

胡桂芳, 孟祥新, 汤子东. 2013. 山东夏季降水量场预测模型的改进及预测效果检验. 气象, 39(9): 1210-1216.

# 山东夏季降水量场预测模型的 改进及预测效果检验<sup>\* 1</sup>

胡桂芳 孟祥新 汤子东

山东省气候中心, 济南 250031

**提 要:** 本文对 2002 年建立的山东夏季降水量场预测模型进行了多方面的改进。预测因子的选取在原来以常规 100、500 hPa 或海温状态场的关键区域平均值基础上, 增加了能表征天气系统月际演变趋势及区域环流总体特征的遥相关型环流指数, 建模资料的选取结合了环流突变的气候背景, 以 1977—2008 年资料进行建模, 建模方案在原来纯数学分析的基础上, 增加了着重考虑因子物理意义的建模方案, 用 2009—2011 年实况资料对两种建模方案及 2002 年建模方案的预测结果进行对比分析。结果表明, 改进后预测模型较旧预测模型的预测效果有较大提高, 而物理统计预测模型对降水的空间分布也具有较好的预测效果。

**关键词:** 夏季降水, 场预测模型, 改进

**中图分类号:** P456

**文献标志码:** A

**doi:** 10. 7519/j. issn. 1000-0526. 2013. 09. 018

## Improvement of a Summer Rain Field Predictive Model in Shandong Province and Its Verification

HU Guifang MENG Xiangxin TANG Zidong

Shandong Provincial Climate Centre, Jinan 250031

**Abstract:** In this paper, a predictive model constructed in 2002 to forecast summer rain field in Shandong Province is significantly improved. On the basis of the original prediction factors of 100 hPa and 500 hPa geopotential heights and sea surface temperature of the key zone, teleconnection circulation indices characterizing monthly development and regional circulation of weather system are taken into account. Climate background of the atmospheric circulation abrupt change is considered when selecting data of 1977—2008 period to construct the model. And besides of mathematical analysis, schemes considering physical implications of the predictors are included in the new model. The new model, the original model and the 2002 predictive model are comparatively evaluated by using the 2009—2011 observation data. Results show that performance of the improved model is much better than the original one. The new model has also good performance of predictions in forecasting spatial distributions of precipitation.

**Key words:** summer rainfall, field predictive model, improvement

## 引 言

众多研究表明, 20 世纪 70 年代末以来, 全球大

气和海洋系统发生了一次明显的年代际变化, 主要表现为自 1976—1977 年冬季起, 阿留申低压加强东移, 赤道中东太平洋海表温度(SST)大面积增暖, 北太平洋中部 SST 异常变冷(江志红等, 2001; 王绍武

\* 山东省气象局项目(2009sdqxz09)资助

2012 年 7 月 4 日收稿; 2013 年 1 月 23 日收修定稿

第一作者: 胡桂芳, 主要从事短期气候预测业务及研究工作. Email: guifanghu2009@163.com

等,1999;杨秋明,2006)。年代际作为年际尺度背景,对年际尺度的气候变率现象具有重要的影响,如高辉(2006)发现淮河夏季降水与前期 ENSO 的关系在环流突变前后存在着明显的差异,在突变前,降水与赤道东太平洋的海温为显著的负相关,而在突变后,相关值转为弱的正相关。因此在实际业务中不能再沿用全程相关的预测思路。

长期以来,气候预测主要以物理统计方法为主(肖子牛,2010),根据前期大气环流及海温异常特征进行降水分布型的预测(龚振淞等,2010;李智才等,2008;宋燕等,2008),是降水趋势预测的有效工具之一。作者曾在2002年从山东夏季降水量场的不同分布型入手,寻求了不同降水分布型的前期预测强信号及其自身变化的显著周期,建立了山东夏季降水量场预测模型(胡桂芳等,2002),多年来在业务中应用并取得良好的应用效果。但近年来预测效果却不理想,究其原因,其一是模型中的因子预测意义下降或改变:如文献(胡桂芳等,2002)中阐述的影响第一主分量最显著海温关键区即4月西风漂流区的正相关和 NINO C 区的负相关已明显减弱,自身振荡最显著周期也由13年调整到10年;其二是因子的构建仅考虑了环境场某关键区域的平均状况;其三是建模资料采用的是整个样本。因此本文在以往工作的基础上,在建模思路及因子的选取和构造上做了一些改进,以期能为山东夏季降水趋势预测提供较为可靠的参考依据。

## 1 资料来源及方法

本文采用1961—2011年山东短期气候预测业务中使用的26个代表站夏季(6—8月)降水量资料,并将其转化为降水距平百分率;国家气候中心的北半球100 hPa( $10^{\circ}\sim 80^{\circ}\text{N}$ , $10^{\circ}\times 10^{\circ}$ )、500 hPa( $10^{\circ}\sim 85^{\circ}\text{N}$ , $5^{\circ}\times 10^{\circ}$ )月平均高度场;北太平洋海温( $10^{\circ}\text{S}\sim 50^{\circ}\text{N}$ , $5^{\circ}\times 5^{\circ}$ )及74种环流特征量资料。采用的主要方法有:自然函数正交分解(EOF)、小波分析、最大熵谱、均生函数、相关分析、逐步回归及最优子集回归等(魏凤英,2007)。

## 2 建模思路的改进

具体建模步骤与文献(胡桂芳等,2002)基本相

同,只是在具体细节上做了如下几方面改进。

(1) 建立预测模型的样本资料考虑了环流突变背景。分段计算(1961—2008和1977—2008年)各主分量与前期500 hPa月平均高度场、北太平洋月平均海温场的相关系数,分析环流突变前后相关场的变化,直接将1976/1977年冬季视为环流发生突变时段(江志红等,2001;王绍武等,1999;杨秋明,2006),在此基础上,确定建立预测模型的样本资料。

(2) 模型中因子的构建方法多样,其预测意义更为清晰。在常规以100、500 hPa或海温状态场的关键区域平均值为因子的基础上,定义了能表征东亚大槽、乌拉尔山阻高等与山东夏季降水关系密切的天气系统月际演变趋势指数,能表征一个区域环流总体特征的遥相关型指数,能表征海温场变化的特征指数等作为因子。

(3) 优势周期的提取综合应用了多种方法,并兼顾其预测意义。在原来的最大熵谱及均生函数分析方法基础上,增加了更能揭示时间序列细微变化的小波分析技术,在综合考虑各种方法优缺点的基础上,并兼顾不同长度周期的预测意义,确立了各主分量的优势周期。

(4) 预测模型建立除了原来的纯数学分析方案,又增加了着重考虑因子物理意义的建模方案,并对两种建模方案及2002年建模方案的预测效果进行对比分析。

## 3 预测模型的改进

### 3.1 建模资料的选取

对山东夏季降水量场进行 EOF 分解的工作已在文献(胡桂芳,2011)中完成,前3个特征向量的累积方差贡献已达71%,基本上可以解释山东夏季降水的空间分布特征,本文直接以前3个主分量为预测对象,分段计算(1961—2008和1977—2008年)各主分量与前期各月(上年9月到当年4月)500 hPa高度场及北太平洋海温场的相关系数,可以发现环流突变以来山东夏季降水与前期500 hPa高度场及海温场的关系发生了明显的改变,以占方差贡献最大的第一主分量而言,全程相关显示从前期冬季到春季二者相关程度较弱,已找不出有预测

意义的强信号;但环流突变以来二者的相关关系比较清晰,前期冬季欧亚中高纬地区的“一十”遥相关型(图 1)和春季北太平洋地区的“南正北负”的遥相关结构(图略)清晰地显示出来。而从与海温关系最为密切的第二主分量上分析,虽然全程相关与环流突变以来的相关总体相关性质没有变化,基本上是“西北正东南负”的分布特征,但相关区域的显

著程度及相关最显著的月份均发生了较大的变化,全程相关结果显示,影响第二主分量最显著的区域为前期冬季的赤道东太平洋地区的正相关和 4 月西风漂流区的负相关;而环流突变以后的相关结果显示,前期冬季黑潮区的负相关明显增强,2 月达到最强,西风漂流区的负相关则明显减弱,赤道东太平洋区正相关变化不明显(图略)。

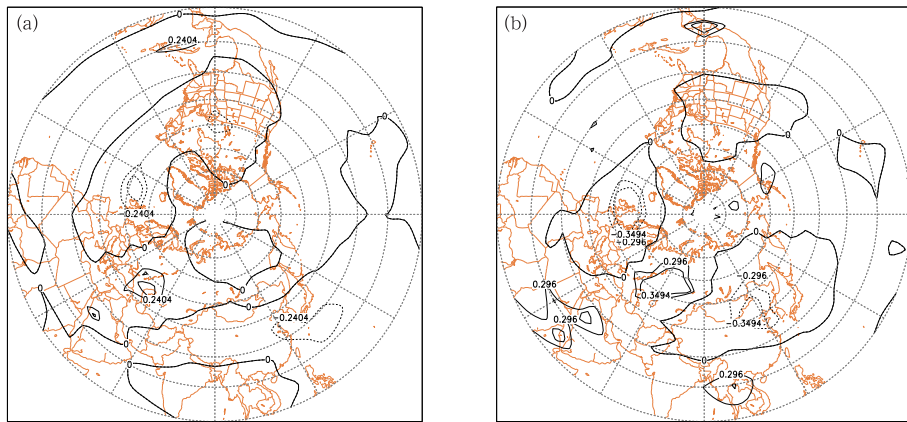


图 1 山东夏季降水第一主分量与当年 1 月 500 hPa 高度场相关系数  
(a) 1961—2008 年, (b) 1977—2008 年

$$(n=32 \text{ 年}, r_{\alpha=0.1}=0.2960, r_{\alpha=0.05}=0.3494, r_{\alpha=0.01}=0.4487;$$

$$n=48 \text{ 年}, r_{\alpha=0.1}=0.2404, r_{\alpha=0.05}=0.2846, r_{\alpha=0.01}=0.3685)$$

Fig. 1 Correlation coefficients between first principal component of summer rainfall in Shandong Province and 500 hPa geopotential height field in January

(a) 1961—2008, (b) 1977—2008

$$(n=32 \text{ 年}, r_{\alpha=0.1}=0.2960, r_{\alpha=0.05}=0.3494, r_{\alpha=0.01}=0.4487;$$

$$n=48 \text{ 年}, r_{\alpha=0.1}=0.2404, r_{\alpha=0.05}=0.2846, r_{\alpha=0.01}=0.3685)$$

由此可见,伴随着大气和海洋系统的突变,大气环流、海温与山东夏季降水的关系也发生了明显的改变,因此在实际业务中不能再沿用以前全程相关的预测思路,本文将采用环流突变以来即 1977 年以后的资料进行建模。

### 3.2 环境场因子的初选

在已确立建模资料的基础上,补充计算了 1977—2008 年山东夏季降水各主分量与前期 100 hPa 高度场、500 hPa 月际变化场(后一个月减前一个月)、海温变化场(4 月减 1 月)及 74 种环流特征量的相关系数,共得到 24 个 500 hPa 高度相关场、21 个月际变化相关场、24 个 100 hPa 高度相关场、24 个北太平洋海温相关场及 4 月减 1 月的海温

变化相关场和 74 种环流特征量的相关系数,对上述相关场的相关意义及其所指示的天气学意义进行分析,分析中发现如下几个特点。

(1) 与 100 hPa、500 hPa 高度场的相关以第一主分量最为显著,通过 0.05 显著性水平检验的区域春季和秋季主要出现在副热带尤其是太平洋和大西洋地区,说明前期太平洋和大西洋副热带高压(以下简称副高)的异常与后期夏季降水关系密切;冬季的高相关区主要出现在西风带,且以欧亚的中高纬地区最为显著,说明长期天气过程存在明显的“隔季相关”现象。与北太平洋海温场的相关以第二主分量最为显著,且以冬季赤道中东太平洋的正相关和黑潮区的负相关影响最为显著,说明前期北太平洋的海温异常是影响山东夏季降水东多(少)西少(多)分

布型的主要因素。

(2) 在对流层 500 hPa 高度场的相关分布中,太平洋或大西洋的低纬和中高纬地区的高相关区域常常呈“南负北正”或“南正北负”的翘翘板式分布,说明两大洋地区的环流经向度对后期夏季降水有较大影响。

(3) 前三个主分量中仅第一主分量与 500 hPa 月际变化场的相关性较状态场偏强,图 2 为山东夏季降水第一主分量与当年 1 月减上年 12 月的 500 hPa 高度差值场的相关分布,图中清晰显示欧亚中高纬地区的相关中心呈明显的“一十”排列,乌拉尔山地区的正相关和东亚沿岸的负相关均超过 0.01 的显著性水平检验,且范围较大,意味着从前冬 12 月到隆冬 1 月东亚大槽和上游的乌拉尔山高压脊的明显加强,利于来年山东夏季降水全省性偏多。

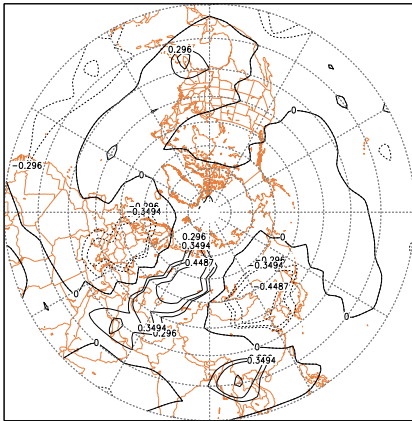


图 2 山东夏季降水第一主分量与当年 1 月减上年 12 月的北半球 500 hPa 高度差值场相关场 (说明同图 1)

Fig. 2 Correlation coefficients between first principal component of summer rainfall in Shandong Province and 500 hPa geopotential height differential field between January and last December (legend same as Fig. 1)

在相关分析的基础上,从如下 3 个方面对备选因子进行定义:

(1) 选取物理意义清晰,通过显著水平为 0.05 及以上的显著性水平检验,且格点数不小于 6 的关键区域作为备选因子。

(2) 用关键区域平均高度值的月际变化来表示天气系统的演变特征。如第一主分量与当年 1 月减上年 12 月的 500 hPa 高度差值场的相关结果表明,在东亚沿岸呈明显的负相关,因此定义上年 12 月 ( $35^{\circ}\sim 55^{\circ}\text{N}$ 、 $100^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$ ) 13 个格点的区域平均高度为  $X1a$ ,当年 1 月该区域的平均高度为  $X1b$ ,定义  $X1=X1b-X1a$ , $X1$  值可以反映东亚大槽的增强还是减弱,当  $X1$  为正值时,对应东亚大槽减弱,当  $X1$  为负值时,则表示东亚大槽加强。类似的定义还有乌拉尔山阻高及极涡的演变趋势等,详见表 1。

(3) 对呈跷跷板式分布的“南负北正”或“南正北负”高相关区,用区域平均的差值来综合考虑一个地区的总体环流特征。如第二主分量与上年 12 月 500 hPa 高度相关场在东亚至西太平洋地区呈明显的“南负北正”特征,因此定义 ( $50^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{N}$ 、 $120^{\circ}\sim 170^{\circ}\text{E}$ ) 的 14 个格点区域平均高度为  $X2a$ , ( $25^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}$ 、 $140^{\circ}\sim 170^{\circ}\text{E}$ ) 的 9 个格点区域平均高度为  $X2b$ ,定义遥相关指数  $X2=X2a-X2b$ , $X2$  值可以反映东亚至西太平洋地区环流经向度,当  $X2$  为正值时,对应高纬度为正距平区,低纬度为负距平区,纬向环流弱;当  $X2$  为负值时,则相反。

### 3.3 降水量自身周期的初选及其因子的构造

提取时间序列的显著周期方法有很多,本文在文献(胡桂芳等,2002)采用的最大熵谱及均生函数基础上,增加了更能反映时间序列细微变化的小波分析技术对前 3 个主分量的优势周期进行提取。

在具体计算时,最大熵谱中最大落后长度  $M=N/2$ , $N$  为样本长度;均生函数采用的计算方案为主成分分析,以方差贡献的大小作为衡量优势周期的标准;小波分析采用的基本子波函数为 Morlet 小波,各种方法的计算结果见表 2。

因长周期对应的均生函数序列与原序列相关性较好,所以均生函数方案所选的优势周期常常为长周期,用长周期做因子,预报结果往往接近平均值,所以具体选择因子时应兼顾 3 种方案的计算结果。

综合分析,得到各主分量优势周期为:第一分量为准 3 年、6 年和 10 年;第二主分量为准 5 年和准 11 年;第三主分量为准 3 年和 11~13 年。

将已经提取的各主分量优势周期,采用均生函数主成分方案构造其周期性延拓序列,并将其作为

备选因子。

### 3.4 预测模型的建立及预测效果检验

经过前文的分析研究,得出了各主分量环境场

因子及自身优势周期振荡因子,见表 1,采用这些因子,便可建立各主分量的预测方程。具体建模过程分为两种计算方案:数学统计模型和物理统计模型。

数学统计模型:首先对表 1 所列的备选因子采

表 1 各主分量备选因子  
Table 1 Alternative factors of principal components

第一主分量						
序号	时间	类别	范围	格点数	$R_{\max}$	
X1*	上 9	H100	20°~30°N,0°~70°W	13	-0.55	
X2*	上 12	H100	40°~70°N,50°~90°E	16	-0.57	
X3**	同 2	H100	20°~40°N,150°~110°W	9	-0.53	
X4**#	同 1 至上 12	H500	35°~55°N,100°~140°E	13	-0.54	
X5	同 1 至上 12	H500	45°~65°N,50°~85°E	15	0.57	
X6**	同 4 至同 3	H500	75°~80°N,170°~60°W	14	0.57	
X7**	上 12	H500	15°~25°N,30°~80°W	12	0.48	
X8**#	同 3	H500	15°~25°N,40°~60°E	6	0.46	
X9	同 3	H500	25°~35°N,140°~150°E	6	-0.44	
X10	同 3	SST	5°~10°N,150°~110°W	12	0.44	
X11#	同 4 至同 1	SST	0°~5°N,180°~160°W	8	-0.42	
X12**			10 年均生函数			
X13*			6 年均生函数			
X14			3 年均生函数			
第二主分量						
序号	时间	类别	范围	格点数	$R_{\max}$	
X1*	上 12	H100	70°~80°N,10°W~110°E	17	-0.47	
X2*	同 2	H100	40°~50°N,170°E~150°W	8	-0.44	
X3*	同 4	H100	40°~50°N,160°E~140°W	13	-0.49	
X4a**	上 12	H500	50°~60°N,120°~170°E	14	0.50	
X4b**	上 12	H500	25°~35°N,140°~170°E	9	-0.42	
X5**#	同 3	H500	15°~25°N,100°~130°E	6	0.53	
X6*	同 3	H500	45°~60°N,150°~180°E	11	-0.47	
X7*	同 2	SST	20°~30°N,130°~170°E	13	-0.60	
X8**#	同 2	SST	0°~15°N,170°~130°W	16	0.48	
X9*	同 1	SST	25°~30°N,150°~175°E	9	-0.43	
X10**#			11 年均生函数			
X11			5 年均生函数			
第三主分量						
序号	时间	类别	范围	格点数	$R_{\max}$	
X1**	上 12	H100	10°~20°N,50°W~30°W	6	-0.47	
X2**#	同 4	H100	10°~30°N,100°~120°E	6	-0.58	
X3a**	上 9	H500	30°~40°N,160°~145°W	9	0.58	
X3b**	上 9	H500	55°~65°N,140°~110°W	11	-0.61	
X4**#	同 1	H500	40°~55°N,5°~20°W	12	0.60	
X5	同 1	H500	45°~60°N,110°~150°E	9	0.44	
X6**#	上 12	DEX	大西洋欧洲环流型 W		-0.51	
X7**#	上 11	SST	10°~15°N,175°~135°W	17	-0.49	
X8**			13 年均生函数			
X9**			12 年均生函数			
X10**#			11 年均生函数			
X11			3 年均生函数			

说明: $R_{\max}$ 为最大相关系数;\*为逐步回归初选的因子,\*\*通过最优因子集回归精选即数学统计模型选入的因子,#为物理统计模型因子;第二主分量中的 X4=X4a-X4b,第三主分量中 X3=X3a-X3b;H500 和 H100 分别为 500 和 100 hPa 月平均高度,SST:海平面温度,DEX:环流特征量;同 1:同年 1 月,上 9:上年 9 月,其余类推。

表 2 最大熵谱、小波分析和均生函数

周期分析计算结果(单位: a)

Table 2 Results from maximum entropy spectrum, wavelet analysis and mean generating function (unit: a)

	最大熵谱	小波分析	均生函数
第一主分量	3.4	10	10
	12.0	6	16
第二主分量		20	24
	5.3	19	11
	2.0	16	16
第三主分量	3.4	10	18
	2.2	19	11
	2.7	10	16
	12.0		14

用逐步回归进行初选,将因子限定在 10 个之内;再利用最优子集回归原理,从所有的回归子集中通过双评分准则 CSC(趋势评分和量级评分)对其进行精选,选取 CSC 最大的方程,作为最终预测方程。前 3 个主分量的预测方程、CSC 评分及复相关系数分别为:

$$Y_1 = -4823.524 - 9.493X_4 + 7.375X_6 + 23.200X_7 + 32.462X_8$$

(CSC = 56.48, R = 0.85)

$$Y_2 = -1657.591 + 4.406X_4 + 22.592X_5 + 0.358X_{10}$$

(CSC = 60.62, R = 0.81)

$$Y_3 = 1298.782 + 7.03X_1 - 8.204X_2 + 2.316X_3 + 2.325X_4 - 4.637X_7 + 0.295X_8 + 0.271X_9 + 0.151X_{10}$$

(CSC = 58.37, R = 0.92)

物理统计模型:在数学统计模型中,一些物理意义清晰,有较好预测指示意义的因子经过双重筛选(逐步回归和最优子集回归)后,往往进入不到方程中,为了拟补纯数学分析的不足,在分析山东夏季不同雨型的前期异常大气环流及海温场特征(胡桂芳等,2012)的基础上,将预测意义明确且相互独立的因子,直接采用多元回归建立预测方程,前 3 个主分量的预测方程及复相关系数分别为:

$$Y_1 = -1971.278 - 5.1469X_3 - 9.7966X_4 + 24.9633X_8 - 1.7789X_{11} + 0.6788X_{12}$$

(R = 0.80)

$$Y_2 = -2031.201 + 12.8878X_5 + 3.5565X_8 + 0.3632X_{10}$$

$$(R = 0.68)$$

$$Y_3 = 1162.336 - 3.4397X_2 + 2.9011X_4 - 2.2420X_6 - 3.9237X_7 + 0.2770X_{10}$$

(R = 0.87)

将前 3 个主分量的预报值与相应的特征向量相乘,即可得到降水量距平百分率的预报值。采用两种计算方案,分别对 2009—2011 年的夏季降水进行了试报,并采用中国气象局 1999 年 7 月开始实行的短期气候预测质量评定办法,对 26 个代表站的预测效果进行评定。

为了说明改进后预测模型的预测效果,将 2002 年原建模方案及采用 1977—2008 年资料重新建立的预测方案,对 2009—2011 年夏季降水的计算结果也列于表 3。

3 年试报结果表明,改进后预测模型较旧预测模型的预测效果有较大提高,2002 年原预测模型除了 2010 年预测与实况有较好的吻合外,其他两年均与实况差异较大,以 1977—2008 年资料重建的 2002 年预测方案,虽然预测评分较原模型有一定的提高,但降水的空间趋势预测分布与实况差异较大,降水量级的预测多趋向平均值,均在正负两成以内,所以预测评分较高。而改进后的方案尤其是物理统计模型,对降水中心的预测能力也有明显提高,3 年均与实况有比较好的吻合,尤其是 2010 年的预测,与实况有很好的吻合。

## 4 结论与讨论

(1) 伴随着大气和海洋系统的突变,大气环流及海温与山东夏季降水的关系也发生了明显的改变。环流突变以来,影响第一主分量即山东夏季降水同多(少)分布型的主要因素为上年秋季和当年春季太平洋及大西洋副高的强弱、上年冬季欧亚中高纬地区环流异常情况尤其是东亚大槽及乌拉尔山高压脊的演变趋势;影响第二主分量即山东夏季降水东多(少)西少(多)分布型的主要因素为前期北太平洋的海温异常,主要影响关键区域为前期冬季赤道中东太平洋区及黑潮区。

(2) 从因子的选取及建模思路对 2002 年建立的预测模型进行了多方面改进,预测因子的构建在常规以环境场区域平均的基础上,增加了能表征天

表 3 数学统计模型、物理统计模型及 2002 年预测模型计算结果对比  
Table 3 Comparison of results among the mathematical-statistical model,  
physical-statistical model and the 2002 predictive model

	2009	2010	2011
数学统计型预测	全省偏少 0~2 成。预测评分 80.7 分。	鲁东南及半岛南部偏少 0~2 成, 其他地区偏多, 鲁西北及鲁中西部偏多 2 成以上。预测评分 100 分。	鲁南部分地区偏多 0~2 成, 其他地区偏少, 且大部地区偏少 2 成以上。预测评分 66.1 分。
物理统计型预测	鲁南及半岛局部偏多 0~2 成, 其他地区偏少, 且大部地区偏少 2 成以上。预测评分 85.2 分。	鲁西北及鲁中偏多 2 成以上, 其他地区偏多 0~2 成。预测评分 100 分。	鲁南及半岛东南部偏多 0~2 成, 其他地区偏少, 且大部地区偏少 2 成以上。预测评分 79.3 分。
2002 年原预测模型	鲁南大部偏少 0~2 成, 其他地区偏多, 半岛西部偏多 2 成以上。预测评分 77.1 分。	鲁南及半岛东部偏多 0~2 成, 其他地区偏多 2 成以上。预测评分 100 分。	半岛大部地区偏少 0~1 成, 其他地区偏多 0~2 成, 预测评分 57.7 分。
2002 年修改模型	鲁西南、鲁西北大部及鲁中西部偏少 0~2 成, 其他地区偏多 0~2 成。预测评分 80.7 分。	全省降水均偏多 0~2 成。预测评分 100 分。	鲁南部分地区偏多 1 成以内, 其他地区偏少 0~2 成。预测评分 69.2 分。
实况	鲁西南大部、鲁中和半岛局部偏多 2 成以上, 其他地区偏少 1 成到偏多 1 成。	鲁西北及鲁西南偏多 2 成以上, 其他大部地区偏多 0~2 成。	中东部偏多, 其中半岛东南部和鲁中东部偏多 2 成以上; 其他大部地区偏少, 鲁西北及鲁西南的部分地区偏少 2 成以上。

气系统月际演变趋势的指数及区域环流总体特征的遥相关型指数, 建模思路结合了环流突变气候背景及因子预测意义, 2009—2011 年试报结果表明, 改进后的预测模型较 2002 年模型的预测效果有较大提高, 尤其是物理统计模型的预测效果更优。

进入方程的因子并非是一成不变的, 具体到某一特定年份, 还应根据当年环境场的实际情况 (EN-SO 循环、东亚冬季风等因素的异常情况) 及气候要素的响应情况, 即在弄清影响当年夏季降水主导因素的前提下再确定引入方程的因子, 预测效果可能会更佳。

## 参考文献

- 高辉. 2006. 淮河夏季降水与赤道东太平洋海温对应关系的年代际变化. 应用气象学报, 17(1): 1-8.  
 龚振淞, 杨义文. 2010. 中国夏季旱涝气候预测相似模型. 气象, 36(5): 46-50.

- 胡桂芳. 2011. 山东夏季降水分布型及与全国雨型的关系. 山东气象, 31(1): 1-4.  
 胡桂芳, 奚秀芬. 2002. 山东夏季降水量场预测模型研究. 气象, 28(12): 15-19.  
 胡桂芳, 徐学义, 高理. 2012. 山东夏季不同雨型的前期异常大气环流及海温场特征. 海洋预报, 29(1): 42-47.  
 江志红, 屠其璞. 2001. 国外有关海气系统年代际变率的机制研究. 地球科学进展, 16(4): 569-572.  
 李智才, 宋燕, 朱临洪, 等. 2008. 山西省夏季年际气候异常研究 1. 山西省一致多雨或少雨型. 气象, 34(1): 86-93.  
 宋燕, 李智才, 朱临洪, 等. 2008. 山西省夏季年际气候异常研究 2. 山西省北少(多)南(多)少雨型. 气象, 34(2): 62-68.  
 王绍武, 朱锦红. 1999. 国外关于年代际气候变率的研究. 气象学报, 57(3): 376-382.  
 魏凤英. 2007. 现代气候统计诊断与预测技术. 北京: 气象出版社, 296.  
 肖子牛. 2010. 我国短期气候监测预测业务进展. 气象, 36(7): 21-25.  
 杨秋明. 2006. 中国降水准 2 年振荡模态与全球 500 hPa 环流联系的年代际变化. 大气科学, 30(1): 131-145.