

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2019.07.016

# 基于 SEEPS 方法的重庆地区 降水数值预报性能分析<sup>①</sup>

陈良吕<sup>1</sup>, 陈法敬<sup>2</sup>, 夏宇<sup>3</sup>

1. 重庆市气象科学研究所, 重庆 401147; 2. 中国气象局数值预报中心, 北京 100081;  
3. 南京信息工程大学 大气科学学院, 南京 210044

**摘要:** 本研究简要介绍了 SEEPS 方法的具体计算方案, 将该方法应用到重庆地区的降水数值预报检验中, 对重庆地区常用的 3 个业务数值模式 2017 年全年的预报结果进行了检验评估, 并对对比分析了 3 个模式降水预报性能的总体差异及时空分布特征. 结果表明, 综合各个预报时效 2017 年全年区域平均 SEEPS 技巧评分的结果, EC 模式的降水预报性能最优, 其次是 SWC-WARMS, CQMFS 最差; 综合各个预报时效 2017 年 1—12 月逐月区域平均的 SEEPS 技巧评分的结果, SWC-WARMS 各月的预报性能均优于 CQMFS. SWC-WARMS 和 CQMFS 的降水预报性能在 7 月和 8 月总体而言优于 EC 模式, 其余各月均差于 EC 模式; 对于同一区域全年平均的降水数值预报性能, EC 模式最优, 其次是 SWC-WARMS, CQMFS 最差. 各个模式的 SEEPS 技巧评分在四川盆地东部偏东地区均存在大值中心. EC 模式总体表现出在重庆的东北部偏东地区和中西部偏北地区的 SEEPS 技巧评分优于重庆的其他地区. SWC-WARMS 总体表现出在重庆东南部地区的 SEEPS 技巧评分优于重庆的其他地区. CQMFS 总体表现出在重庆的东南部地区和重庆的中西部偏北地区的 SEEPS 技巧评分优于其他地区.

**关键词:** 降水预报; 检验方法; SEEPS 方法; 概率空间

**中图分类号:** P426.6

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9868(2019)07-0116-09

数值模式的降水预报结果是气象业务人员开展降水预报业务时的重要参考, 因此, 利用合理适用的检验方法对不同数值模式的降水预报结果进行检验评估和综合分析, 了解不同数值模式的降水预报性能及时空分布特征具有重要的意义. 检验分析结果能够为气象业务人员以及水文、交通和电力等方面的公众用户合理利用数值模式降水预报产品开展预报业务和决策服务提供有用的参考, 也能够为数值模式研发人员发现模式存在的问题并进一步优化模式提供有价值的线索.

降水数值预报的客观统计检验通常是采用传统的基于二分类事件的评分方法<sup>[1-5]</sup>, 该方法采用固定的阈值将降水分为若干种类(如 24 h 累计降水按照  $\leq 0.1$ ,  $0.1 \sim 10.0$ ,  $10.1 \sim 25.0$ ,  $25.1 \sim 50.0$ ,  $50.1 \sim 100.0$  和  $\geq 100$  mm 等固定的阈值划分为无雨、小雨、中雨、大雨、暴雨和大暴雨量级), 将降水数值预报结果通过一定的插值方案匹配到用于检验的观测站点上, 利用二分类列联表统计各个量级的降水事件发生或不发生的次数, 在此基础上, 计算各个量级降水的 TS 评分、空报率、漏报率等

① 收稿日期: 2018-03-15

基金项目: 重庆市气象局青年基金项目(QNJJ-201905); 重庆市气象局数值模式应用技术攻关团队项目(YWGGTD-201715); 中国气象局公益性行业科研专项项目(GYHY201506005).

作者简介: 陈良吕, 硕士, 工程师, 主要从事数值模式应用技术研究.

统计评分. 在实际应用中, 该方案存在 3 个明显的不足: 首先, 该方案采用固定的阈值进行降水分类, 忽略了降水气候概率在时间上和空间上的差异, 因此在计算统计评分时降水气候概率较高的区域(或季节)会主导最终的评分结果; 其次, 这类评分方法很大程度上依赖于观测站点的分布情况, 因此计算统计评分时站点分布较密集的区域会主导最终的评分结果; 另外, 利用该方法评估降水数值预报的整体性能时, 需要综合不同降水量级(小雨、中雨、大雨、暴雨和大暴雨等)的多个评分结果(TS 评分、空报率和漏报率等), 如果不同降水量级的检验结论不一致或者不同评分结果的检验结论不一致, 就难以定量地给出不同模式降水数值预报性能的差异. 总的来说, 传统的基于二分类事件的评分方法在评分计算和评分应用方面都存在明显不足, 使得最终的检验结果不够公平和实用.

近年来, 国际上发展了许多新的降水数值预报检验方法<sup>[7-13]</sup>. 2010 年 Rodwell 等<sup>[14]</sup> 研究设计了一种新的降水数值预报检验方法——基于气候概率的稳定公平误差(Stable Equitable Error in Probability Space, 以下简称 SEEPS), 近年来得到了国际上的普遍认可和业务应用. 该方案克服了传统的评分方法存在的几个不足: 首先, 该方案基于不同站点的降水气候概率将降水分为“干”“较小量级降水”和“较大量级降水”3 类, 使得降水阈值可随着时间和空间变化, 在计算 SEEPS 评分时, 不同的站点和不同的月份均采用不同的降水阈值, 使得最终的评分结果能够自动适应不同的降水气候; 其次, 该方案在计算区域平均的评分结果时, 对不同站点采用与站点密度成反相关的权重, 从而有效地规避了高密度站点主导最终评分结果的情况, 使得最终的结果更具有代表性; 另外, 利用 SEEPS 方法最终得到的是一个兼顾了命中、空报和漏报等信息的单一检验评分, 因此可以直接定量地给出不同模式降水预报性能的差异及时空分布特征. 总的来说, SEEPS 方法有效地克服了传统评分方法存在的不足, 在评分方案和评分应用方面更加的合理和实用.

本研究简要介绍 SEEPS 方法的具体计算方案, 将该方法应用到重庆地区的降水数值预报检验中, 对重庆地区常用的 3 个业务数值模式的预报结果进行了检验评估, 并对比分析了 3 个模式降水预报性能的总体差异及时空分布特征, 希望能以此为重庆地区的气象业务人员、模式研发人员、数值模式的公众用户等提供一些有价值的参考.

## 1 模式和资料简介

本研究主要利用 SEEPS 方法对重庆地区气象部门业务应用最广泛的欧洲中期天气预报中心(Europe Center for Medium-range Weather Forecast, 以下简称 ECMWF)业务运行的全球模式<sup>[15]</sup>(以下简称 EC 模式)、成都西南区域气象中心业务运行的中尺度预报系统<sup>[16-17]</sup>(South-West Center WRF ADAS Realtime Modeling System, 以下简称 SWC-WARMS)和重庆市气象局业务运行的中尺度预报系统<sup>[18]</sup>(Chongqing Mesoscale Forecast System, 以下简称 CQMFS)等 3 种模式 2017 年 1 月 1 日—12 月 31 日逐日 20 时(北京时间, 下同)起报的 0~72 h 逐 24 h 累计降水预报结果进行了统计检验和对比分析. EC 模式分辨率为 12.5 km, 逐日运行 2 次(08 时和 20 时), 预报时效为 360 h; SWC-WARMS 分辨率为 9 km, 逐日运行 4 次(02 时、08 时、14 时和 20 时), 预报时效为 72 h; CQMFS 采用 27 km—9 km—3 km 三重嵌套的网格, 本研究仅对分辨率为 3 km 的模式预报资料进行检验, 该系统逐日运行 2 次(08 时和 20 时), 预报时效为 96 h.

统计检验的区域为重庆地区气象部门重点关注的重庆及周边地区, 检验该区域内的 120 个国家基本气象站, 具体检验范围及观测站点分布如图 1 所示, 利用上述站点 1984—2013 年逐日的观测资料统计降水气候概率.

## 2 SEEPS 方法原理及计算方案<sup>[19]</sup>

SEEPS 方法首先在概率空间中把降水分为“干”“较小量级降水”和“较大量级降水”3 类, 再将检验评

分定义为两个矩阵的标量积: 一个降水分类预报和观测的  $3 \times 3$  列联表矩阵, 为降水预报和观测的二维离散概率分布, 代表了概率空间中的模式预报特征; 另一个为  $3 \times 3$  的误差评分矩阵, 代表了在不同的降水气候概率下 SEEPS 评分对概率空间中不同预报误差的“惩罚”. 在此基础上, 对不同站点赋予与站点密度成反相关的权重并计算区域平均的检验评分. 以下简要介绍各个步骤对应的具体计算方案.

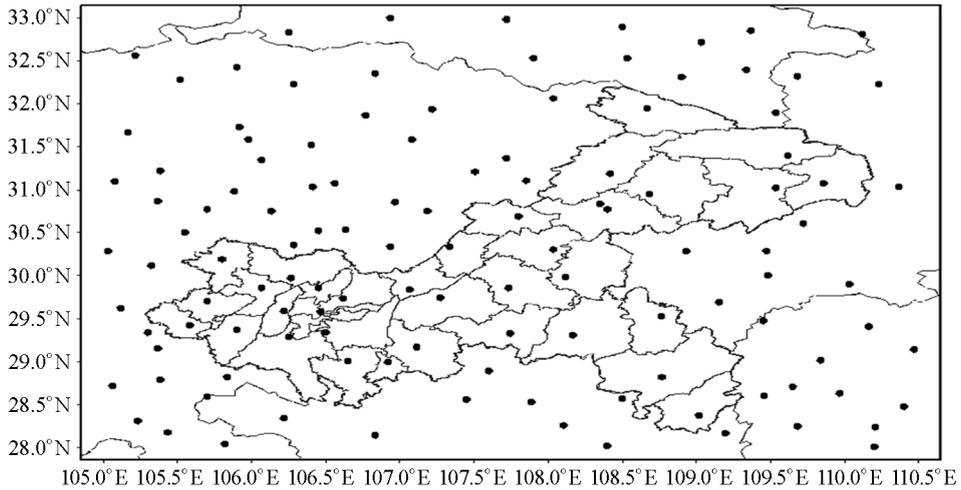


图 1 检验区域及观测站点分布图

## 2.1 SEEPS 方法降水分类

SEEPS 方法依据站点的降水气候概率, 在概率空间中将降水分为“干”“较小量级降水”和“较大量级降水”3 类. 将“干”定义为 24 h 累积降水  $\leq 0.2$  mm, 对应降水累积概率  $P_1$ , 且“较小量级降水”概率  $P_2$  为“较大量级降水”概率  $P_3$  的两倍. 很明显存在关系:

$$P_1 + P_2 + P_3 = 1 \quad P_2 = 2P_3$$

因此, 当“干”的气候概率  $P_1$  确定以后, “较小量级降水”和“较大量级降水”的概率也随之确定. 同时“较大量级降水”和“较小量级降水”的阈值(记为  $th1$ )也确定了, 随之 3 类降水的具体阈值也确定了: “干”的阈值为  $\leq 0.2$  mm; “较小量级降水”的阈值为  $> 0.2$  mm 且  $< th1$ ; “较大量级降水”的阈值为  $\geq th1$ . 采用这种降水分类方法, 各个站点的降水阈值是随时间变化的, 因而能够使“干”的季节和“湿”的季节在计算整体平均(区域平均或者较长时间样本的平均)的 SEEPS 评分时具有同等的影响力.

在实际计算中, 各个站点同一个月份均采用相同的降水气候概率和阈值, 图 2 给出了检验区域内各月的“较大量级降水”的阈值, 降水阈值越大, 说明该月降水量越大; 降水阈值越小, 说明该月降水量较小. 从图中 2 可以看出: 从 1 月到 7 月, “较大量级降水”的阈值逐渐增大; 从 7 月到 12 月, “较大量级降水”的阈值逐渐减小; 同一月份重庆地区不同区域的阈值差别不大.

由上述 SEEPS 降水三分类划分方法, 第 1 类为“干”, 第 2 类为“较小量级降水”, 第 3 类为“较大量级降水”, 可以获得降水观测(分别用  $v_1, v_2$  和  $v_3$  表示“干”“较小量级降水”和“较大量级降水”)与预报(分别用  $f_1, f_2$  和  $f_3$  表示“干”“较小量级降水”和“较大量级降水”)的一个  $3 \times 3$  列联表, 如表 1 所示. 该列联表为降水预报与观测的二维离散概率分布, 代表了概率空间中的降水类别和降水预报特征. 若预报是“完美”的, 则列联表的 3 个对角线元素之和为 1:  $P_{11} + P_{22} + P_{33} = 1$ , 其余非对角线元素均为 0.

表 1 SEEPS 方法降水分类预报与观测的  $3 \times 3$  列联表

二维离散概率	$v_1$	$v_2$	$v_3$
$f_1$	$P_{11}$	$P_{12}$	$P_{13}$
$f_2$	$P_{21}$	$P_{22}$	$P_{23}$
$f_3$	$P_{31}$	$P_{32}$	$P_{33}$

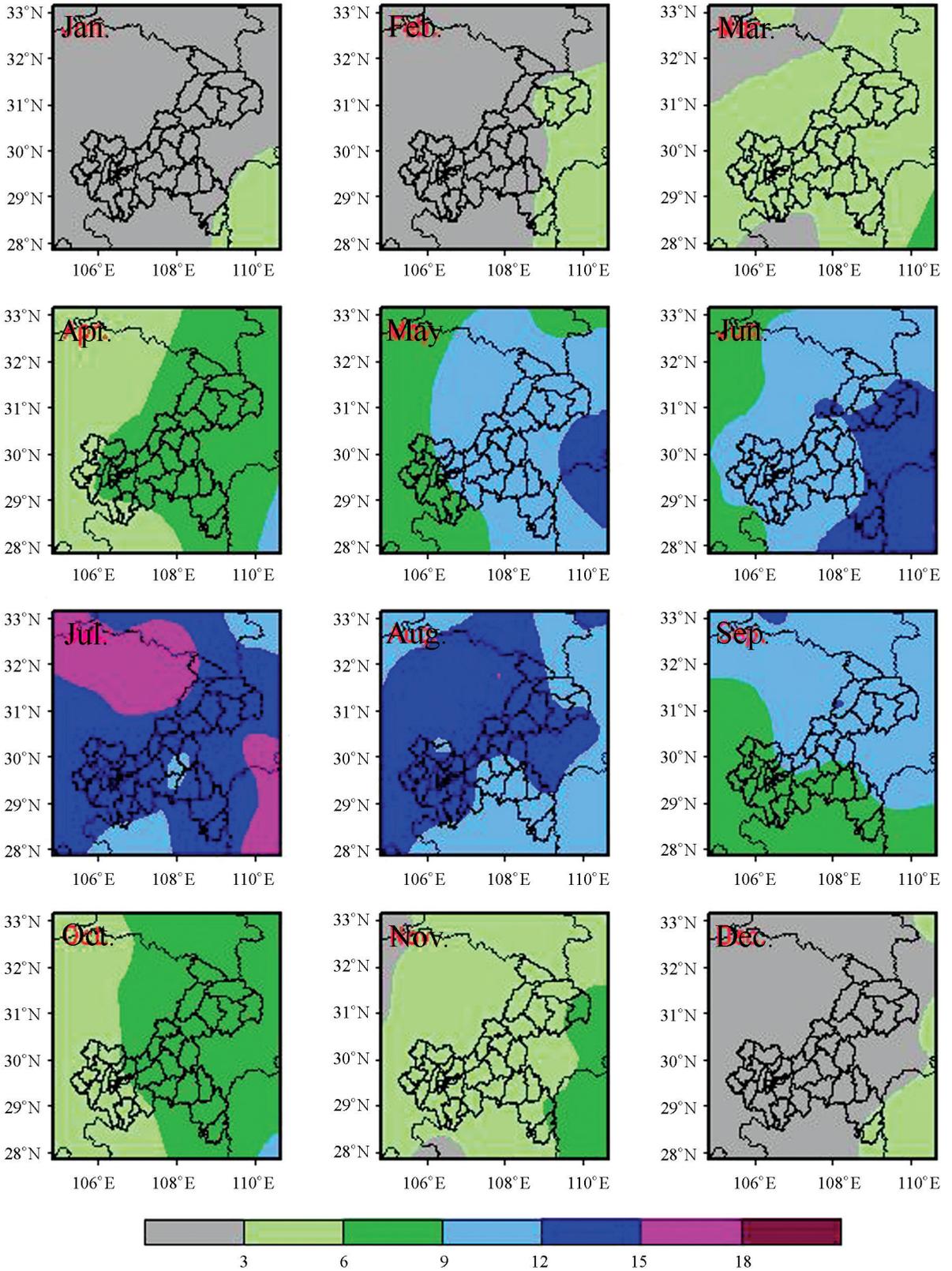


图 2 1—12 月逐月“较大量级降水”阈值分布

### 2.2 SEEPS 计算公式

SEEPS 误差评分矩阵由降水分类“干”的概率  $P_1$  唯一确定, 以降水分类“干”的概率  $P_1$  表达的 SEEPS 误差评分矩阵如下:

$$s_{fv} = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} 0 & \frac{1}{1-P_1} & \frac{4}{1-P_1} \\ \frac{1}{P_1} & 0 & \frac{3}{1-P_1} \\ \frac{1}{P_1} + \frac{3}{2+P_1} & \frac{3}{2+P_1} & 0 \end{vmatrix}$$

SEEPS 方法将检验评分分为“预报”与“评分”两部分, 单个站点的 SEEPS 误差评分计算公式如下:

$$S = \sum_{f,v} P_{fv} s_{fv}$$

$P_{fv}$  为降水预报  $f$  与观测  $v$  的二维离散概率分布,  $s_{fv}$  是对应的 SEEPS 误差评分矩阵。

### 2.3 SEEPS 方法基于站点密度的区域加权平均

在区域平均 SEEPS 中, 考虑了由站点密度带来的影响. 在由  $N$  个观测站点组成的观测网中, 站点  $k$  位置附近的站点密度  $\rho_k$  利用高斯核函数表达为:

$$\rho_k = \sum_l e^{-\frac{(\alpha_{kl}/\alpha_0)^2}{2}}$$

式中:  $\sum_l$  表示对所有有效站点求和;  $\alpha_{kl}$  是站点  $k, l$  对地心的张角, 由这两个站点的经度和纬度确定;  $\alpha_0$  是一个参考角度, 取  $0.75^\circ$  (约对应 83 km). 若  $\alpha_{kl} > 4\alpha_0$ , 站点  $l$  对  $\rho_k$  计算的影响可以忽略不计. 定义代表站点 SEEPS 评分在区域平均 SEEPS 评分计算中所占比例的站点权重系数为  $\omega_k$ , 其与站点密度呈反相关, 具体计算公式如下:

$$\omega_k = \frac{\frac{1}{\rho_k}}{\sum_l \frac{1}{\rho_l}}$$

获得站点的权重后, 可求得加权区域平均的 SEEPS 误差评分, 具体计算公式如下:

$$S = \sum_k \omega_k s_k$$

SEEPS 是一种误差评分, 值域期望为  $[0, 1]$ , 1 代表无技巧预报, 0 代表“完美预报”. 在实际应用中通常使用与之相应的 SEEPS 技巧评分  $1-\text{SEEPS}$ , 值域期望为  $[0, 1]$ , 1 代表“完美预报”。

## 3 检验结果分析

图 3 为 3 个模式 2017 年全年区域平均的 SEEPS 技巧评分, 从图中可以看出: 对于  $0 \sim 24$  h 累计降水预报, EC 模式和 SWC-WARMS 的 SEEPS 技巧评分基本相当且明显优于 CQMFS; 对于  $24 \sim 48$  h 累计降水预报, EC 模式的 SEEPS 技巧评分最高, 其次是 SWC-WARMS, CQMFS 的评分最低; 对于  $48 \sim 72$  h 累计降水预报, EC 模式的 SEEPS 技巧评分最高, 其次是 SWC-WARMS, CQMFS 的评分最低。

综合各个预报时效 2017 年全年区域平均的 SEEPS 技巧评分的结果, EC 模式的降水预报性能最优, 其次是 SWC-WARMS, CQMFS 最差。

图 4 为 3 个模式 2017 年 1—12 月逐月区域平均的 SEEPS 技巧评分, 可用于了解数值模式的降水预报性能随的演变特征, 从图中可以看出: 对于  $0 \sim 24$  h 累计降水预报, 从 4 月到 8 月, 各个模式的 SEEPS 技巧评分均逐渐减小, 从 8 月到 12 月, 各个模式的 SEEPS 技巧评分逐渐增大. 7 月和 8 月, SWC-WARMS 的 SEEPS 技巧评分最高, 其次是 CQMFS, EC 模式最低. 其余各月总体而言 EC 模式预报性能最优, 其次是 SWC-WARMS, CQMFS 最差; 对于  $24 \sim 48$  h 累计降水预报, 从 5 月到 8 月, 各个模式的 SEEPS 技巧

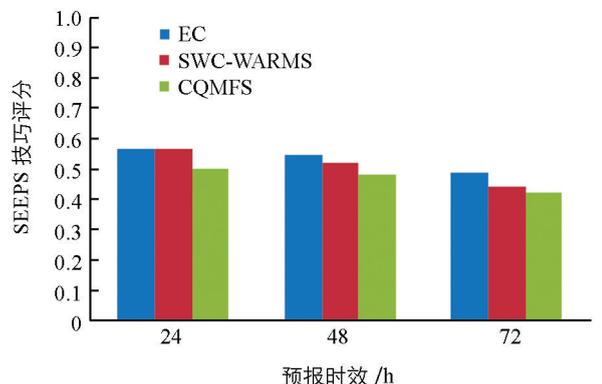
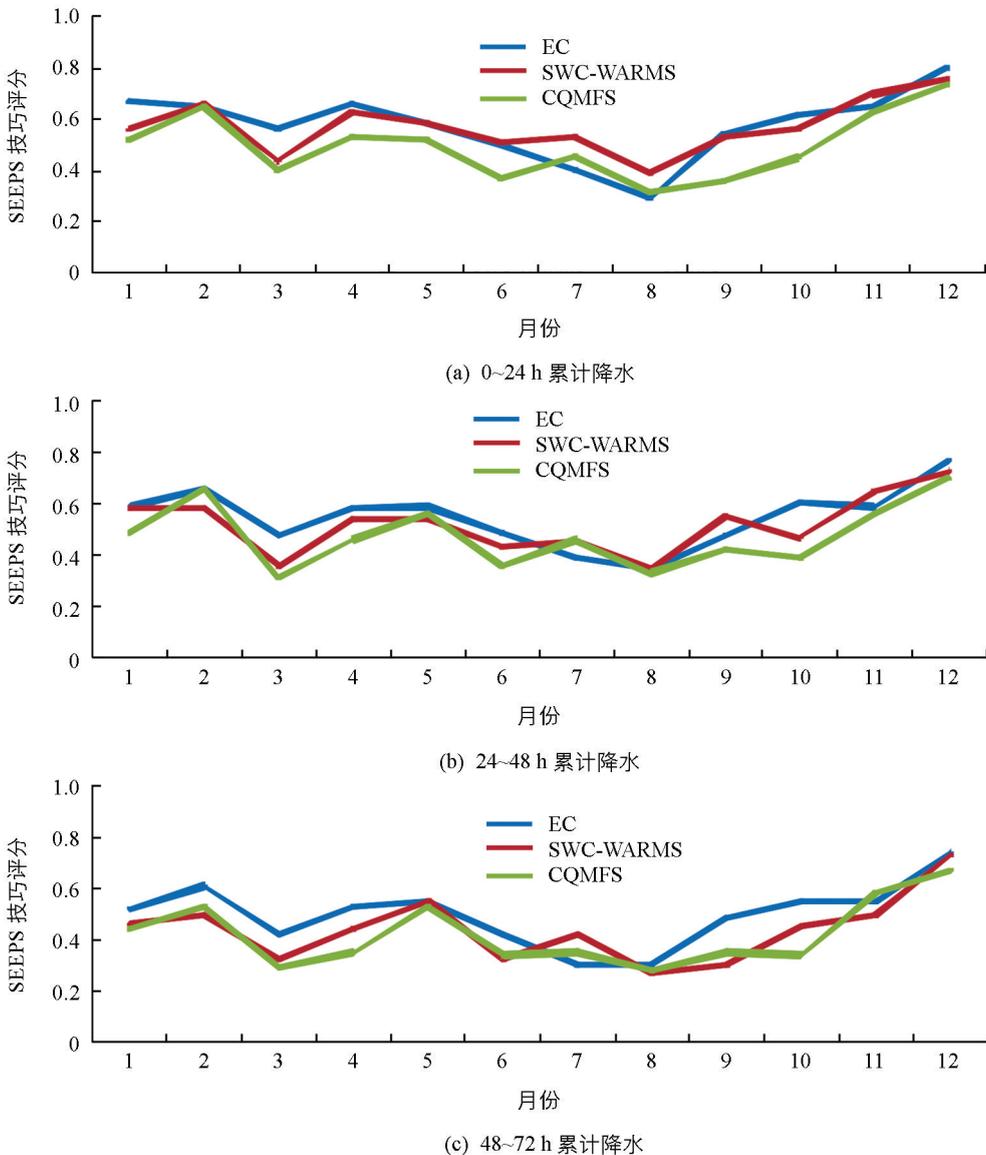


图 3 3 个模式 2017 年全年区域平均的 SEEPS 技巧评分

评分总体呈现出逐渐减小的趋势,从 8 月到 12 月,各个模式的 SEEPS 技巧评分总体呈现出逐渐增大的趋势. 7 月 SWC-WARMS 的 SEEPS 技巧评分最高,其次是 CQMFS, EC 模式最低. 8 月,3 个模式的评分基本相当. 其余各月总体而言 EC 模式预报性能最优,其次是 SWC-WARMS, CQMFS 最差;对于 48~72 h 累计降水预报,从 5 月到 8 月,各个模式的 SEEPS 技巧评分总体呈现出逐渐减小的趋势,从 8 月到 12 月,各个模式的 SEEPS 技巧评分总体呈现出逐渐增大的趋势. 7 月 SWC-WARMS 的 SEEPS 技巧评分最高,其次是 CQMFS, EC 模式最低. 8 月,3 个模式的评分基本相当. 其余各月总体而言 EC 模式预报性能最优,其次是 SWC-WARMS, CQMFS 最差.

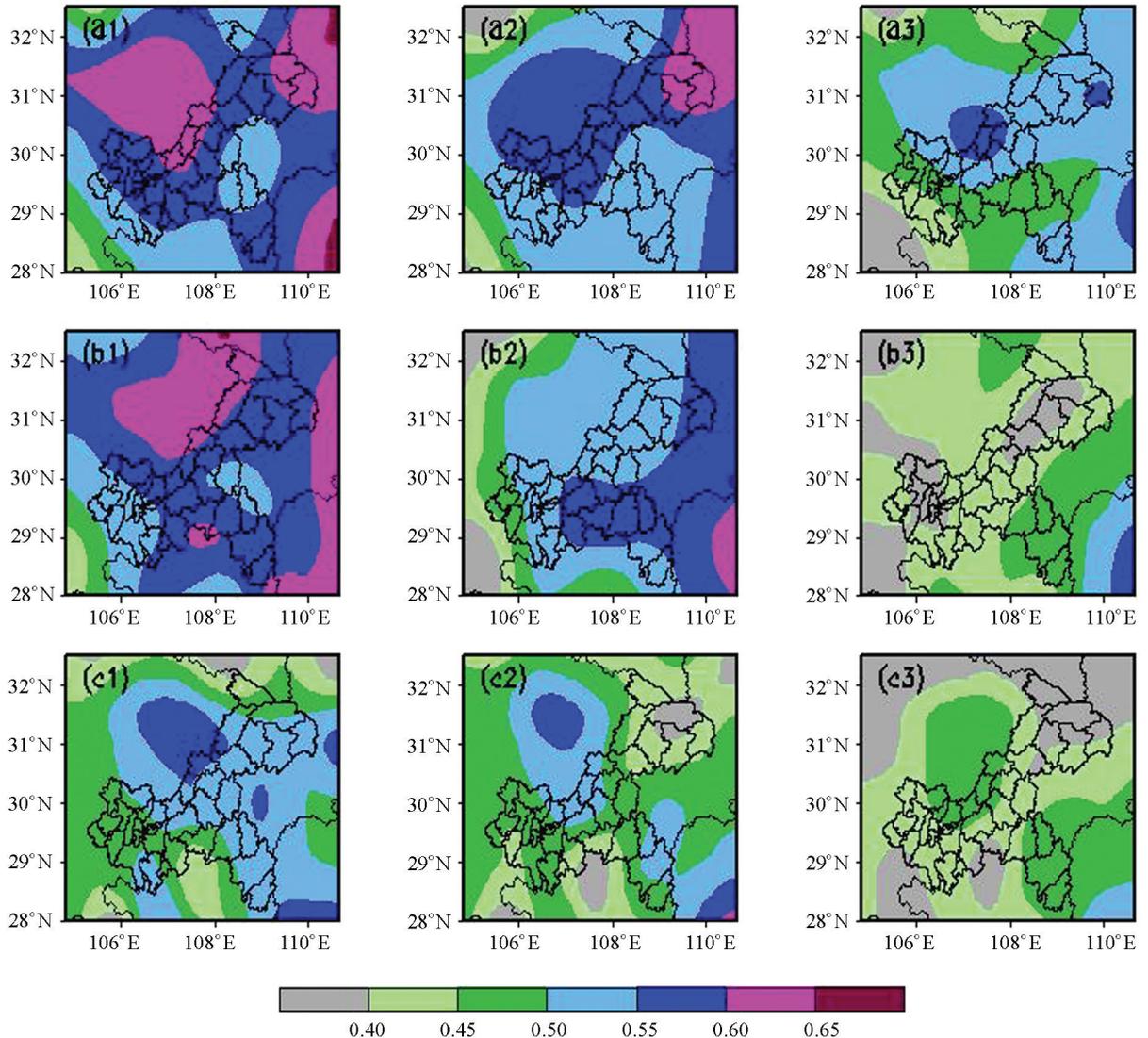
综合各个预报时效 2017 年 1—12 月逐月平均的 SEEPS 技巧评分的结果,总体而言:从 5 月到 8 月,各个模式的 SEEPS 技巧评分总体呈现出逐渐减小的趋势,从 8 月到 12 月,各个模式的 SEEPS 技巧评分总体呈现出逐渐增大的趋势;SWC-WARMS 各月的预报性能均优于 CQMFS;SWC-WARMS 和 CQMFS 的降水预报性能在 7 月和 8 月总体而言优于 EC 模式,其余各月均差于 EC 模式,7 月和 8 月正值重庆地区的主汛期,中小尺度天气系统活跃,区域性暴雨频发,上述检验结果说明 SWC-WARMS 和 CQMFS 等中尺度模式对汛期中小尺度降水过程的预报能力优于 EC 全球模式.



(a) 0~24 h 累计降水; (b) 24~48 h 累计降水; (c) 48~72 h 累计降水.

图 4 3 个模式 2017 年 1—12 月逐月区域平均的 SEEPS 技巧评分

图 5 是 3 个模式各个观测站点 2017 年全年平均 SEEPS 技巧评分的空间分布, 可用于了解数值模式的降水预报性能的空间分布特征, 从图中可以看出: 总体而言, 对于同一区域全年平均的降水预报性能, EC 模式最优, 其次是 SWC-WARMS, CQMFS 最差; 各个模式的 SEEPS 技巧评分在四川盆地东部偏东地区均存在大值中心, 说明模式对这部分区域的降水预报性能优于其余区域, 具体原因有待进一步研究; EC 模式总体表现出在重庆的东北部偏东地区和中西部偏北地区的 SEEPS 技巧评分优于重庆的其他地区; SWC-WARMS 总体表现出在重庆东南部地区的 SEEPS 技巧评分优于重庆的其他地区; CQMFS 总体表现出在重庆的东南部地区和重庆的中西部偏北地区的 SEEPS 技巧评分优于其他地区。



(a1) EC 模式 0~24 h 累计降水; (a2) EC 模式 24~48 h 累计降水; (a3) EC 模式 48~72 h 累计降水; (b1) SWC-WARMS 0~24 h 累计降水; (b2) SWC-WARMS 24~48 h 累计降水; (b3) SWC-WARMS 48~72 h 累计降水; (c1) CQMFS 0~24 h 累计降水; (c2) CQMFS 24~48 h 累计降水; (c3) CQMFS 48~72 h 累计降水。

图 5 3 个模式各个观测站点 2017 年全年平均 SEEPS 技巧评分的空间分布

## 4 结论和讨论

本研究简要介绍了 SEEPS 方法的具体计算方案, 将该方法应用到重庆地区的降水数值预报检验中, 对重庆地区常用的 3 个业务数值模式 2017 年全年的预报结果进行了检验评估, 并对比分析了 3 个模式降水预报性能的总体差异及时空分布特征, 以下作简要的总结和讨论:

(1) 总的来说, SEEPS 方法有效地克服了传统的评分方法存在的缺陷和不足, 在评分方案和评分应用方面更加的合理和实用.

(2) 综合各个预报时效 2017 年全年区域平均的 SEEPS 技巧评分的结果, EC 模式的降水预报性能最优, 其次是 SWC-WARMS, CQMFS 最差.

(3) 综合各个预报时效 2017 年 1—12 月逐月区域平均的 SEEPS 技巧评分的结果, SWC-WARMS 和 CQMFS 等中尺度模式对汛期中小尺度降水过程的预报能力优于 EC 全球模式.

(4) 总体而言, 对于同一区域全年平均的降水预报性能, EC 模式最优, 其次是 SWC-WARMS, CQMFS 最差; 各个模式的 SEEPS 技巧评分在四川盆地东部偏东地区均存在大值中心, 说明模式对这部分区域的降水预报性能优于其余区域.

## 参考文献:

- [1] 王 雨. 若干数值模式对 2003 年夏季青藏高原中南部降水预报检验 [J]. 高原气象, 2004, 23(S1): 53-58.
- [2] 王 雨, 闫之辉. 降水检验方案变化对降水检验评估效果的影响分析 [J]. 气象, 2007, 33(12): 53-61.
- [3] 王 雨, 公 颖, 陈法敬, 等. 区域业务模式 6 h 降水预报检验方案比较 [J]. 应用气象学报, 2013, 24(2): 171-178.
- [4] 张晓惠, 谢世友, 任 伟. 1951 年—2014 年重庆市主城区降水变化特征分析——以沙坪坝区为例 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2016, 38(4): 104-109.
- [5] 吴 俞, 冯 文, 李 勋, 等. ECMWF 细网格 10 m 风场产品在南海海域的预报检验 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2015, 40(9): 204-212.
- [6] 戴 劲, 何 宁, 袁红松, 等. 湘潭低空急流暴雨天气分型及雷达回波特征分析 [J]. 三峡生态环境监测, 2018, 3(1): 47-52.
- [7] EBERT E E. Fuzzy Verification of High Resolution Gridded Forecasts: A Review and Proposed Fraework [J]. Meteorological Applications, 2008, 15(1): 51-64.
- [8] CASATI B. New Developments of the Intensity-Scale Technique within the Spatial Verification Methods Intercomparison Project [J]. Weather and Forecasting, 2010, 25(1): 113-143.
- [9] DAVIS C, BROWN B, BULLOCK R. Object-Based Verification of Precipitation Forecasts. Part I: Methodology and Application to Mesoscale Rain Areas [J]. Monthly Weather Review, 2006, 134(7): 1772-1784.
- [10] DAVIS C, BROWN B, BULLOCK R. Object-Based Verification of Precipitation Forecasts. Part II: Application to Convective Rain Systems [J]. Monthly Weather Review, 2006, 134(7): 1785-1795.
- [11] DAVIS C A, BROWN B G, BULLOCK R, et al. The Method for Object-Based Diagnostic Evaluation (MODE) Applied to Numerical Forecasts from the 2005 NSSL/SPC Spring Program [J]. Weather and Forecasting, 2009, 24(5): 1252-1267.
- [12] RICHARDSON D S. Skill and Relative Economic Value of the ECMWF Ensemble Prediction System [J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2000, 126(563): 649-667.
- [13] FERRO C A T, STEPHENSON D B. Extremal Dependence Indices: Improved Verification Measures for Deterministic Forecasts of Rare Binary Events [J]. Weather and Forecasting, 2011, 26(5): 699-713.
- [14] RODWELL M J, RICHARDSON D S, HEWSON T D, et al. A New Equitable Score Suitable for Verifying Precipitation in Numerical Weather Prediction [J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2010, 136: 1344-1363.
- [15] 麻巨慧, 朱跃建, 王盘兴, 等. NCEP、ECMWF 及 CMC 全球集合预报业务系统发展综述 [J]. 大气科学学报, 2011, 34(3): 370-380.
- [16] 屠妮妮, 衡志炜, 吴蓬萍, 等. SWCWARMs 模式及 GRAPES 模式对西南区域降水预报检验对比分析 [J]. 高原山地气象研究, 2015, 35(4): 1-9.
- [17] 陈良吕, 杜 钦. SWC-WARMS 在重庆地区的降水预报性能分析 [J]. 高原山地气象研究, 2016, 36(3): 1-6.

- [18] 陈良吕, 吴 征, 高 松. 重庆中尺度集合预报系统预报性能分析 [J]. 高原山地气象研究, 2017, 37(4): 21-27.
- [19] 陈法敬, 陈 静. “SEEPS”降水预报检验评分方法在我国降水预报中的应用试验 [J]. 气象科技进展, 2015, 5(5): 6-13.

## An SEEPS-Based Analysis of Numerical Prediction Performance in Chongqing Area

CHEN Liang-lv<sup>1</sup>, CHEN Fa-jing<sup>2</sup>, XIA Yu<sup>3</sup>

1. Chongqing Institute of Meteorological Sciences, Chongqing 401147, China;

2. NWP Center of China Meteorological Administration, Beijing 100081, China;

3. School of Atmospheric Sciences, Nanjing University of Information Technology, Nanjing 210044, China

**Abstract:** This paper gives a brief account of the specific calculation schemes of the SEEPS (stable equitable error in probability space) method, which is applied to the numerical prediction performance analysis of precipitation in Chongqing area. The annual forecast results of three models, which were operationally implemented and commonly used in Chongqing area in 2017, were tested and evaluated, and the overall difference and temporal and spatial characteristics of the three models were compared and analyzed. The results showed that, in general, based on the results of the regional average SEEPS skill score in 2017, the prediction performance of EC model was the best, followed in sequence by SWC-WARMS and CQMFS; and based on the results of the monthly mean SEEPS skill score in 2017, the prediction performance of SWC-WARMS in each month was better than that of CQMFS. The precipitation forecast performance SWC-WARMS and CQMFS in July and August was, as a whole, better than that of the EC model, but was inferior to that of EC in other months. For the average annual precipitation prediction performance of the same region, the EC model was the best, followed in order by SWC-WARMS and CQMFS. The SEEPS skill score of each model had a large-value center in the eastern part of the Sichuan basin. The EC model showed that the SEEPS skill score was generally higher in the northeast-by-east and mid-west-by-north parts of Chongqing than in the other areas of the city. The SWC-WARMS overall showed that the SEEPS skill score in the southeast of Chongqing was higher than in the other areas. The CQMFS overall showed that the SEEPS skills score in the southeast and mid-west-by-north regions of Chongqing was higher than that in the other regions.

**Key words:** precipitation forecast; verification method; SEEPS method; probability space

责任编辑 包 颖

