 要

本文根据山东旱涝气候变化中盛行的7—8年周期,确定将1470—1985年的山东旱涝演变划分为60个气候时段,用模糊信息检索方法把这些气候时段分为6种类型,根据气候时段序列具有的规律使用模糊判别法定出判据,又进一步将60个气候时段分别划归五个气候阶段,得出:干旱少雨的第5气候阶段将在本世纪末以前继续维持。

关键词: 气候变迁; 模糊数学.

一、气候时段的划分

本文选取华北、东北近五百年旱涝史料中山东济南、德州、莱阳、菏泽、临沂五个地区1470—1974年旱涝指数资料,并据上述各地区1975—1985年各年4—10月降水量将旱涝指数延续到1985年,用 $E_i(t)$ 表示各地区旱涝指数,其中 $i=1,2,\dots,5$, $t=1,2,\dots,516$;并以 $E_0(t) = \sum_{i=1}^5 E_i(t)/5$ 表示全省平均旱涝指数, $E_7(t) = \sum_{i_1=1}^5 \sum_{i_2=1}^5 (E_{i_1}(t) - E_{i_2}(t))^2 / (5^2 - 5)$ 表示全省各地区旱涝程度差异的指数,其中 $i_1, i_2=1,2,\dots,5$ 表示地区,并且 $i_2 \neq i_1$.

对 $E_i(t)$ ($i=1,2,\dots,6$)进行连续功率谱、最大熵谱分析^[1],发现它们都具有7—8年、11年左右的显著周期.例如,图1为全省平均旱涝指数 $E_0(t)$ 的功率谱曲线,图中表明,其最显著的周期为7.73年,次显著周期为11.33年.

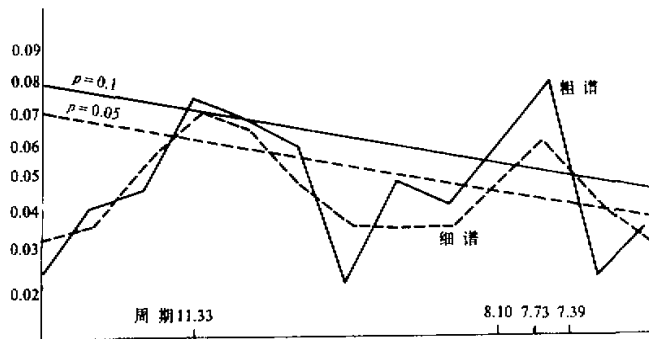


图1 全省平均旱涝指数的功率谱曲线

由于旱涝指数盛行的7—8年周期在旱涝气候变迁的研究中没有多大意义,为在以

1987年9月10日收到,1990年8月6日收到再改稿.

后的分析中忽略这种短周期变化。我们规定,凡满足下列两条件者,称为一个气候时段:

(1) 每个气候时段持续的时间至少是 7 年;

(2) 在连续的 7 年中若有 4 年 $E_6(t) \geq 3.0$ 或 $E_6(t) \leq 3.0$, 则该气候时段第 7 年结束; 若有 5 年或多于 5 年 $E_6(t) \geq 3.0$, 则自第 8 年起直至 $E_6(t) < 3.0$ 的那一年转为下一个气候时段; 若 5 年或以上 $E_6(t) \leq 3.0$ 时, 则第 8 年起直至 $E_6(t) > 3.0$ 的那一年转为下一个气候时段。

据此, 可将 1470—1985 年的全省平均旱涝指数序列 $E_6(t)$ 划分为 60 个气候时段。

若令 $E_6(t) > 3.0$ 为旱, $E_6(t) < 3.0$ 为涝, $E_6(t) = 3.0$ 时持续上一年的旱涝状态。把历年的全省平均旱涝指数序列变为旱、涝两态的时间序列, 用以描述各旱涝气候时段内的旱涝演变, 在忽略“两年涝后一年旱接两年涝”和“三年涝后两年旱接三年涝”两种形式的波动以后, 气候时段中的旱涝演变形式只有下列三类: (1) 持续的旱或涝, 占 61.6%; (2) 先旱后涝, 占 21.7%; (3) 先涝后旱, 占 16.7%。

二、气候时段的分类

若对于第 k 个气候时段, 令 $N_j(k)$ 为该时段内 j 级全省平均旱涝指数出现的频数 ($j = 1, 2, \dots, 5$), $T(k)$ 表示该时段持续的年数, $m(k)$ 为该时段内各地区出现各级旱涝指数的总频数, 显然有: $m(k) = 5T(k)$ 。

定义第 k 个气候时段的旱涝特征指标如下:

旱指标: $e_1(k) = [N_4(k) + N_5(k)] / m(k)$,

涝指标: $e_2(k) = [N_1(k) + N_2(k)] / m(k)$,

特殊年指标: $e_3(k) = [N_1(k) + N_5(k)] / m(k)$,

正常年指标: $e_4(k) = N_3(k) / m(k)$,

全省旱涝程度指标: $e_5(k) = \sum_{t=1}^{T(k)} E_6(t) / T(k)$,

旱涝分布指标: $e_6(k) = \sum_{t=1}^{T(k)} E_7(t) / T(k)$,

旱涝变率指标: $e_7(k) = \left[\sum_{t_1=1}^{T(k)} \sum_{t_2=1}^{T(k)} (E_6(t_1) - E_6(t_2))^2 \right] / [T^2(k) - T(k)]$,
 $t_2 \neq t_1$

旱涝分布变率指标: $e_8(k) = \left\{ \sum_{t_1=1}^{T(k)} \sum_{t_2=1}^{T(k)} [E_7(t_1) - E_7(t_2)]^2 \right\} / [T^2(k) - T(k)]$,
 $t_2 \neq t_1$

根据每个气候时段主要旱涝特征指标所表示的气候类型经验地将 60 个气候时段初步划分成 7 类, 再用模糊信息检索方法^[2]对气候时段进一步分类, 计算得阈值 $h = 0.3142$, 共分成 6 类, 其各类标准如下:

1 类(洪涝时段): $e_2(k) > 0.5 \wedge e_5(k) \leq 2.6571$;

2类(偏涝时段): $0.5 > e_2(k) \geq 0.4 \cap e_1(k) \leq 0.3429$;

3类(正常时段): $e_4(k) > 0.4 \cap e_1(k) < 0.32 \cap e_2(k) < 0.32$;

4类(偏旱时段): $0.5 > e_1(k) \geq 0.4 \cap e_2(k) < 0.3143$;

5类(干旱时段): $e_1(k) \geq 0.5 \cap e_3(k) \geq 3.3333$;

6类(旱涝相间时段): $e_1(k): 0.4063 - 0.2857$; $e_2(k): 0.3125 - 0.3929$;
 $e_3(k): 2.8571 - 3.1429$.

表1 各类气候时段的旱涝特征指标均值和出现频数

类型	气候时段	各时段旱涝特征指标均值					各时段频数
		e_1	e_2	e_3	e_4	e_5	
1	洪涝时段	0.2152	0.5764	0.3241	0.2085	2.4275	12
2	偏涝时段	0.2075	0.4382	0.1940	0.3526	2.6387	11
3	正常时段	0.3208	0.2508	0.1852	0.5093	2.8613	8
4	偏旱时段	0.4425	0.1908	0.2419	0.3595	3.4084	12
5	干旱时段	0.5870	0.1919	0.3171	0.2333	3.5854	12
6	旱涝相间时段	0.3655	0.3354	0.2475	0.2991	2.9814	5

由表1可见,除6类时段外,其余各时段出现的频数相差不大;1至5类时段的 e_1 和 e_5 指标是逐类上升的,而 e_2 指标基本上是逐类下降的,表明旱的频率逐类增多,涝的频率逐类减少。值得注意的是 e_3 以1类和5类时段为最大,旱涝特殊年主要出现在这两类气候时段之中。

三、气候阶段的划分

为研究更长时间的旱涝气候变迁,我们又根据各类气候时段在一定时期内相对集中或频繁出现的情况,把1470年以来的气候时段序列划分成A、B、C、D、E五个气候阶段,其方法是先计算模糊判别函数^[2],然后确定气候阶段转换的判据:取 $e_1(k) - e_2(k) < 0$ 的气候时段为信号期,该时段起的第4个时段有可能转换为下一个气候阶段的第一个时段,在第57气候时段以前的所有时段中满足此条件的信号期共28个。自每个信号时段起,连续算出4个时段的 $e_1(k) - e_2(k)$,组成四维向量 X_1, X_2, \dots, X_{28} 。令有转换的集合 $X_p \in A$,得 $A=4$;无转换的集合 $X_p \in B$,得 $B=24$ 。对于每个信号期,计算模糊判别函数 $G(X_p)$ 值^[2],若 $G(X_p) \leq 0$,无转换, $G(X_p) > 0$,有转换,且规定 $G(X_p) > 0.05$ 有明显转换,据此做出的阶段划分结果见表2,其中在B、D阶段内各出现了一次不明显的阶段转换。

表2 各信号期对应的阶段转换判断结果

气候阶段	信号期序号 p	信号期时段号 k	$e_1 - e_2$	$G(X)$	第 $k+3$ 时段有无转换	检验结果
A	1	2	-0.1333	-0.322	<0 无转换	√
	2	6	-0.125	-0.389	<0 无转换	√
	3	8	-0.15	-0.605	<0 无转换	√
	4	13	-0.1715	0.095	>0 有 $A \rightarrow B$	√
	5	14	-0.0286	-0.011	<0 无转换	√

续表 2

气候阶段	信号期 序号 p	信号期 时段号 k	$e_1 - e_2$	$G(X)$	第 $k+3$ 时段有 无转换	检验结果
B	6	16	-0.3714	0.001	>0 不明显	×
	7	17	-0.0285	-0.427	<0 无转换	√
	8	20	-0.4166	-0.515	<0 无转换	√
	9	22	-0.4429	-0.098	<0 无转换	√
	10	25	-0.1715	-0.147	<0 无转换	√
	11	26	-0.4	-0.301	<0 无转换	√
	12	28	-0.2444	-0.227	<0 无转换	√
	13	30	-0.225	-0.047	<0 无转换	√
	14	32	-0.5125	-0.015	<0 无转换	√
	15	33	-0.34	0.069	>0 有 $B \rightarrow C$	√
	16	34	-0.0857	-0.101	<0 无转换	√
C	17	35	-0.0572	-0.077	<0 无转换	√
	18	38	-0.3333	-0.452	<0 无转换	√
	19	40	-0.8223	0.107	>0 有 $C \rightarrow D$	√
D	20	42	-0.1714	-0.087	<0 无转换	√
	21	43	-0.3111	-0.245	<0 无转换	√
	22	44	-0.3777	0.003	>0 不明显	×
	23	46	-0.1429	-0.442	<0 无转换	√
	24	48	-0.1714	-0.312	<0 无转换	√
	25	49	-0.2616	0.077	>0 有 $D \rightarrow E$	√
E	26	51	-0.28	-0.297	<0 无转换	√
	27	56	-0.2857	-0.049	<0 无转换	√
	28	57	-0.1142	-0.186	<0 无转换	√

四、气候阶段的特征与讨论

为了说明各阶段的旱涝气候特征, 我们给出表 3 和图 2. 从中可见:

表 3 各气候阶段主要旱涝特征指标平均值

阶段	起讫年代	年数	气候阶段旱涝特征指标平均值				
			e_1	e_2	e_3	e_4	e_5
A	1470—1590	121	0.3759	0.2300	0.2456	0.3887	3.1632
B	1591—1781	192	0.2795	0.3447	0.2528	0.3734	2.8834
C	1782—1837	56	0.3584	0.4018	0.2789	0.2398	2.9795
D	1838—1915	77	0.3261	0.4187	0.2425	0.2552	2.8667
E	1916—1985	70	0.4689	0.3431	0.2861	0.1988	3.1230

A 阶段: 1470—1590 年, 共经历 15 个气候时段, 121 年, 其 1, 2 类时段最少, 仅占该阶段中时段总数的 $2/15 = 13.3\%$, e_2 最小, e_1 和 e_5 却较大, e_4 为各阶段之冠. 因此, 它是个多旱、少涝, 正常年较其它阶段出现频繁的干旱阶段.

B 阶段: 1591—1782 年, 共 20 个气候时段, 192 年. 该阶段的旱指标平均值 e_1 最

小, 1, 2类时段的出现频率为 $9/20=45\%$, 是各阶段中的次大值, 是个多涝少旱的洪涝阶段。

C阶段: 1782—1838年, 共7个气候时段, 56年。此阶段无占优势的气候时段, 其 e_2 是各阶段中的次大值, e_1 也不小, 但 e_4 是最小的, 因此它是一个重旱多涝、正常年较少的气候阶段。

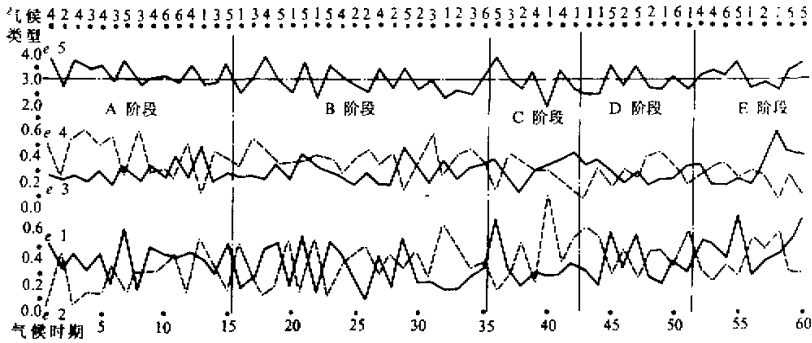


图2 各气候阶段的时段类型和主要旱涝特征指标的变化
竖线为气候阶段分界线。

D阶段: 1839—1915年, 经历9个气候时段, 77年。其中, 1, 2类时段6个, 占66.7%, 居各阶段之首, 其 e_2 也是各阶段中的最大值, 但 e_3 和 e_1 分别是最小值和次小值, 因此是个多涝少旱的气候阶段。

E阶段: 1916—1985年, 已经历9个气候时段, 70年。其中, 4, 5类时段5个, 占55.6%, 在各阶段中是最高值。其 e_1 和 e_3 分别为最大值和次大值, 可见是个旱情严重的阶段; 还需注意到, 其 e_3 也是最大值, e_4 却是最小值。因此, 该阶段是个重旱有涝、灾年多、旱涝气候变化剧烈的气候阶段。

上述气候阶段中, 目前的E阶段、近期的D阶段以至C阶段, 在其它地区的气候分析中也有类似的阶段出现。例如, 用树木年轮探讨洞庭湖地区近200年的旱涝变化时发现: 该地区的气候1769—1835年有旱有涝, 以旱为主, 相当于我们划分的C阶段; 1836—1920年为多雨时期, 相当于我们的D阶段; 1920年以后是少雨时期, 相应于我们得到的E阶段(见图3)。

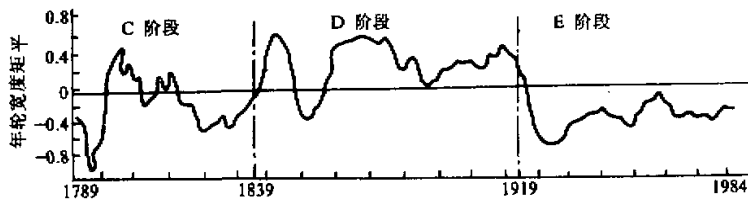


图3 树木年轮宽度距平11年滑动平均曲线

美国第六、第九届气候诊断会议及国内外许多气候学家都提到20世纪以来北半球高纬度地区增暖问题。例如, 英国的Kelly和Jones所给的北半球(0—85°N)气温距平曲线表明, 北半球的气温是自1916年以来逐渐上升的; Folland和Parker所整理的

1856 年以来海陆气温及季平均海温滤波结果, 也表现出 1916 年以后又进入了一个新的波动; 此外, 还有许多学者, 曾用各种方法计算过北半球的气温变化, 从他们得到的结果也可以看出 1916 年后北半球有升温现象. 当然我们并不能肯定北半球广大范围的增暖能对山东的旱涝气候趋势有多大影响, 但是可以说明我们划分出的 E 气候阶段并不是一个孤立、偶然的现象, 而是有深刻的气候原因和背景的.

由以上分析得知, 每个气候阶段的转换, 都要提前出现一个 $e_1 - e_2 < 0$ 的信号时段. 自 1965 年以来, 还未出现过信号时段, 即使 1986 年开始的第 61 个气候时段是个信号时段, 也要再经过两个气候时段 (至少 14 年) 后才有可能转换为下一个气候阶段. 因此, 目前以少雨干旱为主的 E 气候阶段在 2000 年以前是不可能结束的.

参 考 文 献

- [1] 黄嘉佑, 李黄, 1984, 气象中的谱分析, 气象出版社, 29—44, 80—88.
- [2] 冯德益, 楼世博等, 1983, 模糊数学方法与应用, 地震出版社, 68—71, 67—68.
- [3] 湖南省气象局气象台, 1977, 从湖南省临湘马尾松年轮探讨洞庭湖地区近二百年来的旱涝变化, 气候变迁和超长期预报文集, 科学出版社, 59—63.

THE FIVE PHASES OF CLIMATIC CHANGES ON DROUGHT OR WATERLOGGING IN SHANDONG

Yan Zijie

Yang Hongchang

(Department of Mathematics, Shandong University)

(Shandong Meteorological Observatory)

Abstract

According to the prevailing period of 7—8 years in climatic changes on drought or waterlogging in Shandong, we have divided the time period from 1470 to 1985 into 60 climatic periods which belong to 6 climatic types such as drought, waterlogging, regular and so on, based on fuzzy check index of information.

According to the law of sequence climatic time we have determined a criterion by means of fuzzy discrimination method and also divided the time period from 1470 to 1985 into 5 climatic phases. In the light of the criterion we know that present is in E climatic phase of more drought and less rainfall which began in 1916 and will last till the end of this century.

Key words: Climatic change; Fuzzy mathematics.