

长江中下游汛期旱涝的 前期气象要素特征的统计分析及其应用

施能 卢云* 杨晓霞** 郝寿昌***

提 要

本文用1951~1980年资料,对影响长江中下游夏季旱涝的地面、高空气象要素作了比较全面的统计分析。根据相关系数和马哈拉诺比斯距离挑选预报因子,指出了影响汛期降水的关键气象要素、关键月和关键区。用逐步回归和逐步判别方法作夏季月降水量预报,经独立样本资料检验,效果较好。

一、资料和方法

1. 资料

取长江中下游五站(上海、南京、芜湖、九江、武汉)平均的6月、6月加7月、7月和8月的月降水量为分析对象。前期要素取上年9月到当年4月的地面各月、季降水量;各月、季平均气温。高空的亚洲地区和亚欧地区月平均环流指数、月平均极涡强度、月平均副高面积指数、强度指数和北半球500毫巴月平均高度值等。在讨论地面气象要素时,用1906年至1976年(71年)的资料,在讨论高空气象要素时,用1951年至1980年(30年)的资料。

2. 方法

用前期气象因子分别与 R_6, R_{6+7}, R_7, R_8 的月平均值或分级资料,算下两个指标值:

(1)线性相关系数;

(2)马哈拉诺比斯(Mahalanobis)距离(简称为 $Maha(x_i)$)。

设1代表预报对象为旱类,2代表预报对象为涝类,则单因子 x_i 的马哈拉诺比斯距离(以下简称为马氏距离)表示为

$$Maha(x_i) = \frac{[x_i(1) - x_i(2)]^2}{\sigma_i^2} \quad (1)$$

*安徽省气象局

**山东省气象局

***山西省气象局

其中 $\bar{x}_i(1)$ 、 $\bar{x}_i(2)$ 分别是因子 x_i 在旱类和涝类的平均值, σ_i^2 是 x_i 的方差。

用两种方案计算 $Maha(x_i)$ 。方案1是将预报对象等频数地分为偏多、偏少二级。1代表偏少, 2代表偏多, 用(1)式计算。方案2是将预报对象分为旱、正常、涝三级, 频数分别为1/4, 1/2, 1/4。用1代表旱类, 2代表涝类, 不考虑正常年份, 仍用(1)式计算。这样做的目的是寻找区别旱、涝的因子, 并且与方案1作比较。

3. 因子的标准

从(1)式推得 $Maha(x_i)$ 与对 x_i 进行平均值差异的显著性检验时的 t 统计量有如下关系

$$Maha(x_i) = \frac{4}{n} t^2(x_i) \quad (2)$$

n 为资料总数。根据信度 α 可查出 t 临界值 t_α , 然后由(2)式算出马氏距离临界值。规定满足下列任何一个条件可作为预报因子。

(1) 方案1或方案2的 $Maha(x_i)$ 值有一个大于0.05信度下的临界值(在计算极涡指标和西太平洋副高指标时, 信度降为0.10)。

(2) 相关系数大于0.10信度下的临界值*。

二、地面气象要素分析

地面气象要素具有资料年代长, 易观测的特点, 容易找出一些较可靠的预报征兆。表1列出了汛期降水的预报因子。

表 1

降水月份	要 素					
R_6	+上年 R_{10}	+ T_2	+ R_3	+上年 $R_{秋}$		
R_{6+7}	- T_3	+ R_3	+上年 R_{10}	+ R_1	+ $R_{冬}$	+ $R_{秋}$
R_7	- T_3	+上年 R_{10}	+ R_1	- T_2		
R_8	+上年 $T_{秋}$	+上年 T_{11}	+上年 T_9			

表1中, “秋”是指9、10、11月, “冬”是指12月、1月、2月; “+”、“-”是相关系数的符号, 即“+”表示要素的大值有利于出涝类。从表1看出:

1. 预报6、7月份降水的地区要素中以秋季降水(10月代表)和冬季降水(1月代表)较好, 有“秋(10月)大涝, 夏(6、7月)大涝”, “秋(10月)旱, 夏(6、7月)旱”的关系。资料表明五站平均的 $R_{10} > 100$ 毫米, 则来年 R_6 , R_7 中至少有一个月降水是正距平(通常是两个月降水量同为正距平), 且 $R_{6,7} > 300$ 毫米(通常是大涝)。反之, $R_{10} < 20$ 毫

*经计算, 满足条件(1)的因子有1/3—1/4不满足条件(2), 反之亦然。故同时考虑相关系数和马氏距离可以避免漏掉重要的预报因子

米, 则来年 R_6 , R_7 中至多有一个月降水是正距平, 且 $R_{6,7} < 390$ 毫米。以秋季降水量而言, $R_{秋} \geq 350$ 毫米, 则来年 $R_{6,7} \geq 400$ 毫米(大涝), $R_{秋} < 110$ 毫米, 则 $R_7 < 130$ 毫米(大旱)。值得一提的是, 1981年10月是1885年以来, 长江中下游第八个大涝年, 满足以上秋涝条件, 结果1982年长江中下游6、7两月降水量均为正距平, 而且7月大涝, 6、7月总降水量超过450毫米(夏涝)。

对于冬季, 也有“冬涝夏(6、7月)涝”, “冬旱夏(6、7月)旱”的关系。资料表明, $R_1 > 120$ 毫米, 则 $R_6 > 300$ 毫米, $R_{6,7} > 500$ 毫米(大涝); $R_1 < 22$ 毫米, 则 $R_6 < 250$ 毫米(大旱)。满足条件的18年无一例外。如大涝的1887、1901、1910和1954年, 大旱的1892、1904和1963年等等。

2.8月份降水预报的预报因子与6、7月的降水因子有较大的差别。以秋季温度指示来年8月降水关系较好。事实上, R_8 与 R_6 、 $R_{6,7}$ 、 R_7 的相关系数分别为-0.19, 0.19, 0.38。所以汛期8月份的降水与6、7月份降水的前期征兆应该有不少区别。

三、亚洲地区、亚欧地区月平均环流指数

为了讨论环流指数与长江中下游汛期降水的关系, 我们首先计算这两个地区纬向指数和经向指数之间的相关系数, 再计算同一地区经纬向环流指数之间的相关系数, 结果见表2。

表 2

环流指数	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
亚洲纬向和 亚洲经向	0.03	-0.24	-0.51	-0.38	-0.29	-0.33	-0.17	-0.31	-0.06	-0.47	-0.55	-0.62
亚欧纬向和 亚欧经向	0.11	-0.38	-0.11	-0.23	-0.16	-0.33	-0.32	-0.45	0.03	-0.47	-0.51	-0.47
亚洲纬向和 亚欧纬向	0.83	0.93	0.76	0.90	0.75	0.76	0.69	0.83	0.81	0.65	0.83	0.91
亚洲经向和 亚欧经向	0.66	0.68	0.77	0.66	0.80	0.80	0.86	0.83	0.77	0.58	0.83	0.84

表2说明两个地区的环流指数间的相关系数变化在0.58~0.93之间, 而同一地区纬向环流指数与经向环流指数之间的相关系数变化在0.11~-0.62之间。这说明, 不同地区的纬向(或经向)环流指数的相关较密切, 而同一地区的纬向环流指数和经向环流指数之间通常有很不密切的负相关。1月份是比较特殊的, 纬向环流经向环流通常是同时偏弱或同时偏强(呈微弱的正相关)。所以有必要分别讨论这两个地区的环流指数和汛期降水的关系。

表3是达到因子标准的环流指数。表中“-”表示环流指数的大值有利于出旱类, 反之, “+”表示有利于出涝类。右上角标“*”的因子更为重要。

从表3看出:

表 3

项目 降水月	亚洲 纬 向				亚 洲 经 向				亚欧纬向		亚欧经向				
	9	10	1	4	9	10	11	1	2	4	10	1	9	1	4
R ₆				-			-*						-	+	*
R ₆₊₇							-*	-*			-	-			+
R ₇			-*	-					-		-	-		-*	+
R ₈	-*	-	-				+	*		+	+	*	-	-	+

1. 亚洲地区环流指数比亚欧地区环流指数重要。亚欧地区纬向环流指数通常是比较不太重要的。

2. 从月份看，秋季9、10月，冬季1月，春季4月是比较重要的。秋季11月，冬季12月，春季3月的环流指数几乎不能提供重要的预报信息。

3. 亚洲地区9月份经向环流指数是值得重视的长江中下游6月份降水量的长期预报指标。该指标的马氏距离值对方案1和方案2分别为1.370和3.704，均超过0.01信度标准。与6月份降水量的相关系数为-0.46，也接近0.01信度标准。资料表明，亚洲地区9月份经向环流指数值小于0.40，来年6月降水偏多，至少有180毫米，7年无一例外；若该数值大于0.58，则来年6月大旱，至多130毫米，历史上有1952，1958，1967，1968共4年，其中1952，1958，1968是1950年以来，6月份最早的3年。所以，亚洲地区9月份经向环流特强，几乎是6月大旱的必要条件。

四、西太平洋副高和汛期旱涝的关系

西太平洋副高和旱涝关系过去做过一些工作，方法是在累积距平和旱涝之间找对应关系，累积距平能反映连续几个月的副高强弱，但这样做有不分主次，掩盖前期关键月份的弊病。也就是说，没有指出那些月份副高强度对汛期降水的影响是该重点考虑的。本文针对长江中下游区域的旱涝预报，经过较严格的统计检验，指出对汛期降水影显著的关键月。

首先，定量的表示西太平洋副高强度，往往采用副高面积指数和副高强度指数，经过我们计算，发现这两个指标相关性极好，月相关系数至少为0.91。如果考虑了某个月的面积(或强度)指数以后，就不必再考虑该月的强度(或面积)指数了。所以，这里我们就仅讨论面积指数与旱涝的关系。

图1a~1c分别是6月、7月、8月的降水量分级时，副高面积指数的月平均值的时间演变曲线。图中上部是降水量分二级时的情况，实线表示降水偏少年；虚线表示降水偏多年。图中下部是降水量分三级时的情况，实线表示早年；虚线表示涝年。横坐标月份上、下的“Δ”号分别表示降水量分二级和三级时，副高面积指数影响显著的月份，即达到显著性标准的月份。

由图可见：

1. 2、3月份副高偏弱是6月降水偏多(或涝)的前期征兆。如果在2月份以前副高是连续偏弱的，则可能6月涝(见图1a)。

2. 副高强弱与7月份旱涝的关系从当年的1月份开始表现得清楚起来。3、4月份副高偏强，则7月降水偏多。如果1月份副高明显偏弱，4月份偏强，则7月可能涝(见图1b)。

3. 8月涝年的前期副高特征是从上年12月到当年1月副高明显偏弱，但主要是12月副高偏弱(见图1c)。

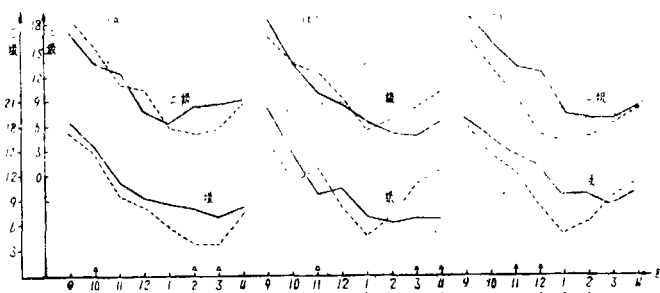


图 1a-1c 旱涝年时副高面积指数(6、7、8月)

五、月平均极涡中心强度和汛期旱涝的关系

表4列出降水偏少月时的月平均极涡中心强度。

表4中的“强”(“弱”)是指极涡中心强度的数值小(大)，“.”号表示该因子相对更重要些。

表 4

降水月	前 期 月							
	9	10	11	12	1	2	3	4
R ₆				弱*		弱		强
R ₆₊₇		强*		弱*			强	
R ₇		强*					强	
R ₈		强*	弱			强		

表4说明，10月和12月极涡强度是对汛期降水影响最显著的两个月。顺便说明，表1、3、4、5指出的是平均特征，必需从中得到具体的预报指标或组合成预报工具后才能使用。

六、北半球500毫巴月平均高度场与汛期降水的相关分析

1. 关键月

首先在北半球 $10^{\circ} \sim 85^{\circ} \text{N}$ 范围内, 对每隔 10° 经度, 10° 纬度(70°N 以北每隔 5° 纬度)的网格点高度值与汛期各月降水量计算相关系数, 然后统计各月相关系数的绝对值大于 0.05 信度下的临界值的个数。结果得到:

(1) 2月, 1月, 3月份的500毫巴高度场分别与6月, 7月, 8月份的降水量相关最密切, 这些月份的高相关点数, 明显的多于其它月份, 称为关键月。

(2) 高度场与汛期降水的相关, 並不是时间越近, 相关越好, 明显看出4月份的500毫巴高度场並不很重要。

2. 高相关点的空间分布

为统计高相关点的空间分布, 我们筛去一些零星的相关区, 统计成片的高相关点(即至少有四个连成片的高相关点)的分布。表5左半部是对我国邻近地区($50^{\circ} \sim 160^{\circ} \text{E}$)和其它地区高相关点数的统计。可以看出, 这些高相关点很少出现在我国邻近地区, 绝大多数(约占80%)的高相关点位于离我国很遥远的地方, 这种情况在汛期各月预报中均表现得很清楚(特别是6月、8月)。

3. 高相关点的地理分布

表5右半部是高相关点的地理分布。可以看出, 高相关点主要位于北美大陆(包括极区), 其次是欧亚大陆(包括极区)。中高纬度的太平洋地区、鄂霍茨克海、日本海上空、大西洋地区很少有成片的高相关区。在低纬度太平洋地区有成片的高相关区, 反映了低纬度副高的强度。冬半年的高相关区集中在高纬度大陆上空和极区的事实表明, 汛期降水特征与冷源有关。

表 5

降水月	项			目				
	$50^{\circ} \sim 160^{\circ} \text{E}$	其它地区	Σ	北美大陆 $30^{\circ} \sim 85^{\circ} \text{N}$ $170^{\circ} \sim 30^{\circ} \text{W}$	欧亚大陆 $10^{\circ} \sim 130^{\circ} \text{E}$	太平洋 30°N 以南	北非 20°N 以南	其它
6月	32(19.8)	130(80.2)	162	90	30	12	0	30
6+7月	20(25)	60(75)	80	39	30	0	0	11
7月	47(38.8)	74(61.2)	121	50	55	0	7	9
8月	10(12)	73(88)	83	65	8	0	0	10

七、预报应用

根据上面提供的预报因子, 可用各种统计方法建立预报工具, 下面仅给出6、7月份降水预报的逐步回归和逐步判别结果。

1.6 月份降水预报

逐步回归方程为

$$R_6 = 20.57x_3 - 5.31x_9 + 4.55x_{10} - 2.68x_{11} + 7.09x_{12} - 4.86x_{17} - 405 \quad (1)$$

逐步判别函数(以中位数 180 毫米分两级)

$$y = 33.35x_5 + 0.038x_2 - 36.09x_8 - 0.391x_{10} + 0.1648x_{11} + 8.634 \quad (2)$$

$y > 0$, 报 6 月旱类($R_6 < 180$ 毫米)

$y < 0$, 报 6 月涝类($R_6 > 180$ 毫米)

2.7 月份降水预报

逐步回归方程为

$$R_7 = 2.96x_1 - 7.9x_4 - 146.6x_6 + 57.71x_7 - 344x_8 + 8.45x_{14} + 5.87x_{13} \\ + 5.74x_{15} - 148.6 \quad (3)$$

逐步判别函数(以中位数 116 毫米分为两级)

$$y = 16.63x_6 + 28.043x_8 + 0.259x_{16} - 0.261x_{15} - 57.07 \quad (4)$$

$y > 0$, 报 7 月旱类($R_7 < 116$ 毫米)

$y < 0$, 报 7 月涝类($R_7 > 116$ 毫米)

预报方程(1)~(4)中的预报因子如下:

- x_1 : 当年 1 月份降水量(毫米)
- x_2 : 上年 10 月份降水量(毫米)
- x_3 : 上年 9 月份平均气温减 20 度
- x_4 : 当年 1 月份西太平洋副高面积指数
- x_5 : 上年 9 月亚洲地区经向环流指数
- x_6 : 上年 10 月亚洲地区纬向环流指数
- x_7 : 当年 1 月亚洲地区纬向环流指数
- x_8 : 当年 1 月亚欧地区经向环流指数
- x_9 : 上年 12 月极涡中心强度
- x_{10} : 上年 10 月 85°N , $150^\circ\text{E} \sim 170^\circ\text{W}$ 五点 500 毫巴月平均高度值减 500 (位势什米)
- x_{11} : 上年 12 月 50°N , $180^\circ\text{E} \sim 160^\circ\text{W}$ 三点 500 毫巴月平均高度值减 500 (位势什米)
- x_{12} : 上年 9 月 40°N , 100°W ; 40°N , 90°W 两点 500 毫巴月平均高度值减 500 (位势什米)
- x_{13} : 上年 10 月极涡中心强度
- x_{14} : 当年 1 月份 40°N , $70^\circ \sim 90^\circ\text{E}$ 三点 500 毫巴月平均高度值减 500 (位势什米)
- x_{15} : 1 月份 80°N , $20^\circ\text{W} \sim 0^\circ\text{W}$ 三点 500 毫巴月平均高度值减 500 (位势什米)
- x_{16} : 上年 9 月 60°N , $60^\circ\text{E} \sim 70^\circ\text{E}$ 两点 500 毫巴月平均高度值减 500 (位势什米)
- x_{17} : 2 月份 80°N , $150^\circ\text{W} \sim 130^\circ\text{W}$; 75°N , $150^\circ\text{W} \sim 130^\circ\text{W}$ 六点 500 毫巴月平均高度值减 500 (位势什米)

预报方程(1)~(4)经统计检验,信度均在0.01以上。表6给出这些方程的历史拟合效果和1981、1982年的预报效果。可以看出,预报效果是较好的。

表 6

月	均方差	复 相 关系数	剩 余 标准差	准确率	1981年		1982年	
					预报	实况	预报	实况
(1) 6月	78 毫米	0.88	41 毫米	/	141 毫米	167 毫米	230 毫米	196 毫米
(2)		/	/	28/29	旱类	旱类	涝类	涝类
(3) 7月	110 毫米	0.91	55 毫米	/	135 毫米	169 毫米	311 毫米	278 毫米
(4)		/	/	28/29	涝类	涝类	涝类	涝类

在组成预报方程的过程中,我们还有以下一些结果:

(1)在2月底作当年汛期预报比较合适,这时,一些主要的预报信息已经出现。当我们加入3、4月份的因子进行挑选时,预报方程没有多大改善,这些因子往往不能入选。

(2)汛期降水的前期因子主要是亚洲地区、亚欧地区的经、纬向环流指数,500毫巴的高度场。至于地面气象要素、副高强度指数、副高面积指数、极涡中心强度相对来说是比较次要的因子。

3.为了使预报方程能包含各方面的因子,特别是副高因子,应选取5~7个左右的预报因子。实践表明,这时的预报效果比较好。

八、小 结

1.用长江中下游五站资料证实了“秋(10月)涝,来年夏涝;秋(10月)早,来年夏早。”“冬(1月)涝,来年夏涝;冬早,来年夏早”的对应关系。

2.亚洲地区9月份经向环流指数、亚欧地区1月份经向环流指数有较好的长期汛期旱涝预报价值。

3.副高面积指数和副高强度指数的相关性极好。讨论秋冬副高强弱与夏季汛期降水的关系时可以抓关键月。

4.月平均极涡中心强度对汛期降水影响的关键月份是上年的10月和12月。

5.影响6、7、8月降水量的500毫巴月平均高度场的关键月份是2月、1月和3月。

6.本文给出的预报指标和预报工具,从拟合角度看,大旱的1958、1968和1978年,大涝的1954、1969和1980年均未出错,二分类的拟合率达30/31(用4~5个因子)。从1981和1982年的预报效果看比较理想,故可在业务部门进一步检验使用。

STATISTICAL ANALYSIS OF THE
METEOROLOGICAL CONDITIONS RESPONSIBLE
FOR THE DRYNESS AND WETNESS DURING
THE PERIOD PRIOR TO THE RAINY SEA-
SON IN THE MIDDLE AND LOWER
YANGTZE RIVER REACHES AND
THEIR APPLICATIONS

Shi Neng, Lu Yun*, Yang Xiaoxia**, He Shouchang***

ABSTRACT

Statistical analysis has been made of the surface and upper-air meteorological conditions responsible for the drought and flood in the middle-lower Yangtze River reaches during summer by using the 1950-1980 weather data. Predictors are chosen based on the correlation coefficient and Mahalanobis distance between predictors and Predictand, thus obtaining some key meteorological criteria, months and regions which may affect the precipitation during the rainy season. The use of stepwise multiple regression and discrimination techniques for rainfall prediction in summer has proven, after being tested with independent samples, to have good results.

-
- * The Weather Bureau of Anhui Province
 - ** The Weather Bureau of Shandong Province
 - ***The Weather Bureau of Shanxi Province