

雷向杰. 月平均气温集成预测方法研究[J]. 气象, 2011, 37(12): 1560-1565.

# 月平均气温集成预测方法研究<sup>\* 1</sup>

雷向杰

陕西省气候中心, 西安 710015

**提 要:** 为了有效综合各种预测方法的预测结果, 以陕西 3 个气候区域 1999 年 7 月至 2010 年 6 月月平均气温的集成预测为例, 利用 3 种预测方法和国家气候中心业务产品月平均气温预测结果历史评分建立二类 6 种动态客观集成预测方法进行对比研究, 结果表明: (1) 各种集成预测方法年评分平均值均高于参加集成的任何一个成员, 6 种集成预测方法评分平均值比 4 个成员评分平均值高 4.6, 比同期陕西发布的业务产品高 5.1; 各种集成预测方法预测与实况距平符号一致率至少高于其中 3 个成员, 6 种集成预测方法预测与实况距平符号一致率平均值比 4 个成员平均值高 4.7%, 比陕西业务产品高 5.1%。(2) 3 个气候区域中, 榆林集成预测效果最好。6 种集成预测方法评分平均值比 4 个成员评分平均值高 5.7, 比陕西业务产品高 5.7; 预测与实况距平符号一致率比 4 个成员高 6.9%, 比陕西业务产品高 7.3%。(3) 第二类集成预测方法预测技巧高于第一类, 全年评分平均值高 0.5, 预测与实况距平符号一致率高 0.7%。其中  $Z_{23}$  全年评分平均值比 4 个成员评分平均值高 5.1, 比陕西业务产品高 5.7, 预测与实况距平符号一致率比 4 个成员高 6.0%, 比陕西业务产品高 7.6%, 推荐首先选择使用。

**关键词:** 月平均气温, 气候预测, 客观集成, 预测准确率

## The Ensemble Forecasting Study of Temperature Prediction

LEI Xiangjie

Shaanxi Climate Center, Xi'an 710015

**Abstract:** In order to effectively integrate the prediction results of various forecasting methods, the monthly mean temperatures of the three climatic zones in Shaanxi from July 1999 to June 2010 are employed in the experiments. Based on the historical precision derived from products of the National Climate Centre and three kinds of prediction methods, the two schemes involving six objective-integrated dynamic forecasting models are established. The results show that: (1) The yearly average score is higher than each member in the range of the whole ensemble forecasting models. Average score of six ensemble forecasting models is 4.6 higher than other four members, and is 5.1 higher than operational publishing products provided by Shaanxi Climate Center. The yearly anomaly sign consistency rate of each ensemble forecasting model is higher than every value resulting from at least three prediction methods among all. The average value of six ensemble forecasting models with the anomaly sign consistency rate is 4.7% higher than other four members, and is 5.1% higher than operational publishing products predicted by Shaanxi Climate Center. (2) Yulin received the best forecasting result among three climatic zones. Average score of six ensemble forecasting models is 5.7 higher than other four members, and is 5.7 higher than operational publishing products provided by Shaanxi Climate Center. The average value of ensemble forecasting models with the anomaly sign consistency rate is 6.9% higher than four members, and is 7.3% higher than operational publishing products predicted by Shaanxi Climate Center. (3) The second scheme of ensemble forecasting models is better than the first one. Especially, the average score of  $Z_{23}$  is 5.1 higher than other four mem-

\* 陕西省科学技术研究发展计划项目(2011K17-02-03)、中国气象局 2011 年现代气候业务建设试点项目(气预函[2010]174 号)和陕西省气象局 2010 年气象科技创新基金项目(2010M-19)共同资助

2011 年 1 月 15 日收稿; 2011 年 7 月 21 日收修定稿

作者: 雷向杰, 主要从事气候分析与预测研究. Email: lei\_xiang\_jie@sina.com

bers, and is 5.7 higher than operational publishing products. The average value of ensemble forecasting models with the anomaly sign consistency rate is 6.0% higher than four members, and is 7.6% higher than operational publishing products score. Thus, it is recommended to be used in climate prediction.

**Key words:** monthly mean temperature, climate prediction, objective ensemble, prediction accuracy

## 引 言

随着科学技术的发展,短期气候预测方法越来越多,但各种预测方法对同一预测对象进行预测时经常得到不同的结果,根据各种预测方法的历史表现,进行客观集成,已经成为当今气候预测领域的关键技术之一,越来越被人们所重视<sup>[1-9]</sup>。集成预测技术是气候模式预测发展的方向之一,为了消除动力气候模式预测的不确定性,现在更加注重多模式的超级集合方法<sup>[10-11]</sup>。目前,多数集成预测方法中的成员在集成预测中的权重主要依赖于历史样本统计得出,是静态的、固定的,一般不考虑各成员预测能力在不同季节、不同地域和不同时期的差异,对某一成员采取统一的权重系数,势必影响预测效果,可能导致集成预测性能的不稳定<sup>[12-13]</sup>。

本文利用 3 种预测方法和国家气候中心业务产品共 11 年的月平均气温(距平)预测结果和评分结果,对陕西 3 个不同气候区域、不同年份和不同月份,动态地确定各成员在集成预测中的权重,对比分析各种集成预测方法的效果,寻找适合目前气候预测业务现状的动态客观集成预测方法。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料处理

选取榆林(陕北)、西安(关中)、汉中(陕南)3 个气候区域作为研究对象,各气候区域包含的代表气象站:榆林(神木、榆林、横山),西安(临潼、西安、户县),汉中(勉县、汉中、洋县)。使用资料:1999 年 7

月至 2010 年 6 月 3 个气候区域逐月平均气温及多年平均值;各种预测方法、国家气候中心和陕西业务产品 1999 年 7 月至 2010 年 6 月逐月平均气温(距平)预测结果。

评分使用 2010 年实施的用于国家级和省级短期气候预测质量检验的《短期气候预测质量分级检验办法》中的 PS 评分方法(见表 1)。2010 年前后评分用语及各等级划分标准有所不同(见表 2),由表 2 可知,2010 年之前预测月平均气温偏高 0.5~1.0℃和 2010 年之后预测 1.0~2.0℃对应的评分用语和等级是一致的,为保证评分的客观性和连续性,对国家气候中心和陕西气候预测业务产品分别作如下处理。

国家气候中心业务产品:(1) 附有月平均气温距平预报图的业务产品,一律按照图中陕西 3 个气候区域所在位置的颜色和图例读取预测值,并规定气温距平 0~1℃取值 0.4℃,1.0~2.0℃取值 1.4℃,2.0~3.0℃取值 2.4℃,-1.0~0℃取值 -0.4℃,-2.0~-1.0℃取值 -1.4℃,-3.0~-2.0℃取值 -2.4℃。(2) 2005 年及其以前没有附月平均气温距平预报图的业务产品,根据产品中文字描述,严格按照《中国气象地理区划手册》中一级、二级气象地理区划及其说明给出陕西 3 个气候区域的预测结果<sup>[14]</sup>,并规定气温偏高取值 0.4℃,偏高 1℃左右取值 1.1℃,偏高 1℃以上取值 1.4℃;气温偏低取值 -0.4℃,偏低 1℃左右取值 -1.1℃,偏低 1℃以上取值 -1.4℃。

陕西业务产品:规定 2010 年之前业务产品所附气温距平预测值,正距平(包括距平为 0)统一加 0.5℃,负距平一律减 0.5℃。2010 年及其以后业务产品所附气温距平预测值不变。

表 1 气温趋势预测六级检验评分制单站评分表

Table 1 The score of temperature prediction in the 6-degree PS scheme

实况/预测	特低	偏低	正常略低	正常略高	偏高	特高
特低	100	80+10	60	20	0	0
偏低	80+10	100	80	40	20	0
正常略低	60	80+10	100	60	40	20
正常略高	20	40	60	100	80+10	60
偏高	0	20	40	80	100	80+10
特高	0	0	20	60	80+10	100

表 2 气温趋势预测六级评分制用语及各等级划分标准

Table 2 The diction and grade of temperature prediction in the 6-degree PS scheme

分级	异常级		正常级		异常级		备注
	预测用语	特低	偏低	正常略低	正常略高	偏高	
$\Delta T/^\circ\text{C}$	$\Delta T \leq -2.0$	$-2.0 < \Delta T \leq -1.0$	$-1.0 < \Delta T < 0$	$0 \leq \Delta T < 1.0$	$1.0 \leq \Delta T < 2.0$	$\Delta T \geq 2.0$	2010 年起
$\Delta T/^\circ\text{C}$	$\Delta T \leq -1.0$	$-1.0 < \Delta T \leq -0.5$	$-0.5 < \Delta T < 0$	$0 \leq \Delta T < 0.5$	$0.5 \leq \Delta T < 1.0$	$\Delta T \geq 1.0$	2010 年前

说明:  $\Delta T$ : 气温距平。

## 1.2 预测方法介绍

多元回归预测( $X_1$ ): 利用 500 和 100 hPa 高度场以及 500~100 hPa 厚度场与预测对象之间的高相关区建立多元回归预测模型进行预测, 是陕西气候预测业务使用时间最长的方法之一。

月际持续性预测( $X_2$ ): 将预测月前一个月的实况距平作为本月的预测值。

年际持续性预测( $X_3$ ): 将预测月前一年当月的实况距平作为本月的预测值。

基于 EOF 的 Downscaling 方法( $X_4$ ): 用全球大气与热带太平洋相耦合的数值模式(couple globe climate model, CGCM)输出的 500 hPa 高度场作为因子场, 利用建立的预测模型进行预测。

## 1.3 集成预测方法介绍

集成预测方法共两类 6 种。第一类, 根据预测年之前每种预测方法评分平均值占各种预测方法总分值的比值确定权重, 建立集成预测方程, 包括使用预测年前 10 年( $Z_{11}$ )、前 5 年( $Z_{12}$ )和前 3 年( $Z_{13}$ )评分平均值确定权重系数 3 种方法。集成预测方程是动态的, 随预测对象、年份、月份的变化而变化。参加集成的成员有 11 年历史预测结果,  $Z_{11}$  得到 1 年的集成预测结果, 表 3 和表 4 中  $Z_{11}$  评估结果使用了集成预测方程对 1999 年 7 月至 2009 年 6 月的回算结果。 $Z_{12}$ ,  $Z_{13}$  分别得到 6 年和 8 年的集成预测结果和评估结果。

第二类, 计算预测年之前各种预测方法评分平均值, 只选取 60.0 及其以上的预测方法作为集成成员, 根据入选各成员评分平均值占入选各成员总分值的比值确定权重, 建立集成预测方程, 同样包含使用预测年前 10 年( $Z_{21}$ )、前 5 年( $Z_{22}$ )和前 3 年( $Z_{23}$ )评分平均值确定权重系数 3 种方法。集成预测方程也是动态的, 评估数据情况说明同第一类。如果各种预测方法预测年之前评分平均值都小于 60.0, 则按照第一类中相应的集成预测方法进行集成。

集成预测方法数学表达式为

$$Z_{ij} = \sum_{k=1}^4 \omega_{ijk} x'_{ik} \quad (1)$$

$$\omega_{ijk} = p_{ijk} / \sum_{k=1}^4 p_{ijk} \quad (2)$$

式(1)和式(2)中,  $i=1, 2$ , 为集成预测方法类别;  $j=1, 2, 3$ , 为集成预测方法种类;  $k=1, 2, 3, 4$ , 为集成预测的成员;  $\omega_{ijk}$  为成员  $x_k$  预测结果  $x'_{ik}$  在集成预测方程中的权重系数。

$i=1, j=1, 2, 3$ , 即第一类 3 种集成预测方法  $Z_{11}, Z_{12}$  和  $Z_{13}$ ,  $p_{11k}, p_{12k}, p_{13k}$  分别为预测年前 10 年、前 5 年和前 3 年各成员  $x_k$  评分平均值,  $p_{ijk}$  取实际计算结果( $p_{ijk} \geq 0$ ), 也就是说, 此类方法各成员预测结果都参加集成预测。

$i=2, j=1, 2, 3$ , 即第二类集成预测方法  $Z_{21}, Z_{22}$  和  $Z_{23}$ ,  $p_{21k}, p_{22k}, p_{23k}$  分别为预测年前 10 年、前 5 年、前 3 年各成员  $x_k$  评分平均值, 当  $p_{ijk} \geq 60.0$  时,  $p_{ijk}$  为实际计算结果, 当  $p_{ijk} < 60.0$  时, 规定  $p_{ijk} = 0$ , 此时  $\omega_{ijk}$  亦为 0, 也就是说, 此类方法只有评分平均值  $\geq 60.0$  的成员的预测结果才参加集成预测。当各成员  $p_{ijk}$  同时小于 60.0 时, 按照  $i=1$  时的情况集成。

本文确定权重使用 PS 评分, 并将评分平均值 60.0 作为预测方法是否参加集成预测的阈值, 考虑了业务考核的需要。权重计算根据实际需求可以使用预测年前 10 年、前 5 年和前 3 年预测与实况距平符号一致率平均值, 也可以选用其他检验方法的评估结果, 并制定相应的阈值。

## 1.4 评分方法介绍

本文评分使用 2010 年实施的《短期气候预测质量分级检验办法》中的 PS 评分方法, 表 1 和表 2 分别为该方法使用的评分表和评分用语、各等级划分标准。评分使用的月平均气温多年平均值 2003 年 6 月以前为 1961—1990 年数据, 2003 年 6 月起为 1971—2000 年数据。

## 2 预测业务现状

### 2.1 各种预测方法预测准确率

$X_1$  近 11 年全年评分平均值 73.6, 预测与实况

距平符号一致率为 68.3%。12 个月中,评分较高 ( $\geq 75.0$ ,下同)的月份有 3,4,5,6 和 9 月,预测与实况距平符号一致率较高 ( $\geq 75.0\%$ ,下同)的月份有 4,5 和 6 月。

$X_2$  全年评分平均值为 70.5,预测与实况距平符号一致率 65.4%。评分较高的月份有 2,4 和 7 月,预测与实况距平符号一致率较高的月份有 2,3,4 和 7 月。

$X_3$  全年评分平均值为 70.5,预测与实况距平符号一致率 65.9%。评分较高的月份有 3 和 9 月,预测与实况距平符号一致率较高的月份有 3,4 和 9 月。

$X_4$  全年评分平均值为 58.9,预测与实况距平

符号一致率为 53.8%。

### 2.2 业务产品预测准确率

国家气候中心业务产品( $G_y$ ):近 11 年对陕西 3 个气候区域的预测评分全年平均值为 74.6,预测与实况距平符号一致率为 73.8%,有较高的预测技巧。评分较高的月份有 3,4,6,7,9 和 11 月,预测与实况距平符号一致率较高的月份有 3,4,5,6,9 和 11 月。

陕西业务产品( $S_y$ ):近 11 年全年评分平均值为 71.3,预测与实况距平符号一致率为 67.4%,有较大提升空间。评分较高的月份有 4,5 和 9 月,预测与实况距平符号一致率较高的月份有 3,4 和 5 月。

**表 3 4 种预测方法、6 种集成预测方法和业务产品各月评分平均值**  
**Table 3 The monthly scores for four kinds of prediction methods, six ensemble forecasting models and operational publishing products**

时间	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	全年
1999 年 7 月至 2010 年 6 月													
$X_1$	73.0	57.3	75.8	83.6	79.7	77.6	73.9	69.4	81.8	69.7	67.0	74.8	73.6
$X_2$	60.9	80.6	74.8	81.5	70.3	71.2	85.5	58.5	60.9	64.5	69.7	67.9	70.5
$X_3$	59.4	60.3	85.8	71.5	73.6	74.2	67.6	65.5	81.5	66.1	70.9	69.1	70.5
$X_4$	67.6	67.6	65.2	54.8	45.7	41.2	43.6	58.5	60.9	64.5	69.7	67.9	58.9
$G_y$	71.0	64.2	75.2	79.1	74.8	77.9	77.0	69.1	81.5	73.9	80.0	71.8	74.6
$S_y$	71.5	60.0	65.4	78.2	75.8	74.5	72.1	66.7	77.9	73.9	66.6	72.7	71.3
$Z_{11}$	71.8	70.9	86.0	83.6	80.6	80.0	80.7	70.9	82.7	68.8	75.7	73.3	77.1
$Z_{21}$	73.0	78.8	86.0	83.6	80.6	80.0	80.7	70.6	81.7	68.8	77.6	73.3	77.9
2004 年 7 月至 2010 年 6 月													
$X_1$	71.1	48.9	71.7	82.8	79.4	75.6	74.4	62.8	78.3	62.8	63.9	76.7	70.7
$X_2$	58.3	83.3	63.9	86.1	73.9	71.1	89.4	58.3	55.0	60.6	55.0	69.4	68.7
$X_3$	58.3	38.9	85.0	70.0	80.0	68.9	63.3	63.3	80.0	61.1	74.4	67.2	67.5
$X_4$	62.8	78.9	72.2	72.2	46.7	50.0	46.7	58.3	55.0	60.6	55.0	69.4	60.6
$G_y$	67.8	56.7	80.0	78.3	77.8	81.1	79.4	72.2	76.7	74.4	70.0	76.7	74.3
$S_y$	67.8	61.1	71.1	76.7	77.8	72.2	75.6	65.6	76.1	70.0	62.2	73.3	70.8
$Z_{12}$	66.6	55.6	81.7	83.9	85.0	80.0	81.7	70.0	77.8	66.7	70.0	74.4	74.4
$Z_{22}$	66.6	62.2	83.3	83.9	85.0	80.0	81.7	66.1	77.8	61.1	68.9	74.4	74.3
2002 年 7 月至 2010 年 6 月													
$X_1$	72.1	48.8	71.3	82.5	81.7	78.3	73.8	65.4	80.0	65.4	67.9	75.0	71.8
$X_2$	62.9	79.2	70.0	87.9	74.2	74.6	87.1	60.8	55.0	63.8	63.8	71.3	70.9
$X_3$	60.0	53.3	85.0	72.1	77.5	71.3	63.8	65.4	80.4	62.9	77.1	70.4	69.9
$X_4$	62.9	71.3	75.4	60.0	46.7	49.2	46.7	60.8	55.0	63.8	63.8	71.3	60.6
$G_y$	71.3	60.9	80.0	78.8	79.6	79.6	77.1	70.8	79.2	74.2	77.5	78.3	75.6
$S_y$	72.5	58.3	70.0	75.8	80.0	75.0	75.0	65.8	75.4	69.2	66.7	72.5	71.4
$Z_{13}$	70.4	62.5	83.8	82.5	85.0	81.7	80.0	70.8	80.0	69.2	75.9	73.3	76.3
$Z_{23}$	72.9	68.8	85.0	83.8	85.0	81.7	79.2	67.5	80.0	69.2	77.1	74.6	77.1

## 3 集成预测效果分析

### 3.1 集成预测方法总体效果

表 3 给出各种预测方法和业务产品各月评分平均值。由表 3 全年评分平均值可知,各种集成预测

方法都高于或者等于参加集成的任何一个成员 ( $X_1, X_2, X_3$  和  $G_y$ ),都高于  $S_y$ (陕西业务产品)。6 种集成预测方法评分平均值比同期 4 个成员 ( $X_1, X_2, X_3$  和  $G_y$ )评分平均值高 4.6,比  $S_y$  高 5.1。由表 4 预测与实况距平符号一致率全年平均值可知,除  $Z_{21}$  高于 4 个成员外,其他 5 种集成预测方法低于  $G_y$ (国家气候中心业务产品),高于其他 3 个成员。

6 种集成预测方法预测与实况距平符号一致率平均值比 4 个成员平均值高 4.7%，比  $S_y$  高 5.1%。总的来看，各种预测方法、业务产品、集成方法在 3, 4, 5, 6, 7 和 9 月预测技巧普遍较高，在 1, 2, 8, 10, 11 和 12 月预测技巧普遍较低，尤其是 1, 8 和 10 月所有方法和业务产品评分都低于 75.0，预测与距平符号一致率都低于 75.0%。

从空间分布看，榆林和汉中各种集成预测方法全年评分平均值均高于任何一个成员。6 种集成预

测方法评分平均值与 4 个成员评分平均值相比，榆林高 5.7，西安高 3.9，汉中高 4.2；与  $S_y$  相比，榆林高 5.7，西安高 6.5，汉中高 3.1；榆林各种集成预测方法预测与实况距平符号一致率全年平均值均高于任何一个成员。6 种集成预测方法预测与实况距平符号一致率平均值同 4 个成员平均值相比，榆林高 6.9%，西安高 0.4%，汉中高 6.8%；与  $S_y$  相比，榆林高 7.3%，西安高 1.8%，汉中高 6.3%。从上述多种评估指标的结果看，榆林集成预测效果最好。

表 4 4 种预测方法、6 种集成预测方法和业务产品各月预测与实况距平符号一致率平均值(单位:%)

Table 4 The monthly anomaly symbol consistent rates for four kinds of prediction methods, six ensemble forecasting models and operational publishing products(unit: %)

时间	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	全年
1999年7月至2010年6月													
$X_1$	72.7	51.5	72.7	87.9	78.8	75.7	72.7	57.5	72.7	48.5	56.7	72.7	68.3
$X_2$	54.5	84.8	78.8	87.9	72.7	66.6	81.8	45.4	42.4	51.5	60.6	57.6	65.4
$X_3$	57.5	63.6	93.9	78.8	66.6	66.6	54.5	54.5	81.8	51.5	60.6	60.6	65.9
$X_4$	66.6	66.6	66.6	60.6	51.5	42.4	33.3	45.4	42.4	51.5	60.6	57.6	53.8
$G_y$	69.7	72.7	97.0	81.8	81.8	75.7	73.3	48.4	78.8	57.6	84.8	63.6	73.8
$S_y$	69.7	69.7	78.8	81.8	81.8	72.7	66.6	42.4	72.7	57.5	54.5	60.6	67.4
$Z_{11}$	69.7	72.7	93.9	84.8	84.8	78.8	76.7	51.5	78.8	48.4	72.7	63.6	73.0
$Z_{21}$	72.7	81.8	93.9	84.8	84.8	78.8	76.7	51.5	78.8	48.4	75.7	63.6	74.3
2004年7月至2010年6月													
$X_1$	72.2	38.9	61.1	83.3	77.8	77.7	72.2	50.0	61.1	38.9	61.1	77.8	64.3
$X_2$	55.5	88.9	61.1	88.9	83.3	72.2	88.9	38.9	27.8	44.4	38.9	72.2	63.4
$X_3$	55.5	33.3	94.4	83.3	77.8	61.1	50.0	50.0	77.8	50.0	72.2	61.1	63.9
$X_4$	55.5	77.8	72.2	83.3	55.5	55.5	38.9	38.9	27.8	44.4	38.9	72.2	55.1
$G_y$	61.1	50.0	94.4	83.3	88.9	83.3	77.8	55.5	61.1	66.6	77.8	77.8	73.1
$S_y$	61.1	66.6	83.3	83.3	88.9	72.2	73.3	40.0	66.6	60.0	53.3	60.0	67.4
$Z_{12}$	61.1	44.4	88.9	83.3	94.4	83.3	77.7	50.0	66.6	50.0	72.2	72.2	70.3
$Z_{22}$	61.1	55.5	88.9	83.3	94.4	83.3	77.7	44.4	66.6	38.9	66.6	72.2	69.4
2002年7月至2010年6月													
$X_1$	70.8	37.5	62.5	87.5	79.1	75.0	66.7	54.1	66.6	41.6	62.5	70.8	64.6
$X_2$	58.3	87.5	70.8	91.7	83.3	70.8	83.3	45.8	33.3	45.8	50.0	66.7	65.6
$X_3$	58.3	50.0	95.8	87.5	66.6	62.5	50.0	54.1	79.1	50.0	70.8	62.5	65.6
$X_4$	62.5	70.8	75.0	66.7	54.1	50.0	33.3	45.8	33.3	45.8	50.0	66.7	54.5
$G_y$	66.6	62.5	95.8	87.5	87.5	75.0	70.8	54.1	70.8	62.5	83.3	75.0	74.3
$S_y$	66.6	66.6	79.1	83.3	87.5	70.8	66.7	41.6	62.5	50.0	58.3	58.3	66.0
$Z_{13}$	66.7	58.3	91.7	87.5	91.7	79.2	70.8	54.2	75.0	50.0	75.0	62.5	71.9
$Z_{23}$	70.8	70.8	91.7	87.5	91.7	79.2	70.8	50.0	75.0	50.0	79.2	66.7	73.6

### 3.2 第一类集成预测方法效果

$Z_{11}$ ,  $Z_{12}$  和  $Z_{13}$  集成效果总体较好。各种集成预测方法全年评分平均值高于任何一个成员，3 种集成预测方法评分平均值比 4 个成员评分平均值高 4.4，比  $S_y$  高 4.8；3 种集成预测方法预测与实况距平符号一致率平均值低于  $G_y$ ，高于  $X_1$ ,  $X_2$  和  $X_3$ ，3 种集成预测方法预测与实况距平符号一致率平均值比 4 个成员平均值高 4.3%，比  $S_y$  高 4.8%。

从区域分布看，榆林和汉中 3 种集成预测方法全年评分平均值均高于任何单一预测方法。3 种集

成预测方法评分平均值与 4 个成员评分平均值比较，榆林高 5.0，西安高 3.8，汉中高 4.1；与  $S_y$  相比，榆林高 5.0，西安高 6.4，汉中高 3.0。榆林 3 种集成预测方法预测与实况距平符号一致率全年平均值高于任何一个成员。3 种集成预测方法预测与实况距平符号一致率平均值同 4 个成员平均值相比，榆林高 6.3%，西安高 0.3%，汉中高 6.4%；与  $S_y$  相比，榆林高 6.6%，西安高 1.8%，汉中高 5.8%。

### 3.3 第二类集成预测方法效果分析

第二类集成预测方法效果比第一类好，第二类

3 种集成预测方法各月评分平均值仅 7, 8, 9 和 10 月低于第一类, 其余月份高于或者等于第一类, 全年平均高 0.5。预测与实况距平符号一致率仅 8 和 10 月低于第一类, 其余月份高于或者等于第一类, 全年平均高 0.7%。

从区域分布看, 第二类集成预测方法与第一类相比, 全年评分平均值榆林高 1.2, 西安高 0.2, 汉中高 0.1。预测与实况距平符号一致率榆林高 1.2%, 西安高 0.1%, 汉中高 0.8%。

### 3.4 3 种集成预测方法效果分析

无论是第一类还是第二类集成预测方法, 都包含根据预测年前 10 年、前 5 年和前 3 年评分平均值确定权重系数 3 种方法, 研究结果表明使用前 10 年评分平均值效果最好, 但其评估结果使用了回算结果, 前 5 和前 3 年相比, 后者效果更好。其中,  $Z_{23}$  全年评分平均值比同期 4 个成员评分平均值高 5.1, 比  $S_y$  高 5.7; 预测与实况距平符号一致率比 4 个成员高 6.0%, 比  $S_y$  高 7.6%, 推荐首先选择使用。

## 4 结 论

本文选择 3 个气候区域作为研究对象, 优点是各种预测方法历史预测结果和评估结果时间序列较长, 可以进行多种动态集成预测方案的对比研究。缺点是可供集成预测研究选择的成员有限, 即有较长历史预测结果的客观预测方法较少。

主要研究结论:

(1) 对 3 种预测方法和国家气候中心业务产品预测结果进行集成预测的结果表明, 各种集成预测方法多年评分平均值都高于参加集成的任何一个成员, 表现出集成的优势。说明广泛应用于气候模式预测的集成思想和集成预测方法, 应用到传统的统计预测方法中, 同样能够提高气候预测的技巧。

(2) 第二类集成预测方法总体效果优于第一类。其中  $Z_{23}$  效果好、对各种预测方法历史评分时间要求较低, 推荐首先选择使用。从区域分布看, 榆林集成预测的效果最好。

(3) 国家气候中心业务产品对陕西 3 个气候区域的预测技巧较高, 将其预测结果进行客观化的处理, 同  $X_1$ ,  $X_2$  和  $X_3$  一起参加集成预测, 和将  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  和  $X_4$  作为成员进行集成预测相比, 集成预测技巧明显提高, 说明集成预测方法确定后, 参加集成各成员的预测能力最终决定集成预测的技巧。

一般认为持续性预测属于无技巧预测方法, 本

文将其作为参加集成的成员, 一是因为其近十多年表现出较高预测技巧, 二是它可以提供较长时间历史预测评分结果, 让其参加集成, 可以对多种集成预测方法效果进行对比分析, 验证客观集成预测的效果和重要性。

(4) 动态客观集成预测效果高于陕西同期发布的业务产品, 说明在现有条件下陕西月平均气温(距平)趋势预测水平仍有较大的提升空间。跟踪评估各种预测方法和业务指导产品预测能力, 挑选能力较强的方法和产品进行客观集成是一种简单易行的方法。

2007 年, 中国气象局指定陕西 8 个气象站为全国气候预测质量业务考核站。与 3 个气候区域相比, 针对考核气象站的预测方法更多, 客观集成可供选择的范围更大, 根据本文研究结论,  $Z_{23}$  已经实际应用于 8 个考核气象站的气候预测业务, 有待接受进一步检验。

**致谢:** 国家气候中心李维京研究员提出宝贵修改意见, 王娜硕士提供  $X_4$  部分预测结果, 在此表示衷心感谢。

### 参考文献

- [1] 杨荆安, 张鸿雁. 短期气候预测的预报集成方法研究[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 1999, 33(3): 440-444.
- [2] 尤凤春, 魏东, 王雨. 北京奥运期间多模式降水检验及集成试验[J]. 气象, 2009, 35(11): 3-8.
- [3] 吉廷艳, 熊方, 黄继用. 一种短期气候预测集成技术的应用研究[J]. 高原气象, 2002, 21(5): 522-525.
- [4] 陈桂英, 艾婉秀. 权重分布法集成预报试验[J]. 应用气象学报, 2000, 11(增刊): 51-57.
- [5] 卫捷, 张庆云, 陶诗言. 2004 年夏季短期气候集成预测及检验[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(1): 19-31.
- [6] 周家斌, 张海福. 一种汛期降水分布的客观集成预报方法[J]. 应用气象学报, 2000, 11(增刊): 93-97.
- [7] 王太微, 陈德辉. 数值预报发展的新方向[J]. 气象研究与应用, 2007, 28(1): 6-24.
- [8] 刘东贤, 张庆阳. 集合预报及其发展趋势[J]. 中国科技信息, 2007, (20): 268.
- [9] 李泽椿. 科学决策是业务系统建设持续发展的根本保证——国家气候中心数值预报业务系统建设回忆[J]. 气象, 2010, 36(7): 12-15.
- [10] 严明良, 缪启龙, 沈树勤. 基于超级集合思想的数值预报产品变权集成方法探讨[J]. 气象, 2009, 35(6): 19-25.
- [11] 陈丽娟, 许力, 王永光. 超级集合思想在汛期降水预测集成中的应用[J]. 气象, 2005, 31(5): 52-54.
- [12] 刘海波, 苏炳凯, 项静恬. 最优加权组合预测方法在气候预测中的应用研究[J]. 气象, 1999, 25(11): 20-24.
- [13] 项静恬, 陈国珍, 刘海波. 一种气候预测综合决策的方法——递归正权综合决策法[J]. 气象科学, 1999, 23(5): 551-558.
- [14] 中国气象局预测减灾司, 中国气象局国家气候中心. 中国气象地理区划手册[M]. 北京: 气象出版社, 2006.