

# 黄河中游地区近 522 年旱涝突变\*

于淑秋 林学椿

(中国气象科学研究院, 北京 100081)

## 提 要

应用 T 检验方法对我国黄河中游地区 1470~1991 年夏季(5~9 月)旱涝等级序列进行分析, 结果表明: 该地区气候存在着两次百年尺度突变, 即 17 世纪 50 年代前后(旱转涝)和 18 世纪 60 年代初期(涝转正常), 以及百年尺度内 20~30 年尺度的气候突变; 并指出黄河中游地区各时期旱涝变化与赤道东太平洋海温指数(SSTI)和大气活动中心的演变有密切联系。

关键词: 黄河中游地区; 气候突变; 海温; 大气活动中心。

## 引 言

目前, 气候突变已成为气候研究中的一个热点<sup>[1~4]</sup>。所谓气候突变是指两个稳定气候阶段间的不连续跳跃现象。其统计学意义是, 如果表征某一系统特性的主要统计量在某一时间点前后, 概率分布具有一定信度水平的差异, 则可以认为该系统在选定的时间点上发生跃变。实际上这种跃变现象就是长期气候变化过程中存在的某些不连续性。本文对 1470~1991 年黄河中游地区夏季旱涝等级序列分别进行世纪、几十年尺度的气候突变研究, 进而讨论了旱涝变化同大气环流特征及东太平洋海温指数的关系。

## 1 资料与方法

本文资料取自《中国近五百年旱涝分布图集》<sup>[5]</sup>, 旱涝等级规定如下: 1 级: 涝, 2 级: 偏涝, 3 级: 正常, 4 级: 偏旱, 5 级: 旱。自 1470 至 1979 年共 510 年, 并按文献[5]规定与近期资料衔接起来, 构成 1470~1991 年 522 年旱涝级数序列。用郑州、西安、太原、临汾、榆林、延安 6 站的旱涝等级之和来表示黄河中游地区的旱涝。采用滑动 T 检验方法对黄河中游地区旱涝序列进行突变判别。

## 2 世纪尺度气候突变

图 1a 为  $n_1 = n_2 = 100$  年,  $a = 1$  年 ( $n_1, n_2$  为前后两相邻子序列的样本长度,  $a$  为相邻两

\* 本文由国家重点课题 85-906-08-04 专题及长期预报课题资助。

1994-09-23 收到, 1995-03-15 收到修改稿。

子序列间隔长度)的黄河中游地区旱涝的滑动 T 检验结果. 可以看出,黄河中游地区确实存在百年以上尺度的突变,超过 5%信度的正 T 值出现在 17 世纪中期(1638~1664 年),最大 T 值出现在 1645 年,为第一次世纪突变;超过 5%信度的负 T 值发生在 18 世纪中期(1761~1763),最大负 T 值出现在 1762 年,为第二次世纪突变. 根据这两个突变点可以将黄河中游地区的旱涝划分成 3 个大的世纪气候阶段(表 1),每个阶段的持续时间分别为 175 年、118 年和 229 年,平均为 174 年. 其平均旱涝等级分别为 3.44(旱)、2.83(涝)、3.10(正常),平均为 3.12. 第一次世纪突变由旱阶段进入涝阶段,第二次突变则由涝阶段

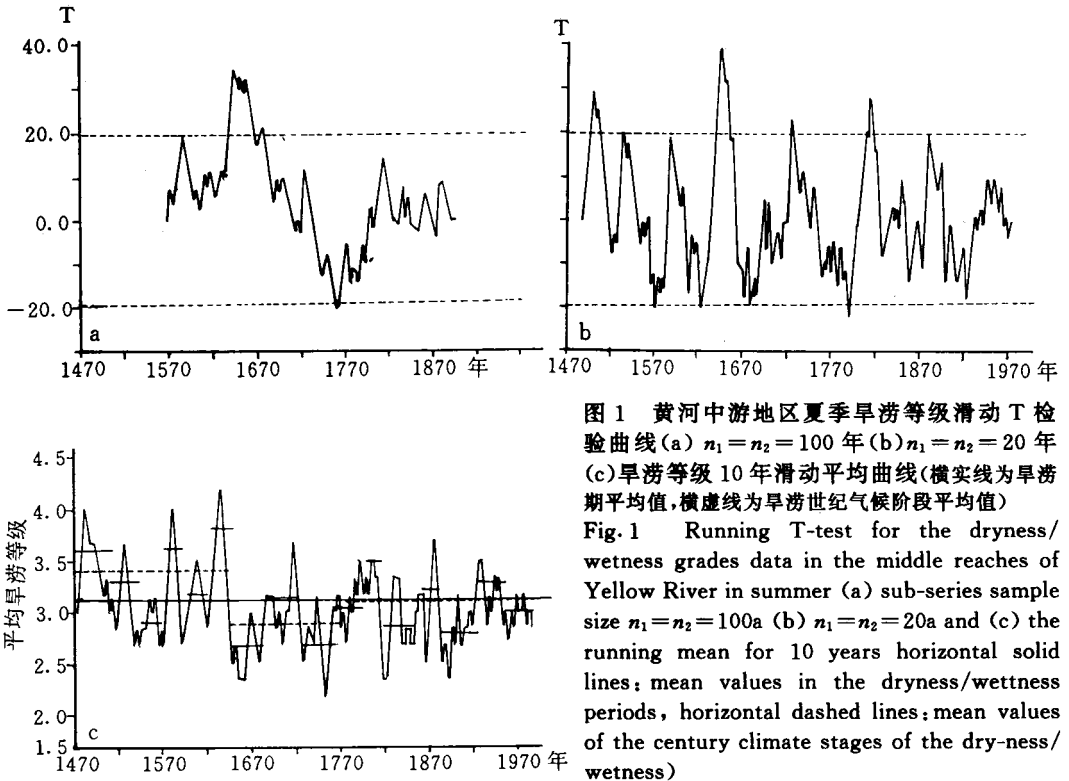


图1 黄河中游地区夏季旱涝等级滑动 T 检验曲线(a)  $n_1 = n_2 = 100$ 年(b)  $n_1 = n_2 = 20$ 年(c)旱涝等级 10 年滑动平均曲线(横实线为旱涝期平均值,横虚线为旱涝世纪气候阶段平均值)  
Fig.1 Running T-test for the dryness/wetness grades data in the middle reaches of Yellow River in summer (a) sub-series sample size  $n_1 = n_2 = 100$ a (b)  $n_1 = n_2 = 20$ a and (c) the running mean for 10 years horizontal solid lines; mean values in the dryness/wetness periods, horizontal dashed lines; mean values of the century climate stages of the dry-ness/wetness)

进入正常阶段. 张先恭<sup>[6]</sup>分析我国东部五百年干旱指数时,把 1479~1691 年定为干旱期(213 年),1692~1890 年定为湿润期(199 年),1891 年以后又进入干旱期. 这表明黄河中游地区与我国东部地区的旱涝变化在整体上存在着一致性,而在时段划分,降水多寡上又存在着一定的差异.

对上述 3 个世纪气候阶段旱涝等级和序列分别进行功率谱分析,取红噪音检验. 由表 1 可见 1470~1991 年近 522 年存在显著的 23~26 年左右、10.42 年、3~5 年左右的周期. 前两周期与太阳活动的磁周期和黑子周期有关,3~5 年左右周期可能与 ENSO 周期有关. 第一个世纪气候阶段(1470~1644 年)的功率谱分析通过信度检验的周期与 522 年分析结果基本一致,即 26.4、3~5 年周期,但 10.42 年周期没有通过显著信度检验;而第二个世纪气候阶段(1645~1762 年)的功率谱分析表明也有类似的周期变化,但都没有通

过信度检验;第三个世纪气候阶段(1763~1991 年)存在明显的 22 年、11 年周期,而 3~5 年周期不显著。由此可以看出,黄河中游地区旱涝存在明显的 22~26 年、10~11 年和 3~5 年周期变化,而这些周期在各个世纪气候阶段有着明显的差异,说明世纪气候阶段除了它的平均值有显著差异外,其振荡周期也有明显不同。

表 1 世纪气候阶段及几十年气候时期的划分

Table 1 The demarcations of the century climate stages and the decades dryness/wetness periods for the dryness/wetness grade data in the middle reaches of Yellow River in summer

世纪气候阶段	持续年数(年)	平均等级	周期长度(年)	旱涝期	持续年数(年)	平均等级	根据旱涝等级确定的结果
1470~1644 (旱)	175	3.44	26.40	1470~1500	31	3.64	早期
			5.50	1501~1534	34	3.29	早期
			2.69	1535~1571	37	2.93	正常期
				1572~1588	17	3.59	早期
				1589~1623	35	3.10	正常期
1645~1762 (涝)	118	2.38	22.00	1624~1644	21	3.75	早期
				1645~1679	35	2.65	涝期
				1680~1723	44	3.17	正常期
				1724~1762	39	2.74	涝期
				1763~1991 (正常)	229	3.10	11.00
1793~1813	22	3.50	早期				
1814~1858	45	2.91	正常期				
1859~1878	20	3.21	正常期				
1879~1923	45	2.81	涝期				
平均	174	3.12	26.40	1924~1948	25	3.34	早期
				1949~1991	43	3.03	正常期
				23.29	37	3.12	
				10.42			
				4.95			
1470~1991			4.89				
			4.55				
			3.70				
			2.69				

### 3 几十年尺度的气候突变

取  $n_1=n_2=20$  年,  $a=1$  年,用滑动 T 检验方法对黄河中游地区几十年尺度的旱涝变化进行分析,结果表明,该地区确实存在明显的几十年尺度的气候突变(图 1b)。由图 1b 可以看到,除个别突变点的极大正负 T 值未通过 5% 信度检验外,其它绝大多数均达到或超过检验标准。对比图 1a 和图 1b 还可以看出,近百年尺度的两个突变点和 20~30 年尺度的突变点有很好的对应关系。

根据这些 20~30 年尺度的突变点,可以将近 522 年旱涝序列划分成 16 个旱涝期。把每个旱涝期的平均旱涝等级  $>3.24$  定为早期,  $3.24 \sim 2.90$  定为正常期,  $<2.90$  定为涝期(表 1),则在 522 年中正常期为 7 次(占 44%),早期 6 次(占 38%),涝期只有 3 次(占 18%),可见黄河中游地区历史时期发生涝期的机会很少。各个旱涝期的持续时间为 17~45 年不等,平均为 37 年。但早期的持续时间较短,平均 25 年,涝期的持续时间较长,平均

40年.图1c给出了近522年黄河中游地区平均旱涝等级的10年滑动曲线、旱涝期平均值和世纪气候阶段平均值.由此可以看出世纪气候阶段和各旱涝期的关系:①1470~1644年是旱世纪气候阶段,持续175年.在这个阶段内出现6个旱涝期,按年份排列为旱、偏旱、正常、旱、正常、旱,没有出现涝期;②1645~1762年是涝世纪气候阶段,持续118年.在这个阶段内出现了3个旱涝期,其顺序为涝、正常、涝,说明在旱世纪气候阶段内不出现涝期,在涝世纪气候阶段内不出现旱期,只有在正常世纪气候阶段(1763~1991年)内才能出现旱期和涝期.

## 4 旱涝期与赤道东太平洋海温指数和大气活动中心的关系

### 4.1 旱涝期与赤道东太平洋海温指数的关系

许多研究证明,厄尔尼诺的发生对热带以外地区的气候也有很大的影响.某一时期厄尔尼诺发生的次数多且强度强,则说明该时期赤道东太平洋海温异常偏暖,反之则该地区海温偏低.根据文献[8]提供的1525~1987年(109次)厄尔尼诺事件资料构造一个黄河中游地区各旱涝期赤道东太平洋海温指数( $SSTI$ ),将文献[8]中7种强度的厄尔尼诺事件归纳成2类,即 $M_-$ 、 $M$ 、 $M_+$ 和 $M_s$ 为厄尔尼诺事件,统一记为 $m$ ;  $S_-$ 、 $S_+$ 、 $V_s$ 为强厄尔尼诺事件,统一记为 $s$ ,于是黄河中游地区旱涝期东太平洋海温指数( $SSTI$ )可定义为

$$SSTI_j = (M_j + 3S_j)/n_j \quad (j = 1, 2, \dots, 14)$$

其中: $SSTI_j$ 、 $n_j$ 分别为第 $j$ 个旱涝期的赤道东太平洋海温指数和该时期内出现厄尔尼诺的总次数, $M_j$ 和 $S_j$ 分别为第 $j$ 时期内 $m$ 级和 $s$ 级厄尔尼诺的次数. $s$ 级与 $m$ 级厄尔尼诺事件在文献[8]中平均差3级,所以 $s$ 级的权重系数为3.

依据上式计算出黄河中游地区1535~1991年14个旱涝期的 $SSTI$ 和 $SSTI$ 距平.各旱涝期的 $SSTI$ 距平和同期平均旱涝等级的分析结果表明,当 $SSTI$ 处于高值时,旱涝等级值也偏大.反之,当 $SSTI$ 值偏低时,旱涝等级值就偏小.其两者的距平符号趋于一致的占多数,在14个旱涝期中同号比率为10/14(71%).说明当 $SSTI$ 高时,黄河中游地区易出现干旱或少雨期, $SSTI$ 低时,为湿润期.

### 4.2 旱涝期与大气活动中心的关系

采用近百年(1899~1986年)夏季(5~9月)北半球平均海平面气压,讨论黄河中游地区旱涝期环流形势的特点.由于资料的限制,只讨论最近3个旱涝期的环流特征,即1879~1923年涝期、1924~1946年旱期和1947~1991年正常期的北半球夏季平均海平面气压距平场(图略,以下简称气压距平场)的特征.由分析可知,涝期(1879~1923年)极地高压比常年加强,范围明显向四周扩张;两大洋高压分别比常年加强,中心位置偏南;北美低压比常年弱.以印度为中心的亚洲大陆低压地区也发生非常明显的变化,主体已分成两个截然不同的形势.从孟加拉湾到我国东南部的正距平表明低压减弱,中心位置向西北方向伸展,而在印度西岸即阿拉伯海至亚洲西部为负距平,中心位置位于 $35^\circ\sim 45^\circ\text{N}$ 、 $55^\circ\sim 65^\circ\text{N}$ 、 $45^\circ\sim 65^\circ\text{E}$ .以上形势说明这一时期冷高压比较活跃,西南暖湿气流不断北上与北来冷空气交绥,造成黄河中游地区多雨.旱期(1924~1946年)的气压距平中心位置与涝期(1879~1923年)大致相同,但符号相反.这个时期极地、两大洋高压明显减弱.以印度为

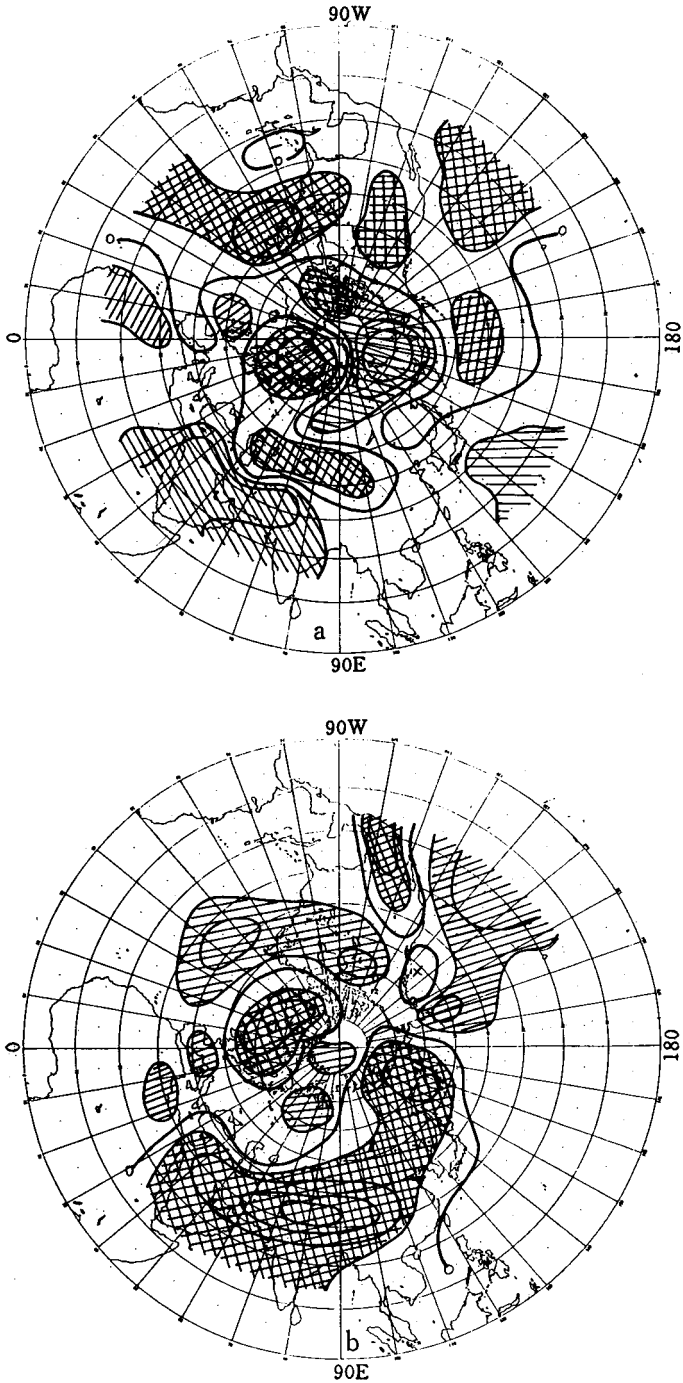


图 2 北半球平均海平面气压差值(a)早期(1924~1946年)与涝期(1879~1923)差值(b)正常期(1949~1991年)与早期(1924~1946年)差值(网格区气压差值 $\geq 2.0$ hPa,斜线区气压差 $< -2.0$ hPa)

Fig. 2 The Northern Hemisphere sea level pressure differences between (a) dryness period (1924~1946) and wetness period (1879~1923), and (b) normal period (1949~1991) and dryness period (1924~1946) (the oblique line areas:  $< -2.0$  hPa, the cross-hatched areas:  $\geq -2.0$  hPa)

中心的亚洲大陆低压出现与涝期几乎相反的配置,说明冷空气和西南季风活动比较弱,易出现少雨期。正常期(1949~1991年)北美南、北部各有一块正距平区,整个欧洲到亚洲西部以及菲律宾地区均维持正距平;自极地,通过亚洲东部至印度地区及太平洋大部(中心在 $30^{\circ}\sim 45^{\circ}\text{N}$ , $160^{\circ}\text{E}\sim 150^{\circ}\text{W}$ )为负距平所占领。

为了更清楚地看出突变点前后期的主要差异,给出前后两个时期之间的海平面气压差值图(图2)。从图2a看出,旱涝期主要差异是:北美大陆中纬度地区及欧亚大陆中纬度地区、太平洋中纬度为正差值,另外在巴伦支海也有一块正差值区,主要负差值区分布在极地偏太平洋一侧和印度及其以西地区。从整体来看,西部基本上由正差值控制,东部以负差值为主。正常期与早期气压场的主要差异(图略)是:自阿拉伯半岛,经过孟加拉湾到太平洋西北岸为一鞍型正差值区,在格陵兰、北美南部各维持一块正差值区,大西洋至北美北部和太平洋为负差值(其中心分别偏西、偏东)。以上分析表明环流形势在不同旱涝时期的变化不同,且存在着相当大的差异。

## 5 小 结

(1)黄河中游地区旱涝在近522年内存在两次最显著的世纪突变,最大突变点分别为1645年和1762年,前者由旱世纪阶段跃变到涝世纪阶段,后者则由涝世纪阶段进入正常世纪阶段,平均为174年。不同世纪气候阶段存在不同长度的周期。

(2)除了世纪气候突变外,还存在20~40年的气候突变,在522年中可划分成16个旱涝期。在旱世纪气候阶段不出现涝期,在涝世纪气候阶段不出现旱期,只有在正常世纪气候阶段才能出现旱期和涝期。各旱涝期与太平洋海温指数有相当好的对应关系。

(3)大气环流变化对黄河中游地区旱涝期有明显的影响。随着旱涝期的不同,气压场的分布,特别是大气活动中心的演变也不同。

## 参 考 文 献

- 1 Yamamoto R, Iwashima T and Sanga N K. An analysis of climatic jump. *J. Meteor. Soc. Jap.*, 1986, **64**:273~281.
- 2 严中纬,季劲钧,叶笃正. 60年代北半球夏季气候跃变. *中国科学(B辑)*, 1990, **8**:666~672.
- 3 李月洪,张正秋. 百年来上海、北京气候突变的初步分析. *气象*, 1991, **17**(10):15~19.
- 4 Ai Wanxiu and Lin Xuechun. Climatic abrupt change in the Northern Hemisphere for 1920s and 1950s. *Acta Meteorologica Sinica*, 1995, **9**(2):188~198.
- 5 中央气象局气象科学研究所. 中国近五百年旱涝分布图集. 北京:地图出版社, 1981. 320~332.
- 6 张先恭. 中国东半部近五百年干旱指数的分析. 全国气候变化学术讨论会文集. 北京:科学出版社, 1978. 46~51.
- 7 林学椿,于淑秋. 中国干旱的22年周期与太阳磁活动周. *气象科学研究所院刊*, 1987, **2**(1):43~50.
- 8 魏凤英,张先恭. 厄尔尼诺与中国东部夏季降水异常分布. *海洋学报*, 1994, **16**(5):58~65.

## ABRUPT CHANGE OF DROUGHT/FLOOD FOR THE LAST 522 YEARS IN THE MIDDLE REACHES OF YELLOW RIVER

Yu Shuqiu Lin Xuechun

*(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)*

### Abstract

The summer dryness/ wetness grades series for the last 522 years (1470~1991) in the middle reaches of Yellow River are analysed by T test. The results indicate that there are two abrupt changes with 100-year scale in this region, around 1650's (from drought to flood) and in the early 1760's (from flood to normal). There are also jumps of 20~30 year scale within the 100-year scale variations. It is also found that the drought/flood in the region are associated with the evolution of atmospheric active centers and the Sea Surface Temperature Index (SSTI) of the equatorial East Pacific.

**Key words:** The middle reaches of Yellow River; Abrupt change of climate; Sea surface temperature; Atmospheric active centre.