

荣艳敏, 盛春岩, 范苏丹, 等. 概率匹配平均法在山东强降水预报中的应用[J]. 海洋气象学报, 2017, 37(3): 95-101.
Rong Yanmin, Sheng Chunyan, Fan Sudan, et al. Applications of probability matching method in heavy rainfall forecast in Shandong province [J]. Journal of Marine Meteorology, 2017, 37(3): 95-101. DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2017.03.011. (in Chinese)

概率匹配平均法在山东强降水预报中的应用

荣艳敏, 盛春岩, 范苏丹, 曲巧娜

(山东省气象科学研究所, 山东 济南 250031)

摘要: 基于 WRF 集合预报系统开发了概率匹配平均降水产品, 选取了山东省 2014—2016 年共 13 次强降水过程, 检验评估了概率匹配平均法在山东省强降水预报中的综合表现。结果表明: 对于不同的强降水过程, 各预报产品的预报能力差异较大, 尤其是对暴雨以上量级降水的预报存在较大偏差; 概率匹配平均相对集合平均, 对大雨以上量级降水预报有明显改善, 较 WRF 确定性预报产品也有一定提高, 对强降水预报具有一定指示意义; 该方法的改进主要体现在对不同量级降水的调整上, 尤其是强降水的落区, 相对集合平均增大了强降水的范围和强度, 但对整个区域的总降水量预报没有很好的改进作用。

关键词: 确定性预报; 集合平均; 强降水; 概率匹配

中图分类号: P456.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-3599(2017)03-0095-07

DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2017.03.011

Applications of probability matching method in heavy rainfall forecast in Shandong province

RONG Yanmin, SHENG Chunyan, FAN Sudan, QU Qiaona

(Shandong Institute of Meteorological Sciences, Jinan 250031, China)

Abstract Based on WRF ensemble forecast system, a product of precipitation forecast is developed using probability matching method. Comprehensive evaluations are carried out for thirteen heavy rainfall processes in Shandong province from 2014 to 2016. The results show that skills of different methods are significantly different in precipitation forecast for intense rainfall processes, especially for rainstorms; The probability matching precipitation forecast have a significant improvement compared to the ensemble average products for heavy rainfalls, and it is also better than that of the WRF deterministic forecasts, indicating certain guiding significance in heavy rainfall forecast. Improvements are made by probability matching method in precipitation forecast of all levels, especially in adjusting the area of heavy rainfall. Probability matching products improve the area and intensity forecast of heavy rainfall, but can barely improve the total precipitation.

Key words deterministic forecasts; ensemble average; heavy rain; probability matching

收稿日期: 2017-04-12; 修订日期: 2017-05-31

基金项目: 山东省重点研发计划项目(2016GSF120017); 山东省气象科学研究所数值天气预报应用技术开放研究基金项目(SDQXKF2014M04)

作者简介: 荣艳敏(1983—), 女, 硕士, 工程师, 主要从事数值预报释用和海洋气象研究, ymrong2011@163.com。

引言

近年来,集合预报产品已在天气预报业务中得到广泛应用,相关的集合预报释用技术研发也相继展开^[1-4]。不同于确定性预报,集合预报可以提供有关预报的不确定信息和极端天气发生的概率,并且集合平均通常比单一预报更准确^[5],但在降水预报中,集合平均并不总是比单个预报更好^[6]。李俊等^[7]在降水的集合预报试验中指出,平均后降水位置可能变得比较准确,但简单集合平均的平滑作用会使小降水区扩大而大降水区缩小,尤其是对暴雨这种小概率事件预报极其不稳定。针对这一问题,早在2001年 Ebert 就提出了“概率匹配”的思路^[8],概率匹配平均法(probability matching,简称 PM)用来订正简单集合平均降水预报,它能结合具有较好空间分布的集合平均和具有更好量级准确度的集合成员预报,可以更有效地利用各集合成员的信息。近年来的研究结果显示,PM 产品可以提高降水落区和强度的预报效果,对于暴雨和大暴雨预报具有一定参考价值,已在业务预报中得到较好的应用并不断改进^[7-10]。

由山东省气象科学研究所牵头开发的 WRF 集合预报系统,自2013年投入业务试运行以来,得到了推广和应用^[11-12],在灾害性天气预报中发挥着越来越重要的作用。本文基于 WRF 集合预报产品,将现有的集合成员进行算术平均获得集合平均产品,再采用概率匹配平均法来修正集合平均产品降水落区和量级偏差的问题。选取山东省典型的强降水过程,检验概率匹配平均降水产品较原集合平均产品的改进效果,并通过个例和批量检验,进一步评估概率匹配平均法在山东省强降水预报中的综合表现,为预报业务提供更有价值的参考依据,提高 WRF 集合数值预报产品的应用效果。

1 资料与方法

1.1 资料选取

本文所用资料包括 WRF 集合预报产品和山东省 123 个国家级地面气象观测站的逐时报文资料。其中 WRF 集合预报系统有 25 个集合成员,包括 1 个确定性预报和 24 个扰动成员,确定性预报采用 12 km、4 km 双重嵌套网格,集合预报采用 12 km 分辨率,每天 08 时、20 时起报两次,预报时效为 72 h。首先收集集合预报降水数据产品,将现有的集合成员进行加工处理得到集合平均产品,再采用概率匹配平均法来开发

概率匹配的集合平均降水产品,同时将集合预报的格点产品采用距离权重插值法插值到山东省 123 个国家级地面气象观测站上,得到各站点的集合预报降水产品,便于进行降水分级检验。

选取了 2014—2016 年山东省降水范围大、雨量大的 13 次强降水过程(表 1),对降水过程中日降水量最大的时段进行检验,实况选取检验时刻所对应的 24 h 累积降水量,参与检验的模式预报产品与实况降水过程对应,08 时或 20 时起报的 24 h 预报时效的累积降水量。

表 1 山东省 2014—2016 年 13 次强降水过程

Table 1 The 13 heavy rainfall processes in Shandong province from 2014 to 2016

过程序号	起止时间	影响系统	检验时刻
1	2014-05-10—11	南方气旋	05-10T08:00
2	2014-06-18—21	切变线	06-19T08:00
3	2014-07-24—25	台风外围和西风槽	07-24T08:00
4	2014-07-29—31	切变线	07-29T20:00
5	2015-06-23—26	切变线	06-23T20:00
6	2015-07-11—13	台风外围和西风槽	07-11T20:00
7	2015-07-29—31	高空槽和副热带高压	07-29T20:00
8	2015-08-02—03	高空冷涡和副高边缘	08-02T20:00
9	2015-08-05—08	副高边缘切变线	08-06T20:00
10	2016-07-14—16	江淮气旋	07-14T20:00
11	2016-07-19—21	黄淮气旋	07-19T20:00
12	2016-08-16—17	切变线	08-15T20:00
13	2016-08-25—26	低槽冷锋	08-24T20:00

1.2 技术与检验办法

基于 WRF 集合预报系统开发概率匹配平均降水产品,如图 1 所示,采用国家气象中心集合预报团队使用的概率匹配平均法。首先,将集合平均场(为便于说明,假设包含 n 个格点)中每个格点的数值按从大到小排列,并保留各数值在区域中的位置;其次,将区域内所有 $n \times 25$ 个预报值按大小排列,然后保留每 12 个间隔的预报值;最后,将第二步保留的序列与第一步集合平均序列按从大到小匹配,即得到概率匹配平均产品。

根据目前气象部门广泛应用的《中短期天气预报质量检验办法》(气发[2005]109号)中降水的分级检验标准,对概率匹配平均法在强降水过程中的预报效果进行检验,分别进行了 TS 评分(threat scores,简称 TS)、漏报率、空报率和 BS 评分(brier scores,简称 BS),另外本文还选用平均误差(ME)和平均绝对误差(MAE)对其进行评估。具体计算公

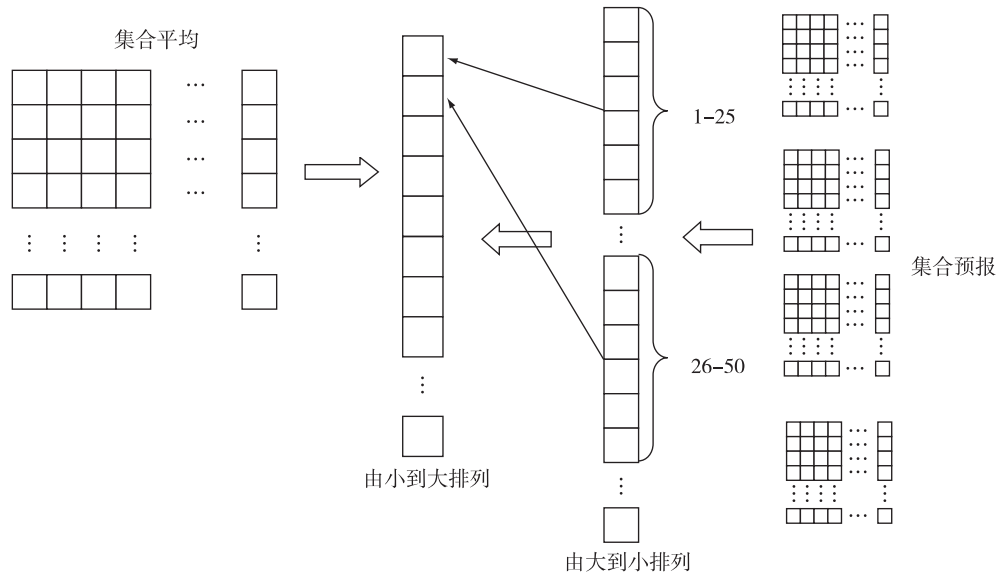


图 1 概率匹配产品原理示意图

Fig.1 Schematic diagrams of principles of probability matching product

式如下：

$$\text{TS 评分: } TS_k = \frac{NA_k}{NA_k + NB_k + NC_k} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{漏报率: } PO_k = \frac{NC_k}{NA_k + NC_k} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{空报率: } FAR_k = \frac{NB_k}{NA_k + NB_k} \times 100\% \quad (3)$$

$$\text{BS 评分: } BS_k = \frac{NA_k + NB_k}{NA_k + NC_k} \times 100\% \quad (4)$$

式中： NA_k 为预报正确站(次)数； NB_k 为空报站(次)数； NC_k 为漏报站(次)数。

$$\text{平均误差: } ME_k = \frac{1}{N} \sum (F_k - O_k) \quad (5)$$

$$\text{平均绝对误差: } MAE_k = \frac{1}{N} \sum |F_k - O_k| \quad (6)$$

其中： F_k 为第 k 站(次)预报降水； O_k 为第 k 站(次)实况降水。

2 降水分级检验结果

2.1 强降水过程的平均 TS 评分

为分析概率匹配产品在降水过程中的表现,对山东省 13 次强降水过程中各量级降水评分进行统计平均,结果见图 2。总体来说,概率匹配平均预报效果最好,对不同量级降水的 TS 评分(图 2a),概率匹配平均法均高于简单的集合平均,随着降水量级增大,概率匹配平均法优势逐渐显现,尤其是对暴雨和大暴雨量级降水有明显的改善。简单的集合平均法对暴雨以上量级降水预报 TS 评分较低,其

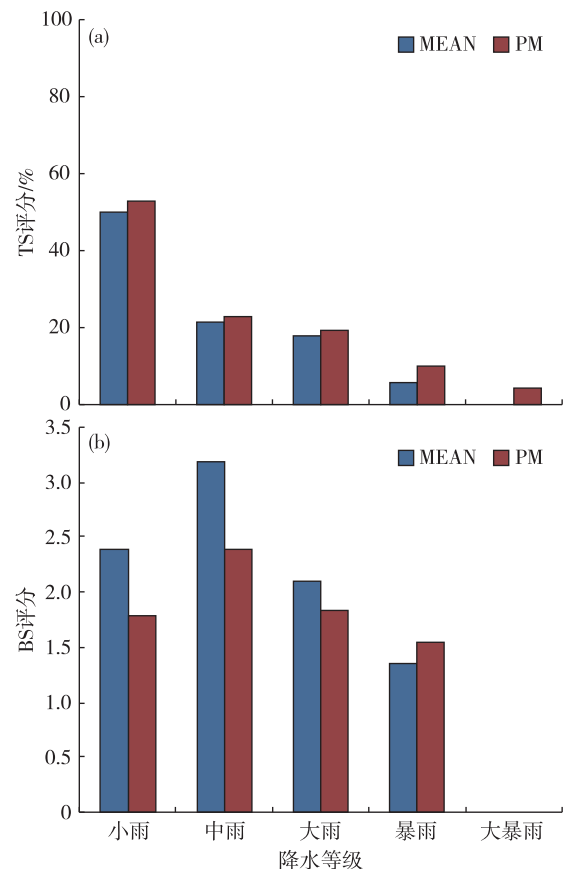


图 2 山东省 13 次强降水过程集合平均 (MEAN) 和概率匹配平均 (PM) 对不同等级降水量检验的统计平均 (a. TS 评分, b. BS 评分)

Fig. 2 Average scores of ensemble average forecast and probability matching forecast for each precipitation level during the thirteen heavy rainfall processes in Shandong province (a. threat scores, b. brier scores)

中大暴雨 TS 评分仅为 1%, 相比较而言, 概率匹配平均预报效果较好, 大暴雨 TS 评分提高至 6.5%。

由图 2b 中降水预报的 BS 评分可以发现, 对于大雨及其以下量级降水, BS 评分主要是偏大, 即降水预报范围较实况范围偏大, 尤其是集合平均预报偏大最显著, 说明其弱降水区较概率匹配平均大大增加。对于大暴雨预报, BS 评分均小于 1, 说明模式预报的降水范围小于实况范围, 集合平均的 BS 评分最低, 也就是说集合平均预报的强降水范围最小, 说明其平滑作用会使强降水落区缩小, 而概率匹配产品 BS 评分最接近 1, 其降水范围与实况最吻合。综上可知, 集合平均的平滑作用会使弱降水区扩大而强降水区缩小, 而概率匹配平均通过调整降水量, 改进了集合平均强降水端大部分漏报的情况。

图 3a 和图 3b 分别为降水量的平均误差和平均绝对误差。从总降水量来看, 集合平均和概率匹配平均, 均有减小总降水量预报的趋势, 特别是概率匹配的平均误差大大减小, 几乎在 0 mm 附近, 但概

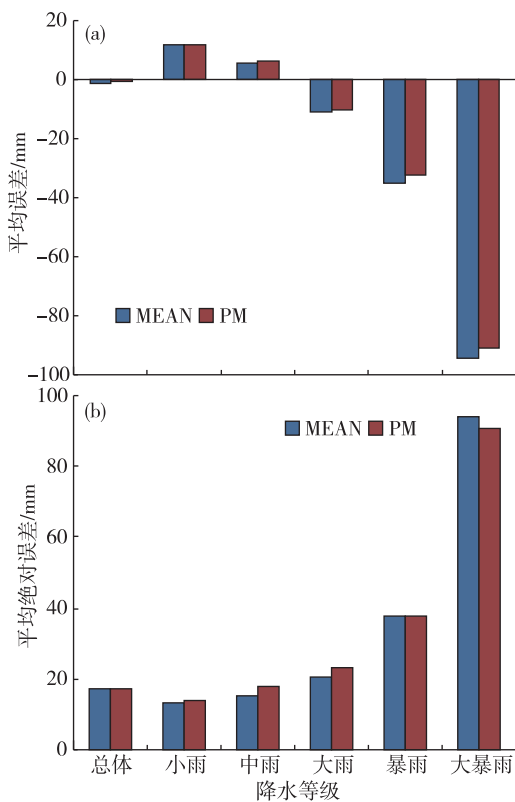


图 3 山东省 13 次强降水过程集合平均 (MEAN) 和概率匹配平均 (PM) 降水预报总体和分级的平均误差 (a) 和平均绝对误差 (b) (单位: mm)

Fig. 3 Mean errors (a, unit: mm) and mean absolute errors (b, unit: mm) of ensemble average forecast and probability matching forecast in general and for different precipitation levels during the thirteen heavy rainfall processes in Shandong province

率匹配平均的平均绝对误差较集合平均无改进。从分量级的降水误差来看, 对于大雨以下量级降水, 预报值偏大, 概率匹配平均相对集合平均没有改善, 甚至使平均绝对误差略有增加。对于暴雨和大暴雨预报, 预报值总体偏小, 但概率匹配平均法在平均误差和平均绝对误差上面较集合平均都有一定改善。由此可见, 用概率匹配平均法订正集合平均预报, 尽管可以改进降水在各个量级上的分配, 避免弱降水报得过多而强降水报得过少的现象, 但对总降水量没有很好的改进。

2.2 强降水过程的逐日 TS 评分

从统计平均结果不难发现, 概率匹配产品相对集合平均来说, 对强降水预报有了一定改进, 此外, 增加与确定性预报的对比, 综合评价概率匹配平均法在强降水预报中的表现。图 4a 给出了山东省 13 次强降水过程中大雨量级的逐日 TS 评分结果, WRF 确定性预报评分在 14.3% (2015 年 7 月 29

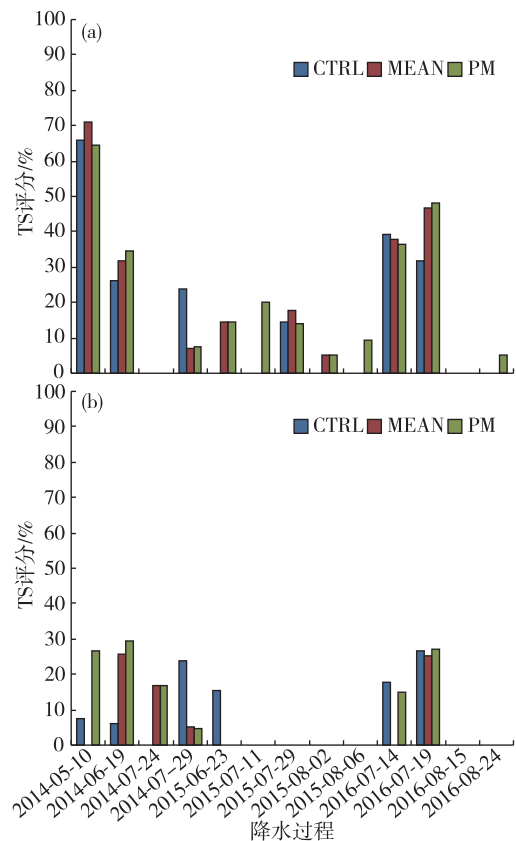


图 4 山东省 13 次强降水过程中 WRF 确定性预报 (CTRL)、集合平均 (MEAN) 和概率匹配平均 (PM) 的大雨预报 (a) 和暴雨预报 (b) 的 TS 评分

Fig. 4 Threat scores of deterministic forecast (CTRL), ensemble average forecast (MEAN) and probability matching forecast (PM) for the heavy rain level (a) and the torrential rain level (b) during the thirteen heavy rainfall processes in Shandong province

日)至65.9%(2014年5月10日)之间,集合平均评分范围为5%(2015年8月2日)至70.7%(2014年5月10日),且绝大多数过程评分要高于确定性预报。对于概率匹配平均,评分范围为4.8%(2016年8月24日)至64.3%(2014年5月10日),除2014年5月10日、2015年7月29日和2016年7月14日,其他过程概率匹配平均的评分要高于集合平均。对于大雨预报,并不是所有过程概率匹配平均的TS评分都要高于集合平均,可能是由于预报的降水落区同实况有一定差异,位置的偏差有时会使站点对站点的预报误差不减甚至反增。

由暴雨量级的逐日TS评分(图4b)可以看出,WRF确定性预报评分在6.1%(2014年6月19日)至26.4%(2016年7月19日)之间,概率匹配平均有4次过程TS评分高于确定性预报,最高达到29.3%(2014年6月19日),其他过程较确定性预报表现不好。集合平均评分均低于概率匹配平均,对暴雨的预报效果不理想。总体而言,概率匹配平均对强降水预报有着较好的表现。

3 个例分析

本文选取2016年7月19日降水过程,从降水

落区和强度两方面来检验概率匹配平均的预报效果,7月19日14时—21日08时^[13],受黄淮气旋影响,山东大部分地区出现降水,全省平均降水量58.0 mm。鲁西南和鲁中南部大部分地区降水量大于100 mm,鲁西北、鲁东南和鲁中北部的大部分地区降水量大于50 mm,过程最大降水量226.7 mm,出现在泰山站。降水主要时间段集中在19日20时—20日20时,共63个站出现暴雨,其中12个站大暴雨。针对此次强降水过程,选取20日20时的24 h累积实况降水为检验对象,与模式19日20时起报的24 h时效的降水预报产品进行对比。

图5给出了2016年7月19日20时24 h WRF确定性预报、集合平均和概率匹配平均的累计降水量与实况的对比结果。在图5a中,确定性预报大于50 mm的强降水落区范围比实况偏大,鲁中东部地区存在空报,大于100 mm的主雨带位置较实况整体偏西南,对鲁西南和鲁中南部大部分地区的大暴雨存在漏报。实况强降水中心最大值出现在泰山站达218 mm,确定性预报在此有所体现,但降水量级较实况偏小,确定性预报的大雨和暴雨TS评分分别为31.8%和20.4%,大雨的空报率较高,达66.7%。在图5b中,集合平均大于50 mm的降水落

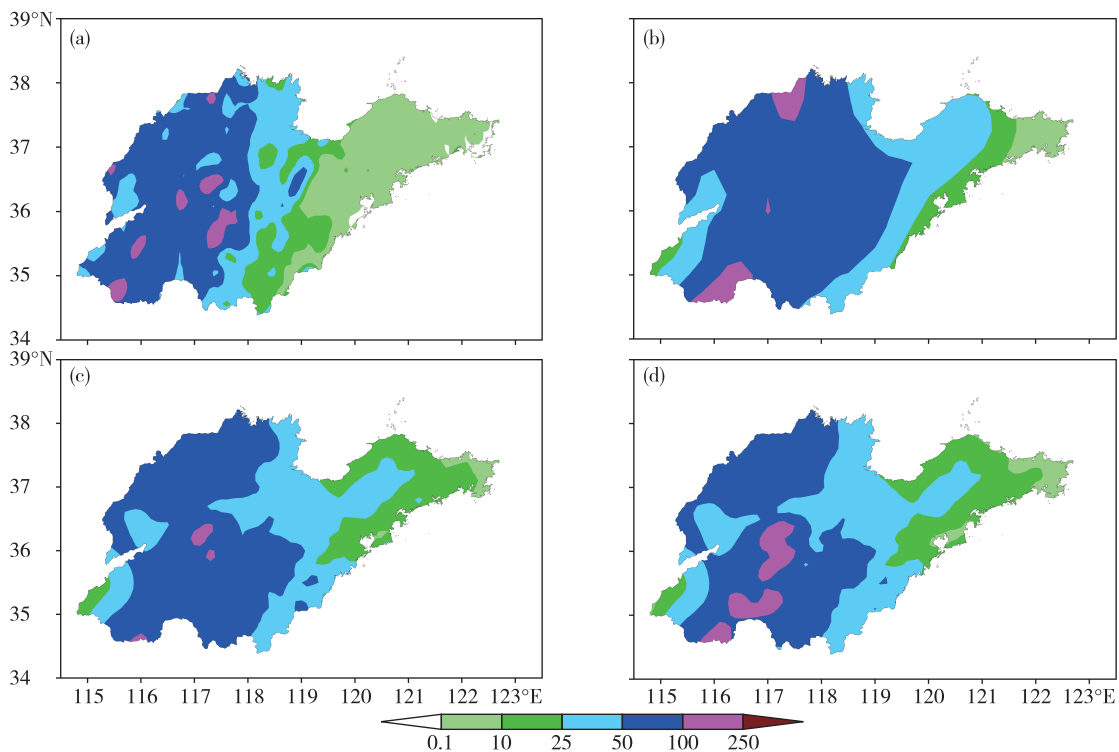


图5 2016年7月19日20时24 h累计降水实况与预报产品的对比(单位:mm,a.实况,b.确定性预报,c.集合平均,d.概率匹配平均)

Fig.5 Distributions of 24 h accumulated precipitation at 20:00 BST 19 July, 2016 (unit: mm, a. observation, b. deterministic forecast, c. ensemble average forecast, d. probability matching forecast)

区较确定性预报缩小,大于 100 mm 的降水落区偏离程度减小,但对实况强降水中心区域范围较确定性预报有所扩大,其大雨和暴雨 TS 评分分别为 46.4% 和 25.0%。图 5c 显示概率匹配平均大于 50 mm 的降水落区与集合平均基本一致,但大于 100 mm 的强降水落区大大增加,强降水中心无偏离,对鲁西南地区强降水落区位置模拟较好,相比更接近实况,但对鲁中北部地区的大暴雨存在漏报,其大雨和暴雨 TS 评分分别为 48.2% 和 27.1%。从降水落区及偏离程度来看,相比集合平均,概率匹配平均对强降水落区范围刻画得更准确,尤其是大暴雨降水区域与实况更接近,对降水落区范围和降水量级预报均有较好的参考价值。

4 批量试验

通过上述检验结果和个例分析,不难发现,概率匹配平均相对简单的集合平均,对大雨以上等级降水预报有一定改进,为进一步验证概率匹配平均的预报效果,对山东省 2016 年 6 月 1 日—8 月 31 日模式 20 时起报的 24 h、48 h 和 72 h 时效内的各量级降水进行 TS 评分。总体而言,概率匹配平均批量试验结果与上述检验结果一致,如图 6 所示,对所有时效内的大雨及以上量级降水,概率匹配平均法较简单的集合平均都有改善,尤其是暴雨和大暴雨,对于小雨和中雨预报,各时效内略有差异,总体相差不大。预报产品对于 24 h 内的降水预报效果最好,24 h 之后的预报效果要差些,但概率匹配平均的改进效果是一致的。

5 结论与讨论

本文基于 WRF 集合预报系统开发了概率匹配平均降水产品,选取了 2014—2016 年共 13 次强降水过程,通过个例分析和批量检验,评估了概率匹配平均法在山东省强降水预报中的综合表现。结果表明:

1) 各类预报产品对不同的强降水过程的预报能力差异较大,尤其是对暴雨以上量级降水的预报极其不稳定,存在较大偏差。

2) 从不同量级降水的统计平均来看,概率匹配平均法均高于简单的集合平均法,随着降水量级增大,概率匹配平均法优势逐渐显现,尤其是对暴雨和大暴雨降水都有一定改进。

3) 概率匹配通过调整降水量,相对集合平均增大了强降水的落区和强度,改进了原来强降水端大

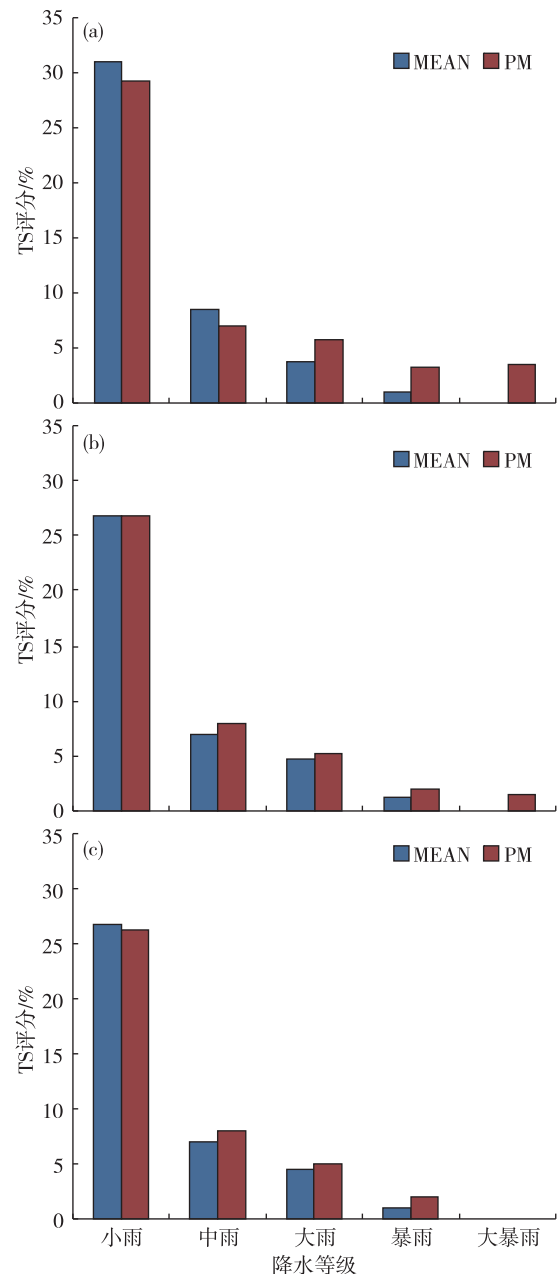


图 6 山东省 2016 年 6 月 1 日—8 月 31 日集合平均 (MEAN) 和概率匹配平均 (PM) 不同预报时效内不同等级降水量检验的 TS 平均 (a. 0~24 h, b. 24~48 h, c. 48~72 h)

Fig. 6 Threat scores of ensemble average forecast and probability matching forecast for different precipitation levels and for different leading-times from June 1 to August 31, 2016 in Shandong province (a. 0~24 h, b. 24~48 h, c. 48~72 h)

部分漏报的情况。概率匹配平均对集合平均的改进主要表现在对不同量级降水的调整上,而对整个区域的总降水量预报没有改进。

4) 在强降水预报中,当确定性预报评分较高时,概率匹配平均往往也较高;当确定性预报偏小

或没有报出时,概率匹配平均法有时对强降水也会有所表现,对于降水落区模拟也较好,这对预报员订正确定性预报有一定参考价值。

在强降水预报实际业务中使用概率匹配平均产品,能够获得更加丰富更加准确的信息,对强降水落区和强度预报具有一定指导意义。本研究作为初步试验性研究,选择个例有限,结论可能具有一定的局限性,因此,在今后的工作中要进一步验证,还需要开展大量的试验研究以得到更深入有效的信息,从而提高集合预报对强降水的预报能力。

参考文献:

- [1] 段明铿,王盘兴. 一种新的集合预报权重平均方法[J]. 应用气象学报,2006,17(4):488-493.
- [2] 邓国,龚建东,邓莲堂,等. 国家级区域集合预报系统研发和性能检验[J]. 应用气象学报,2010,21(5):513-523.
- [3] 陈良吕,陈静,陈德辉,等. 基于 T213 集合预报的延伸期产品释用方法及初步检验[J]. 气象,2014,40(11):1293-1301.
- [4] 陈博宇,郭云谦,代刊,等. 面向台风暴雨的集合预报成员优选订正技术研究及应用试验[J]. 气象,2016,42(12):1465-1475.
- [5] 杜钧,陈静. 单一值预报向概率预报转变的基础:谈谈集合预报及其带来的变革[J]. 气象,2010,36(11):1-11.
- [6] 杜钧,李俊. 集合预报方法在暴雨研究和预报中的应用[J]. 气象科技进展,2014,4(5):6-20.
- [7] 李俊,杜钧,陈超君. “频率匹配法”在集合降水预报中的应用研究[J]. 气象,2015,41(6):674-684.
- [8] Ebert E E. Ability of a poor man's ensemble to predict the probability and distribution of precipitation[J]. Mon Wea Rev,2001,129(10):2461-2479.
- [9] 刘琳,陈静,程龙,等. 基于集合预报的中国极端强降水预报方法研究[J]. 气象学报,2013,71(5):853-866.
- [10] 陈博宇,代刊,郭云谦. 2013 年汛期 ECMWP 集合统计量产品的降水预报检验与分析[J]. 暴雨灾害,2015,34(1):64-73.
- [11] 盛春岩,范苏丹,刘诗军,等. 山东 WRF 集合预报系统对“麦德姆”台风预报检验[J]. 山东气象,2016,36(1):1-7.
- [12] 杨晓霞,夏凡,杨璐瑛. 山东 WRF 集合概率预报对台风“麦德姆”逐 6h 精细化预报检验[J]. 山东气象,2016,36(3):20-27.
- [13] 杨璐瑛,刘畅,孟祥新,等. 2016 年夏季(2016 年 6—8 月)山东天气评述[J]. 山东气象,2016,36(3):69-72.