

李玲萍,李天江,李岩瑛,等.基于 MODE 方法的 SCAMOC 降水产品在河西走廊干旱区的检验[J].沙漠与绿洲气象,XXXX,XX(XX):1-9. LI Lingping,LI Tianjiang,LI Yanying,et al.Inspection of SCAMOC Precipitation Forecast Based on MODE Method in Hexi Corridor[J].Desert and Oasis Meteorology,XXXX,XX(XX):1-10.

基于 MODE 方法的 SCAMOC 降水产品在河西走廊干旱区的检验

李玲萍¹,李天江^{1*},李岩瑛^{1,2},伏芬琪³,吴雯¹,陈静¹

(1.甘肃省武威国家气候观象台,甘肃 武威 733000;2.中国气象局兰州干旱气象研究所/甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室/中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室,甘肃 兰州 730020;3.兰州资源环境职业技术大学,甘肃 兰州 730021)

摘要:利用 2019—2022 年 5—9 月国家级智能网格指导预报(SCAMOC)和三源融合网格实况降水分析产品(CMPAS),采用经典检验和 MODE 空间检验法,检验分析 SCAMOC 在河西走廊干旱区的表现。结果表明:(1)SCAMOC 对各量级降水预报 TS 为小雨(0.41)>中雨(0.26)>大雨(0.20)>暴雨(0.05),量级越小,TS 越高。(2)SCAMOC 对暴雨以下量级降水目标预报相似度为 0.72~0.75,暴雨为 0.25。(3)SCAMOC 对各量级降水目标轴长度和宽度都有扩大现象,小雨及中雨雨带偏向西北—东南的较偏向东北—西南的多,大雨、暴雨雨带和实况接近。(4)SCAMOC 对各量级降水预报面积随量级增大较实况面积越偏大(除暴雨);对小雨强度预报偏强,中雨及以上量级预报强度偏弱;各量级降水预报集中度较好,个别小雨预报较实况偏西偏南,中雨及以上量级偏西偏北。

关键词:国家级智能网格指导预报(SCAMOC);MODE 方法;河西走廊;降水

中图分类号:P457.6

doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2312.22001

随着网格化数值预报产品引入到我国精细化预报预警业务^[1],对高分辨率网格预报效果的检验和评估,成为业务工作的重中之重,为选择模式产品及进行有效订正提供参考^[2-5]。

降水具有高时空非连续性特征,就降水预报而言,除去随机性误差外,还有强度、位置、形态以及时间等各种系统性误差,定量检验降水预报空间偏差是一项富有挑战性的工作^[6-8]。传统的 TS 评分、ETS 评分、均方根误差等点对点检验方法,无法客观地反映高分辨率数值模式降水的真实预报能

收稿日期:2023-12-22;**修回日期:**2024-06-03

资助项目:国家自然科学基金重点项目(42230611);中国气象局兰州干旱气象研究所攻关/共创基金;甘肃省气象面上项目(Ms2022-11);武威市自然科学基金项目(WW2201RPZ025)

作者简介:李玲萍,主要从事短期预报及沙尘暴、暴雨等灾害性天气研究。E-mail:wwqsjllp@163.com

通信作者:李天江,主要从事短期预报及数值模式应用研究。E-mail:601587314@qq.com

力^[9-11],也无法对预报中更为关注的小尺度降水位置、范围及强度等属性给出定量检验结果^[12-16]。

空间检验法是近年来针对高分辨率模式预报产品发展起来的新方法,能够反映模式预报的空间结构和尺度变化,为用户提供更详细的模式预报偏差^[17-18]。面向对象的检验方法(简称“MODE”)是空间检验方法中最具代表性的一种特征检验法,被国内外学者广泛应用于降水检验中^[19-23],其优点是通过设定降水阈值和卷积半径对降水场进行空间卷积,实现空间降水对象的人工提取和抽象化,能够计算模式预报性能的总体表现,分析预报与观测降水在诸如面积、强度、质心距离、位移距离等属性的空间表现,对于高分辨率预报来讲,能够提供更客观、全面的评估。

河西走廊地处西北地区中北部,受季风气候、高原气候和沙漠气候影响,是典型的干旱与极干旱地区,降水分布不均、变率大,加上河西走廊地形影响,使数值预报模式对河西走廊降水量级及落区的预报存在一定偏差。只有了解智能网格预报模式

偏差特征,才能提高对模式的订正能力^[24],从而提高本地降水的精细化预报水平及服务能力。国家级智能网格指导预报(SCMOC)广泛应用于预报业务,但应用时间较短,还需进一步理解模式性能。本文基于面向对象的MODE空间检验方法,计算分析SCMOC对河西走廊不同量级降水在质心位置、面积大小、长轴、短轴、方位角、雨强等的预报偏差,以期为本地化订正及模式改进提供参考依据。

1 资料和方法

1.1 资料

格点降水实况采用国家信息中心研发的地—面—雷达—卫星三源融合降水分析产品(CMA Multi—source Merged Precipitation Analysis System, CMPAS),其质量优良,能合理地反映中国地区降水空间分布^[25]。资料时段为2019—2022年汛期(5—9月),时间分辨率为1 h,空间分辨率为0.05°×0.05°。模式数据为同时期每日下发的国家级智能网格指导预报(SCMOC),水平分辨率与CMPAS相同,SCMOC为每日08:00(北京时,下同)和20:00起报未来逐12 h不同量级的降水预报客观产品,处理后预报和CMPAS的时效统一对应为12 h累计降水。选取2019年6月26日河西走廊明显降水过程,给出基于目标识别的降水量检验及产品的实际应用效果。研究范围为甘肃河西走廊(36°~42°N,92°~104°E)。逐12 h各量级降水标准为:小雨0.1~4.9 mm,中雨5.0~14.9 mm,大雨15.0~29.9 mm,暴雨30.0~69.9 mm。

1.2 检验方法

经典检验法采用常用的TS评分(TS)、偏差(B)、命中率(Hit Ratio, HR)和空报率(False Alarm Ratio, FAR)描述模式的预报能力。计算公式如下:

$$T_{Sk} = \frac{N_{Ak}}{N_{Ak} + N_{Bk} + N_{Ck}}, \quad (1)$$

$$B_k = \frac{N_{Ak} + N_{Bk}}{N_{Ak} + N_{Ck}}, \quad (2)$$

$$H_{Rk} = \frac{N_{Ak}}{N_{Ak} + N_{Ck}}, \quad (3)$$

$$F_{ARk} = \frac{N_{Bk}}{N_{Bk} + N_{Ak}}. \quad (4)$$

式中: N_{Ak} 、 N_{Bk} 、 N_{Ck} 分别为 k 量级降水预报正确、空报、漏报的站数。 T_{Sk} 为 k 量级降水预报的TS评分(T_{Sk} 取值范围为0~1,当预报和观测降水完全重合, $T_{Sk}=1$, T_{Sk} 越接近于0,预报效果越差); B_k 为 k 量级降

水预报的偏差, $B_k > 1$ ($B_k < 1$)表示预报面积多于(少于)观测面积,有空报(漏报)倾向, $B_k=1$ 时,预报与观测面积相等,偏差评分最优); H_{Rk} 为 k 量级降水预报的命中率, F_{ARk} 为 k 量级降水预报的空报率(最理想的预报是命中率为100%和空报率为0%)。

面向对象的MODE空间检验方法使用卷积对格点场进行平滑处理,将范围较小的孤立对象全部滤去,再用阈值法进行过滤,识别实况降水场和预报场不同降水量级的降水主雨带,选择匹配度阈值进行目标配对,对已经配对的降水样本进行空间检验,计算时间、质心位置、面积大小、长轴、短轴、方位角、雨强的误差,分析不同量级降水智能网格预报误差的规律,并利用模糊逻辑函数计算预报与观测对象的相似度^[26]。

2 检验结果分析

2.1 降水预报总体TS评分

对SCMOC每日08:00和20:00起报未来逐12 h不同量级的降水预报客观产品进行检验(图1),降水量级为小雨时TS最大(0.41)(图1a),其次是中雨(0.26),大雨为0.20,暴雨最小,为0.05,即降水量级越小,TS评分越大。各量级降水 B (图1b)均<1,说明预报面积均偏小,其中暴雨偏差最大(0.28),小雨偏差最小(0.58),即量级越大,偏差越大。暴雨空报率最大,为0.75,小雨最小,为0.22(图1c)。命中率(图1d)和空报率正好相反,小雨最大(0.46),暴雨最小(0.06),命中率大于空报率,量级越大,命中率越小。

主要原因:(1)河西走廊地形复杂,有高山峻岭、沙漠戈壁和绿洲草原,降水少、量级小,分布严重不均,大雨以上量级降水较少,且表现为局地性强,并以强对流天气为主;(2)相对其他地区,SCMOC对干旱区的降水预报能力稍弱,对小面积分散性的暴雨漏报较多^[11];(3)河西走廊雷达覆盖面积少,站点分布稀疏,特别是河西走廊西部山地以及西北部无站点或站点稀疏,CMPAS产品与实况真值有一定的偏差,局地性暴雨反应更差^[27-29]。

2.2 命中目标检验指标的综合分析

2.2.1 目标整体相似度

通常认为目标相似度达到0.7,表示模式对雨带的预报较准确^[26]。小雨预报相似度为0.75,中雨为0.72,大雨为0.73,暴雨为0.25。说明SCMOC对河西走廊降水预报能力较好,各量级降水中,暴雨相

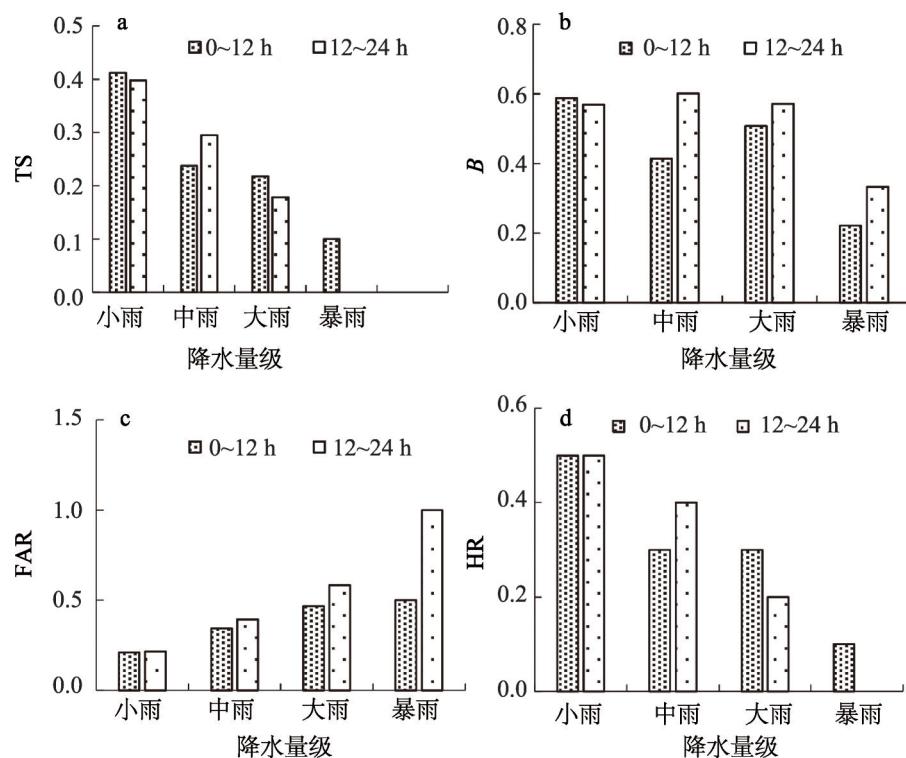


图1 2019—2022年汛期SCMOC逐12 h不同量级降水TS(a)、B(b)、FAR(c)和HR(d)

Fig. 1 (a) TS, (b) B, (c) FAR and (d) HR for different grades of precipitation forecast by SCMOOC at 12-hour intervals during the flood season in the Hexi Corridor from 2019 to 2022

似度最小,但对干旱及极干旱区暴雨突发性、局地性特点,命中暴雨相似度达到0.25,预报能力表现较好。

2.2.2 目标轴属性

2.2.2.1 主轴和次轴长度

由各量级降水观测实况和预报的主轴(图2)、次轴(图3)长度可知,主轴长度中雨偏长占比最多(图2b),有185个,占61.7%,其次是小雨865个目标偏长(图2a,3b),占58.6%,大雨偏长19个(图2c),占57.9%,暴雨命中1个目标,偏长0.096。次轴长度中雨偏长占比最多(图3b),偏长179个,占59.9%,

其次是大雨偏长19个(图3c),占57.9%,小雨占比最小(图3a),784个目标偏长,占53.1%,暴雨次轴长度偏短0.010。通过相关分析,主、次轴长度预报与观测相关系数小雨相关性最好,分别为0.75和0.72;其次是中雨,为0.61和0.53;大雨最差,为0.35和0.26。小雨和中雨相关性都通过0.01的显著性检验,大雨相关性较差,未通过检验。

综上,对以小量级降水为主的极干旱区,SCMOOC对小雨和中雨主轴和次轴长度预报偏差较小,受模式以及实况产品在研究区的误差影响,对大雨以上量级降水主轴和次轴长度预报偏差较大。

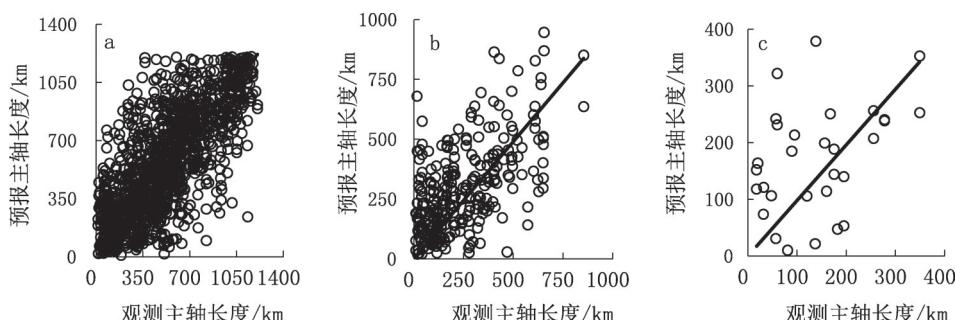


图2 2019—2022年汛期SCMOC 0~12 h 和 12~24 h 主轴长度检验:(a)小雨;(b)中雨;(c)大雨

Fig. 2 Main length test of SCMOOC for 0~12 h and 12~24 h during the flood season in the Hexi Corridor from 2019 to 2022: (a) light rain; (b) moderate rain; (c) heavy rain

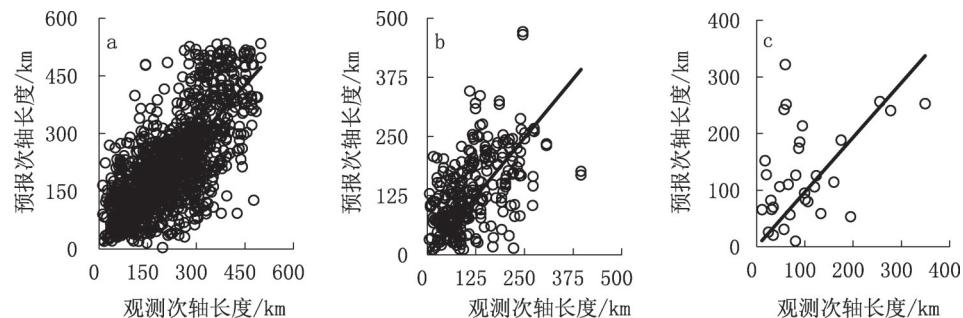


图3 2019—2022年汛期SCMOD 0~12 h 和 12~24 h 次轴长度检验:(a)小雨;(b)中雨;(c)大雨

Fig. 3 Sub-axis test of SCMOD for 0~12 h and 12~24 h during the flood season in the Hexi Corridor from 2019 to 2022: (a) light rain; (b) moderate rain; (c) heavy rain

2.2.2.2 主轴倾角

雨带走向,即主轴倾角(图4),以十六方位的 22.5° 作为评议范围。76.3%的小雨主轴倾角预报(图4a)和实况接近,其中208个目标偏西北—东南向,143个目标偏东北—西南向;68.2%的中雨(图4b)和实况接近,偏西北—东南向58个目标,东北—西南向37个目标;大雨(图4c)除有2个目标偏东北—西南向外,其余目标预报与实况接近;暴雨预报与实况接近。模式预报与观测的相关系数小雨为0.25,大雨为0.82,都通过0.01的显著性检

验;中雨为0.16,通过0.05的显著性检验。

SCMOD对河西走廊70%的各量级雨带走向预报较准确。河西走廊由西北向东南海拔高度升高,往往海拔高度越高,降水越多^[30],所以模式对雨区范围较大的小雨及中雨雨带偏向西北—东南的较多,大雨和暴雨雨带范围较小,局地性居多,倾角偏差较小,和实况接近。

2.2.3 目标面属性

2.2.3.1 面积

对于格点形式的模式降水目标,面积可以通过

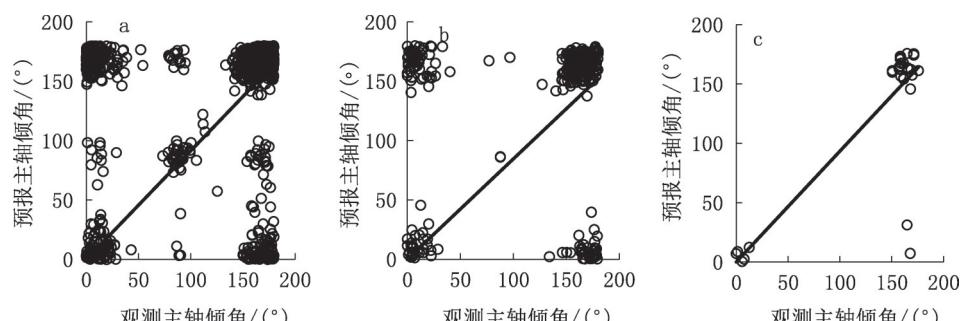


图4 2019—2022年汛期SCMOD 0~12 h 和 12~24 h 主轴倾角检验:(a)小雨;(b)中雨;(c)大雨

Fig. 4 Spindle inclination test of SCMOD for 0~12 h and 12~24 h during the flood season in the Hexi Corridor from 2019 to 2022: (a) light rain; (b) moderate rain; (c) heavy rain

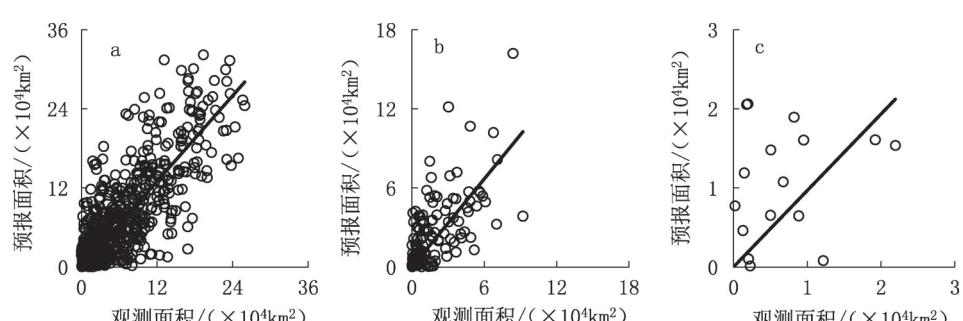


图5 2019—2022年汛期SCMOD 0~12 h 和 12~24 h 面积检验:(a)小雨;(b)中雨;(c)大雨

Fig. 5 Area test of SCMOD for 0~12 h and 12~24 h during the flood season in the Hexi Corridor from 2019 to 2022: (a) light rain; (b) moderate rain; (c) heavy rain

目标的格点数确定,根据实况降水格点数和预报降水格点数的分布分析降水的面积偏差(图5)。大雨面积偏差最大(图5c),22个目标预报面积偏大,占比67.8%;其次是小雨(图5a),911个目标预报面积偏大,占比61.8%;中雨最小(5b),183个目标预报面积偏大,占比60.9%,暴雨的预报比实况面积稍偏小。目标面积预报与观测相关系数小雨为0.78,中雨为0.58,大雨为0.30,小雨和中雨相关性都通过0.01的显著性检验,大雨相关性较差,未通过检验。

小雨和中雨预报面积效果较大雨好,其原因与主轴、次轴长度预报误差原因一致。

2.2.3.2 中位数强度

以50%分位数降水强度对比分析预报降水和实况降水的强度偏差(图6),小雨(图6a)有1 008个目标预报强度偏强,占68.1%;中雨、大雨和暴雨强度偏弱,其中大雨(图6c)有24个目标预报强度偏弱,占74.2%,偏弱占比最大;其次是中雨(图6b),173个强度偏弱,占58.0%;暴雨预报雨强较实况偏弱11.1%。中位数强度预报与观测相关系数小雨为0.51,中雨为0.37,大雨为0.12,小雨和中雨相关性都通过0.01的显著性检验,大雨相关性较差,未通过

过显著性检验。

SCMO对小雨预报强度较实况偏强,中雨及以上量级预报强度偏弱。总体上,小雨和中雨预报强度较大雨偏差小。强对流引起的大雨及暴雨往往强度较强,目前各模式对对流性局地暴雨估计偏弱^[31-32]。

2.2.3.3 质心

由不同量级降水预报与实况的质心即经纬度偏差(图7,8)可知,设定“最佳拟合”的最大平移角度为 5° ^[33],由于研究范围仅限于甘肃省河西走廊地区($36^{\circ}\sim42^{\circ}\text{N}$, $92^{\circ}\sim104^{\circ}\text{E}$),南北总跨度约 6° ,东西跨度约 12° ,以 5° 作为评议范围,对偏差的计算显得比较粗糙,因此设定最大平移角度为东西(质心x)为 2° ,南北(质心y)为 1° 。

质心x准确率最大为暴雨,实况和预报分别为 103.3° 和 103.2° ,几乎重合;其次是大雨(图7c),准确率为100%;中雨(图7b)准确率为98.0%,其中5个目标偏西,占1.8%,1个目标偏东,占0.6%;小雨最小(图7a),准确率为91.0%,其中84个目标偏西,占6.3%,40个目标偏东,占2.5%,位置偏西占比大于偏东。

质心y重合度最高的是暴雨,实况和预报分别

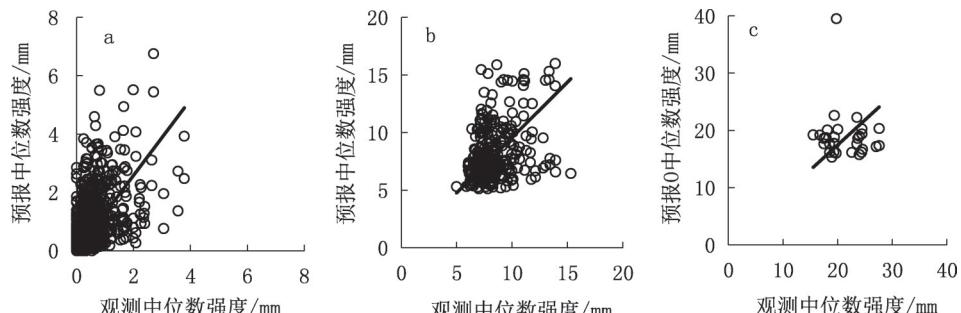


图6 2019—2022年汛期SCMO 0~12 h 和 12~24 h 中位数强度检验:(a)小雨;(b)中雨;(c)大雨

Fig. 6 Median intensity test of SCMO for 0~12 h and 12~24 h during the flood season in the Hexi Corridor from 2019 to 2022: (a) light rain; (b) moderate rain; (c) heavy rain

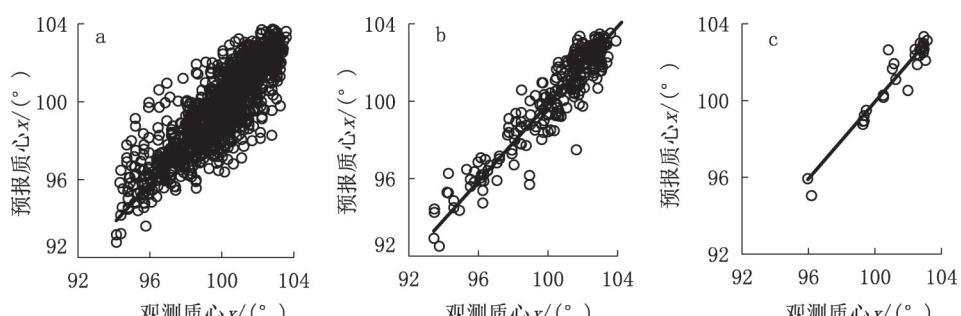


图7 2019—2022年汛期SCMO 0~12 h 和 12~24 h 质心x检验:(a)小雨;(b)中雨;(c)大雨

Fig. 7 Center of mass x-test of SCMO for 0~12 h and 12~24 h during the flood season in the Hexi Corridor from 2019 to 2022: (a) light rain; (b) moderate rain; (c) heavy rain

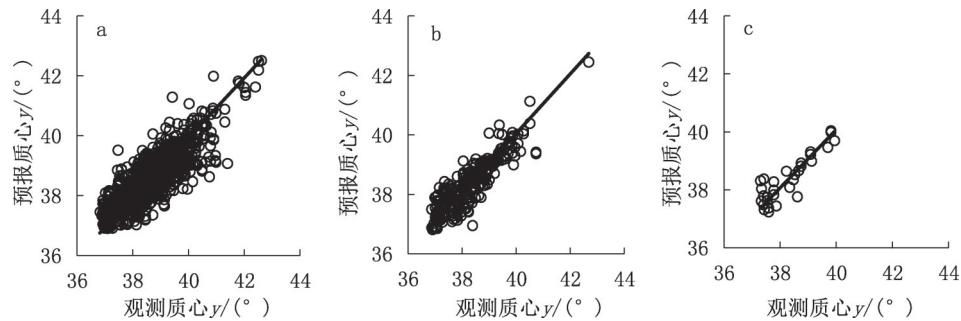


图8 2019—2022年汛期SCMOC 0~12 h 和 12~24 h 质心y检验:(a)小雨;(b)中雨;(c)大雨

Fig. 8 Center of mass y-test of SCOMC for 0~12 h and 12~24 h in flood season over Hexi Corridor from 2019 to 2022: (a) light rain; (b) moderate rain; (c) heavy rain

为 37.2° 和 37.7° ;其次是中雨(图8b),准确率为97.7%,4个目标偏北,占1.3%,4个目标偏南,占1.0%;大雨准确率为96.9%(图8c),1个目标偏北;小雨准确率最小(图8a),为95.0%,其中49个目标偏南,占3.6%,18个目标偏北,占2.4%。

各量级质心x和质心y预报与观测相关性都通过0.01的显著性检验,相关系数均在0.80以上,说明SCMOC各量级降水预报集中度较好。

3 典型个例检验结果分析

选取2019年6月25日20:00(北京时,下同)起报,26日08:00和20:00逐12 h(0~12 h,12~24 h)降水量进行个例分析。从各量级降水观测场和预报场分布(图9)可知,26日08:00和20:00,观测降水雨带(图9a、b)主要位于河西走廊酒泉以东地区,呈西北—东南向,大值中心出现在河西走廊东部,模式预报(图9c、d)与观测比较吻合,但落区、强度局部出现偏差。对各量级降水目标对的匹配度及诊

断量进行计算,给出空间检验的量化判别:0~12 h小雨、中雨和大雨的空间综合匹配度分别为0.95、0.96和0.97,暴雨的空间综合匹配度较差,仅为0.49,预报较观测主轴偏长且倾角偏向 $>22.5^{\circ}$,位置偏西偏北,强度明显偏弱。12~24 h小雨和中雨的空间综合匹配度分别为0.91和0.90。总体上,模式对河西走廊各量级降水的落区及强度预报能力较强,0~12 h的预报能力强于12~24 h。但偏西偏北地区和偏西偏南沿山区漏报和空报较多,且大雨及以上量级雨强预报偏弱。主要原因是河西走廊西部的南部靠近祁连山,海拔3 000~5 000 m,目前没有测站,CMPAS产品在区域有误差,所以有无降水存疑;北部北山和山间盆地海拔多在1 400~2 400 m和1 000~1 700 m,此次降水是冷空气叠加地形,出现分散的阵性降水,雨量总体不大,也有不均匀性,而且北面只有马鬃山一个站点,CMPAS产品也存在一定误差。

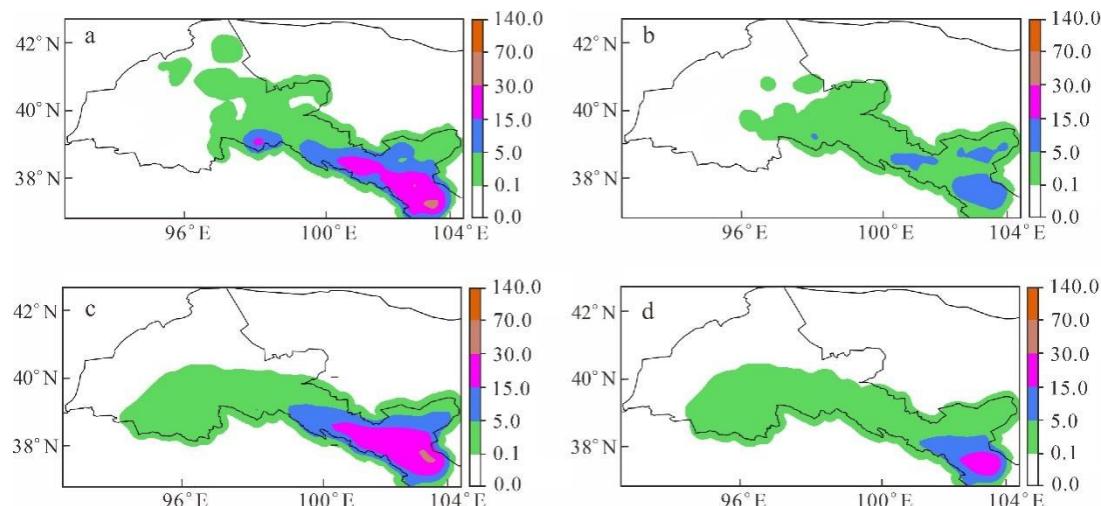


图9 2019年6月26日不同量级降水观测(a、b)和预报(c、d)场(单位mm):(a, c) 0~12 h;(b, d) 12~24 h

Fig. 9 Precipitation observation (a, b) and forecast (c, d) field on June 26, 2019 (unit: mm): (a, c) 0~12 h; (b, d) 12~24 h

4 结论和讨论

利用 2019—2022 年 5—9 月国家级智能网格指导预报(SCMOD)和三源融合网格实况降水分析产品(CMPAS),检验河西走廊不同量级降水预报和观测在面积、强度、质心距离、位移距离方面的偏差。得出以下结论:

(1)各量级降水预报的 TS 为小雨(0.41)>中雨(0.26)>大雨(0.20)>暴雨(0.05),量级越小,TS 越大;对各量级降水预报漏报偏多,量级越大,偏差越大;命中率大于空报率,量级越大,命中率越小。

(2)暴雨以下量级降水目标相似度为 0.71~0.75,暴雨目标相似度为 0~0.49。

(3)各量级降水目标长度和宽度都有扩大现象,大雨以下量级降雨预报偏差较小,对 70% 的各量级雨带走向预报较准确,中雨及以下量级雨带偏向西北—东南的较偏向东北—西南的多,大雨和暴雨雨带和实况接近。

(4)对各量级降水的预报面积比实况面积偏大(除暴雨);相比大雨以上量级预报强度,小雨和中雨的预报强度偏差小,小雨预报强度较实况偏大,中雨及以上量级预报强度偏小,各量级降水预报集中度较好。

(5)通过典型个例检验,SCMOD 对大雨以下量级降水空间分布形态能够较好地反映,对雨带和雨强预报较好,但对大雨及以上量级雨带及雨强预报能力较弱,位置偏北偏西,强度偏弱。

SCMOD 降水产品对研究区小雨和中雨范围、强度的预报能力较好,对大雨和暴雨的预报能力较弱,强度偏小,相对于站点评分结果偏低,特别是局地性大降水在业务中订正的时候需要结合多种产品综合分析。不同环流型降水偏差有一定差异,本文未对降水进行分型检验,分析结果存在一定不足,未来需通过精细的逐月降水分型进行检验对比分析,提高订正能力和预报准确率。

参考文献(References):

- [1] 杨波,郑永光,蓝渝,等.国家级强对流天气综合业务支撑体系建设 [J]. 气象, 2017, 43(7): 845-855. YANG Bo, ZHENG Yongguang, LAN Yu, et al. Development and construction of the supporting platform for national severe convective weather forecasting and service[J]. Meteorological Monthly,2017,43(7):845-855.(in Chinese)
- [2] 潘留杰,张宏芳,王建鹏.数值天气预报检验方法研究进展 [J]. 地球科学进展,2014,29(3):327-335. PAN Liujie, ZHANG Hongfang, WANG Jianpeng. Progress on verification methods of numerical weather prediction[J]. Advances in Earth Science, 2014, 29(3): 327-335. (in Chinese)
- [3] 漆梁波.高分辨率数值模式在强对流天气预警中的业务应用进展 [J]. 气象, 2015, 41(6): 661-673. QI Liangbo. Operational progress of high-resolution numerical model on severe convective weather warning[J]. Meteorological Monthly,2015,41(6):661-673.(in Chinese)
- [4] 郭达烽,段明铿,夏旻惠,等.模式降水与温度预报的一致性特征 [J]. 应用气象学报, 2018, 29(3): 321-332. GUO Dafeng, DUAN Mingkeng, XIA Minhui, et al. The inconsistency of forecasting in operational numerical prediction products[J]. Journal of Applied Meteorological Science,2018,29(3):321-332.(in Chinese)
- [5] 李子良,赵滨,李国平.邻域空间检验技术在集合降水预报检验中的应用 [J]. 大气科学学报, 2021, 44(2):189-198. LI Ziliang, ZHAO Bin, LI Guoping. An extended spatial verification technique for ensemble precipitation forecasts [J]. Transactions of Atmospheric Sciences,2021,44(2):189-198.(in Chinese).
- [6] 王宁,平凡.垂直分辨率对广州“5·7”特大暴雨数值模拟影响的研究 [J]. 大气科学, 2019, 43(6):1245-1264. WANG Ning, PING Fan. The impact of vertical resolution at different levels on the numerical simulation of the torrential rain in Guangzhou on 7 May 2017[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2019, 43(6): 1245-1264. (in Chinese)
- [7] 潘留杰,薛春芳,梁绵,等.网格降水预报客观检验订正方法研究进展 [J]. 气象科技进展, 2022, 12(3): 15-24. PAN Liujie, XUE Chunfang, LIANG Mian, et al. Research progress on objective verification and correction methods of Grid precipitation forecast[J]. Advances in Meteorological Science and Technology, 2022, 12(3): 15-24.(in Chinese)
- [8] Casati B, Wilson L J, Stephenson D B, et al. Forecast verification: current status and future directions[J]. Meteorological Applications,2008,15(1):3-18.
- [9] Mass C F, Ovens D, Westrick K, et al. Does increasing horizontal resolution produce more skillful forecasts? [J]. Bulletin of the American Meteorological Society,2002,83 (3):407-430.
- [10] Ahijevych D, Gilleland E, Brown B G, et al. Application of spatial verification methods to idealized and NWP—gridded precipitation forecasts[J]. Weather and Forecasting,2009,24(6):1485-1497.
- [11] 潘留杰,张宏芳,刘静,等.智能网格 SCMOD 及多模式降水预报对比 [J]. 大气科学学报, 2023, 46(2):217-229. PAN Liujie, ZHANG Hongfang, LIU Jing, et al.

- Comparative analysis of SCMOD and various numerical models for precipitation forecasting[J]. Transactions of Atmospheric Sciences,2023,46(2):217-229.(in Chinese)
- [12] Jolliffe I T, Stephenson D B. Comments on "Discussion of verification concepts in forecast verification: a practitioner's guide in atmospheric science"[J]. Weather and Forecasting,2005,20(5):769-800.
- [13] 姜勇强,张维桓,周祖刚.模式水平分辨率提高对一段大暴雨预报结果的影响[J].高原气象,2006,25(6):1071-1082. JIANG Yongqiang, ZHANG Weihuan, ZHOU Zugang. Impact of finner model horizontal resolution on a heavy rainstorm forecast[J]. Plateau Meteorology,2006, 25(6):1071-1082.(in Chinese)
- [14] 郑永光,张小玲,周庆亮,等.强对流天气短时临近预报业务技术进展与挑战[J].气象,2010,36(7): 33-42. ZHENG Yongguang, ZHANG Xiaoling, ZHOU Qingliang, et al. Review on severe convective weather short-term forecasting and nowcasting[J]. Meteorological Monthly,2010,36(7):33-42.(in Chinese)
- [15] Gilleland E, Ahijevych D, Brown B G, et al. Intercomparison of spatial forecast verification methods [J]. Weather and Forecasting,2009,24(5):1416-1430.
- [16] Griffin S M, Otkin J A, Rozoff C M, et al. Methods for comparing simulated and observed satellite infrared brightness temperatures and what do they tell us? [J]. Weather and Forecasting,2017,32(1):5-25.
- [17] Johnson A, WANG X G. Object-based evaluation of a storm-scale ensemble during the 2009 NOAA hazardous weather testbed spring experiment[J]. Monthly Weather Review,2012,141(3):1079-1098.
- [18] Micheas A C, Fox N I, Lack S A, et al. Cell identification and verification of QPF ensembles using shape analysis techniques[J]. Journal of Hydrology, 2007, 343(3/4): 105-116.
- [19] 李佳,陈葆德,徐同.目标检验方法在高分辨率数值天气预报检验中的应用[J].沙漠与绿洲气象,2016,10(5): 1-9. LI Jia, CHEN Baode, XU Tong. Application of the object-based verification method for high resolution NWP[J]. Desert and Oasis Meteorology,2016, 10(5): 1-9. (in Chinese)
- [20] 薛春芳,潘留杰.基于 MODE 方法的日本细网格模式降水预报的诊断分析[J].高原气象,2016,35(2):406-418. XUE Chunfang, PAN Liuji. Diagnostic analysis of precipitation forecasting from Japan thin-grid model based on MODE[J]. Plateau Meteorology, 2016, 35(2): 406-418.(in Chinese)
- [21] 徐同,杨玉华,谭燕,等.2018年三个华东登陆台风暴雨数值预报结果的空间检验[J].暴雨灾害,2022,41(4): 365-374. XU Tong, YANG Yuhua, TAN Yan, et al. Spatial verification of multi-model forecast of three landing typhoons induced rainstorm in East China in 2018[J]. Torrential Rain and Disasters, 2022, 41(4): 365-374. (in Chinese)
- [22] 周胜男,王东勇,冯颖,等.安徽省2021年梅雨期降水预报检验分析[J].沙漠与绿洲气象,2024,18(1):165-173. ZHOU Shengnan, WANG Dongyong, FENG Ying, et al. Verification and analysis of precipitation forecast during the Meiyu Period of 2021 in Anhui Province[J]. Desert and Oasis Meteorology,2024,18(1):165-173.(in Chinese)
- [23] 尤凤春,王国荣,郭锐,等.MODE方法在降水预报检验中的应用分析[J].气象,2011,37(12): 1498-1503. YOU Fengchun, WANG Guorong, GUO Rui, et al. The application analysis of MODE method to the rainfall forecast Test[J]. Meteorological Monthly, 2011, 37(12): 1498-1503.(in Chinese)
- [24] 孔祥伟,张君霞,杨晓军,等.西北地区东部强降水大尺度数值模式预报空间偏差分析[J].高原气象,2022,41 (5):1109-1123.KONG Xiangwei, ZHANG Junxia, YANG Xiaojun, et al. Spatial deviation analysis of heavy precipitation forecast of large scale numerical weather prediction in eastern northwest China[J]. Plateau Meteorology,2022,41(5):1109-1123.(in Chinese)
- [25] 孙帅,师春香,潘旸,等.中国区域三源融合降水产品的改进效果评估[J].水文,2020,40(6): 10-15, 23. SUN Shuai, SHI Chunxiang, PAN Yang, et al. The improved effects evaluation of three-Source merged of precipitation products in China[J]. Journal of China Hydrology,2020,40(6):10-15,23.(in Chinese)
- [26] 刘湊华,牛若芸.基于目标的降水检验方法及应用[J].气象,2013,39(6): 681-690. LIU Couhua, NIU Ruoyun. Object-based precipitation verification method and its application[J]. Meteorological Monthly,2013, 39(6): 681-690.(in Chinese)
- [27] 杨轩,曾燕,邱新法,等.基于机器学习算法的多源月尺度融合降水产品在中国区域的检验评估[J].暴雨灾害, 2023, 42(5): 595-605. YANG Xuan, ZENG Yan, QIU Xinfu, et al. Examination and evaluation of multi-source monthly scale fusion precipitation product in China based on machine learning algorithm[J]. Torrential Rain and Disasters,2023,42(5):595-605.(in Chinese)
- [28] 刘菊菊,陈小婷,肖贻青,等.降水融合格点产品在陕西2019年暴雨过程中的检验[J].陕西气象,2022(2):1-9. LIU Juju, CHEN Xiaoting, XIAO Yiqing, et al. Inspection of merging gridded precipitation products during rainstorm processes in 2019 in Shaanxi[J]. Journal of Shaanxi Meteorology,2022(2):1-9.(in Chinese)
- [29] 陈小婷,刘瑞芳,梁绵,等.三源融合降水产品在陕西省的适用性评估 [J].陕西气象, 2023(1): 1-7. CHEN

- Xiaoting, LIU Ruifang, LIANG Mian, et al. Applicability evaluation of CMPAS in Shaanxi Province[J]. Journal of Shaanxi Meteorology, 2023(1):1-7.(in Chinese)
- [30] 李玲萍,刘维成,张宇林,等.石羊河流域主汛期降水日变化特征[J].中国沙漠,2015,35(5): 1291-1300. LI Lingping, LIU Weicheng, ZHANG Yulin, et al. Diurnal variation of precipitation in flood season over the Shiyanghe river basin[J]. Journal of Desert Research, 2015,35(5):1291-1300.(in Chinese)
- [31] 张芳,张芳华,孔期,等.2018年5月21日四川盆地极端大暴雨的中尺度成因和预报偏差分析[J].气象,2022,48 (6):691-704.ZHANG Fang,ZHANG Fanghua,KONG Qi, et al. Mesoscale mechanisms and forecast bias of the extreme rainstorm in Sichuan Basin on 21 May 2018[J]. Meteorological Monthly, 2022, 48(6): 691-704. (in Chinese)
- [32] 赵强,王楠,陈小婷,等.“8·21”陕西中北部暴雨成因对比及预报偏差分析[J].干旱气象,2020,38(4):559-568. ZHAO Qiang, WANG Nan, CHEN Xiaoting, et al. Analysis on causes and prediction deviation of the “8·21” heavy rain in Northern and Central Part of Shaanxi Province[J]. Journal of Arid Meteorology, 2020, 38(4): 559-568.(in Chinese)
- [33] 符娇兰,代刊.基于CRA空间检验技术的西南地区东部强降水EC模式预报误差分析[J].气象,2016,42(12): 1456-1464. FU Jiaolan, DAI Kan. The ECMWF model precipitation systematic error in the East of Southwest China based on the contiguous rain area method for spatial forecast verification[J]. Meteorological Monthly, 2016,42(12):1456-1464.(in Chinese)

Inspection of SCMOG Precipitation Forecast Based on MODE Method in Hexi Corridor

LI Lingping¹, LI Tianjiang¹, LI Yanying^{1,2}, FU Fenqi³, WU Wen¹, CHEN Jing¹

(1. Wuwei National Climate Observatory, wuwei 733000, China;

2. Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration/ Key laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province/ Key Open Laboratory of Arid Climatic Change and Disaster Reduction of China Meteorological Administration, Lanzhou 730020, China;

3. Lanzhou Central Meteorological Observatory, Lanzhou 730020, China)

Abstract Using the refined grid precipitation forecast guidance product SCMOG and the three-source fusion grid live precipitation analysis data (CMPAS) from the National Meteorological Center from May to September 2019-2022, the precipitation forecast performance of the intelligent grid forecast SCMOG in the Hexi Corridor was analyzed using classical testing and the MODE spatial test method. The results showed that: (1) The TS for different grades of precipitation forecasted by SCMOG was: light rain (0.41)>moderate rain (0.26)>heavy rain (0.20)>torrential rain (0.05). The magnitude was smaller as the TS value increased, with smaller deviations and greater hit rates. (2) The forecast similarity for light rain, moderate rain, and heavy rain by SCMOG reached 0.71-0.75, while the similarity for torrential rain was 0.25. (3) The target axis attribute showed that SCMOG expanded the length and width of the target axis for different grades of precipitation. Light rain and moderate rain bands were more biased toward the northwest-southeast direction than the northeast-southwest. The heavy rain and torrential rain bands were closer to the actual observed situation. (4) The forecast area of SCMOG for different grades of precipitation (except torrential rain) was larger than the actual area. The forecast intensity for light rain was stronger, while the forecast intensity for moderate rain and above was weaker. The concentration of precipitation forecasts for each magnitude was better, with the forecast for individual light rain bands situated to the west and south, and the forecast for moderate rain and above positioned to the west and north.

Key words SCMOG; MODE; Hexi Corridor; precipitation