

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.

文章编号:1006-4354(2023)01-0001-07

三源融合降水产品在陕西省的适用性评估

陈小婷^{1,2},刘瑞芳³,梁绵¹,刘菊菊¹

(1. 陕西省气象台,西安 710014;

2. 陕西省气象局秦岭和黄土高原生态环境重点实验室,西安 710016;

3. 西安市气象台,西安 710016)

摘要:基于陕西省 391 个自动站逐小时降水量观测数据对国家级格点实况三源融合降水产品的适用性进行检验评估,结果表明:融合降水产品与站点观测之间的误差小、相关性高,但融合降水产品的标准差和极大值明显小于站点观测;相关系数较低的站点以区域站为主,国家气象观测站的效果明显优于区域站;误差时空分布和降水特征关系密切,在降水频次增多和强度增大时,融合降水产品相比站点观测的误差增大。将融合降水产品视为一种“预报”,站点观测资料作为“真值”进行分级检验,结果显示:融合降水产品可以较好反映有无降水,随降水量级增大空报率变化平稳,漏报率增长明显,导致 TS 评分逐渐下降。对典型个例的误差成因分析显示:融合降水产品可以较好地体现降水起止时间及性质、强弱演变趋势,但对雨强较大的区域性降水、分散性局地强降水表现欠佳。多种指标综合显示:融合降水产品小量级降水准确率高,对大雨以上量级降水强度有一定程度削弱;陕南秦巴山地的融合降水产品与站点观测偏差较大,应用中需特别关注。

关键词:格点实况分析产品;融合降水产品;检验评估;分级检验

中图分类号:P456.7

文献标识码:A

随着精细化天气预报业务迅速发展,智能网格预报业务对格点分析产品的需求日益增长,以格点实况场为参考可以实现对高分辨率网格预报的质量跟踪和性能评估^[1]。为此,国家气象中心将常规观测、天气雷达、卫星等多种资料进行融合,获得了高精度、高质量、时空连续的多源融合气象格点产品,其中降水产品融合了 2 400 余个国家级自动站以及业务考核的近 4 万区域站实况观测数据、多种卫星降水等资料,包括二源(地面、卫星)和三源融合(地面、雷达、卫星)降水产品^[2-4]。该产品作为气象实况信息,能够提升观测资料的覆盖面和质量水平,在智能网格预报、灾害监测预警、产品检验、决策服务等业务领域发挥着

积极意义^[5]。对其进行检验评估,是产品优化升级,进一步开展预报检验、客观订正方法研发等多领域应用的基础。目前格点实况产品在全国不同地区的效果评估已逐步开展^[6-12]:沈艳等^[6]对中国区域小时降水量融合产品的质量评估显示,融合降水产品有效利用了地面观测和卫星反演降水各自的优势,在降水量值和空间分布上更合理;龙柯吉等^[7]和吴薇等^[8]对降水融合产品在四川地区评估显示,多种融合降水产品均能反映强降水的时空变化趋势,但降水极大值较站点观测有一定的低估,三源融合降水产品各项指标较二源融合产品更优;许冠宇等^[9]选取 8 次降水过程对国家级融合降水产品在长江流域的适用性进行评估;

收稿日期:2021-12-02

作者简介:陈小婷(1984—),女,汉族,陕西宝鸡人,硕士,高工,从事灾害性天气机理及客观预报方法研究。

通信作者:刘瑞芳(1978—),女,汉族,山东潍坊人,硕士,高工,从事高影响天气预报分析及客观方法研究。

基金项目:中国气象局预报员专项(CMAYBY2020-129);陕西省气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室开放基金课题(2020K-1,2020K-5)

俞剑蔚等^[10]的研究显示,格点实况数据在江苏平原地区有较高精度,基本可以代替站点观测作为预报和模式检验的实况场,但气温和相对湿度在丘陵地带误差较大。

陕西省地域狭长、地势南北高、中间低,有高原、山地、平原和盆地等多种地形,北山和秦岭从北向南把陕西分为陕北高原、关中平原和陕南秦巴山地三个地貌区。国家级融合降水产品在本地复杂地形下能否合理体现该区域降水特征?另外,陕西省近年来基于“动态交叉最优要素预报”方法建立了本地智能网格预报系统^[13],对该产品的检验多采用格点插值到站点的方法^[14-15],是否可以基于格点实况开展检验评估?鉴于以上问题,本文通过数值型指标、传统 TS 评分等检验方法对国家级三源融合降水产品进行检验评估,分析讨论该产品在陕西地区的真实性和可用性,为改进格点实况产品质量,在研究型业务中科学合理使用该产品奠定基础。

1 数据

所用数据包括陕西省自动站逐小时观测降水数据和气象信息中心下发的三源融合降水产品。

(1)根据《实况分析产品质量评估规范(2019版)》的建议,选取陕西省 99 个国家气象观测站(简称国家站)、292 个经质控的考核区域自动站(简称区域站)2019 年 5 月 1 日—10 月 31 日逐小时降水数据。通过 CIMISS 接口获取观测资料 1 720 156 条,其中质控码为 0(数据正确)的 1 708 546 条,质控码为 4(数据为修改值)的 2 062 条,其余异常或缺测非 0 质控码数据 9 548 条,选取质控码为 0 和 4 的数据参与检验,共计 1 710 608,占比 99.4%。

(2)通过 CIMISS 接口获取 2019 年 5 月 1 日—10 月 31 日国家级三源融合降水产品(下文简称融合降水产品)。该数据为 GRIB2 格式,空间范围为中国陆地区域(70°E~140°E,0°N~160°N),空间分辨率为 0.05°×0.05°(5 km),时间分辨率为 1 h。剔除站点实况和融合产品缺测值后样本数为 1 692 396 条。

2 评估方法

评估指标及计算方法参考中国气象局《实况

分析产品质量评估规范(2019 版)》,采用自然相邻插值方法将融合降水产品插值到观测点,分析评估其在陕西地区的准确性,数值类评估的指标包括相关系数(C_c),平均误差(E_M),平均绝对误差(E_{MA}),均方根误差(E_{RMS})。将融合降水产品视为一种“预报”,站点观测资料作为“真值”进行降水分级检验,指标包括晴雨准确率(H)、TS 评分(T_S)、空报率(F_{AR})、漏报率(M_R)和 BIAS 评分(B_{IAS}),具体参见公式(1)~(5)。

$$H = (A + D) / (A + B + C + D), \quad (1)$$

$$T_S = A / (A + B + C), \quad (2)$$

$$F_{AR} = B / (A + B), \quad (3)$$

$$M_R = C / (A + C), \quad (4)$$

$$B_{IAS} = (A + B) / (A + C). \quad (5)$$

其中, A 为预报正确站(次)数、 B 为空报站(次)数、 C 为漏报站(次)数、 D 为无降水预报正确的站(次)数。

3 检验结果分析

3.1 数值类评估

通过对 2019 年 5—10 月陕西区域融合降水产品的数值型指标分析,评估融合降水产品在整个汛期的整体误差及准确率。结果显示:站点观测降水平均值为 0.13 mm,标准差为 0.81 mm;融合降水产品平均值 0.13 mm,标准差 0.67 mm。两者的平均误差 0.002 mm,平均绝对误差 0.067 mm,均方根误差 0.188 mm,相关系数 0.84。可见,融合降水产品与站点观测之间的误差小、相关性高,融合降水产品的标准差和极大值都明显小于站点观测,说明站点观测数据发散度大,数据不均匀性高,而融合降水产品的数据更为均匀。

全年相关系数分析显示(图略):51%的站点相关系数大于 0.9,76%以上站点相关系数大于 0.8,在相关系数小于 0.8 的 96 个站中,区域站占比 91%,整体而言国家站的效果明显优于区域站。从空间分布来看,相关系数较低的站点主要分布在陕北北部、秦岭沿线及陕南南部山区。国家站中绝对误差最小的为宝鸡市凤翔站(34.5°N, 107.4°E),误差最大的为安康市平利站(32.4°N, 109.3°E),表 1 为两站相关统计量的对比,其中平

均值表示所有样本小时降水量平均值,用融合产品值减站点观测值表征两者之间的差值,差值为正(负)的样本平均值为正(负)误差均值,表征融合降水产品偏大(小)的情况。从表1可以看出,平利站融合产品总降水量和站点实况相比偏小

48%,平均值偏小47%,而凤翔站融合降水产品和站点实况的总降水、平均值非常接近。平利站的正(负)误差均值、最大绝对偏差都远远大于凤翔站,差值负样本占总样本的83%,表明融合降水产品大多数情况下比站点实况值小。

表1 凤翔站和平利站相关统计量对比

单位:mm

站名	产品类型	总降水量	小时降水量 平均值	小时降水量 最大值	负误差均值	正误差均值	最大绝对误差
凤翔	站点实况	519.6	1.0	11.4			
	融合降水	484.6	0.9	10.2	-0.2	0.2	2.2
平利	站点实况	823.8	1.1	15.3			
	融合降水	431.8	0.6	10.1	-0.8	0.8	13.2

全省降水误差分布显示(图1),陕南的误差明显大于陕北和关中,陕北北部以及关中北部高海拔地区、关中南部山区的误差在本区域内相对较大。平均误差 E_M 有41%为负值,32%为正值,表明融合降水产品低估降水的情况更多(图1a)。平均绝对误差 E_{MA} 全省大部小于0.2 mm,最大值为0.3 mm,85%的站小于0.1 mm(图1b)。逐月 E_{MA} 空间分布可以看出(图略),5月、10月 E_{MA} 较

小,大部分误差小于0.1 mm,7月、9月误差最大,7月大于0.1 mm的占比32%,9月大于0.2的占比7%。陕北误差主要出现在7、8月,关中误差主要出现在8、9月。结合2019年陕西汛期降水分布特征可以看出, E_{MA} 时空分布特征和逐月降水演变特征有较大关系,在降水频次增多和强度增大时,融合降水产品相比站点观测的误差达到一年中最大。

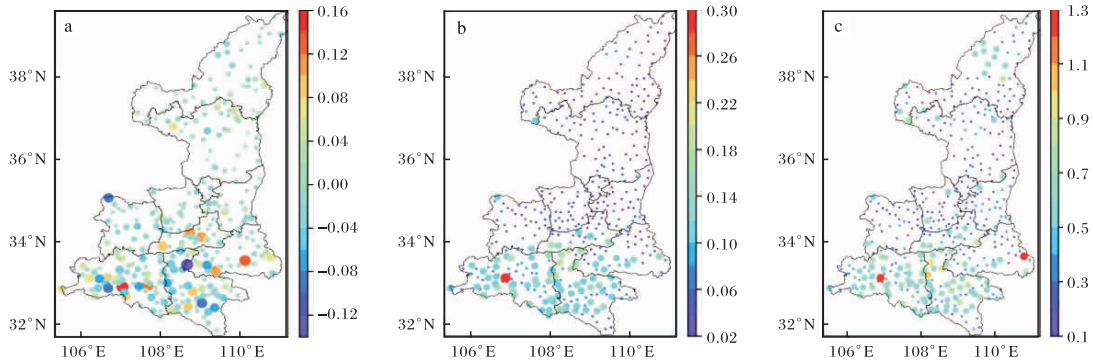


图1 2019年5—10月陕西省逐小时融合降水产品 E_M (a)、 E_{MA} (b)、 E_{RMS} (c)空间分布图(单位为mm;
 E_{MA} 小于0.1 mm用小点显示, E_{RMS} 小于0.5 mm用小点显示;审图号为GS(2019)3082号)

均方根误差 E_{RMS} 全省大部小于1.0 mm,其中73%的站小于0.5 mm,97%的站小于0.8 mm(图1c)。逐月 E_{RMS} 空间分布(图2)可以看出,5月、10月 E_{RMS} 较小,大部分误差小于0.5 mm,6月、9月次之,80%的误差小于0.5 mm,7、8月误差最大,20%以上的站点误差大于0.8 mm,误差

小于0.5 mm的站数下降至55%左右。陕北误差主要出现在7、8月,关中误差主要出现在7、8、9月。和 E_{MA} 类似, E_{RMS} 误差分布和逐月降水演变有较大关系,在降水频次增多和强度增大时,误差逐渐增大。

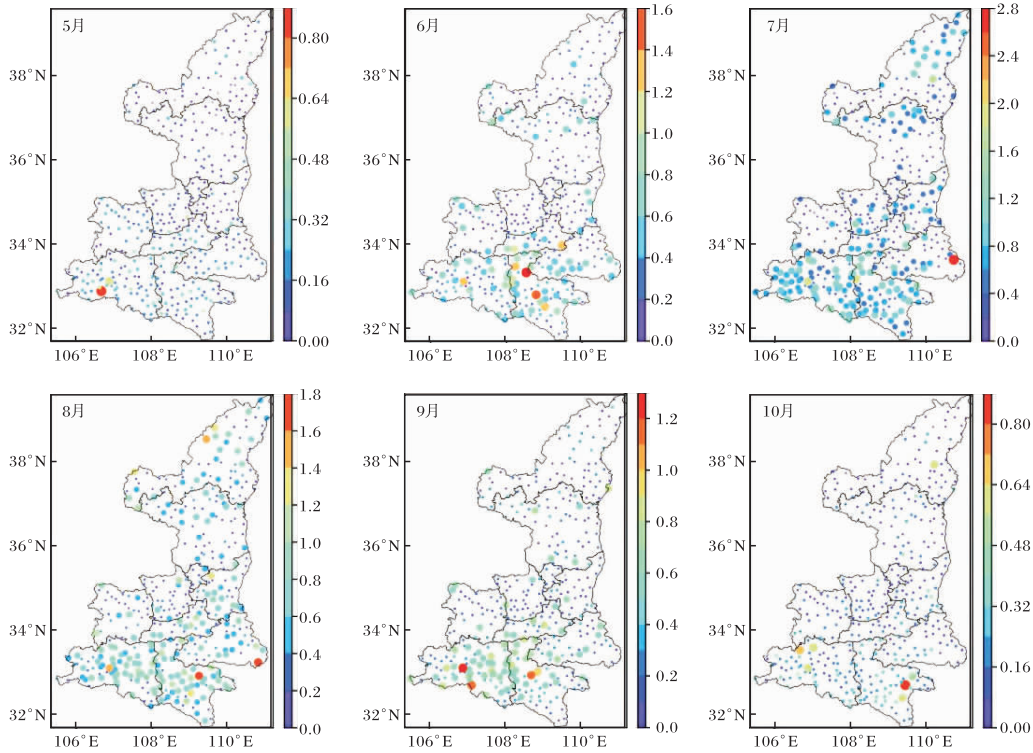


图2 2019年5—10月陕西省逐小时融合降水产品逐月 E_{RMS} 空间分布图(单位为 mm; E_{RMS} 小于 0.5 mm 用小点显示;审图号为 GS(2019)3082 号)

3.2 分级评估

融合降水产品对有无降水以及不同等级降水表现的真实性如何需要进一步通过晴雨准确率、降水分级检验进行分析。将逐小时降水量分为 0.1~1.9 mm、2.0~4.9 mm、5.0~9.9 mm、10.0~19.9 mm、20.0 mm 及以上五个级别,分别对应小雨、中雨、大雨、暴雨及大暴雨进行分级 TS 评分、空报、漏报及 BIAS 的客观检验,进一步分析误差来源及大小。

全省晴雨准确率均大于 80%,最大达到 98%,统计表明,95% 站点的晴雨准确率大于 90%,国家站的准确率高于区域站,国家站中除太白、留坝、镇安、平利外,其余站点晴雨准确率均大于 95%,空间分布显示晴雨准确率比较低的地区主要位于秦岭及陕南山区(图略)。分级检验显示(图 3):TS 评分随着降水量级增大逐渐减低,小雨为 0.64,大暴雨下降至 0.22;空报率相对比较稳定,有随量级增大缓慢增长的趋势,小雨为 0.28,暴雨增长到 0.4,平均值为 0.33;漏报率随量级增大显著增大,小雨为 0.25,大暴雨增加到

0.76,平均值为 0.52;小雨 BIAS 评分为 1.04,存在较小的空报,而随着量级增大,BIAS 评分逐渐下降至 0.34,亦即对于大雨以上量级降水,融合降水产品漏报明显。综合以上各指标可以看出,融合降水产品的小量级降水准确率高,随着降水量级增大空报变化平稳,漏报增长明显,导致 TS 评分逐渐下降。

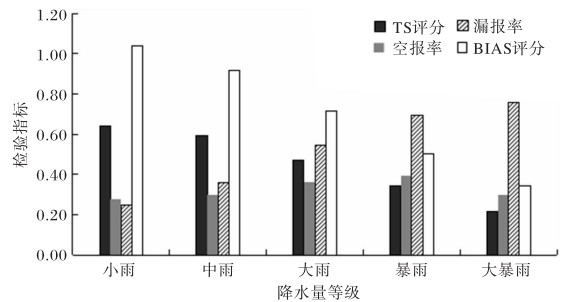


图3 2019年5—10月陕西省逐小时融合降水产品不同等级 TS 评分、空报率、漏报率及 BIAS 评分

通过不同量级降水分级检验指标的空间分布特征,了解融合降水产品在陕西不同区域的表现(图略)。小雨全省 TS 评分平均值为 0.63,空报

率平均值为 0.28,漏报率平均值 0.25,评分较差的主要在陕北北部、秦岭和陕南地区。中雨全省 TS 评分平均值 0.59,空报率平均值 0.31,漏报率平均值 0.36,与小雨相比漏报明显增多,导致 TS 评分下降。中雨以上量级降水空、漏报率较多的地区和小雨的空间分布特征接近,大雨漏报率相较于小雨、中雨增长明显,除陕北南部漏报率偏低以外,其余地区漏报率均较高,关中南部的空、漏报率明显增大,说明融合降水产品在一定程度上削

弱了大量级降水的强度。

4 误差成因分析

前文对融合降水产品在陕西 2019 年汛期的适用性进行了系统性客观检验,结果显示整体误差小,相关性大,但是陕南地区的误差明显大于其他地区,国家站的效果优于区域站,国家站中误差最大的为安康市平利站。该站绝对误差大于 4 mm 的对比图(图 4)表明,大部分时次融合产品的降水量明显小于站点实况,与前文结论一致,个

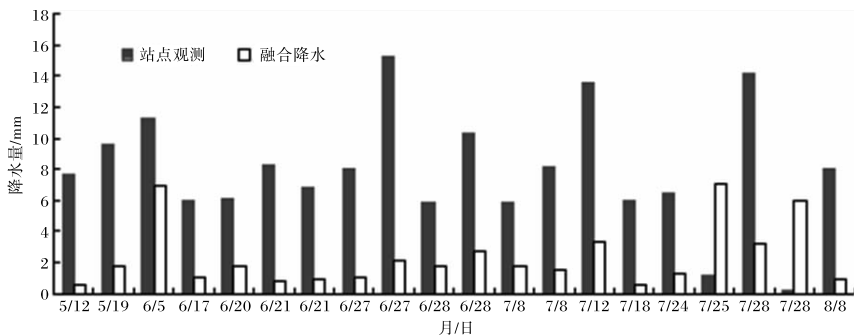


图 4 2019 年 5—10 月平利站站点观测和融合降水对比图(绝对偏差大于 4 mm)

别时次融合产品降水比站点实况偏强,主要是对流动性降水落区偏差造成;因此以平利站为切入点,从误差较大过程中选取典型个例进行成因分析。

2019 年 6 月 26 日夜间至 28 日白天陕南地区受平直气流影响,多短波槽和低层切变线活动,出现持续阴雨天气,其中 26 日 20 时至 27 日 08 时(简称过程 1)陕南东部出现中到大雨,局地暴雨,此次天气过程降水范围广,持续时间长,雨强以 1~5 mm/h 为主,局地伴有较强降水。2019 年 6 月 5 日 08—20 时受快速东移的高空槽和低层低涡共同影响陕南地区自西向东经历一次降水过程(简称过程 2),东部中到大雨,东南部局地暴雨,此次天气过程降水范围广,持续时间短,雨强大。2019 年 7 月 28 日陕南东部受西太平洋副高控制,西北路冷空气入侵后在午后至夜间陕南出现分散性降水,28 日 14 时至 29 日 02 时降水量显示整体雨量以小雨为主,局地伴有大雨或暴雨(简称过程 3),雨强分布不均。

12 h 累计降雨量分布(图略)显示,融合降水产品对降水形态、性质、强降水落区有很好的反映,从融合降水与站点观测差值(图 5a、b、c)可以

看出,过程 1 融合降水产品降水量分布较均匀,对陕南降水整体反映略偏弱,局地强降水表现显著偏弱,造成较大偏差;过程 2 融合降水产品对陕南东南部强降水偏差明显大于过程 1,站点实况局部呈现出强降水区中包裹有弱降水的特点,而融合降水强度相对一致,出现强降水反映偏弱,弱降水反映偏强的误差分布特征,亦即对降水强度强弱相间的复杂分布状态细节刻画不够准确;过程 3 融合降水产品也反映出了分散性强降水的特征,但是细节有较大差距,最强降水中心和站点观测有偏差,导致两者差值北正南负。

平利站逐小时降水量演变显示:三次降水过程融合降水产品都可以较好地反映降水起止时间及演变趋势。过程 1(图 6a)平利站主要降水时段为 26 日 19 时至 27 日 11 时,雨强以 5 mm/h 以下为主,26 日 21—23 时平利附近局地雨强超过 10 mm/h,最大在 22 时为 15.3 mm/h,对应融合降水产品 2.1 mm/h,融合降水雨强偏弱,整体弱降水中个别时次突然增强的降水峰值特征无反映;过程 2(图 6b)平利站附近 5 日 11—14 时雨强普遍达到 10 mm/h 以上,融合降水产品为 6~8 mm/h,

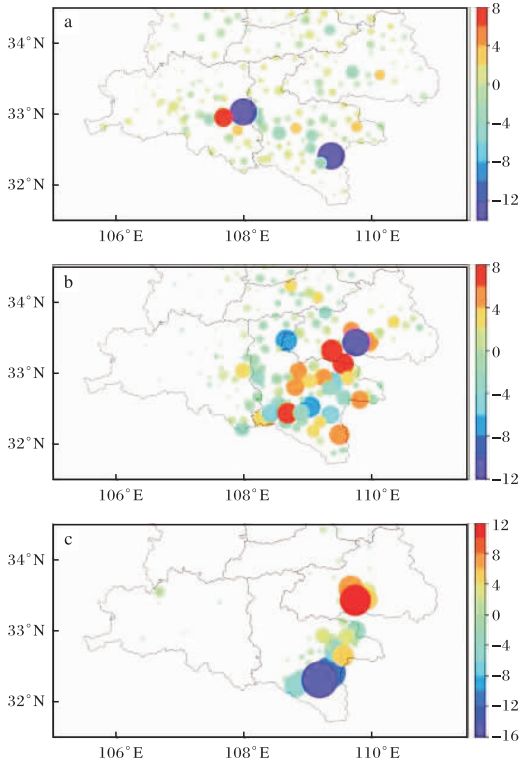


图5 融合降水与站点观测差值(单位为 mm;a 2019-06-27T22,b 2019-06-05T11,c 2019-07-28T20;审图号为 GS(2019)3082 号)

对降水逐渐增强又减弱的趋势反映较好,但融合降水产品雨强整体偏弱,峰值略有落后;过程 3(图 6c)平利站附近 28 日 18—21 时出现雨强 10 mm/h 以上降水,20 时平利本站雨强 14.1 mm/h,格点降水 3.18 mm/h,融合降水产品雨强偏小,持续时间更长。

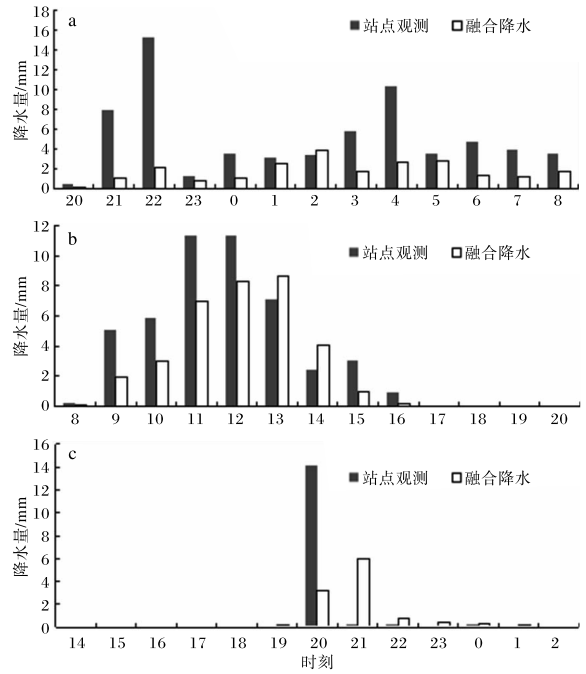


图6 平利站逐小时降水量演变图(a 2019-06-27T20—28T08;b 2019-06-05T08—20;c 2019-07-28T14—29T02)

三次过程分级检验显示(图 7):过程 1 小雨评分最高,随着降水量级增大 TS 评分逐渐下降,过程 2 不同量级的 TS 评分相对比较稳定,与过程 1 相比小雨 TS 评分略差,暴雨较优,过程 3 空报显著增多,导致 TS 评分最低;而三个过程均呈现漏报随着降水强度增大迅速增长的特征,侧面反映了融合降水产品对大量级降水预报偏弱的特征。

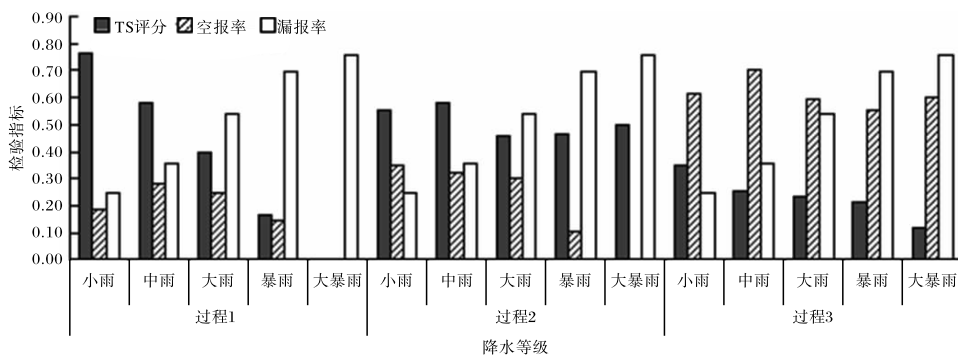


图7 三次过程降水分级检验结果(2019-06-27T20—28T08(过程 1); 2019-06-05T08—20(过程 2); 2019-07-28T14—29T02(过程 3))

通过以上分析可以看出,融合降水产品可以较好地体现降水起止时间及性质、强弱演变趋势,对雨强小、降水分布均匀的降水和自动站观测较

为一致,但是其中伴有局地强降水的反映欠佳;因此小雨 TS 评分高,强降雨评分明显降低。对雨强较大的区域性降水整体反映偏弱,各个量级的

TS 评分差异不大,对降水强弱相间的复杂空间特征反映欠佳。对分散性强降水有较大的空报,随着降水量级增大漏报增长明显,导致 TS 评分最差,局地强降水的落区和站点观测存在偏差,导致两者差值较大。

5 结论与讨论

本研究基于 2019 年汛期降水数据,利用传统数值检验及分级检验方法对国家级三源融合降水产品在陕西地区的适用性进行客观评估,同时选取偏差较大的典型个例分析产生误差的原因,主要结论有以下几点。

(1)全省平均绝对误差 85%的站小于 0.1 mm;均方根误差 97%的站小于 0.8 mm;76%以上站点相关系数大于 0.8,相关系数较低的站点以区域站为主,国家站的效果明显优于区域站。总体而言,融合降水产品与站点观测之间的误差小、相关性高,但是融合降水产品的极大值和标准差都明显小于站点观测。

(2)误差时空分布特征和降水演变特征有较大关系,在降水频次增多和强度增大时,融合降水产品相较站点观测的误差增大,陕南的误差明显大于陕北和关中。

(3)融合降水产品可以较好地反映有无降水;随着降水量级增大,空报变化平稳,漏报增长明显,导致 TS 评分逐渐下降。评分较差的地区主要在陕北北部、陕南及秦巴山区地形复杂区。

(4)融合降水产品可以较好的体现降水起止时间及性质、强弱演变趋势,对雨强小的持续性阴雨过程中局地强降水反映欠佳,雨强较大的区域性降水整体反映偏弱,降水强弱相间的复杂空间特征反映欠佳;对分散性强降水有较大的空报,局地强降水的落区和站点观测存在偏差。综合而言,融合降水产品的小量级降水准确率较高,而对大量级降水强度有一定程度削弱。

(5)现有评估结果显示,融合降水产品在陕南的效果明显比陕北、关中地区差,可能原因一方面是陕南地区降水本身比陕北、关中地区更多、更复杂;另一方面,陕南地形复杂,雷达产品质量欠佳影响融合降水产品效果。在业务应用中需要进一步进行本地化订正,以提升产品质量。

参考文献:

- [1] 金荣花,代刊,赵瑞霞,等. 我国无缝隙精细化网格天气预报技术进展与挑战[J]. 气象,2019,45(4):445-457.
- [2] 师春香,潘畅,谷军霞,等. 多源气象数据融合格点实况产品研制进展[J]. 气象学报,2019,77(4):774-783.
- [3] 潘畅,谷军霞,徐宾,等. 多源降水数据融合研究及应用进展[J]. 气象科技进展,2018,8(1):143-152.
- [4] 潘畅,谷军霞,宇婧婧,等. 中国区域高分辨率多源降水观测产品的融合方法试验[J]. 气象学报,2018,76(5):755-766.
- [5] 韦青,代刊,林建,等. 2016—2018 年全国智能网格降水及温度预报检验评估[J]. 气象,2020,46(10):1272-1285.
- [6] 沈艳,潘畅,宇婧婧,等. 中国区域小时降水量融合产品的质量评估[J]. 大气科学学报,2013,36(1):37-46.
- [7] 龙柯吉,谷军霞,师春香,等. 多种降水实况融合产品在四川一次强降水过程中的评估[J]. 高原山地气象研究,2020,40(2):31-37.
- [8] 吴薇,杜冰,黄晓龙,等. 四川区域融合降水产品的质量评估[J]. 高原山地气象研究,2019,39(2):76-81.
- [9] 许冠宇,李琳琳,田刚,等. 国家级融合降水产品在长江流域的适用性评估[J]. 暴雨灾害,2020,39(4):400-408.
- [10] 俞剑蔚,李聪,蔡凝昊,等. 国家级格点实况分析产品在江苏地区的适用性评估分析[J]. 气象,2019,45(9):1288-1298.
- [11] 李显风,周自江,李志鹏,等. 基于江西省水文资料对中国融合降水产品的质量评估[J]. 气象,2017,43(12):1534-1546.
- [12] 宇婧婧,沈艳,潘畅,等. 中国区域逐日融合降水数据集与国际降水产品的对比评估[J]. 气象学报,2015,73(2):394-410.
- [13] 王建鹏,薛春芳,潘留杰,等. 陕西省精细化网格预报业务系统技术方法[J]. 气象科技,2018,46(5):910-918.
- [14] 高红燕,席秋义,王丹,等. 安康水电站精细化降水预报的检验[J]. 干旱区地理,2018,41(6):1169-1171.
- [15] 王丹,高红燕,杨艳超,等. 基于最优训练期的 PP 与 MOS 的风电功率趋势预报对比[J]. 干旱区地理,2021,44(3):819-829.