

袁良, 谭江红, 闫彩霞, 等. 概率匹配订正法在湖北襄阳地区降水预报中的应用[J]. 沙漠与绿洲气象, 2024, 18(2): 93-99.
doi: 10.12057/j.issn.1002-0799.2024.02.012

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



概率匹配订正法在湖北襄阳地区降水预报中的应用

袁良, 谭江红*, 闫彩霞, 张玉翠
(襄阳市气象局, 湖北 襄阳 441021)

摘要: 数值预报产品在天气预报预警中有着重要的作用。2016—2020 年汛期 ECMWF 模式预报降水与湖北襄阳区域站观测降水的对比分析表明: ECMWF 对中雨及以上降雨的预报, 第 1、2 天预报偏小, 而第 3 天预报偏大; 三个预报时段强降雨中心位置偏差无规律。为更好地对 ECMWF 产品进行释用, 提高汛期降水预报准确率, 从概率匹配角度研究了不同降水量级订正值, 并对 2021 年汛期 ECMWF 降水预报进行逐日检验。结果显示: 概率匹配订正法可有效地改善模式预报性能, 对中雨及以上降雨预报均有良好的订正效果, 尤其对第 1 天暴雨预报改进最为明显。228 站平均的 TS 评分提高了 6%, 由 11.1% 增加到 17.1%, 漏报情况改良了 13.5%, 由 85.0% 降为 71.5%。采用该订正法开展定量降水预报, 由于增加了当地降雨概率分布的背景信息, 能表现出比原模式更高的参考价值。

关键词: 降水预报; 累积概率; 概率匹配; 模式订正

中图分类号: P456.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0799(2024)02-0093-07

襄阳地处北亚热带季风气候区, 居汉水中游, 西高东低。西部、中部、东部分别为山地、岗地、丘陵, 地形比较复杂, 由于气候和地形的原因, 容易出现极端强降水。因此, 做好汛期降水预报对襄阳市经济发展和防灾减灾至关重要。

数值天气预报(NWP)为定量降水预报提供了重要的参考依据, 但由于大气本身的混沌特性等使得预报结果具有不确定性^[1-3]。因此, 要想在业务中充分发挥 NWP 产品的指导作用, 需要采用一定的释用方法对 NWP 产品进行处理, 从而改进模式的预报效果。目前常用的提高预报准确率的途径是不断对数值预报产品进行效果检验评估, 从多种模式的降水预报产品中选择性能最稳定的, 并在检验的

基础上运用多种方法开展解释应用^[4-8]。赵声蓉等^[9]、陆如华等^[10]分别采用神经网络、卡尔曼滤波等统计方法对数值预报产品进行解释应用研究。韩焱红等^[11]采用历史观测资料和集合预报资料, 基于贝叶斯理论得到了集成贝叶斯降水的概率预报, 其预报结果的可靠性要高于采用集合预报方法得到的概率预报。刘琳等^[12]根据观测与集合预报累积概率分布函数, 建立了集合预报与模式历史预报连续差异的数学模型。李莉等^[13]、包慧濛等^[14]、李俊等^[15]采用频率匹配法开展试验, 结果表明该方法能有效减小模式预报偏差, 但降水落区改进效果有限。该方法在确定订正系数时所有的格点或站点降水预报订正系数是相同的。然而中国幅员辽阔, 气候背景不尽相同, 模式系统性偏差分布也有差异, 运用同一订正系数进行降水订正, 使得较为干旱的地区订正后预报偏湿, 增加了空报, 而较为湿润的地区订正后预报偏干, 使漏报增加。周迪等^[16]、陈翔翔等^[17]、郭达烽等^[18]为解决此问题, 引入累积概率分布函数, 采用点对点的方式

收稿日期: 2023-02-21; 修回日期: 2023-04-26

作者简介: 袁良(1987—), 男, 高级工程师, 主要从事短期天气预报及短临预警。E-mail: 303623519@qq.com

通信作者: 谭江红(1987—), 男, 高级工程师, 主要从事短期天气预报及短临预警。E-mail: 343017729@qq.com

进行概率匹配,得到了不同站点或格点降水预报的订正值。曹萍萍等^[19-20]将观测与模式预报的累积概率分布进行概率匹配,探索了一种提高四川地区强降水预报准确率的概率阈值订正法,订正后强降水落区更接近实况。

由于初始场的不准确及大气非线性特征使得模式预报结果与实况之间往往存在差距。ECMWF 对极端强降水(99 百分位以上的降水量)的预报效果可以看出,模式预报的极端强降水空间分布与观测实况基本一致,均表现为东强西弱的特点。但是,预报与实况在强度、中心位置等方面存在偏差。强度方面,第 1、2 天预报偏小,而第 3 天预报偏大,即预报时段离起报时刻越临近,模式预报值越小;强降雨中心(下简称强中心)方面,第 1 天预报的强中心位置偏东南,且偏弱、分布偏平坦,第 2 天预报的强中心位于枣阳东北部,第 3 天预报的强中心偏北,位于襄阳市区、襄州、枣阳北部。模式预报与实况之间的差距,为模式预报产品的解释应用留下了空间。本文针对湖北襄阳地区的地形与气候特征,NWP 产品的预报效果如何、如何形成本地的释用方案开展研究,采用概率匹配订正法,对襄阳地区 228 个站点不同量级的降水逐一进行计算,获得订正值矩阵,建立订正模型,最后进行订正效果检验,以期建立提高襄阳地区降水预报水平的释用方案。

1 资料

(1)中国气象局下发的 ECMWF 逐日累积降水预报资料,预报起报时间为 12:00 UTC,预报时效为 1—3 d,水平分辨率为 $0.125^\circ \times 0.125^\circ$,时间段为 2016—2021 年汛期(5—9 月)。

(2)襄阳市气象局提供的 2016—2021 年汛期(5—9 月)各县市自动站观测的逐日累积降水资料,其中国家站 7 个、区域站 221 个。

由于降水观测资料是非均匀分布的站点资料,而 ECMWF 是格点降水资料,为了让两者相互匹配采用最近邻插值算法,将离观测站点最近的 ECMWF 格点降水值近似认为是该站点的值。

2 方法

对于降水累积概率分布函数(Cumulative Probability Distribution Function, 简写 CDF),国内外一些拟合研究表明 Gamma 分布比较适合^[21-25],因此本文选取了 Gamma 分布。

2.1 Gamma 分布简介

Gamma 分布函数为:

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} \exp(-\frac{x}{\beta}), x > 0,$$

$$\text{其中 } \Gamma(\alpha) = \int_0^\infty e^{-t} t^{\alpha-1} dt, \quad (1)$$

Gamma 累积概率分布函数为:

$$F(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x t^{\alpha-1} \exp(-\frac{t}{\beta}) dt. \quad (2)$$

式中: $\alpha > 0, \beta > 0, \alpha$ 是形状参数, β 为尺度参数, x 为日降水量。参数 α, β 通过极大似然估计法求得,与样本均值 \bar{x} 、样本方差 s^2 有关。

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha}, \alpha \beta^2 \approx s^2. \quad (3)$$

表 1 以枣阳、老河口站为例给出了观测和预报降水的 Gamma 分布参数,每个站的 α, β 参数确定了该站的降雨分布函数。从表 1 可知, α 参数取值均较小,最大为 0.179;观测降水的 α 参数小于预报降水,且预报时段越后延, α 值越大,这种规律是襄阳特色亦或是普遍存在有待考究。各测站 α, β 参数计算是概率匹配订正法的重要环节, α, β 参数的准确性将决定最终订正效果的好坏,下文中概率匹配订正值就是依据这些参数计算而得。

表 1 观测和预报降水的 Gamma 分布参数

参数	枣阳				老河口			
	观测	第 1 天	第 2 天	第 3 天	观测	第 1 天	第 2 天	第 3 天
α	0.104	0.154	0.15	0.179	0.121	0.158	0.175	0.165
β	34.381	22.441	26.837	26.541	26.385	25.185	24.556	31.42

图 1 给出了枣阳、老河口站观测降水与 ECMWF 3 d 预报降水的累积概率分布曲线。从中可以看出,各时段预报的累积概率分布曲线与观测曲线存在明显差距,且预报时段越后延,两者差距越大;观测降水累积概率分布曲线最偏上,雨量偏小时递增快,即观测降水的 CDF 大于预报降水的 CDF,反映出预报场出现小雨的频次比实况偏少,三个预报时段皆如此,且第 3 天预报最明显,第 2 天次之,第 1 天预报与观测的偏差最小。由于预报与观测存在差距,需要进行订正,接下来解释概率匹配订正法的原理。

2.2 概率匹配订正法

所谓“概率匹配订正法”便是通过数学处理,让预报与观测 CDF 差距尽量最小化,使预报在修订后与观测 CDF 曲线能贴合。本文订正法遵循了这一基本思路,原理上参考了曹萍萍等^[19]的方法,计算中采用了三段线性近似。“三段”分别对应中、大、暴雨

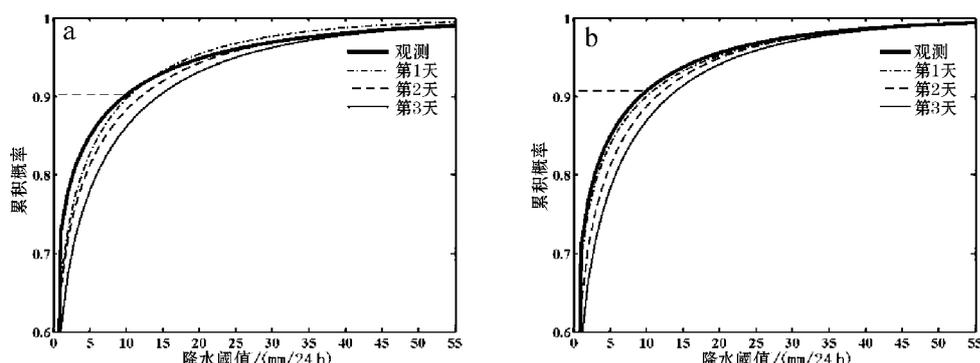


图1 枣阳(a)、老河口(b)站观测降水与ECMWF 3 d 预报降水累积概率分布曲线

三个降雨等级,三等级间分界点 10、25、50 mm 是三个控制点位,这三点上让订正值的 CDF 与观测 CDF 相等;“线性”指订正公式中订正值与 ECMWF 降雨结果呈线性关系,以此来保证在三个控制点周边订正值的 CDF 与观测 CDF 相近。图 2 给出了概率匹配订正法单站技术流程,其中 i =第 1、2、3 天,对应三个预报时段; j =1、2、3,分别对应三个控制点位。

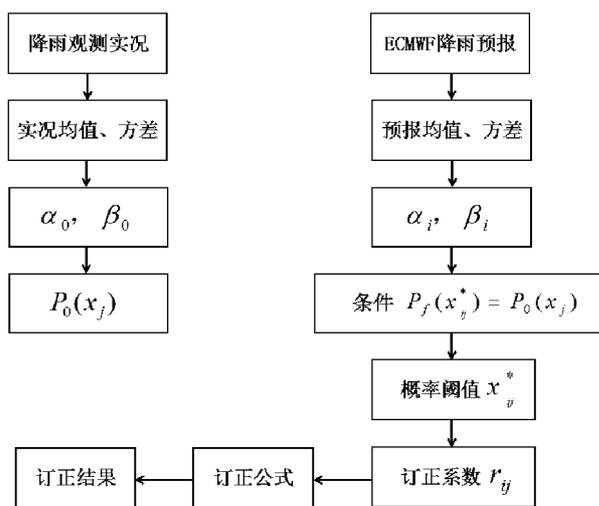


图2 概率匹配订正法单站技术流程

(1) 概率匹配订正值的计算

设 x_1 为 10 mm 降雨;记 P_0 为观测 CDF,在 x_1 处取值为 $P_0(x_1)$;记 P_f 为预报 CDF。 P_f 在取值为 $P_0(x_1)$ 时 x 轴(降雨量)的取值为 x_1^* ,该值便是控制点 x_1 处的概率匹配订正值,如图 1a 或 1b 中短画横线与 P_f 曲线相交的点在 x 轴取值,满足 $P_f(x_1^*)=P_0(x_1)$ 。对某站某时次 ECMWF 降雨预报为 x_1^* 时,便能让预报与观测 CDF 在控制点 x_1 上相等,即假定预报值的小雨等级变为 $(0, x_1^*)$ 时,观测与预报的小雨频率相等。

同理,设 x^2, x^3 分别为 25、50 mm 时,计算对应的概率匹配订正值,使预报与观测的 CDF 在控制点

上相等。分别在三个区段上,将 P_f 进行线性修订,即对 x^* 进行线性坐标转换,让修订后的 P_f 与 P_0 近似相等,由于三个控制点上预报与观测的 CDF 相等,便能让两条 CDF 曲线基本贴合,这便是概率匹配订正法的原理。预报值的大雨等级变为 $[x_2^*, x_3^*)$,暴雨等级变为 $\geq x_3^*$,使预报与观测的大雨、暴雨频率相等。

表 2 给出了枣阳、老河口站 ECMWF 3 d 预报降水三个控制点上的订正值。从中可以看出:10 mm 时两站三个预报时次的订正值均大于 10 mm,需要向下订正(数值调小);老河口站 25、50 mm 时订正值存在类似情况;枣阳站前两个时次降水预报 50 mm 时订正值小于 50 mm,需要向上订正。

表 2 枣阳、老河口站 3 d 预报降水三个控制点上的订正值/mm

控制点 /mm	枣阳			老河口		
	第 1 天	第 2 天	第 3 天	第 1 天	第 2 天	第 3 天
$x^3=50$	39.9	47.2	50.8	53.7	54.7	68.2
$x^2=25$	22.1	26.0	29.1	26.4	26.6	28.7
$x^1=10$	10.5	12.3	14.6	10.9	12.3	14.1

(2) 订正公式

设 ECMWF 降水预报值为 R_f, R_f 属于中雨($x_1^* \leq R_f < x_2^*$)时,订正系数为 r_1 ,采用线性近似有 $r_1=(25-10)/(x_2^*-x_1^*)$,代表的是缩放系数,满足预报值在 $[x_1^*, x_2^*)$ 区间上中雨发生频率与观测频率相等;其物理意义在于中雨等级的区间长度(15 mm)与预报值的区间长度的比值,与预报偏大(需向下订正)或偏小(需向上订正)是一种间接的关系,可能出现 x_1^* 端向下订正而 x_2^* 端向上订正等情况,如表 2 中枣阳第 1 天预报便是如此。

与此类似,大雨、暴雨时订正系数 r^2, r^3 分别为 $r^2=(50-25)/(x_3^*-x_2^*), r^3=50/x_3^*$ 。

根据线性插值公式及曹萍萍等^[9]的方法,订正结果用 R 表示,订正公式如下:

$$R = \begin{cases} 10 + (R_j - x_1^*) \times \frac{10}{x_1^*}, & (R_j < x_1^*) \\ 10 + (R_j - x_1^*) \times \frac{25 - 10}{x_2^* - x_1^*}, & (x_1^* \leq R_j < x_2^*) \\ 25 + (R_j - x_2^*) \times \frac{50 - 25}{x_3^* - x_2^*}, & (x_2^* \leq R_j < x_3^*) \\ 50 + (R_j - x_3^*) \times \frac{50}{x_3^*}, & (R_j \geq x_3^*) \end{cases} \quad (4)$$

3 结果

3.1 订正值分布

由襄阳地区 3 d 预报的不同降水量级订正值空间分布(图 3)可知,对第 1、2 天预报,暴雨订正值普遍小于 50 mm,表明 ECMWF 模式对暴雨预报较实况偏小;对第 3 天预报,订正值在襄阳中部普遍大于 50 mm,ECMWF 模式对暴雨预报较实况偏强,而西南山区、枣阳南部订正值仍小于 50 mm。模式对大雨、中雨预报的分布特征与暴雨类同,随着预报时效的后延,模式预报降水由偏小转为偏大;西南山区和枣阳南部预报小于观测实况。对比分析表明 ECMWF 存在偏差,对于中雨及以上降雨预报,第 1、2 天预报偏小,而第 3 天预报偏大。

3.2 订正效果检验

为了进一步验证概率匹配订正法的预报效果,对 2021 年汛期(5—9 月)ECMWF 3 d 预报的 3 个降水量级进行订正检验,并分别计算与统计了订正前后业务中最常用的三种检验指标: T_s 评分(T_s)、空报率(F_{AR})、漏报率(P_0),以验证概率匹配订正法的效果。

计算公式分别为:

$$T_s = \frac{N_A}{N_A + N_B + N_C} \times 100\% \quad (5)$$

$$F_{AR} = \frac{N_B}{N_A + N_B} \times 100\% \quad (6)$$

$$P_0 = \frac{N_C}{N_A + N_C} \times 100\% \quad (7)$$

式中: N_A 为预报正确站(次)数(不含各等级实况雨量不发生且预报结果为不发生的次数), N_B 为空报站(次)数, N_C 为漏报站(次)数。

为了验证概率匹配订正法对模式预报误差的订正效果,图 4 给出了第 1 天预报订正前后暴雨 T_s 评分的空间分布。从图中可以看出,订正前 T_s 评分最高区域主要位于襄阳市区,西部山区 T_s 评分较低;而订正后 T_s 评分最高的区域主要位于襄阳东南部,并且西部山区的 T_s 评分也有所提高。从订正前后 T_s 评分的差值可以看到,订正后大部地区的 T_s 评分有所提高,襄阳东南部、西部山区提高最明显,订正后误差得到改善。可见,概率匹配订正法可有效改善模

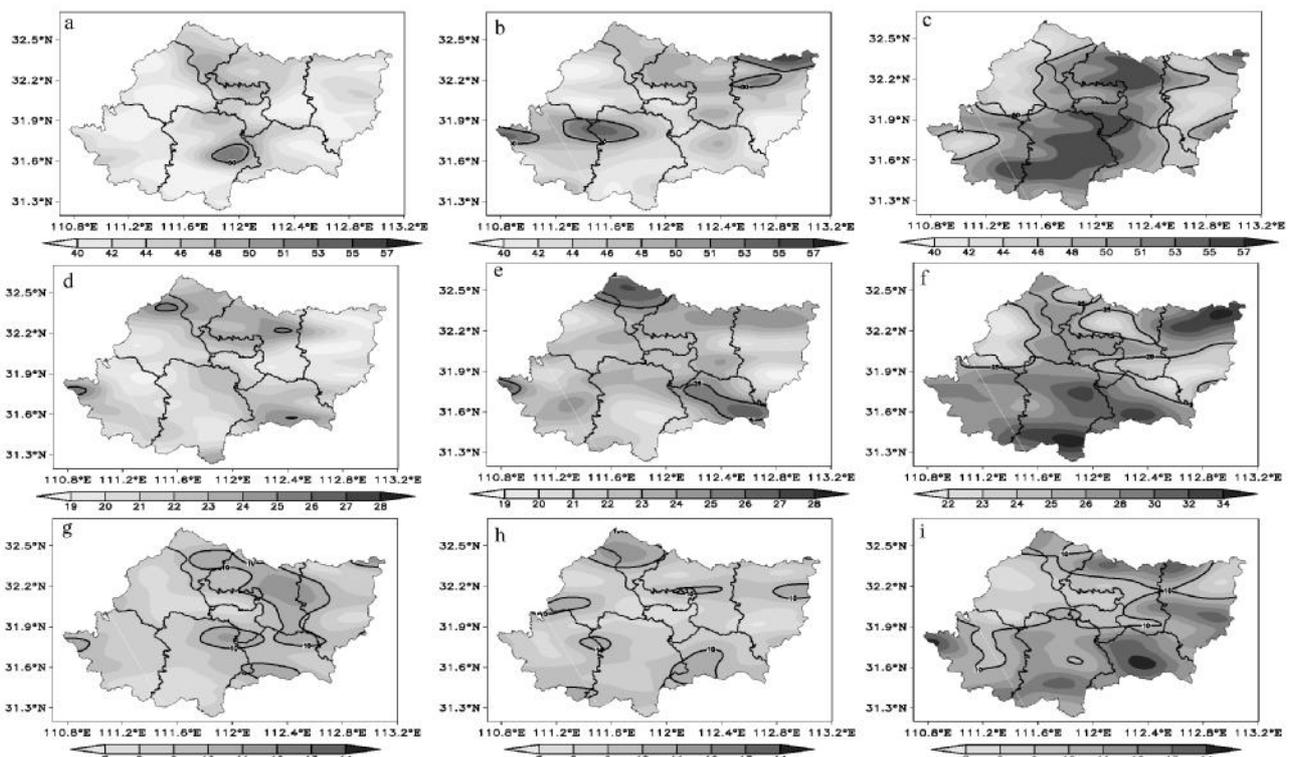


图 3 襄阳地区 ECMWF 第 1—3 天暴雨(a、b、c)、大雨(d、e、f)、中雨(g、h、i)概率匹配订正值分布(单位:mm)

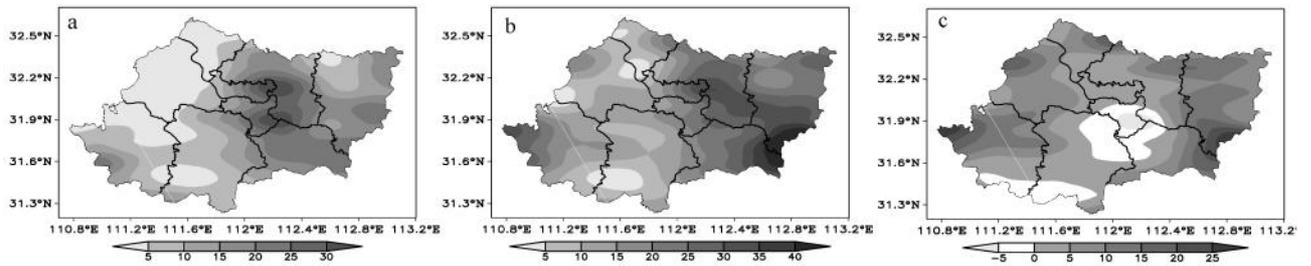


图4 2021年汛期第1天预报订正前后暴雨 T_s 评分
(a为订正前,b为订正后,c为订正后与订正前差值)

式的预报性能。

从表3~5中可以看出,第1天预报的暴雨 T_s 评分由11.1%提高到17.1%,高出6个百分点,第2、3天分别提高了3.9%、1.5%;漏报率分别降低13.5%、9.5%、2.1%。此外,大雨、中雨预报订正后效果总体比订正前好。对三天预报的不同降水量级,订正后三项检验指标获得明显改进, T_s 评分有所提高,漏报率和空报率下降;预报时效越临近,改进程度越大。因此,概率匹配订正法对中雨及以上降雨均有正订正效果,各预报时段检验指标有所改进,尤其对第1天暴雨预报改进最为明显, T_s 评分提高6个百分点。

表3 襄阳地区各降水量级不同预报时效订正前后228站平均 T_s 评分 %

量级	ECMWF(订正前)			概率匹配法订正后		
	第1天	第2天	第3天	第1天	第2天	第3天
暴雨	11.1	11.6	4.6	17.1	15.5	6.1
大雨	19.3	16.3	12.6	20.8	19.0	13.2
中雨	24.5	16.1	11.2	23.2	16.8	13.2

表4 襄阳地区各降水量级不同预报时效订正前后228站平均空报率 %

量级	ECMWF(订正前)			概率匹配法订正后		
	第1天	第2天	第3天	第1天	第2天	第3天
暴雨	70.1	75.8	89.7	70.1	74.1	86.3
大雨	66.1	72.0	79.0	66.0	69.1	77.0
中雨	63.8	72.1	78.9	64.8	71.8	76.3

表5 襄阳地区各降水量级不同预报时效订正前后228站平均漏报率 %

量级	ECMWF(订正前)			概率匹配法订正后		
	第1天	第2天	第3天	第1天	第2天	第3天
暴雨	85.0	81.7	92.3	71.5	72.2	90.2
大雨	69.1	71.8	76.0	65.1	67.0	76.3
中雨	56.9	72.4	80.6	59.4	70.8	77.1

2021年8月12日,襄阳地区发生了一次明显的区域性暴雨过程。图5给出了这次暴雨过程24h累积降水实况及模式预报降水订正前后空间分布。对比图5可见,订正前ECMWF模式预报存在明显的暴雨漏报,仅在西部地区和宜城南部分别出大雨量级;订正后暴雨漏报得到了明显的改善,成功预报出了谷城南部、保康北部暴雨,并且大雨范围较订正前更接近实况,预报评分有了整体提高。综上可知,概率匹配订正法能改善ECMWF降水预报效果,尤其当降水落区预报准确时,订正后的预报评分能大幅提高,但对降水中心位置的订正效果一般。

4 结论与讨论

本文利用2016—2020年汛期降水资料,对站点逐一建立降水等级概率匹配订正模型,并对2021年湖北襄阳地区汛期降水预报进行订正检验,得出以下结论:

(1)ECMWF模式对襄阳地区极端强降水预报,

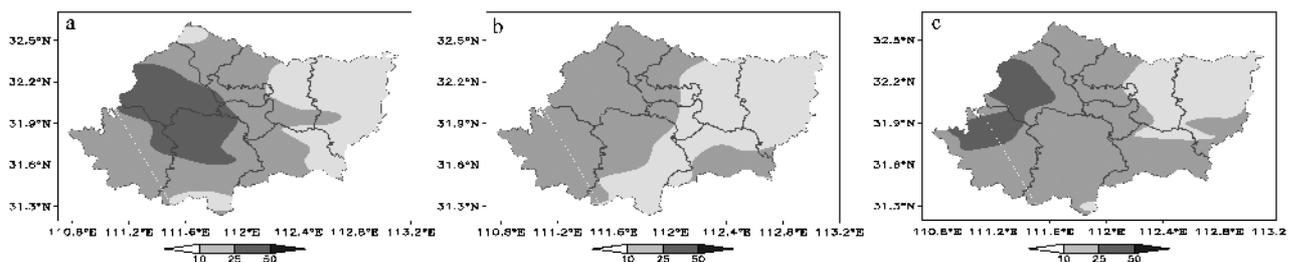


图5 2021年8月12日订正前后模式第1天预报落区对比
(a为实况,b为订正前,c为订正后)

预报时段越临近,降水量级呈减弱趋势,降水落区与观测实况更加接近,但极端强降水大值中心位置存在一定的偏差。

(2)模式降水预报订正值因站点位置的不同而变化,并且随着预报时效的延长分布规律也发生变化。ECMWF模式对襄阳地区第1、2天暴雨预报值偏小,订正值普遍小于50 mm,小值中心主要位于西南山区、枣阳南部,而第3天预报相反,订正值普遍大于50 mm;对大雨、中雨的预报类同。

(3)概率匹配订正法有效地改善了ECMWF 3 d降水预报的质量,订正后三项检验指标均获得明显改进, T_s 评分有所提高,漏报率和空报率下降;预报时效越临近,改进程度越大,尤其对第1天暴雨预报改进最为明显,228站平均的 T_s 评分提高了6%,由11.1%增加到17.1%;漏报情况改良了13.5%,由85.0%降为71.5%;空报率基本相当。说明ECMWF经过概率匹配法订正后,由于增加了当地降雨概率分布的背景信息,使预报结果更有参考价值。

选择科学合理的累积概率分布函数对该方法应用成功与否影响明显,如Papalexiou等^[26]采用广义Gamma分布、沈铁元等^[27]通过拟合试验优选出幂函数的指数函数作为降雨类条件概率密度函数,取得了较好的订正效果;由于ECMWF降水预报资料有限,采用有限的实况降水量级频率代替该站点降水量级概率有失全面,资料样本长度影响到概率分布参数的精度,预报与观测匹配序列越长,则效果越好。今后将采用其他分布函数、利用更长时间序列资料来对该订正法进行改进与完善。另外,概率匹配订正法对降水落区偏差的订正未表现出明显优势,改进效果严重依赖于模式的落区预报精度,对于落区的订正是挑战,也是值得研究的方向。

参考文献:

- [1] LORENZ E N. Deterministic non periodic flow[J]. Journal of the Atmospheric Sciences, 1963, 20(2): 130-141.
- [2] PALMER T N. Predicting uncertainty in forecasts of weather and climate [J]. Reports on Progress in Physics, 2000, 63(2): 71-116.
- [3] LILLY D K. Numerical prediction of thunderstorms—Has its time come [J]. Quart J Roy Meteor Soc, 1990, 116(494): 779-798.
- [4] 伍清, 李英. 基于频率匹配法的SWC-WARMS模式降水订正试验[J]. 高原山地气象研究, 2021, 41(4): 70-75.
- [5] 段春锋, 张太西, 程智, 等. CFSv2模式对新疆夏季降水的预测评估及EOF订正[J]. 沙漠与绿洲气象, 2022, 16(4): 31-39.
- [6] 唐冶, 李如琦, 马玉芬, 等. DOGRAFS逐小时气温和降水预报的释用[J]. 沙漠与绿洲气象, 2021, 15(4): 100-106.
- [7] 高星星, 潘留杰, 王瑾, 等. 基于频率匹配和融合法的多种网格降水预报产品订正[J]. 陕西气象, 2021(6): 9-14.
- [8] 钟敏, 肖安, 许冠宇. 基于CMA-MESO的分级短时强降水概率预报方法研究 [J]. 干旱气象, 2022, 40(4): 700-709.
- [9] 赵声蓉, 曹晓钟. 神经网络的降水预报: 暴雨落区预报实用方法[M]//刘还珠, 汤桂生. 北京: 气象出版社, 2000: 137-139.
- [10] 陆如华, 何于班. 卡尔曼滤波方法在天气预报中的应用[J]. 气象, 1994, 20(9): 41-46.
- [11] 韩焱红, 矫梅燕, 陈静, 等. 基于贝叶斯理论的集合降水概率预报方法研究[J]. 气象, 2013, 39(1): 1-10.
- [12] 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.
- [13] 李莉, 朱跃建. T213降水预报订正系统的建立与研究[J]. 应用气象学报, 2006, 17(增): 130-134.
- [14] 包慧濛, 郭达烽, 李葳. 基于频率匹配法的江西省ECMWF降水预报订正研究 [J]. 气象与环境学报, 2022, 38(2): 12-20.
- [15] 李俊, 杜钧, 陈超君. 降水偏差订正的频率(或面积)匹配方法介绍和分析[J]. 气象, 2014, 40(5): 580-588.
- [16] 周迪, 陈静, 陈朝平, 等. 暴雨集合预报—观测概率匹配订正法在四川盆地的应用研究[J]. 暴雨灾害, 2015, 34(2): 97-104.
- [17] 陈翔翔, 郭达烽. 降水预报—观测概率匹配动态订正法在江西降水集中期的应用与检验[J]. 南京信息工程大学学报(自然科学版), 2021, 13(2): 233-241.
- [18] 郭达烽, 陈翔翔, 段明铿. 预报—观测概率匹配订正法在降水预报业务中的应用[J]. 中国农学通报, 2017, 33(32): 100-107.
- [19] 曹萍萍, 陈朝平, 徐栋夫, 等. 基于集合预报的四川夏季强降水订正试验[J]. 热带气象学报, 2017, 33(1): 111-118.
- [20] 曹萍萍, 肖递祥, 徐栋夫, 等. 基于概率匹配的西南区域模式定量降水订正试验[J]. 气象科技, 2018, 46(1): 102-111.
- [21] HUSAK G J, MICHAELSEN J, FUNK C. Use of the gamma distribution to represent monthly rainfall in Africa for drought monitoring applications[J]. International Journal of Climatology, 2007, 27(7): 935-944.
- [22] 吴洪宝, 王盘兴, 林开平. 广西6、7月份若干日内最大日降水量的概率分布[J]. 热带气象学报, 2004, 20(5): 586-592.
- [23] 王斌, 付强, 王敏. 几种模拟逐日降水的分布函数比较分析[J]. 数学的实践与认识, 2011, 41(9): 128-133.
- [24] 赵琳娜, 梁莉, 王成鑫, 等. 基于贝叶斯模型平均的集合降水预报偏差订正 [C]//第28届中国气象学会年

- 会——S3 天气预报灾害天气研究与预报.厦门:中国气象学会,2011:1-13.
- [25] 梁莉,赵琳娜,巩远发,等.夏季淮河流域雨日降水概率的空间分布分析[C]//中国水利学会.2010 学术年会论文集(上册).贵阳:黄河水利出版社,2010.
- [26] PAPALEXIOU,S M,KOUTSOYIANNIS,D.A global survey on the seasonal variation of the marginal distribution of daily precipitation [J].Advances in Water Resources, 2016,94:131-145.
- [27] 沈铁元,刘静,向怡衡,等.逐时降雨的类条件概率密度分区比较与拟合函数初探[J].暴雨灾害,2021,40(6):664-674.

Application of Probability Matching Correction Method to Precipitation Forecast in Xiangyang of Hubei Province

YUAN Liang,TAN Jianghong,YAN Caixia,ZHANG Yucui
(Xiangyang Meteorological Bureau,Xiangyang 441021,China)

Abstract Numerical forecast products play an important role in weather forecast and early warning. The comparison between the precipitation forecast of the ECMWF model and the observed precipitation at Xiangyang Station in Hubei Province during the flood season from 2016 to 2020 is conducted, and the results show that the forecast of moderate rain and above in the first and second days are smaller, while the forecast in the third day is larger. The deviation of the heavy rainfall center in the three forecast periods is irregular. In order to better apply ECMWF products and improve the accuracy of precipitation forecast in flood season, the revised values of different precipitation magnitude are studied from the perspective of probability matching. And the precipitation forecast of ECMWF in flood season in 2021 was tested daily. The results show that the probability matching correction method can effectively improve the rainfall prediction performance of the model, and a good correction effect on the moderate rain and above has been verified, especially on the rainstorm forecast of the first day. The average *TS* score of 228 stations increases by 6% from 11.1% to 17.1%, and the missing rate decreases by 13.5% from 85.0% to 71.5%. The probability matching correction method is favorable of quantitative precipitation forecast, due to the addition of background information on the probability distribution of local rainfall.

Key words precipitation forecast; cumulative probability; probability matching; model correction