

肖科丽,赵国令,方建刚,等. 2015. 陕西汛期降水年际增量预测新技术研究. 气象,41(3):328-335.

陕西汛期降水年际增量预测新技术研究<sup>\* 1</sup>

肖科丽<sup>1,2</sup> 赵国令<sup>3</sup> 方建刚<sup>4</sup> 王 娜<sup>4</sup>

1 陕西省气象干部培训学院,西安 710016  
2 陕西省气象学会,西安 710016  
3 陕西省气象局,西安 710014  
4 陕西省气候中心,西安 710014

**提 要:** 应用年际增量预测方法,通过分析影响陕西汛期降水的物理机制,建立了具有较高预测效能的陕西汛期降水年际增量预测模型。研究表明,赤道太平洋中东部海温年际增量、500 hPa 高度年际增量与陕西汛期降水具有很好的相关性。当前一年秋、冬季赤道太平洋中东部海温增量在南北方向上表现为“— + —”分布型时,陕西当年汛期降水偏多,反之,陕西当年汛期降水偏少。当前一年秋、冬季 500 hPa 高度年际增量在赤道附近呈带状正值分布时,陕西当年汛期降水偏多;呈带状负值分布时,陕西当年汛期降水偏少。国家气候中心提供的 74 项环流特征量、陕西省 0 cm 地温增量因子与陕西汛期降水也有很好的相关关系。在对预测因子物理意义分析的基础上,用逐步回归方法引入因子,建立陕西 10 个气候区域的汛期(6—8 月)降水总量和各分月(6、7、8 月)的降水年际增量预测模型(共 40 个),汛期降水总量预测模型交叉检验距平同号率达 78.4%。对 2010—2013 年汛期降水总量和各分月降水量进行试报,其准确率 PS 评分分别达到 75.8 和 66 分。增量预测方法具有较强的预测能力,能够在一定程度上提高陕西汛期降水预测水平,可作为有效方法投入实际业务应用。

**关键词:** 年际增量, 汛期降水, 陕西, 预测模型  
**中图分类号:** P456      **文献标志码:** A      **doi:** 10. 7519/j. issn. 1000-0526. 2015. 03. 008

Study on Interannual Increment Forecasting Approach  
for Rainy Season Precipitation in Shaanxi

XIAO Keli<sup>1,2</sup> ZHAO Guoling<sup>3</sup> FANG Jiangang<sup>4</sup> WANG Na<sup>4</sup>

1 Shaanxi Meteorological Training Center, Xi'an 710016  
2 Shaanxi Meteorological Society, Xi'an 710016  
3 Shaanxi Meteorological Service, Xi'an 710014  
4 Shaanxi Climate Center, Xi'an 710014

**Abstract:** An interannual precipitation increment forecasting model with high-predictive capability for forecasting the summer rainfall in Shaanxi Province is presented by analyzing the physical mechanisms of precipitation during flood season based on the interannual increment forecasting approach. The research results show that the interannual SST increment in middle and eastern equatorial Pacific, the 500 hPa height interannual increment and rainfall during flood season in Shaanxi have very good correlations. When the distribution pattern is north-south “— + —” in interannual increment of SST in middle and eastern equatorial Pacific from the previous autumn to winter, there would be more rains in the summer. Conversely it would rain less. When the distribution pattern of the interannual increment at 500 hPa height is positive, showing zonal, near the equator from the previous autumn to winter, there would be more rains in the

<sup>\*</sup> 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2009CB421406)、中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-EW-114)及陕西省气象局研究型业务重点科研项目(2013Z-6 和 2013Z-5)共同资助  
2014 年 3 月 19 日收稿; 2014 年 12 月 17 日收修定稿  
第一作者:肖科丽,主要从事短期气候预测、气候分析等研究. Email: xklnew@126. com

summer. Otherwise, it would be dry. In this research, we find a good correlation between the interannual increment of 74 circulation features from National Climate Centre, soil temperature at 0 cm depth and precipitation during flood season in Shaanxi. Based on the analysis of the physical meanings of predictors, predictors are introduced via the optimal subset regression, and 40 prediction models for rainy season precipitation and each month (June, July and August) of 10 climatic regions of Shaanxi are established by using the interannual increment approach. Cross-validation testing of rainy season precipitation shows that the anomaly consistency rate reaches 78.4%. It is shown by the hindcasting results during 2010—2013 that the PS score of flood season precipitation is 75.8 and 66, separately. Thus, this work demonstrates that the interannual increment approach has good predictive skill. It can improve the level of predicting rainfalls in Shaanxi flood season and can be used as an effective way in forecasting operations.

**Key words:** interannual increment, flood season precipitation, Shaanxi, prediction model

## 引言

陕西省年降水量的50%左右集中在汛期(赵国令等,2009),汛期降水一直是短期气候预测工作重点研究的内容。目前短期气候预测可信度较高的地域基本上都在热带地区,东亚季风区等热带外地区预测技巧尤其低下(李维京等,2013),我国汛期降水的短期气候预测水平PS评分31年(1978—2008年)平均值为65.4分(钱维宏等,2010),而且主要是我国东部地区降水评分的贡献,西北部地区略低。

Wang等(2000)在应用气候模式对降水及环流预测结果进行订正时,首先提出并采用了年际增量的思想[某要素的年际增量定义为该要素当年观测值与前一年观测值的差值,即 $DY=Y(n)-Y(n-1)$ ,年际增量以下简称“增量”或 $DY$ ]。王会军等(2010;2012)对增量作了进一步研究,年际增量非常完整地包含了上一年的信息,准确表达了准两年振荡的气候特征,并提出增量的可预测性更强,也将可能导致实际气候预测水平的提升。近年来,范可等(2007;2008;2013),Fan(2009)和Fan等(2009)利用增量预测新技术,对我国长江中下游夏季降水、华北汛期降水及东北夏季降水和气温、东北地区冬半年大雪-暴雪日数及西太平洋台风活动等进行研究,同时建立了基于增量的预测模型,取得了很好的预测效果。陈红(2013)利用增量预测方法建立的淮河流域夏季极端降水事件预测模型,对夏季极端降水频次预测显示了较高的预测技巧,具有较大的应用价值。

陕西省地处我国内陆西北地区东部,位于青藏高原东北侧边缘,地形地貌复杂,南北跨度大,我国

南北气候分界线秦岭位于陕西的中南部,属于气候过渡区,也是夏季风北部边缘地带,汛期降水年际变率大,旱涝灾害频繁发生,预测难度较大。陕西汛期降水不但受中高纬度阻塞高压、西风带系统和西太平洋副热带高压(以下简称副高)等大气环流系统的影响,还受夏季季风活动和季风环流以及 ENSO 事件等因素的影响。关于陕西汛期降水,已有一些研究成果,肖科丽等(2008)对影响陕西汛期降水的强信号进行研究,得到关于汛期降水预测的一些重要前期强信号,如:西风漂流区海温、Nino 3 区海温、北太平洋涛动指数、东亚冬季风强度及南海高压强度指数等,对陕西汛期降水分布预测具有较好的指示意义。方建刚等(2014)对东亚季风强度指数与陕西初夏降水异常的关系开展研究,结果表明:初夏东亚季风偏强时,500 hPa 大气环流欧亚中高纬度距平场自西向东呈“十—十”的波列分布,乌拉尔山长波脊偏强,贝加尔湖到巴尔喀什湖低槽偏深,副高偏强,初夏易多雨;反之,陕西初夏易少雨。肖科丽等(2014)通过研究 2010 年陕西盛夏极端多雨的气候机理,揭示其主要成因是大尺度环流形势异常及 ENSO 事件等多种因素综合作用的结果。赵强等(2013)将陕西夏季降水异常对 ENSO 发展和衰减阶段的响应进行分析,结果表明:El Nino 发展阶段和 La Nina 衰减阶段,陕西夏季降水偏少;反之陕西夏季降水偏多。这些研究成果为陕西汛期降水年际增量预测方法在物理因子选取方面提供了有益的指导和借鉴。对于增量预测方法在陕西短期气候预测中的研究和应用尚属首次,期望通过对此方法的探索,能够得到提高陕西汛期降水预测准确率的有效方法和途径。

## 1 资料和方法

预测因子资料:采用1959—2008年NCEP/NCAR再分析资料,包括月平均500 hPa位势高度,水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ ;月平均海表温度,水平分辨率为 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ ;国家气候中心气候诊断室提供的74项环流特征量;陕西省地面气象观测站0 cm地温资料。预测量利用陕西省地面观测站1960—2009年汛期(6—8月,下同)及6、7、8各分月的降水资料。对预测量及所有的预测因子均进行增量计算,得出增量值(注:除非特别说明,文中所用因子、降水量均为增量)。应用逐步回归统计分析方法,建立陕西汛期降水增量预测模型,得到增量预测值后,再将增量预测值 $DY$ 加上前一年降水观测值 $Y(n-1)$ ,即为当年汛期降水量预测值 $Y(n) = Y(n-1) + DY$ 。

预测量转换成增量后,其标准差明显被放大,文中所用各站降水增量的标准差为122 mm,而距平的标准差仅为26 mm,两者相差4倍多。较大的变化幅度,使预测量和预测因子之间的关系更加明显,预测难度下降。

陕西南北跨度较大,气候类型差异显著,为了使预测方法更符合当地气候特点,满足气象业务服务需求,将陕西省汛期降水量用聚类分析方法划分为10个气候区域(榆林、延安、旬邑、铜川、宝鸡、西安、渭南、汉中、商洛及安康),将每一个区域内的降水增量平均值作为该区域的预测量。文中在进行深入分析时,为了便于叙述,仅选取陕西北部、中部和南部(简称陕北、关中、陕南)3个具有代表性的区域进行分析和阐述。

## 2 海温及500 hPa高度增量因子分析

### 2.1 海温增量因子分析

海温是影响气候年际变化的最强气候信息。大量研究表明(李崇银,2000;黄荣辉等,2012;曾刚等,2013;李崇银等,2012),海温的异常可以造成大气环流,尤其是热带地区大气环流的显著持续异常,从而给全球范围带来明显的气候异常(司东等,2012;王遵娅等,2012;柯宗建等,2014;王艳姣等,2014)。东太平洋海温的变化对我国黄河流域夏季降水有显著影响(常军等,2013),因此,海温作为最为重要的预

测因子进行分析和引入。

普查汛期降水与前一年1月至当年5月的海温相关系数,显示存在着非常好的高相关区(图1)。陕北相关区最显著的特征是:在太平洋中东部( $40^{\circ}\text{S} \sim 40^{\circ}\text{N}$ 、 $160^{\circ}\text{E} \sim 90^{\circ}\text{W}$ )海域内,存在一个内“+”外“-”的“舌”型高相关区域(将这一“舌”状的高相关区简称H区域),在南北方向上表现为“一十—”分布型。H区域从前一年4月初步生成(图略),之后不断发展加强,9月最为强盛(图1a),之后又逐渐衰减。核心的正相关区域相关系数达到0.65,其南部和北部的负相关区相关系数绝对值也在0.5以上。

关中和陕南同样存在与陕北类似的H区域,只是H区域出现的时间由陕北到陕南逐渐向后延迟——陕北在前一年9月,关中在前一年10月(图1b),陕南则在汛期降水开始前的当年4月才达到最强(图1c)。从H区域强度上看,陕北最强,陕南次之,关中最弱。

在进行因子物理意义分析时,使用的都是距平量。为了验证增量因子与距平量因子具有一致性特征以及增量因子的优势,我们普查了前期海温与汛期降水距平量之间的相关系数。发现距平量与增量的相关系数分布形态非常一致,只是距平量的相关系数和高相关区范围比增量小(图略)。

为了进一步分析H区海温分布与陕西汛期降水的关系,文中将2003—2012年近10年的H区域海温增量分布型与次年陕西汛期降水进行逐一对比(表1),可以看出,前一年9月H区内海温为内“+”外“-”分布型,南北方向表现为“一十—”分布型,即正振荡型时,陕西汛期易多雨;反之南北方向表现为“十—+”分布型,即负振荡型时,陕西汛期易少雨。

相关研究表明,前期赤道太平洋海温的异常将导致副高的变化(陈烈庭,1982;1983;陈兴芳等,2000),副高的位置和强度与陕西汛期降水密切相关,直接影响陕西汛期雨带的分布。计算分析表明,前一年8月至冬季的赤道海温与汛期6—8月副高强度指数 $DY$ 有非常好且持续的相关关系,10月相关最佳(图2),在整个Nino区相关系数均达到0.6以上,中心最高达0.78。赤道太平洋海温对副高的影响有8个月的后延,为汛期降水预测提供了充分的时间余地。

Wang(1995)研究表明:ENSO事件在前一年的春、夏季为发展阶段,秋、冬季达到成熟阶段,当年春、夏季为衰减阶段。以此得到:当前一年Nino3

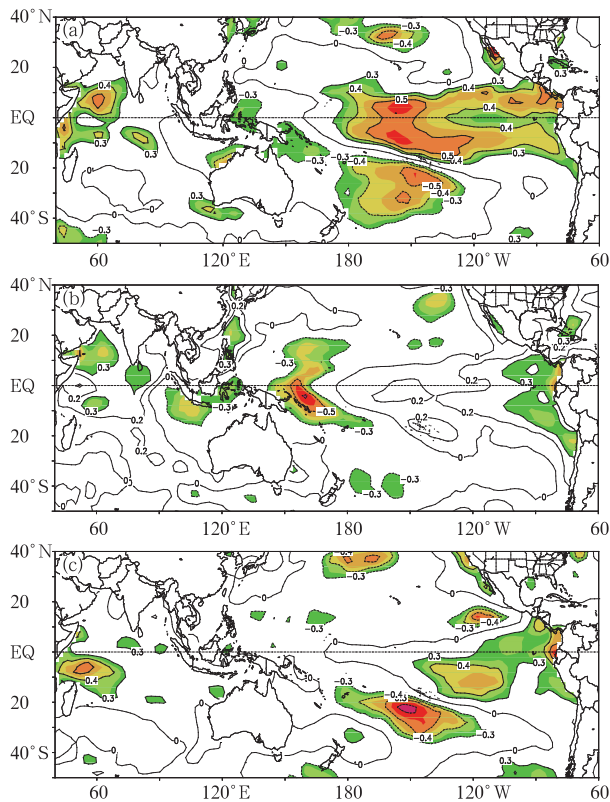


图 1 汛期降水与海温相关系数分布  
(阴影区通过  $\alpha=0.05$  显著性水平检验,下同)

(a) 陕北与前一年 9 月 SST, (b) 关中与前一年 10 月 SST, (c) 陕南与当年 4 月 SST

Fig. 1 Correlation coefficient between flood season precipitation and SST (Shaded areas have passed the significance level test of  $\alpha=0.05$ )

(a) North Shaanxi and SST in the preceding September,  
(b) Guanzhong and SST in the preceding October,  
(c) South Shaanxi and SST in April

区秋、冬季海温升高呈现+DY, El Nino 达到成熟阶段时,一般当年春、夏季 Nino 3 区表现为一DY,为 El Nino 衰减年份,热带西太平洋暖池往往增暖,则菲律宾附近对流活动强,副高位置偏北,即当年中国夏季雨带偏北,陕西汛期降水易偏多;反之,当前一年 Nino 3 区秋、冬季海温降低呈现一DY, La Nina 达到成熟阶段时,一般当年春、夏季 Nino 3 区表现为+DY,为 La Nina 衰减年份,西太平洋暖池的热状况弱,菲律宾附近对流活动减弱,副高位置偏南,当年中国汛期雨带偏南,陕西汛期降水易偏少。

2.2 500 hPa 高度增量因子分析

500 hPa 高度与陕西汛期降水也有很好的相关性。陕北汛期降水与 500 hPa 高度的相关系数,前一年 11 月达到最强(图 3a),在 20°S~20°N,环绕地球一周存在一个很强的“+”相关带,带状相关区从前一年 9 月出现,一直维持到当年 3 月。这种赤道及其附近地区的带状高相关区域,关中和陕南也存在,只是相比陕北要弱,而且高相关月逐步向后推延,关中前一年 12 月最强(图 3b),陕南至当年 4 月才达到最强(图 3c)。

汛期降水距平量与 500 hPa 高度相关系数的分布与增量相关系数分布也很相似,但陕北、关中、陕南 3 片的高相关区面积及数值与对应的增量相比都小。距平量的相关系数陕南最好,关中次之,陕北再次,这与增量的情况恰好相反(图略)。

近 10 年赤道 500 hPa 高度分布与陕西汛期降水的相关关系表现得非常清晰(表 1),当前一年秋冬季赤道附近 500 hPa 高度增量为“+”分布时,陕西汛期易多雨,反之为“-”分布时,陕西汛期易少雨。

表 1 近 10 年陕西汛期降水与前一年 H 区海温及赤道地区 500 hPa 高度分布型对应关系

Table 1 Relations between the rainy season precipitation in Shaanxi in the late decade and the previous year SST in H area and the 500 hPa height distribution in equatorial areas

| 年份   | 陕北降水增量<br>预测值/mm | 关中降水增量<br>预测值/mm | 陕南降水增量<br>预测值/mm | 全省降水增量<br>预测值/mm | 全省降水<br>距平/mm | 9 月 H 区 SST<br>分布型 | 12 月 500 hPa<br>高度分布型 |
|------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------|--------------------|-----------------------|
| 2004 | -58.1            | -166.2           | -127.7           | -443.4           | -95.7         | + - +              | -                     |
| 2005 | -69.5            | 13.2             | 197.2            | 172.8            | 23.3          | - + -              | +                     |
| 2006 | 73.1             | 30.3             | -274.6           | -175.3           | -79.1         | + - +              | -                     |
| 2007 | -25.7            | 88.2             | 289.6            | 419.5            | 307.6         | - + -              | +                     |
| 2008 | 1.3              | -124.2           | -148.1           | -354.2           | -50.7         | + - +              | -                     |
| 2009 | 52.2             | 24.2             | 39.1             | 114.1            | 70.0          | - + -              | +                     |
| 2010 | -46.1            | 89.3             | 179.6            | 297.7            | 328.5         | - + -              | +                     |
| 2011 | 8.7              | -122.4           | -144.7           | -343.0           | -6.7          | + - +              | -                     |
| 2012 | 39.0             | 8.5              | -61.6            | -21.3            | -3.1          | - + -              | +                     |
| 2013 | 255.6            | 59.2             | 54.1             | 323.2            | 332.1         | - + -              | +                     |

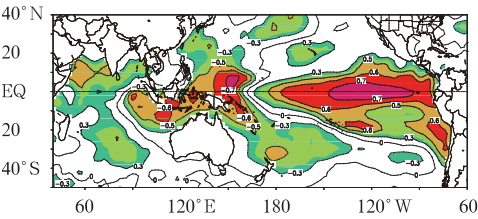


图 2 前一年 10 月海温增量与降水当年 6—8 月副高强度指数增量相关系数  
Fig. 2 Correlation coefficient between SST increment in the preceding October and increment of subtropical high intensity index from June to August of the year

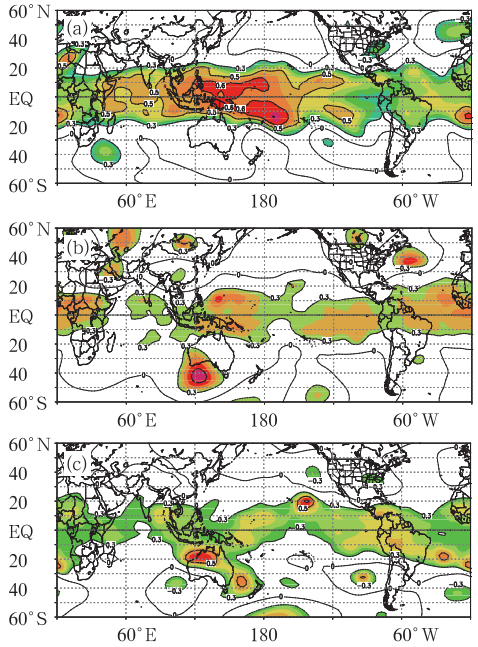


图 3 汛期降水与 500hPa 高度相关系数分布(a) 陕北与前一年 11 月 500 hPa 高度,(b) 关中与前一年 12 月 500 hPa 高度,(c) 陕南与当年 4 月 500 hPa 高度  
Fig. 3 The correlation coefficient between rainy season precipitation and 500 hPa height  
(a) North Shaanxi and 500 hPa height in the preceding November,  
(b) Guanzhong and 500 hPa height in the preceding December,  
(c) South Shaanxi and 500 hPa height in April

从表 1 还可以看出,近 10 年赤道 500 hPa 高度的分布型显示出明显的准 2 年振荡特征,即对流层准两年振荡 (tropospheric-biennial oscillation, TBO)。有分析认为,TBO 与赤道上空平流层纬向

风的准两年振荡 (quasi-biennial oscillation, QBO) 是相互作用的,QBO 是现在所发现的大气环流最稳定、最典型的准周期变化。QBO 影响 TBO 虽然还没有定论,但仍有很多有意义的成果供借鉴。李志强等(1992)认为,QBO 对我国北方降水具有阶段性影响;李耀先等(2000)认为 QBO 与广西气候变化有一定关系。郑彬等(2010)认为,QBO 影响对流层顶和对流层的热带垂直气流主要在 QBO 位相的中后期和位相转换期。西风位相中后期及向东风位相的转换期,影响对流层顶和上层的是异常下沉气流,这样必然会造成哈得来环流减弱,副高偏弱,我国北方汛期降水易偏少;反之亦然。李崇银等(1997)研究认为,当平流层低层纬向风的垂直切变为东风切变时,平流层低层东风垂直切变在赤道对流层上部引起异常上升运动,导致哈得来环流的异常加强,副高偏强、偏北,反之哈得来环流减弱,副高偏弱、偏南。也有研究表明,对流层准 2 年振荡 TBO 特征是海-陆-气相互作用的结果,特别是海气耦合的结果。表 1 显示,12 月赤道 500 hPa 高度分布型,与前期 9 月赤道太平洋海温分布型变化基本一致,也说明了海气耦合对 TBO 的影响。

将近 10 年(2004—2013 年)逐年前期海温、500 hPa 高度不同分布型下的陕西汛期降水进行合成(图 4),可以明显看出,海温增量为“—+—”、赤道 500 hPa 高度增量为“+”分布型时,陕西汛期降水偏多(图 4a),反之偏少(图 4b)。

3 汛期降水增量预测模型

在预测因子物理机制研究的基础上,建立预测因子库。应用逐步回归统计方法,建立预测模型。74 项环流特征量是国家气候中心计算并公开发布的以 500 hPa 环流为主的逐月环流特征量指数,比如副高强度、脊线位置、极涡面积等,当然,也包括太阳黑子、南方涛动等个别非 500 hPa 环流指数等,其综合性强、因子物理意义明确,相关系数 0.4 以上便可进入因子库。对同一影响因子的不同参数,只选取相关系数最大者(比如:副高强度、面积、脊线位置、西伸脊点指数等,只选其中最大者)。陕西本地的 0 cm 地温增量反映了地面能量对未来气候的影响,对相关系数 0.4 以上因子进行选入。每个预测量因子库的因子数量一般控制在 30 个左右。

应用逐步回归统计方法建立预测模型,每个预



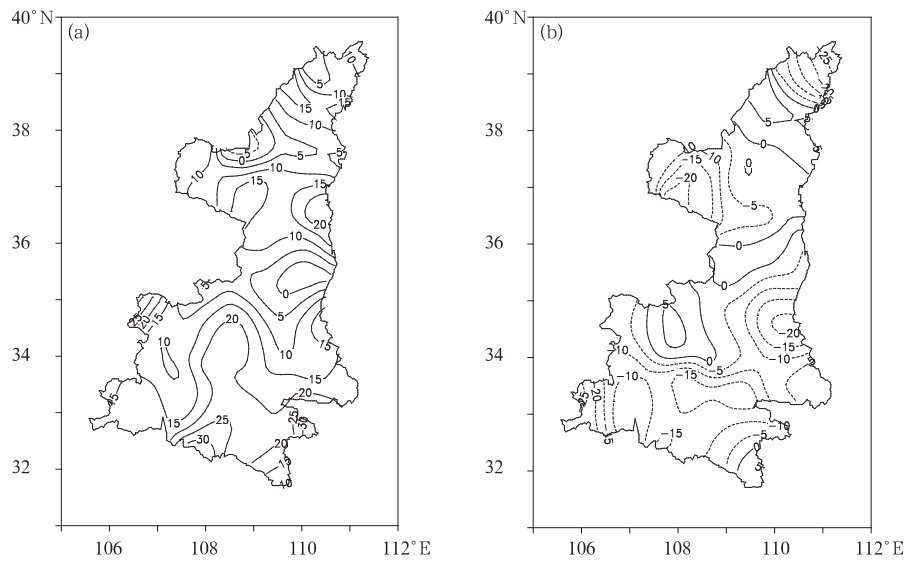


图 4 2003—2012 年 9 月海温 DY、12 月 500 hPa 高度 DY 两种分布型对应的来年陕西汛期降水距平合成图  
(a) 海温“— + —”且 500 hPa 高度“+”分布型,  
(b) 海温“+ - +”且 500 hPa 高度“-”分布型

Fig. 4 Synthetic diagram of two distributions of the SST DY in September and 500 hPa height DY in December corresponding to the next summer rainfall anomalies in Shaanxi during 2003—2012  
(a) SST “— + —” and 500 hPa height “+” distribution pattern,  
(b) SST “+ - +” and 500 hPa height “-” distribution pattern

测模型从因子库中引入 7~9 个因子,总计建立了 10 个气候区域的汛期降水总量及各月(6、7、8 月)降水量共 40 个预测模型。下文仅以榆林片汛期降水总量预测模型为例,进行简要说明。预测模型为:

$$Y(n) = Y(n-1) - 2.1 - 1.5X_1 + 1.5X_2 - 59.2X_3 + 62.5X_4 - 0.5X_5 + 1.3X_6$$

式中, $Y(n)$ 为降水预测值, $Y(n-1)$ 为前一年降水实况值。考虑预测服务的时效问题,这里只引入前一年因子。各预测因子具体情况如下:

$X_1$ : 11 月副高面积指数(110°E~180°),相关系数:0.48;

$X_2$ : 7 月陕西子长站 0 cm 地温,相关系数:0.54;

$X_3$ : 10 月(22°S、170°W)格点海温,相关系数: -0.59;

$X_4$ : 12 月(6°S、178°E)格点海温,相关系数:0.57;

$X_5$ : 5 月(50°N、160°E)格点 500 hPa 高度,相关系数: -0.62;

$X_6$ : 11 月(10°N、175°E)格点 500 hPa 高度,相关系数:0.62。

模型中除了引入海温、500 hPa 高度、74 项环流特征量等因子外,陕西省的地面温度因子也有不错

的表现。在 10 个片区降水总量预测模型中有 8 片引入了地温因子,地温因子主要集中在前一年 6—10 月,并且夏季的地温因子表现为正相关,陕西所有站点 6—8 月的地温之和与关中、陕南汛期降水量相关系数达 0.42,通过了  $\alpha=0.01$  的显著性水平检验。也就是说,陕西本地夏季地温为正增量,则来年汛期降水量易偏多。

#### 4 预测模型效果检验

经检验,建立的 40 个预测模型复相关系数基本在 0.9 以上(表 2),最小为 0.85,最大达 0.95,平均值为 0.92。从空间分布看,陕北优于关中,关中优于陕南。从月尺度时间上看,6 月最佳,7 月次之,8 月再次。各预测模型准确率显示,汛期(6—8 月)总降水量的预测效果最好,而各分月的降水量由于随机性较大,所以预测的难度较大,准确率也比总降水量略低。所有预测模型全部通过  $\alpha=0.01$  的  $F$  检验。

对汛期降水量的 10 个气候区域预测模型进行了交叉检验。交叉检验的思路是利用建立模型的样本和因子(样本长度为  $n$ ,因子个数  $m$ ),检验模型自身的每一个样本,以延长检验的个例长度。具体做法为:将  $n$  个样本每次不重复地去掉任意 1 个样本

表 2 各预测模型复相关系数  
Table 2 The multiple correlation coefficients  
among several models

| 片区  | 6 月  | 7 月  | 8 月  | 6—8 月 | 平均   |
|-----|------|------|------|-------|------|
| 榆林  | 0.93 | 0.96 | 0.88 | 0.94  | 0.93 |
| 延安  | 0.92 | 0.93 | 0.88 | 0.95  | 0.93 |
| 旬邑  | 0.92 | 0.93 | 0.95 | 0.94  | 0.94 |
| 铜川  | 0.95 | 0.89 | 0.89 | 0.94  | 0.92 |
| 宝鸡  | 0.93 | 0.94 | 0.91 | 0.94  | 0.93 |
| 西安  | 0.93 | 0.94 | 0.95 | 0.94  | 0.94 |
| 渭南  | 0.94 | 0.88 | 0.85 | 0.93  | 0.90 |
| 汉中  | 0.95 | 0.88 | 0.91 | 0.92  | 0.92 |
| 商洛  | 0.94 | 0.92 | 0.91 | 0.91  | 0.92 |
| 安康  | 0.92 | 0.87 | 0.91 | 0.90  | 0.90 |
| 平均值 | 0.93 | 0.91 | 0.91 | 0.93  | 0.92 |

后,用剩余的  $n-1$  个样本和  $m$  个因子重新建立预测模型,然后用新建立的模型对去掉的那一个样本进行试报检验,以此类推,重复  $n$  次(每次都将在上一次去掉的样本回归到总样本),这样就得到了  $n$  次的检验结果。

汛期降水总量的交叉检验结果见表 3。交叉检验增量的相关系数最大达 0.93,最小的 0.85,平均达到了 0.89;同号率多数在 80%以上,只有 2 个区小于 80%,平均值达 82.6%。将增量值转换为预测业务使用的距平值后,相关系数和同号率都有所变化。交叉检验距平的相关系数最大 0.83,最小 0.71,平均值 0.79;距平同号率最大 84%,最小 72%,平均值为 78.4%。交叉检验结果显示:相关系数最大值为陕北的延安,最小值为陕南的安康,图 5a 给出安康交叉检验结果及近 4 年(2010—2013 年)预测试验与实况的对比,结果比较理想。

应用建立的预测模型,对近 4 年(2010—2013)年的汛期降水总量及各月降水进行试报,共预测 160

表 3 6—8 月降水总量预测模型交叉检验结果  
Table 3 Cross-validation result of total precipitation  
forecast for June—August by the model

| 片区  | 增量相  | 增量同  | 距平相  | 距平同  |
|-----|------|------|------|------|
|     | 关系数  | 号率/% | 关系数  | 号率/% |
| 榆林  | 0.90 | 80   | 0.82 | 72   |
| 延安  | 0.93 | 90   | 0.82 | 82   |
| 旬邑  | 0.90 | 84   | 0.82 | 72   |
| 铜川  | 0.90 | 90   | 0.79 | 82   |
| 宝鸡  | 0.89 | 82   | 0.82 | 80   |
| 西安  | 0.90 | 82   | 0.83 | 84   |
| 渭南  | 0.89 | 84   | 0.77 | 78   |
| 汉中  | 0.86 | 72   | 0.78 | 78   |
| 商洛  | 0.86 | 86   | 0.72 | 78   |
| 安康  | 0.85 | 76   | 0.71 | 78   |
| 平均值 | 0.89 | 82.6 | 0.79 | 78.4 |

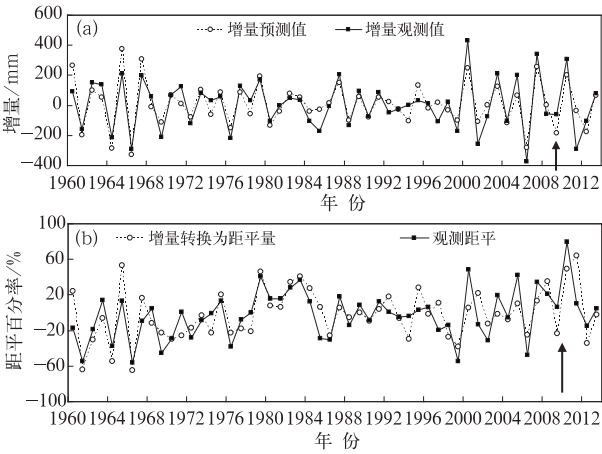


图 5 安康汛期 6—8 月交叉检验及试报结果  
(箭头及其左侧是交叉检验结果,右侧是试报结果)  
(a) 增量, (b) 增量转换成距平量

Fig. 5 Cross-validation result and test report  
of the June–August rainy season in Ankang  
(Arrow and the left are cross-validation result,  
the right is the test report)

(a) increment, (b) increment converted into anomaly

站/次,将降水增量预测值转换为距平百分率后,距平同号率正确 106 站次,准确率为 66.3%。表 4 为 2010—2013 年陕西汛期降水量距平百分率实况和预测值的对比,预测的平均相对误差为 27%。根据中国气象局 2010 年实施的短期气候预测质量分级检验办法,汛期降水总量预测 PS 评分达 75.8 分,全部预测结果 PS 评分为 66 分。

5 结论与讨论

通过对陕西汛期降水增量预测方法的实践与研究,可得到如下初步结论:

(1) 将陕西汛期降水量和预测因子进行年际增量处理后,明显放大了各自的变化幅度,放大了预测信号,使得预测对象与因子之间的相关更加显著。

(2) 海温与陕西汛期降水的相关非常显著, H 区域海温增量场的分布型,通过海气耦合作用影响来年副高的变化(滞后时间约 8 个月左右),从而影响陕西汛期雨带的分布和强度。即,当前一年秋季 H 区域海温增量为:“一十一”分布型时,当年副高偏强,陕西汛期降水偏多;反之,当年陕西汛期降水偏少。

(3) 500 hPa 高度与陕西汛期降水在赤道附近环绕地球一周存在带状高相关区。当前一年 12 月赤道区域的 500 hPa 高度增量为“+”分布型时,陕西汛期降水偏多,为“-”分布型时,陕西汛期降水偏少。

表 4 近 4 年(2010—2013 年)汛期降水量实况与预测的距平百分率(单位:%)对比

Table 4 Comparison of rainy season precipitation and predicted precipitation anomaly percentage (unit: %) during 2010—2013

|    | 2010 年 |     | 2011 年 |     | 2012 年 |     | 2013 年 |     |
|----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|
|    | 预测     | 实况  | 预测     | 实况  | 预测     | 实况  | 预测     | 实况  |
| 榆林 | −11    | −17 | 30     | 5   | −53    | 26  | 15     | 102 |
| 延安 | −5     | 0   | 20     | −12 | −69    | −1  | 13     | 114 |
| 旬邑 | 32     | 37  | 12     | −16 | −28    | −2  | 3      | 10  |
| 铜川 | 42     | 28  | 42     | 1   | −64    | −21 | 1      | 31  |
| 宝鸡 | 38     | 28  | 20     | −1  | 16     | 14  | −9     | 18  |
| 西安 | 4      | 9   | 1      | −20 | −25    | −18 | 19     | −5  |
| 渭南 | 26     | 56  | 64     | −33 | −39    | −25 | −21    | 0   |
| 汉中 | 23     | 28  | 11     | 22  | 26     | 20  | 5      | 42  |
| 商洛 | 31     | 39  | 34     | 8   | 10     | −11 | −29    | −14 |
| 安康 | 49     | 73  | 65     | 6   | −34    | −18 | −2     | 0   |

(4) 陕西汛期降水年际增量预测模型,通过近 4 年的实践效果检验,具有较高的预测效能,预测模型具有较强的实用价值。

(5) 在实际业务预测中,可以采用以下的预测策略:首先分析海温及 500 hPa 高度的增量分布场,根据海温和大气环流的分布型,即,大范围、大尺度的气候背景,确定来年汛期降水总体趋势;然后再根据汛期降水年际增量预测模型,计算具体的汛期降水预测值。

参考文献

常军,王永光,赵宇. 2013. Nino3 区海温的变化对黄河流域夏季降水的影响. 气象,39(9):1133-1138.

陈红. 2013. 淮河流域夏季极端降水事件的统计预测模型研究. 气候与环境研究,18(2):221-231.

陈烈庭. 1982. 北太平洋副热带高压与赤道东部海温的相互作用. 大气科学,6(2):148-156.

陈烈庭. 1983. 太平洋赤道海温与 500 hPa 副高特征指数联系的季节变化. 科学通报,28(16):990-994.

陈兴芳,赵振国. 2000. 中国汛期降水预测研究及应用. 北京:气象出版社,48-62.

范可,林美静,高煜中. 2008. 用年际增量的方法预测华北汛期降水. 中国科学 地球科学,38(11):1452-1459.

范可,田宝强. 2013. 东北地区冬半年大雪-暴雪日数气候预测. 科学通报,58(8):699-706.

范可,王会军,Choi Y J. 2007. 一个长江中下游夏季降水的物理统计预测模型. 科学通报,52(24):2900-2905.

方建刚,肖科丽,王娜,等. 2014. 初夏东亚季风强度指数与陕西降水异常关系. 干旱区地理,37(1):1-8.

黄荣辉,陈栋,刘永. 2012. 中国长江流域洪涝灾害和持续性暴雨的发生特征及成因. 成都信息工程学院学报,27(1):1-19.

柯宗建,王永光,龚振淞. 2014. 2013 年汛期气候预测的先兆信号及其应用. 气象,40(4):502-509.

李崇银. 2000. 动力气候学引论. 北京:气象出版社,251-252,257-258.

李崇银,龙振夏. 1997. 西太平洋副高活动与平流层 QBO 关系的研究. 大气科学,21(6):670-678.

李崇银,潘静,田华,等. 2012. 西北太平洋台风活动与大气季节内振

荡. 气象,38(1):1-16.

李维京,郑志海,孙丞虎. 2013. 近年来我国短期气候预测中动力相似预测方法研究与应用进展. 大气科学,37(2):341-350.

李耀先,涂方旭,李秀存,等. 2000. QBO 的变化特征及其与广西气候变化的关系. 气象,26(12):29-30.

李志强,马生春. 1992. 赤道平流层准两年振荡与华北南部夏季降水. 气象,18(9):3-7.

钱维宏,陆波. 2010. 我国汛期季度降水预报得分和预报技巧. 气象,36(10):1-7.

司东,李修仓,任福民,等. 2012. 2011 年全球重大天气气候事件及其成因. 气象,38(4):480-489.

王会军,范可,郎咸梅,等. 2012. 我国短期气候预测的新理论、新方法和新技术. 北京:气象出版社,120-121,125-139.

王会军,张颖,郎咸梅. 2010. 论短期气候预测的对象问题. 气候与环境研究,15(3):225-228.

王遵娅,任福民,孙冷,等. 2012. 2011 年夏季气候异常及主要异常事件成因分析. 气象,38(4):448-455.

王艳姣,高蓓,周兵,等. 2014. 2013 年全球重大天气气候事件及其成因. 气象,40(6):759-768.

肖科丽,王娜,魏娜,等. 2014. 2010 年陕西盛夏极端多雨的气候特征及成因研究. 气候与环境研究,19(3):311-320.

肖科丽,赵国令,方建刚,等. 2008. 影响陕西汛期降水空间分布的强信号. 气象科技,36(4):400-403.

曾刚,伯忠凯,孙照渤,等. 2013. 海表温度异常影响东亚夏季风年代际变化的数值模拟. 大气科学学报,36(3):286-296.

赵国令,朱琳,李星敏,等. 2009. 陕西气候. 西安:陕西科学技术出版社,33-40.

赵强,严华生,程路. 2013. ENSO 发展和衰减的陕西夏季降水异常特征. 应用气象学报,24(4):495-503.

郑彬,林爱兰,谷德军,等. 2010. 对流层准两年振荡最新研究进展. 热带气象学报,26(4):504-508.

Fan Ke. 2009. Predicting winter surface air temperature in Northeast China. Atmos Oce Sci Lett,2(1):14-17.

Fan Ke,Wang Huijun. 2009. A new approach to forecasting typhoon frequency over the western North Pacific. Wea Forecasting, 24(4):974-978.

Wang B. 1995. Interdecadal changes in El Nino onset in the last four decades. J Climate,8(2):267-285.

Wang H J,Zhao G Q,Zhao Y. 2000. An effective method for correcting the seasonal-interannual prediction of summer climate anomaly. Adv Atmos Sci,17(2):234-240.