

# 全国夏季降水区域动态权重集成预报试验\*

魏凤英

(中国气象科学研究院, 北京 100081)

## 提 要

根据全国大范围夏季降水趋势分布预报的特点,设计了一种区域动态权重集成预报方案.以多种预报方法对各区域历史预报技巧得分为依据,尤其注重各方法距起报时刻近期的预报技巧,赋予各区域动态归一化权重系数,在区域集成预报的基础上合成全国大范围降水分布预报.1990~1998年9年独立样本的试验预报表明,集成预报的预报技巧优于各预报方法预报技巧的平均水平.集成预报在一定程度上改善了预报技巧的不稳定现象.

关键词: 夏季降水趋势 集成预报 动态权重 预报技巧

## 引 言

全国大范围夏季降水预报方法的研究是短期气候预测的重要课题之一.由于使用的预报手段不同,考虑影响夏季降水的物理因素不同,各种预报方法得到的预报不尽相同或存在很大差异,但都能在一定程度上提供一些有用的信息.因此,有必要采用一种客观的集成预报方法将各种预报结果加以集成.集成预报的基本含义是将两个以上模型的预报结果以统计方法集成为单一预报<sup>[1]</sup>.集成预报的关键是如何确定权重系数.例如采用简单的算术平均,或根据各种方法的历史预报技巧事先人为设定,或用回归系数给各种预报方法不同的权重等等.在预报样本量不是足够大的情况下,算术平均通常不能得到最优集成预报.在有限样本情况下,回归系数可以保证在最小方差意义下得到最优集成拟合.但是,由于不同方法得到的降水预报结果存在较好的相关,在求回归系数时,有时会出现标准方程组病态现象,使回归系数估计不稳定,造成预报效果不稳定<sup>[2]</sup>.

本文根据全国大范围夏季降水趋势预报的特点,将大范围降水分布预报这一复杂问题,分解为多个相对简单的区域集成预报.确定以定性和定量的预报技巧作为判定方法效果的标准.同时,依据各模型预报技巧的特性,提出了动态权重的概念.按离起报时刻的远近给历史预报技巧变化的权重,使历史的预报技巧随离起报时刻由远到近,其效用略渐增长.根据以上思路设计了一套集成预报方案.1990~1998年独立样本试验预报表明,这一集成预报方法的预报技巧优于被集成的三种预报方法预报技巧的平均水平.

\* 本文由中国气象科学研究院科研基金和国家“九五”重中之重科技项目“我国短期气候预测系统研究”资助. 1998-10-14收到,1998-11-24收到修改稿.

# 1 集成预报方案与流程

## 1.1 预报技巧评分

全国夏季降水趋势预报与制作某一区域或单站预报有所不同, 一般在春季就要发布夏季降水趋势分布预报, 是一种短期气候预测, 把握住主要雨带位置分布是十分重要的. 根据这一特点, 以定性和定量的标准作为预报技巧的评定基础, 即从趋势和数量两方面评判预报方法的效果. 采用实际观测值与预报值之间的距平相关系数作为预报技巧得分. 距平相关系数计算公式为:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^M (\Delta P_{obs} - \overline{\Delta P_{obs}})(\Delta P_{fore} - \overline{\Delta P_{fore}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^M (\Delta P_{obs} - \overline{\Delta P_{obs}})^2 (\Delta P_{fore} - \overline{\Delta P_{fore}})^2}} \quad (1)$$

其中 $\Delta P_{obs}$ 、 $\overline{\Delta P_{obs}}$ 表示夏季降水距平百分率观测值及其平均值;  $\Delta P_{fore}$ 、 $\overline{\Delta P_{fore}}$ 为预报值及其平均值;  $M$  为站点数.

距平相关系数符号的正负是表示预报的降水趋势基本正确与否的一种定性判定, 数值的大小则是预报效果定量的评定.

## 1.2 分区

由于中国幅员辽阔, 各区域所处的地理位置不同, 地形又十分复杂, 使影响各区域夏季降水的因素不尽相同. 制作集成预报时, 如果全国大范围一起集成, 很难保证预报效果会有大的提高. 另外, 各种预报方法考虑的物理因素侧重不同, 预报手段不同, 对各个区域的预报效果也存在差异. 某种方法对某几个区域有较高的预报技巧, 而对其余区域的预报就不一定有好的技巧. 因此, 这里采用分区集成. 对于不同气候背景条件的区域赋予不同的权重. 每个区域根据各种预报方法的历史预报技巧评分给出相应的权重, 这样同一种预报方法在不同区域的权重会有所差别.

计算各个区域距平相关系数是以每个区包含的站点数作为样本量的, 为使每个区的样本量不会太少, 确定将中国划分为 10 个区. 采用极大方差准则的旋转经验正交函数(EOF)展开, 使分离出的典型空间模态上只有某一较小区域上有高荷载, 其余区域均接近零. 空间结构十分简化、清晰. 按照各个旋转典型空间模态的高荷载区进行区域的划分, 将国家气候中心预测室整理的 160 个站 1951~1998 年 6~8 月降水量进行 EOF 展开. 10 个高荷载中心基本布满全国大范围地区, 一个高荷载中心对应一个独立区域, 这样将

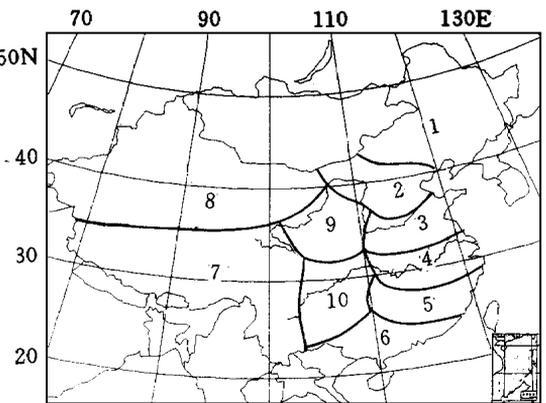


图1 全国夏季降水的 10 个区域示意图

中国划分为10个区. 确定区域边界是十分困难的. 这里参考国家气候中心预测室以经验办法划分15个区和江剑民利用REOF划分17个区的边界综合确定<sup>[3]</sup>. 图1给出划分为10个区域示意图.

### 1.3 动态权重

各预测模型虽建模方法不同, 但一般都建立在预报量与预报因子相关关系基础上. 由于夏季降水量和预报因子的相关关系有时可能呈现出一定阶段性. 因此, 预测模型的预报技巧亦可能存在阶段性. 例如, 魏凤英、张先恭提出的全国夏季降水预报方法, 近几年收到较好的预报效果<sup>[4]</sup>. 但从图2给出的1980~1998年预报技巧累积曲线看出, 1980~1986年间预报技巧处于下降趋势, 7年平均距平相关系数为-0.15, 1986年之后呈上升趋势, 1989~1994年间经历几次波动, 1987~1994年8年平均距平相关系数为0.15, 1994年以后, 显现明显上升趋势, 1995~1998年4年平均距平相关系数为0.24. 1980~1998年19年平均预报技巧并不高, 为0.06, 但近期的预报技巧是高的.

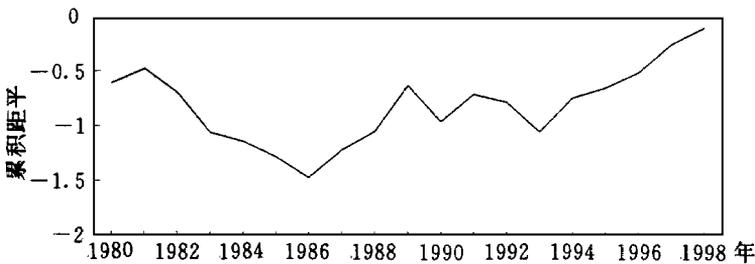


图2 预报技巧累积距平曲线

其它预测模型也有类似情况出现. 为了得到预报效果更好的集成预报, 我们提出动态权重的概念, 设计了随离起报时刻的远近以指数形式变化的权重, 使近期预报技巧发挥较大效用. 也就是更注重各预测模型近期的预报效果. 对逐年预报技巧赋予指数形式动态权重, 即

$$\hat{R}_{ij} = R_{ij} \cdot e^{bi} \quad (2)$$

这里  $i$  为样本序号,  $i = 1, 2, \dots, N$ ;  $b$  为系数, 按对近期预报技巧重视程度给定. 例如,  $b = 0.00001$ , 当  $i$  较小时, 即远离起报时刻时, 预报技巧基本无变化, 随着  $i$  的增大, 预报技巧发生微调. 其效果是, 若离起报时刻近的年份的预报技巧高给予适当奖励, 反之则给予一定惩罚.

### 1.4 集成预报流程

(1) 分区 将全国范围的160个站分成  $M$  ( $M = 10$ ) 个区.

(2) 计算各区历史预报技巧 分别计算各区每种预报方法预报值与实际值之间距平相关系数  $R_{ij}$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ ,  $N$  为样本量;  $j = 1, 2, \dots, L$ ,  $L$  为预报方法个数. 并对于逐年预报技巧  $R_{ij}$  赋予形如式(2)形式的动态权重.

用每种方法的距平相关系数的平均

$$\bar{R}_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \hat{R}_{ij} \quad (3)$$

作为衡量预报效果的技巧得分。

(3) 计算各区权重系数 当  $\bar{R}_{ij} < 0$  时, 令  $\bar{R}_{ij} = 0$ , 即当预报技巧为负时, 视为 0。用归一化方法计算每区各种方法的权重系数

$$W_j = \bar{R}_j / \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{R}_j \quad (4)$$

这里  $j = 0, j = 1, 2, \dots, L$ , 其中权重满足

$$\sum_{j=1}^N W_j = 1 \quad (5)$$

(4) 各区集成预报 对各区建立权重线性集成预报方程

$$\hat{Y}_k = \sum_{j=1}^N W_j X_{jk} \quad (6)$$

式中  $k = 1, 2, \dots, M, j = 1, 2, \dots, L, W_j$  为各种预报方法权重,  $X_{jk}$  为用各种预报方法作出的降水距平百分率预报。

(5) 合成 将区域集成预报结果合成, 即可得到全国夏季降水距平百分率的预报。

## 2 集成预报试验

选取在夏季降水预报中使用多年的三种预报模型作为集成预报基础, 以下称为方法 A, 方法 B, 方法 C。三种预报模型均进行了 1980~1998 年预报回算, 分别得到 19 年降水距平百分率预报值作为集成预报的预报样本。计算了三种预报方法历年预报值与实况值之间距平相关系数 ( $ACC$ , 见图 3)。为了与汛期业务预报比较, 还按国家气候中心预测室的评分公式计算了预报评分<sup>[5]</sup>。从图中看出, 方法 A 和方法 C 有些年份的预报技巧还是比较高的, 但它们的预报技巧波动比较大。

根据上述集成预报流程编程计算, 首先得到 10 个区的集成预报。表 1 给出各个区域 1980~1998 年集成预报 19 年平均的预报技巧得分与各种方法预报技巧得分的比较。从表 1 看出, 对 10 个区域的预报, 原来三种方法的预报技巧是很不相同的。方法 A 对 1、2、5、7、8、9 区的预报比较好, 预报技巧得分在 0.0 以上。方法 B 对 2、3、4 区的预报有较高的技巧得分。方法 C 则对 3、4、5、6 区的预报有较好的效果。也就是说, 各个方法对不同区域的预测能力存在差异。因此, 分区集成旨在充分发挥各方法的优势, 哪种方法对哪个区域历史预报得分高就赋予较大权重, 否则给予小的权重, 以此提高全国范围的预报效果。从表 1 看出, 集成预报的预报技巧在 10 个区中有 6 个区达到较高的水平, 预报技巧明显优于任何一种方法。另外 4 个区也比最低的技巧得分有了不同程度的提高。说明对区域的集成是有效的。

将 10 个区域的集成预报结果合成, 得到 1980~1998 年全国夏季降水距平百分率的预报。集成预报与实况之间距平相关系数  $ACC$  曲线见图 3。

对每一年而言, 集成的预报技巧不一定比某种方法高, 但总体预报技巧水平有了提高, 且预报技巧得分比其他方法稳定, 波动相对小。

表 1 各区域集成预报及各种方法 19 年平均预报技巧得分

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
方法 A	0.03	0.13	- 0.01	0.00	0.02	- 0.07	0.04	0.03	0.14	- 0.03
方法 B	- 0.06	0.01	0.06	0.04	- 0.03	- 0.21	- 0.11	- 0.10	- 0.08	- 0.15
方法 C	- 0.05	- 0.28	0.02	0.06	0.20	0.06	- 0.11	- 0.05	- 0.06	- 0.07
集成	- 0.01	0.06	0.06	0.26	- 0.02	0.12	- 0.10	0.11	0.03	- 0.07

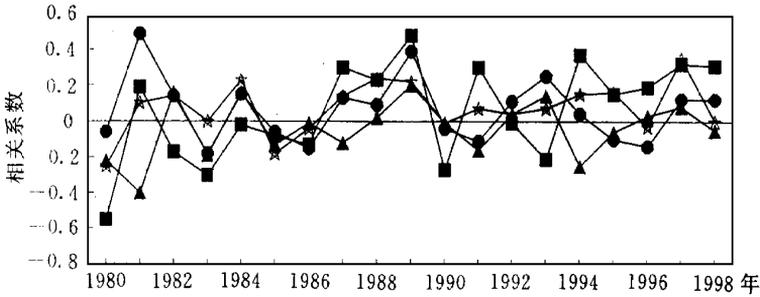
图 3 1980 年~ 1998 年预报与实况间距平相关系数 ACC 曲线  
(■ 方法 A ▲ 方法 B ● 方法 C ☆ 集成)

表 2 1980~ 1998 年平均距平相关系数 ACC 及预报评分(S)

	方法 A	方法 B	方法 C	三种方法平均	集成预报
ACC	0.06	- 0.04	0.06	0.03	0.07
S	73.34	68.09	67.31	69.58	73.01

从表 2 看出, 三种预报方法的平均预报技巧为 0.03, 平均评分为 69.58, 与我国汛期降水趋势业务预报的近 20 年预报技巧平均水平相当. 集成预报的预报技巧则优于三种方法, 更明显好于三种方法的平均预报技巧水平.

利用集成预报方案我们制作了 1990~ 1998 年 9 年独立样本预报试验. 图 4 为 1990~ 1998 年集成预报和三种方法的预报技巧得分. 从图中看出, 每一年的集成预报技巧不一定比预报技巧最高的方法高, 但都比预报技巧最差的方法有所提高. 9 年中, 有 5 年距平相关系数为正, 说明这几年集成预报的降水趋势基本正确. 另外, 可以看出集成预报的预报技巧比较稳定. 表 3 给出 1990~ 1998 年 9 年集成预报、各种方法预报的预报技巧得分和预报评分的平均值. 从表中看出, 集成预报虽不及 90 年代以来预报技巧较高的方法 A 的预报技巧, 但比方法 B 和方法 C 的预报技巧高. 三种预报方法的 9 年预报技巧平均为 0.04, 集成预报为 0.06. 三种预报方法的 9 年预报评分为 71.6, 集成预报为 75.43. 可见, 9 年独立样本集成预报效果明显高于三种方法的平均水平.

大范围汛期降水的短期气候预测更注重降水分布的趋势特征, 尤其是检验主要旱涝位置是否预报准确. 1994 年我国夏季出现了典型的南北两条多雨带, 一条位于华南大部

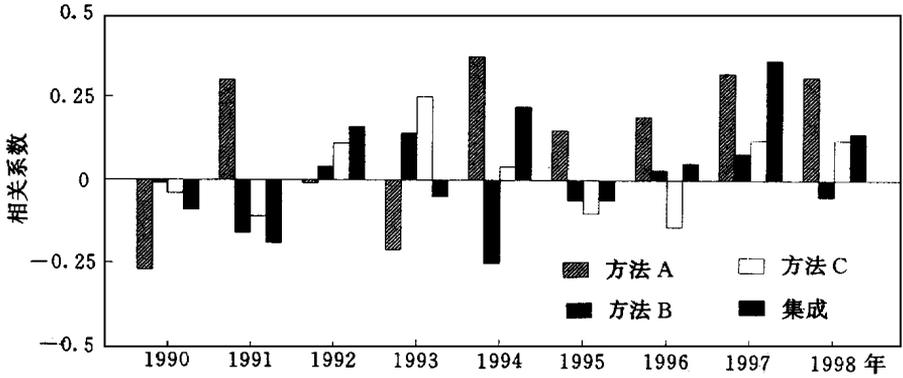


图 4 1990~1998 年集成预报和三种方法的预报技巧

表 3 1990~1998 年平均距平相关系数(ACC)及预报评分(S)

	方法 A	方法 B	方法 C	三种方法平均	集成预报
ACC	0.13	- 0.03	0.03	0.04	0.06
S	77.6	69.9	67.4	71.6	75.43

和江南南部,另一条位于北方,多雨带主要位于东北南部,华北北部和西北东部(图 5a)。这一年集成预报的距平相关系数为 0.22,虽不及方法 A(0.37),但比方法 B(- 0.25)和方法 C(0.04)有了大幅度提高,重要的是集成预报较好地把握住了两条雨带的主要位置(图 5b)。

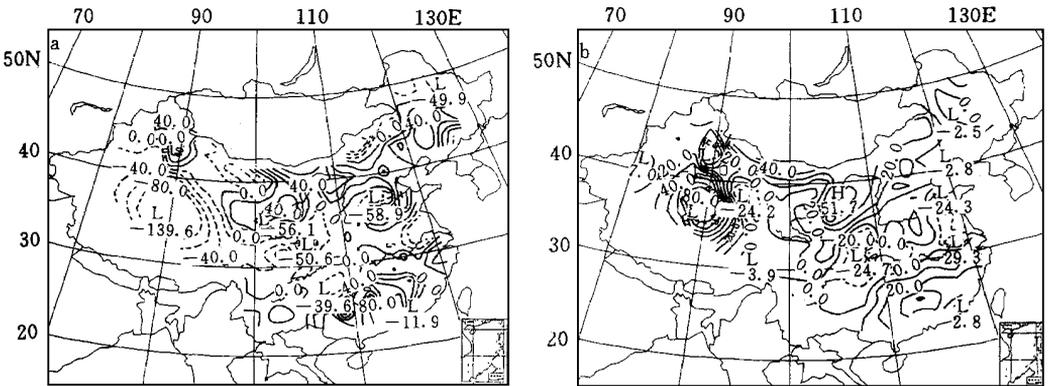


图 5 1994 年中国夏季降水距平百分率实况(a)与集成预报(b)

1998 年我国夏季多雨中心位于长江流域和东北西部、内蒙东部地区(图 6a)且降水量异乎寻常的大。长江出现了全流域性的特大洪水;嫩江、松花江的洪涝亦是超历史记录。方法 A(图略)对于长江流域的大水预报正确,只是位置略偏北;东北、内蒙降水偏多趋势也预报出来了,但强度较弱。方法 B(图略)预报长江中上游,内蒙降水偏多,长江中下游、东北偏少。方法 C(图略)预报长江以南、东北西南及内蒙降水偏多,长江以北大范围偏少。

集成预报的距平相关系数为 0.14, 不及方法 A (0.31), 但比方法 B (-0.05) 和方法 C (0.12) 高. 关键是多雨带位置与实况是很相近的(图 6b), 虽然异常洪涝的强度比不上实况, 但应该说, 短期气候预报达到这种水平也是比较满意了. 特别是对这种异常年份, 这种预报具有一定参考价值.

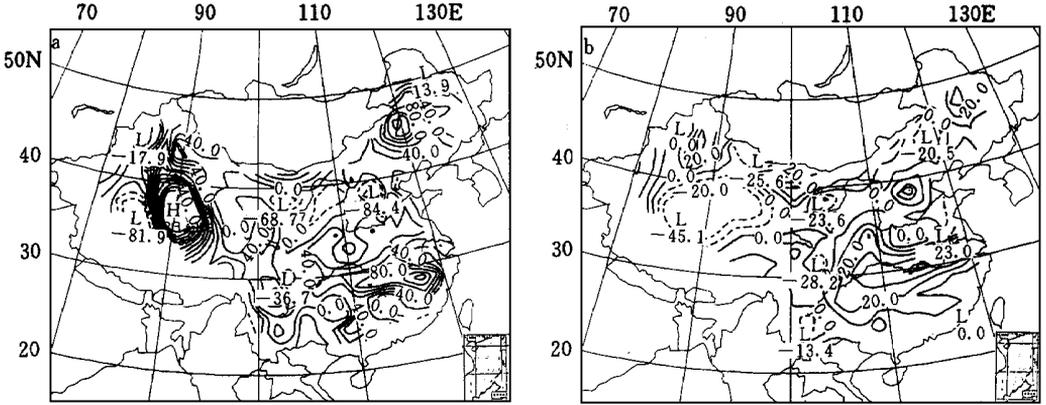


图 6 1998 年中国夏季降水距平百分率实况(a)与集成预报(b)

### 3 结论与讨论

(1) 预报试验表明, 本文提出的区域动态权重集成预报方案不但在一定程度上提高了预报技巧, 且可以较好地把握住夏季降水的趋势分布. 另外, 集成预报模型还在某种程度上消除了原方法预报的随机性, 为更好地作出预报决策提供了依据.

(2) 集成预报效果的好坏主要依赖于两个关键因素. 一是要有几种具有较强预报能力的预报模型作为基础. 如果几种预测模型均能基本报对夏季降水的主要趋势, 那么集成预报就可能会有好的效果. 但是, 在几种预报模型预报得均不成功的情况下, 不可能指望通过集成而有根本的改变, 只可能有所改进. 通过集成帮助我们在作出预报决策时, 不能完全保证以效果最好的预报作为最终预报, 但至少可以避免给出预报效果最差的预报. 第二个因素是集成权重系数的确定, 这是当前预测科学尚在研究的一个难题. 目前常用的几种确定权重系数的方法都有其利弊. 根据全国大范围夏季降水趋势预测的特点, 按各种方法对各个区域历史预报技巧得分赋予动态归一化权重系数, 在一定程度上改进了预报效果. 但严格来讲, 所确定的权重系数不能保证在最小方差意义下获得最优集成预报. 因此, 关于权重系数的确定还有待更深入的研究.

### 参考文献

- 1 Klaus Fraerich. 组合天气预报及其应用. 魏凤英译. 气象科技, 1995, (1): 23~ 29.
- 2 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法. 北京: 气象出版社, 1990. 355~ 356.
- 3 江剑民. 对我国夏季降水量异常的一种客观分区. “八五”长期天气预报理论和方法的研究. 北京: 气象出版社, 1996. 195~ 199.

- 4 魏凤英, 张先恭. 中国夏季降水趋势分布的一个客观预报方法. 气候与环境研究, 1998, 3(3): 218~ 226.
- 5 赵振国. 我国汛期旱涝趋势预测进展. 见: 王绍武主编. 气候预测研究. 北京: 气象出版社, 1996. 84~ 93.

## REGIONAL CONSENSUS FORECAST METHOD WITH DYNAMIC WEIGHTING FOR SUMMER PRECIPITATION OVER CHINA

Wei Fengying

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

### Abstract

The regional consensus forecast with dynamic weighting for summer precipitation over China is described. Dynamic and normalized weighting coefficients are paid to forecasting model for each region of China in accordance with the predictive skill of several individual models for past records. Here, dynamic weighting means that the closer the record is from forecasting origin time, the greater the weighting coefficient is. And the forecast of the precipitation over China is composed of the consensus forecast of 10 regions. The experiments for the independent sample of 1990- 1998 show that the predictive skill of the consensus forecast is better and steadier than that of individual forecasting.

**Key words:** Summer precipitation   Consensus forecast   Dynamic weighting   Predictive skill