

赵翠光, 赵声蓉. 华北及周边地区夏季分区客观降水预报. 应用气象学报, 2011, 22(5): 558-566.

华北及周边地区夏季分区客观降水预报

赵翠光¹⁾²⁾* 赵声蓉²⁾

¹⁾(南京信息工程大学, 南京 210044) ²⁾(国家气象中心, 北京 100081)

摘 要

在降水客观分区的基础上,对华北及周边地区进行夏季降水预报。利用 2006—2008 年的 6—8 月 T213 资料和相应时段的实况资料,通过概率回归降水等级方案建模,对 2009 年和 2010 年 6—8 月进行了试报。结果表明:分区建模的降水预报与单站建模预报相比,TS 评分在不同时效、不同量级上均有提高,并且在空报和漏报上有较大改善,特别是大量级降水预报改善明显。从因子分析上看,分区建模较单站建模所选因子更丰富,利用了模式产品的有用信息,因此做出了更好的预报。分区建模与模式降水预报的对比分析表明:分区建模的降水预报效果好于模式直接降水预报,空报现象改善明显。

关键词: 华北及周边地区; 夏季降水预报; 客观分区; 区域建模

引 言

华北是我国东部夏季三大降雨区之一,具有与华南和江淮梅雨锋暴雨不同的特点^[1],降水的发生、发展有很大的突发性和局地性。据统计,华北地区的降水 80%~90% 出现在 6—8 月,一次暴雨的日降水量有时可达月降水量的 50% 以上^[2-3],因此,成功地预报降水,特别是大量级降水,所产生的社会效益和经济效益较为明显。

数值预报产品释用技术在客观气象要素预报中越来越重要,在实际业务中被广泛应用。降水预报是客观预报中最困难的问题之一,预报水平不高。我国气象工作者对降水的客观预报做了大量工作,一方面是因子方面,即寻找更合理、更有用的预报因子^[4-6];另一方面是对预报量的处理,即在建立预报模型前对降水量进行一定的预处理达到提高预报效果的目的^[7-8]。目前,客观降水预报多单站独立建立模型^[9-11],但降水,特别是大量级降水对单站来说是小概率事件,单站的大量级降水样本少,很难建立可用的预报方程。

我国地域广阔,地形复杂,不同区域降水性质明

显不同。对华北地区来说,在夏季风活动季节,来自海洋的水汽输送,经常受到南北走向的太行山脉和东西走向的燕山山脉的阻挡,使华北地区的降水强度及其时空分布具有地域特殊性,所以很难用一种天气模型来概括^[12-13]。客观分区可以在建立降水模型中得到应用,相似的天气区样本在分区内共享,它可以改善单站降水预报模型的稳定性,还可以增加大量级降水的样本数。

本文利用旋转正交经验分解(EOF)方法进行华北及周边地区降水天气分区,采用概率回归降水等级预报方案^[14],对区域建模试报结果和单站建模试报结果进行对比分析,再对区域建模试报结果和模式直接输出结果进行比较分析。

1 华北及周边降水天气区的划分

使用国家信息中心整编的全国 1981—2007 年夏季(6—8 月)逐日连续完整的 00:00—次日 00:00 (世界时,下同)24 h 降水量资料,选择华北及周边区域(32°~42°N, 110°~124°E),共 703 个站,得到逐日降水样本共 2484 个。通过对逐日降水量场采取标准化处理后,应用 EOF 的分析结果对华北

2011-02-16 收到, 2011-08-01 收到再改稿。

资助项目:公益性行业(气象)科研专项(GYHY201106010),2011 年中国气象局基础建设项目“精细化要素预报用户支撑环境改进与推广应用”

* E-mail: zhaocg@cma.gov.cn

及周边地区夏季降水量场进行客观分区。

REOF 是在经验正交函数的基础上,选择一个正交旋转矩阵,使原始矩阵旋转以后的列向量元素平方的方差最大,从而使原始要素场的信息特征集中映射到空间荷载场所表示的优势空间型。REOF^[15]可以将空间场上与主成分相关的高值区集中在一个较小的范围内,更容易识别空间型。采用方差极大准则下的正交旋转矩阵,对特征向量场作旋转变换,使其列向量元素平方方差为最大,从而使原始要素场的信息特征集中映射到各个主分量荷载场所表示的优势空间型中。选取参加旋转的特征向量个数是分区的关键,用 Scree 法^[16],首先将特征值依序绘成图,考察特征值随序数的变化,取最后 1 个明显的转折点之前的主分量进行旋转变换。

依据特征值自然对数随序号的变化曲线(图略)在第 7 个特征值之后斜率突然减小的特点,以及上

述旋转后 7 个主因子荷载场的分布特征,将我国华北及周边地区夏季降水量场划分成 7 个区(如图 1 所示)。第 1 个旋转因子的高荷载区在河北中、南部平原区,河南北部、山东西北部;第 2 个旋转因子的高荷载区分布在河南大部,河南与山东、江苏、安徽四省交界处;第 3 个旋转因子的高荷载区主要分布在京津、河北东北部,辽宁西部,内蒙古东部偏南地区。第 4 个旋转因子的高荷载区主要分布在内蒙古中部、山西北部、河北西北部;第 5 个旋转因子的高荷载区主要分布在山西中南部;第 6 个旋转因子的高荷载区主要分布在山东大部;第 7 个旋转因子的高荷载区主要分布在苏皖北部。

华北及周边地区夏季降水的异常型可以分为 7 个区,做好上述 7 个区降水预报,就相当于抓住了华北及周边夏季降水异常的关键。

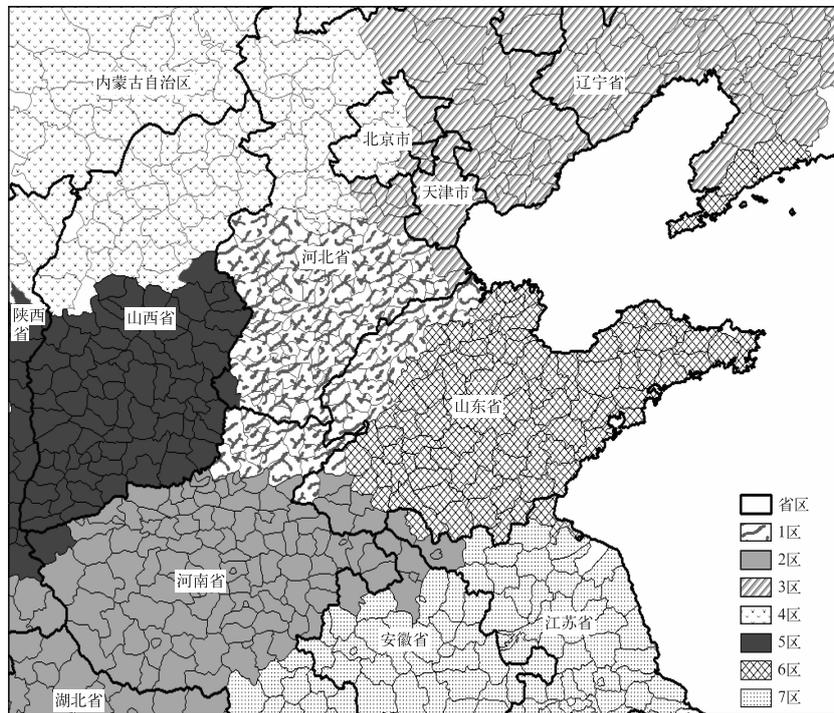


图 1 华北及周边地区夏季降水分区

Fig. 1 Precipitation regional division over North China and adjacent areas during summer

2 模型建立的资料、技术方案

2.1 资料

本文使用的资料为国家气象中心中期数值预报

模式 T213 12:00 起报的预报产品与华北及周边地区 703 个观测站 00:00 的 24 h 降水量,建立方程所用样本时段为 2006—2008 年的 6—8 月。

T213 模式预报产品分辨率为 $1.125^{\circ} \times 1.125^{\circ}$ 经纬网格,预报时效在 72 h 内间隔为 12 h, 72 h 以

后间隔为 24 h。所用的 T213 预报产品包括 14 个基本要素,其中有 7 个是 13 层等压面上的要素和 7 个单层的要素。

2.2 建模方法

本文采用概率回归降水等级预报方案,降水分为小雨、中雨、大雨、暴雨。在建立小雨预报方程前,将样本中小于 0.1 mm 的样本赋为 0,大于等于 0.1 mm 的样本赋为 1;对于中雨预报则将样本中小于 10.0 mm 的样本赋为 0,大于等于 10.0 mm 的样本赋为 1,其他量级依此类推。通过逐步回归方法建立与预报因子之间的概率回归方程。

逐步回归分析的基本思路:根据预报因子方差贡献的大小,每次引入 1 个在所有尚未进入方程的预报因子方差贡献最大且到达一定显著水平的预报因子建立回归方程;同时计算引入新的预报因子后原来方程中的各个预报因子预报变量的方差贡献,将那些由于引进新的预报因子而对预报变量的方差变得不显著的预报因子剔除掉,建立新的回归方程。这样逐步引进方差贡献显著的因子,逐步剔除方差贡献不显著的预报因子,筛选过程一直进行到没有预报因子可以引进方程,也没有预报因子需要从方程中剔除为止。

2.3 因子预处理

为了得到更丰富的物理量,以便全面反映大气运动的变化信息,根据数值预报基本场导出了大量诊断量作为因子,并将不同时次、不同层次的要素插值到站点上形成种类繁多的备选因子群。另外,建立方程时,不仅选择预报时次的因子作为候选因子,而且选择多个时次因子,由于模式预报结果会有提前或滞后的可能,所以预报某时次时,选择预报时次前后 4 个时效的数据作为备选因子,还因为数值预报场中 00:00 气象要素场误差最小,因此也将 00:00 气象要素作为备选因子。

2.4 预报模型建立

区域建模是在同一天气区中使用基本站建立区域方程,因为如果使用加密站,就会使样本数过大,方程不稳定,而且基本站对于各区域来说有代表性。对于方程中的概率判别值,选用预报 TS 评分达最大的方程拟合值为概率判别值。用基本站建立的区域方程扩展到加密站上,得到 703 个站的预报方程。单站预报模型是单独一个站的资料作为样本资料建

立方程,其他同区域建模方案。本文将单站预建模简称为 M1,区域建模简称为 M2。2009 年和 2010 年 6—8 月 T213 模式产品做为试报样本。

3 区域建模降水预报与单站建模降水预报比较

3.1 区域和单站降水模型预报效果对比

对 2009 年和 2010 年 6—8 月华北及周边地区降水预报进行检验。由于预报量是 00:00 的 24 h 降水累积等级,模式起报时间为 12:00,预报时效为 36 h,60 h,84 h,108 h 和 132 h,这里给出 36 h 到 132 h 的检验分析结果。

图 2 是 M1 和 M2 预报检验的对比结果。图 2a 给出降水预报的 TS 评分,从图 2a 可以看出:2009,2010 年夏季华北及周边地区在各时效、各量级上,M2 方法降水预报 TS 评分相对于 M1 均有提高,依量级增加 TS 评分提高率不断增大。小雨各时效预报平均来看,M2 相对于 M1 提高 13%,中雨各时效预报平均提高 25%,大雨各时效平均提高 37%,暴雨各时效平均提高 54%。

由图 2b 的漏报率情况来看,各量级各时效 M2 的漏报率均低于 M1,可见区域建模降水预报减少了漏报现象,小雨、中雨和大雨的漏报改善好于暴雨漏报的改善。由图 2c 降水空报率可以看出,M2 方法的预报中小雨、中雨、大雨、暴雨各时效的空报率均小于 M1 的预报,前 3 个时效空报的改善明显,后两个时效改善较弱。从各时效平均来看,M2 空报相对于 M1 的改善程度也是依降水量级的增加而增加,小雨空报率 M2 相对于 M1 降低 15%,中雨空报率降低 17%,大雨空报率降低 45%,暴雨空报率降低 47%。

从图 2d 的预报偏差与空报情况类似,但在 108 h 和 132 h 两个时效大雨和暴雨 M2 预报偏差较大,这可能是 M1 建立方程时,由于暴雨样本少,暴雨的方程很多站没有建成,特别是在后面时效,这些站就不会预报暴雨,另外暴雨日数很少,所以偏差小。

综合 TS 评分、漏报率、空报率和预报偏差,M2 的预报在各量级上不同程度优于 M1 的预报。

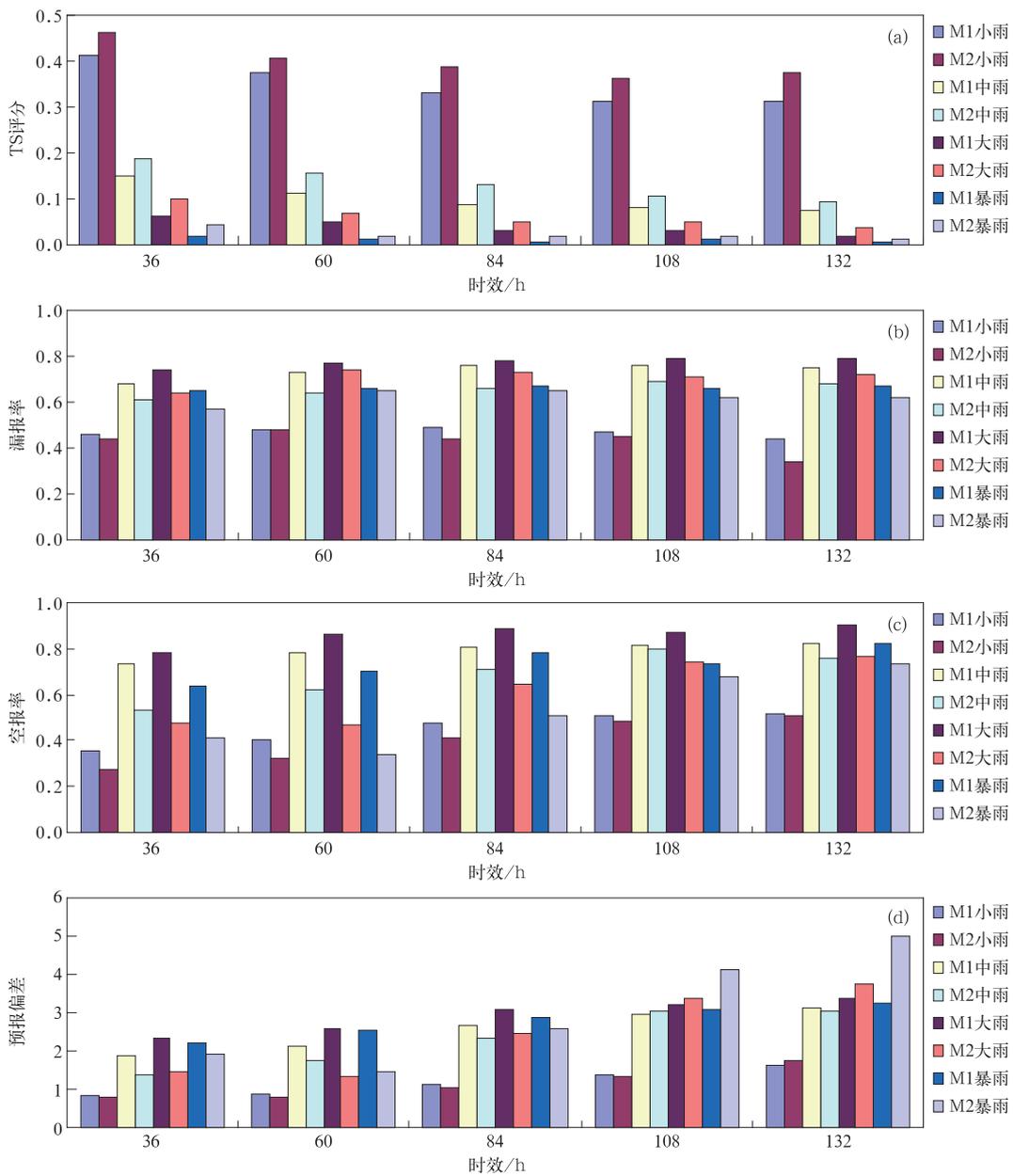


图 2 2009 年和 2010 年夏季华北及周边地区 M1 和 M2 方法降水预报

(a)TS 评分,(b)漏报率,(c)空报率,(d)预报偏差

Fig. 2 TS score(a), fault-hitting rate(b), not-hitting rate(c), forecast bias(d)

averaged by M1 and M2 in North China and adjacent areas during the summer of 2009 and 2010

3.2 预报因子分析

单站建模和区域建模的预报方案都是在相同预报因子的基础上建立方程,分区建模是区域内的各站样本共享,由于逐步回归方法是从备选的因子中选出对预报对象最优的因子组合,因此不同预报方案最终入选方程的预报因子可能会存在差异。表 1 和表 2 分别给出了两种建模方法中 5 个预报时效各量级预报方程出现频次最多的 10 个因子。区域建

模方程中使用频次较多的因子主要是水汽因子,而对于单站建模方程中出现频次较多的因子主要是层结不稳定因子。大雨和暴雨在单站建模和区域建模方程中出现频次前 10 位的因子差别很大,单站建模方程中排在前十位的因子很多是不同层次的同一因子,因子很单一,这是因为单站建模时大雨和暴雨样本少,很难再找到和预报量关系好的因子,但是区域建模的大雨和暴雨建模样本较多,相对于单站建

模来说就容易找到关系较好的因子,所得到的因子量级降水预报中优势明显。和预报员预报降水的思路一致,因此区域建模在大

表1 单站建模预报因子统计

Table 1 Predictors statistic of single-station method

序号	小雨	中雨	大雨	暴雨
1	850 hPa K_y 指数	850 hPa K_y 指数	850 hPa K_y 指数	80 hPa 经向风的 e 指数
2	600 hPa x 方向的水汽通量	700 hPa 经向风的 e 指数	700 hPa 经向风的 e 指数	850 hPa K_y 指数
3	200~400 hPa 平均相对湿度垂直累积量	700 hPa K_y 指数	500 hPa 湿位涡倾斜发展判据	850 hPa 纬向风的立方
4	850 hPa 温度的水平梯度	400 hPa 比湿的立方	1000 hPa 湿位涡倾斜发展判据	700 hPa 经向风的 e 指数
5	500 hPa x 方向的水汽通量	600 hPa 位涡垂直项	400 hPa 湿位涡倾斜发展判据	150 hPa 经向风的 e 指数
6	500 hPa 3 时次平均相对湿度	500 hPa y 方向的水汽通量	400 hPa 比湿的立方	250 hPa 湿位涡倾斜发展判据
7	850 hPa A 指数	850 hPa 位涡垂直项	925 hPa 湿位涡倾斜发展判据	1000 hPa 湿位涡倾斜发展判据
8	850 hPa 位涡垂直项	700 hPa 比湿的立方	850 hPa 湿位涡倾斜发展判据	925 hPa 湿位涡倾斜发展判据
9	600 hPa 3 时次最大相对湿度	500 hPa x 方向的水汽通量	700 hPa K_y 指数	500 hPa 湿位涡倾斜发展判据
10	700 hPa K_y 指数	850 hPa 涡度平流	250 hPa 湿位涡倾斜发展判据	400 hPa 湿位涡倾斜发展判据

表2 区域建模预报因子统计

Table 2 Predictor statistic of regional method

序号	小雨	中雨	大雨	暴雨
1	600 hPa 比湿	600 hPa 比湿	850 hPa K_y 指数	500 hPa y 方向的水汽通量
2	850 hPa 温度的水平梯度	850 hPa K_y 指数	500 hPa y 方向的水汽通量	700 hPa 比湿的立方
3	500 hPa 3 时次平均相对湿度	500 hPa y 方向的水汽通量	850 hPa u 在 y 方向的水平梯度	850 hPa K_y 指数
4	200~400 hPa 的平均相对湿度垂直累积量	700 hPa K_y 指数	600 hPa x 方向的水汽通量	850 hPa 位涡垂直项
5	500 hPa 比湿的立方	200 hPa 与 850 hPa 之差假相当位温垂直差	400 hPa y 方向的水汽通量	400 hPa 比湿的立方
6	1000~850 hPa 的平均相对湿度垂直累积量	700 hPa 比湿的立方	700 hPa 比湿的立方	400 hPa y 方向的水汽通量
7	500 hPa 3 时次最大相对湿度	700 hPa y 方向的水汽通量	400 hPa 比湿的立方	850 hPa u 在 y 方向的水平梯度
8	600 hPa 3 时次最大相对湿度	200~400 hPa 的平均相对湿度垂直累积量	600 hPa 3 时次最大相对湿度	850~1000 hPa 的平均相对湿度垂直累积量
9	850 hPa 3 时次平均相对湿度	500 hPa 比湿的立方	700 hPa y 方向的水汽通量	500 hPa 与 850 hPa 厚度平流之差
10	500 hPa 假相当位温	850 hPa 温度的水平梯度	600 hPa v 风垂直切变	600 hPa x 方向的水汽通量

4 区域建模降水预报与模式直接降水预报比较

前面两个预报方案的对比分析表明:区域建模降水预报优于单站建模降水预报,为了说明区域建模与模式直接预报降水的效果差异,本文对 T213 模式的相应降水预报结果进行了插值,得到相应的华北及周边 703 个站的降水预报,并对 2009 年和 2010 年夏季 6—8 月的预报结果进行检验,给出了模式直接降水预报(以下称 DMO) 检验结果与区域建模降水预报检验结果的对比分析。

图 3 是 M2 和 DMO 方法预报检验比较结果。

由 TS 评分来看,M2 方法的预报除了小雨个别时效小于 DMO 的预报外,中雨、大雨和暴雨均高于 DMO 的预报。从漏报率来看,DMO 方法降水漏报在小量级上好于 M2 的降水预报,但是在大雨和暴雨量级上 M2 方法降水预报漏报少。从空报率来看,84 h 内的预报空报率 M2 方法降水预报好于 DMO 降水预报的空报率,108 h 和 132 h 的空报率 M2 比 DMO 有所增加,这可能是因为模式在 72 h 时效内是 12 h 间隔,以后为 24 h 间隔,24 h 间隔不能很好地反映实际天气变化。总的来说,M2 降水预报优于 DMO 降水预报,特别是大量级降水预报优势明显,在空报上也有很大程度改善。

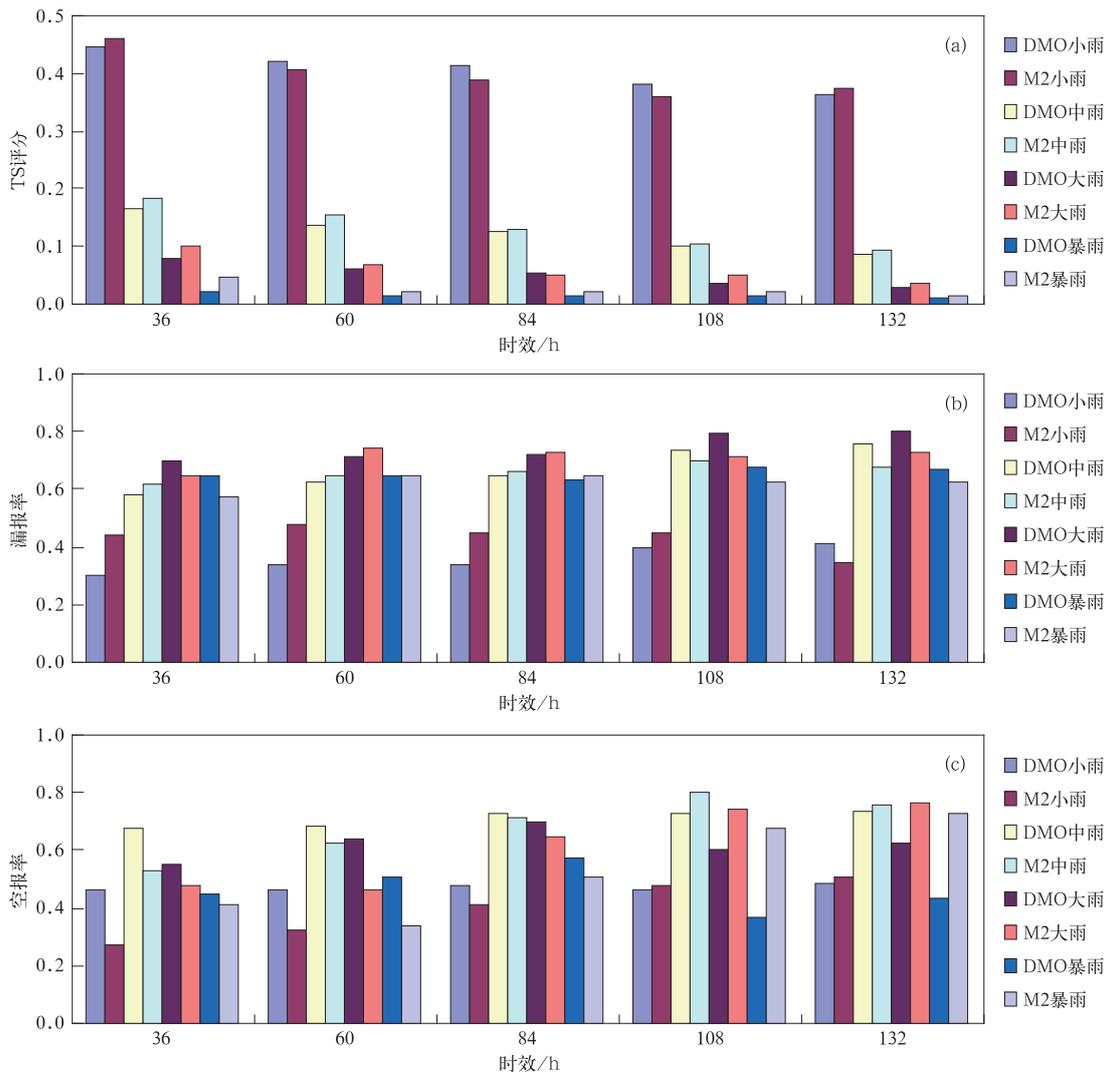


图 3 2009 年和 2010 年夏季华北及周边地区 M2 和 DMO 方法降水预报
(a)TS 评分,(b)漏报率,(c)空报率

Fig. 3 TS score(a), fault-hitting rate(b) and not-hitting rate(c)
averaged by M2 and DMO in North China and
adjacent areas during the summer of 2009 and 2010

5 降水预报个例检验

为了更细致说明实况有大量级降水时的预报情况,考察 2010 年 8 月 18—20 日和 21—22 日是华北及周边两次连续较大的降水过程。图 4 给出了这个阶段的 M1,M2 和 DMO 的 36 h 和 60 h 降水预报情况,实况为 2010 年 8 月 19—23 日逐日 00:00 的 24 h 降水,预报为 17—21 日逐日 12:00 24 h 降水。从图 4 可以看出:M2 预报的 TS 评分均比 M1 和

DMO 高,而漏报率和空报率均比 M1 和 DMO 低,并且中雨以上量级的 M2 预报效果比 M1 和 DMO 预报效果提高明显。

图 5 是实况和 M1,M2 和 DMO 方法 36 h 预报的对比图。对单站建模降水预报,大雨以上预报较差,没有预报出暴雨以上的降水,整体上降水预报量级偏低。DMO 方法预报在山东及以南地区形成了大面积空报现象,而区域建模相对于单站建模改善了大量级降水的预报,同时区域建模改善了对 DMO 的空报现象。

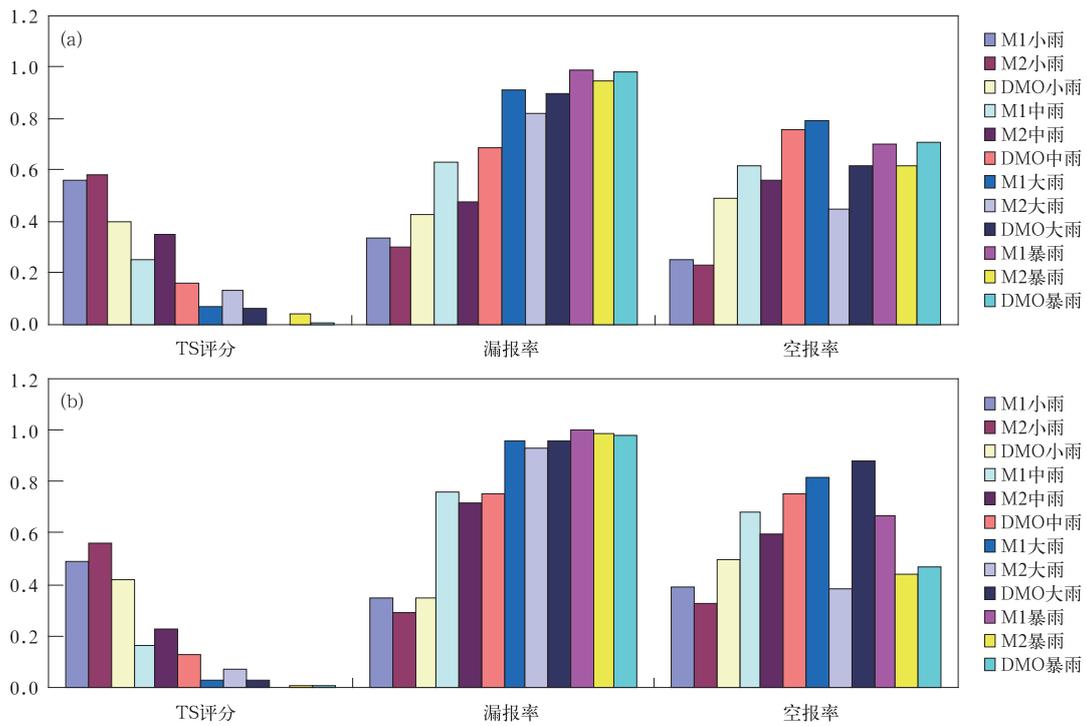


图 4 2010 年 8 月 16—20 日降水预报对比 (a)36 h,(b)60 h

Fig. 4 36-hour(a) and 60-hour(b) forecasts averaged during 16—20 August in 2010

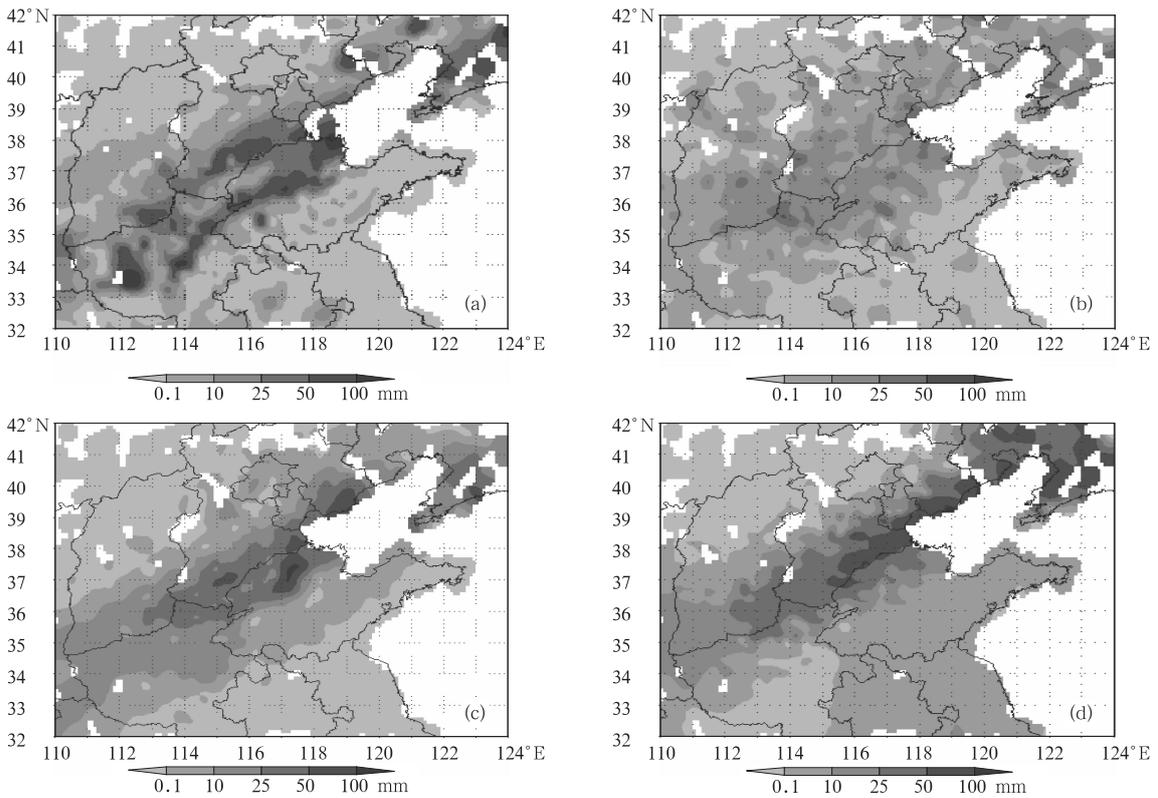


图 5 2010 年 8 月 20 日 00:00 24 h 降水实况(a)与 8 月 18 日 12:00 M1 方法(b)、M2 方法(c)、DMO 方法(d)的 36 h 降水预报对比

Fig. 5 24-hour rainfall in-situ on 20 August 2010(a) and corresponding 36-hour forecasts on 18 August 2010 of M1(b), M2(c), DMO(d)

6 小 结

本文采用相同资料和相同回归方法建立方程,利用2009年和2010年夏季(6—8月)的试报结果对比分析了单站建立预报方程和分区建立预报方程所做预报的差异,并与模式输出的降水预报进行对比分析,得到如下结论:

1) TS评分、漏报率、空报率和预报偏差的结果表明:各指标均显示分区建模降水预报优于单站建模降水预报。

2)与模式直接输出降水预报对比表明:分区建模降水预报的TS评分要好于模式直接输出降水预报,特别是大雨和暴雨预报效果提高明显,小雨和中雨的预报也得到不同程度的提高。同时改善了前期模式直接降水预报空报现象和大量级降水的漏报现象。

3)个例分析表明:区域建模改善了单站建模中大量级降水的预报,并改善了DMO降水预报的空报现象。

参 考 文 献

- [1] 赵思雄,陶祖钰,孙建华,等. 江流域梅雨锋暴雨机理的分析研究. 北京:气象出版社,2004.
- [2] 陶诗言. 中国之暴雨. 北京:科学出版社,1980.
- [3] 《华北暴雨》编写组. 华北暴雨. 北京:气象出版社,1992.
- [4] 刘还珠,郝为,林孔元,等. 基于智能计算的多模型气象综合预报//暴雨落区预报实用方法. 北京:气象出版社,2000:30-37.
- [5] 宋海鸥,王永红,顾善齐,等. 应用K指数和TOT指数制作江苏中期降水预报的试验. 气象科学,2002,22(2):242-246.
- [6] 陈力强,韩秀君,张立群. 基于MM5模式的站点降水预报释用方法研究. 气象科技,2003,31(5):268-272.
- [7] 赵声蓉,裴海璞. 客观定量预报中降水的预处理. 应用气象学报,2007,18(1):21-28.
- [8] 龚佃利,王以琳,谢考宪. 山东飞机增雨降水区分级预报方法研究. 应用气象学报,2001,12(增刊):139-145.
- [9] 赵声蓉,赵翠光,邵明轩. 事件概率回归估计与降水等级预报. 应用气象学报,2009,20(5):521-529.
- [10] 刘还珠,赵声蓉,陆志善,等. 国家气象中心气象要素的客观预报——MOS系统. 应用气象学报,2004,15(2):181-191.
- [11] 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法. 北京:气象出版社,1990.
- [12] 魏凤英. 全国夏季降水区域动态权重集成预报试验. 应用气象学报,1999,10(4):402-409.
- [13] 周家斌,张海福,杨桂英,等. 制作汛期降水集成预报的分区权重法. 应用气象学报,1999,10(4):428-435.
- [14] Mark S A. An overview of the National Weather Service's centralized statistical quantitative precipitation forecast. *J Hydrol*, 2000,239(9):306-337.
- [15] 刘还珠,肖贤俊. 短中期降水温度天气过程区域分布的研究. 干旱气象,2003,21(3):14-20.
- [16] Cattell R B. The Scree Test for the Number of Factors // *Multivariate Behavioral Research* 1. 1966: 245-276.

The Regional Objective Precipitation Forecast in North China and Adjacent Areas in Summer

Zhao Cuiguang¹⁾²⁾ Zhao Shengrong²⁾

¹⁾ (Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044)

²⁾ (National Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract

North China is one of three major summer rainfall areas in eastern China. Precipitation over North China shows the characteristics of obvious emergency and locality. According to the statistics, 80%—90% precipitation occurs in June—August. Sometimes daily precipitation of a rainstorm can account for 50% precipitation amount of that month. Therefore, effective forecast is crucial especially for larger magnitude precipitation. Objective precipitation forecast is a difficult problem in NWP products interpretation at present. Objective precipitation forecast models are always established station by station, but larger magnitude precipitation is rare event for individual station. It is difficult to establish an effective forecast equation for an individual station. Precipitation intensity, spatial and temporal distribution over North China has its own particularity. Due to the regional characteristic, it is difficult to summarize in one model. Objective partitioning can be used in establishment of precipitation forecast model. Similar samples in the weather region are combined together. Regional forecast model is more stable than single-station forecast model, as the number of large-class precipitation samples increases.

Seven weather divisions for summer precipitation over North China and adjacent areas are developed through Rotated Empirical Orthogonal Function (REOF) method, defined by the large contours of the seven REOF models. Objective precipitation forecast is based on probability regression precipitation categorical forecast. First, original precipitation is converted to 0 and 1 corresponding categories, and then forecast equations of different categories are developed to calculate each criterions. In real forecasting, the categorical precipitation will be determined through the criterion and the probability forecast of that category. Based on the daily precipitation data of station and T213 NWP products during the summer of 2006—2008, precipitation forecast model over North China and adjacent is established, which covers the domain (32°—42°N, 110°—124°E), including a total of 703 weather stations. Precipitation experiment is carried out for the summer of 2009 and 2010, and analysis of the forecast result indicates that regional method is better than single station method, especially for heavy precipitation. Regional model handles more factors than the single station model, so regional model makes a better prediction. Comparing to model direct forecast, regional forecast result is better, which reduces empty report obviously.

Key words: North China and adjacent areas; precipitation in summer; objective region; regional model