

贺音,张雅斌,樊丹丹. 两套降水融合实况产品在陕西省的质量检验[J]. 陕西气象,2023(5):60-66.

文章编号:1006-4354(2023)05-0060-07

两套降水融合实况产品在陕西省的质量检验

贺音,张雅斌,樊丹丹

(陕西省气象信息中心,西安 710014)

摘要:利用陕西省99个国家气象站、1894个区域气象站2021年3月1日00时—2022年2月28日23时(北京时)的小时降水量数据,采用相关系数、平均误差、均方根误差、晴雨准确率、降水分量级评估等指标,对国家气象信息中心研制的1 km、5 km降水融合产品进行质量检验。结果表明:(1)两套融合产品在陕西省的评估效果较好,1 km融合产品评估结果(相关系数为0.928 1,平均误差为0.000 8 mm,均方根误差为0.236 2mm)优于5 km融合产品(相关系数为0.892 2,平均误差为-0.001 0 mm,均方根误差为0.335 3 mm);(2)两套融合产品对降水的有、无均反映较好,其中1 km融合产品的晴雨准确率为0.959 0,5 km融合产品为0.957 1;(3)小雨、中雨量级降水融合降水产品与观测值较接近,其他级别降水融合产品的 T_s 评分随着降水量级的增大而降低;(4)两套融合降水产品能较好反映陕西区域内降水的时空变化特征,陕北地区平均误差、均方根误差较小,效果较好,关中南部及陕南秦巴山区的误差较大。

关键词:融合实况产品;质量检验;降水

中图分类号:P459.9

文献标识码:A

降水是地球水循环的关键要素,是天气、气候变化研究的重点问题^[1]。地面站点降水数据能够获取精确的降水数据,然而受自然环境和人为因素影响,地面站点离散且分布不均,站点观测降水难以反映气候空间总体变化特征;天气雷达能够扫描一定范围的降水回波,但受地物杂波、波束遮挡、异常回波、波束充塞等影响而导致降水量估测出现较大偏差^[2];卫星反演降水具有覆盖范围广、全天候连续观测的优势,但卫星降水信息易受到传感器性能、云层性质、反演算法等因素的限制,定量误差难以处理,特别是对固态降水的反演能力有限^[3]。因此近年来将地面观测降水量与卫星反演降水产品等不同来源观测数据融合是获取高时空分辨率降水网格实况产品的趋势。

国家气象信息中心经过数年研究,采用概率密度匹配,贝叶斯模型平均法、最优插值方法实现

雷达和卫星联合降水数据与站点降水观测数据的融合,研制地面-卫星-雷达三源融合降水网格实况产品^[4-5](下简称融合产品),时间分辨率为1 h,空间分辨率为5 km($0.05^\circ \times 0.05^\circ$),于2018年下发投入业务运行。为进一步满足气象业务的需求,在5 km产品基础上,通过偏差订正、降尺度优化等处理,生成时间分辨率为1 h,空间分辨率为1 km($0.01^\circ \times 0.01^\circ$)的融合产品并于2021年下发投入业务运行。

为验证该产品在特定区域范围的数据质量,国内学者在降水融合产品质量检验方面做了一系列工作。吴薇等^[6]对5 km分辨率的逐小时降水融合产品在四川省的适用性进行了评估,认为融合产品的数据质量较高,能反映四川区域内小时降水的时空变化特征;龙柯吉等^[7]利用四川一次强降水过程评估多种降水融合实况产品,认为

收稿日期:2022-07-05

作者简介:贺音(1981—),女,陕西西安人,硕士,高工,主要从事气象数据质量控制、多源数据融合与应用研究。

基金项目: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研究基金(2019M-5,2020K-6);陕西省自然科学基金基础研究计划(2022JM-153)

1 km 融合产品的质量较高,对强降水有很好的监测能力;刘菊菊等^[8]利用 2019 年 8 次暴雨过程评估 5 km 分辨率降水融合产品,结果表明融合产品的降水量空间分布与站点实况空间分布基本一致,但强降水落区有所偏差。

上述研究分别针对 1 km、5 km 分辨率的降水融合产品进行评估,缺少两套融合产品之间的长序列对比。两套降水融合产品在陕西省表现如何,区域性、季节性是否存在误差,误差的大小及原因均需要进行精确化的评估与研究,了解不同分辨率的降水融合产品在陕西省的刻画能力,为决策气象服务、防灾减灾、气候预测等提供客观化的参考依据。

1 研究区及资料、方法介绍

1.1 研究区概况

陕西省地处我国中部内陆腹地,地域南北狭长,全省地形多样、地势复杂、地貌类型多样,南北高,中间低,中部为黄河流域中部的关中盆地,北部为黄土高原,南有中国南北气候分水岭—秦岭^[9]。根据陕西的气候特点和地形基本特征,结合行政区域将全省 10 个省辖市,按照自北向南划分为陕北地区、关中地区、陕南地区三大区域,其中陕北包括榆林延安共 25 个国家站,关中包括宝鸡、咸阳、铜川、西安、渭南共 46 个国家站,陕南包括汉中、安康、商洛共 28 个国家站。

1.2 降水数据

降水融合产品数据来自气象大数据云平台 (<http://10.172.64.135:8088/cmadaas/>) 2021 年 3 月 1 日 00 时至 2022 年 2 月 28 日 23 时(北京时间,下同)1 km 和 5 km 分辨率逐小时降水数据。观测资料为同期经过质量控制和检验后^[10-11]的陕西省 99 个国家地面自动气象站(下简称国家站)和 1 894 个区域自动气象站(下简称区域站)逐小时降水量。

1.3 质量检验方法

将降水融合数据按自然邻近插值方法插值到与气象站相同的经纬度上,并将质控后的气象站降水数据作为真值进行检验。为充分检验评估时间段内融合数据的质量,分别选取全省 99 个国家站和筛选后的 1 894 个区域站进行非独立性检

验。参考中国气象局《中国区域降水网格实况产品全流程检验评估细则(2020 版)》,采用多种评估指标^[12-13]评价降水融合产品在陕西省的质量。主要包括相关系数 r ,用于量化降水融合实况与站点降水的线性相关程度;平均误差(E_M),用于量化融合降水对于实测降水误差的平均趋势;均方根误差(E_{RMS}),用于量化融合降水对于实测降水之间的偏离程度;晴雨准确率(P_C),用于评价降水融合产品对降水有无的反映程度;分量级统计指标为 T_s 评分,用于评价降水融合产品的准确率。将小时观测降水量分为小雨 0.1~1.9 mm、中雨 2.0~4.9 mm、大雨 5.0~9.9 mm、暴雨 10.0~19.9 mm、大暴雨 ≥ 20 mm 等 5 个量级进行评估。

2 结果分析

2.1 两套降水融合产品的质量对比

从陕西省所有站 2021 年 3 月 1 日 00 时—2022 年 2 月 28 日 23 时降水融合产品的平均评估情况(表 1)来看,1 km 产品的相关性更高,其质量较 5 km 产品有明显的改进,1 km 和 5 km 降水产品的 E_M 分别为 0.000 8 mm 和 -0.001 0 mm, E_{RMS} 分别为 0.236 2 mm 和 0.335 3 mm。综合全年的评估结果,两套降水融合产品与实况站点资料的相关程度高,误差小,具有很高的参考性。

表 1 陕西省 2021-03-01T00—2022-02-28T23
降水融合产品平均评估结果

产品类别	r	E_M/mm	E_{RMS}/mm
1 km	0.928 1	0.000 8	0.236 2
5 km	0.892 2	-0.001 0	0.335 3

从 2021 年 6 月降水融合产品的累计降水量空间分布(图 1,见第 63 页)可以看出,两套融合产品空间分布趋于一致,陕南降水偏多,普遍大于 200 mm,其次为关中地区普遍大于 50 mm,陕北地区降水偏少,延安北部、榆林南部降水少于 50 mm,相较而言,1 km 产品对降水落区的刻画更为细致。

2.2 降水误差的空间分布特征

为了定量评价降水融合产品的精度,分析降水融合产品与气象站降水在空间上的差异。

从 E_M 的空间分布(图 2, 见第 63 页)可以看出, 1 km 产品 E_M 在 $-0.780 0 \sim 0.101 2$ mm 之间, 5 km 产品在 $-0.431 0 \sim 0.148 3$ mm 之间, 误差最大的站均为太白鳌山站; 1 km、5 km 降水融合产品中超过 94.0% 的站相关系数在 0.9000 以上(图略)。从 E_{RMS} 的分布情况看(图 3, 见第 64 页), 1 km 产品的 E_{RMS} 在 1.678 6 mm 以下, 5 km 产品在 1.418 8 mm 以下。1 km 产品中有 93.9% 的站 E_{RMS} 在 0.500 0 mm 以下, 5.3% 的站介于 0.500 0~1.000 0 mm 之间; 5 km 产品中

88.7% 的站 E_{RMS} 在 0.500 0 mm 以下, 10.8% 的站介于 0.500 0~1.000 0 mm 之间。值得注意的是 1 km 产品中 E_{RMS} 超过 1 mm 的有 16 站, 而 5 km 产品中仅有 9 站。从总体表现来看, 1 km 产品和 5 km 产品的 E_{RMS} , 均在陕北地区最小, 其次为关中, 陕南地区最大, 关中与秦岭交界处也相对偏大。从以上分析及全省各地区的检验结果(表 2)可以看出, 1 km 与 5 km 融合产品误差空间分布较为相似。

表 2 陕西省 2021-03-01T00—2022-02-28T23 不同地区降水融合产品检验结果

地区	r		M_E /mm		R_{MSE} /mm	
	5 km	1 km	5 km	1 km	5 km	1 km
榆林	0.892 1	0.924 2	-0.000 3	0.002 0	0.176 3	0.136 3
延安	0.950 2	0.977 3	-0.002 0	0.002 0	0.204 2	0.128 4
铜川	0.958 3	0.983 3	-0.006 0	-0.004 0	0.241 4	0.158 2
宝鸡	0.954 2	0.964 5	-0.009 0	-0.007 0	0.220 5	0.174 5
咸阳	0.955 4	0.972 6	-0.002 0	0.001 0	0.212 6	0.159 0
西安	0.993 0	0.957 1	-0.008 0	-0.001 0	0.304 2	0.218 2
渭南	0.942 5	0.971 0	-0.009 0	-0.008 0	0.256 1	0.187 1
汉中	0.954 4	0.983 6	-0.007 0	0.000 3	0.322 3	0.178 2
安康	0.950 6	0.984 4	0.000 9	0.000 6	0.283 1	0.164 4
商洛	0.943 0	0.962 5	-0.012 0	-0.007 0	0.295 0	0.242 1

为了分析降水融合产品对降水有、无的反映程度, 采用晴雨准确率对融合产品进行检验。图 4(见第 64 页)为融合产品的晴雨准确率, 5 km 产品和 1 km 产品差异较小。1 km 产品晴雨准确率平均值为 0.959 0, 78.1% 的站介于 0.95~0.99 之间, 高于 0.99 的站只占 1.3%, 较低的区域集中在秦巴山区, 陕北地区较高。5 km 产品晴雨准确率平均为 0.957 1, 72.2% 的站介于 0.95~0.99 之间, 高于 0.99 的站只占 0.3%, 较低的区域也主要在秦巴山区。秦巴山区地形复杂、地势起伏大, 分布着山地、盆地、丘陵等, 是气候变化的敏感区和脆弱区^[14]。受季风环流和复杂地形的影响, 秦巴山区常有强降水发生, 且降水分布不均, 局部差异大, 变化复杂^[15-16], 复杂地形条件下的降水量预报及降水数据融合难度均较大^[17], 这可能是导

致该区域晴雨准确率低的主要原因。陕北位于黄土高原, 海拔高度为 800~1 500 m, 地势起伏相对较小, 因此晴雨准确率较高。

2.3 降水误差的时间分布特征

2.3.1 日变化 图 5 展示了两套降水融合产品不同检验结果的日变化特征。可以看出两套产品相关系数均较高, 5 km 的相关系数在 0.850 0 以上, 1 km 在 0.920 0 以上。5 km 的 E_{RMS} 介于 0.330 0~0.470 0 mm 之间, 1 km 介于 0.250 0~0.350 0 mm 之间。1 km 的融合产品均方根误差较 5 km 有明显改善, 两套融合产品误差具有一定的日变化趋势, 但变化幅度不大, 相较而言, 00 时融合产品的误差较其他时刻略大。

2.3.2 月变化 图 6 展示了两套降水融合产品不同检验结果的月变化特征。两套融合产品与实

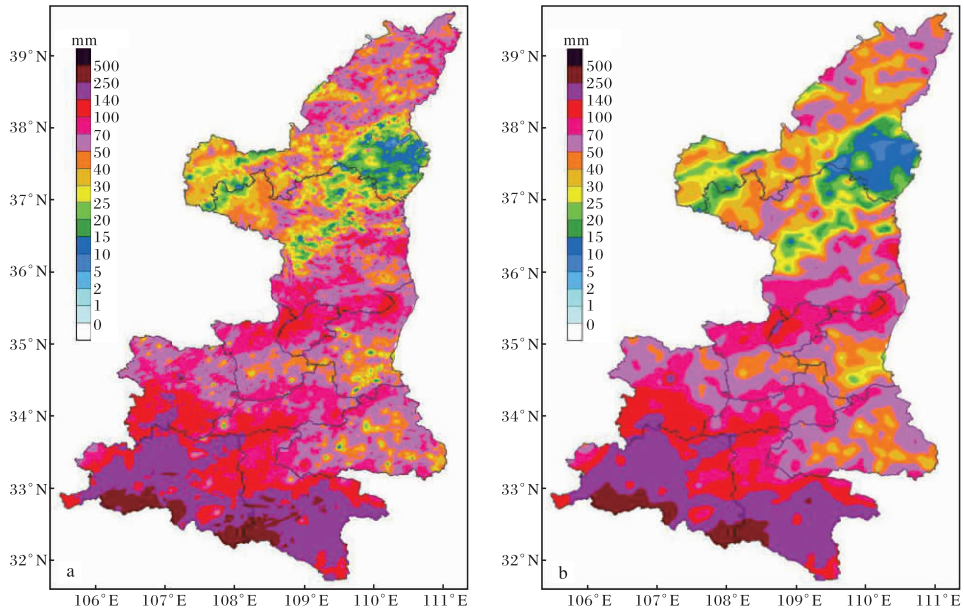


图1 陕西省2021年6月降水融合产品累计降水量空间分布
(a 1 km, b 5 km; 审图号为GS(2019)1822号,下同;文见第61页)

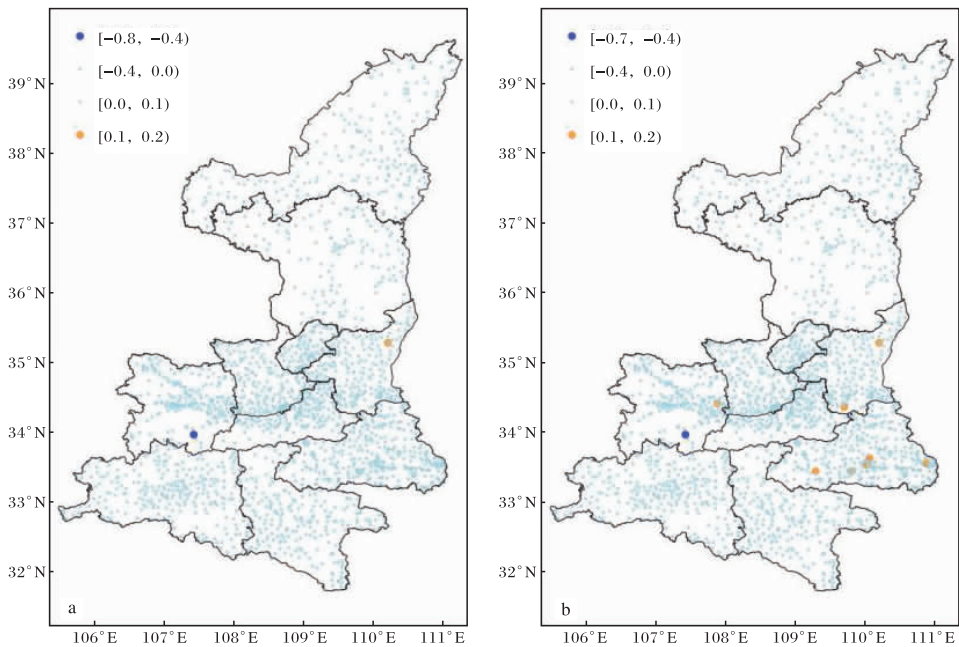


图2 陕西省2021-03-01—2022-02-28降水融合产品平均误差(E_M)空间分布
(a 1 km, b 5 km; 单位为mm; 文见第62页)

况资料相关系数的变化趋势基本一致,12月一次年2月全年最低,这与冬季的固态降水有关。陕西省各月降水量分布不均,在5—9月强降水时期,产品数据误差较大,1 km产品 E_{RMS} 均在0.190 0 mm以上,5 km产品在0.330 0 mm以上,而在弱降水时期,数据误差明显降低,其中

12、1和2月1 km产品 E_{RMS} 在0.080 0 mm以下,5 km产品在0.090 0 mm以下。在弱降水时期(12月一次年2月)两产品均方根误差基本相当,而在强降水时期(5—9月)1 km的均方根误差明显优于5 km产品,说明1 km融合产品在强降水时期的数据质量明显改善。

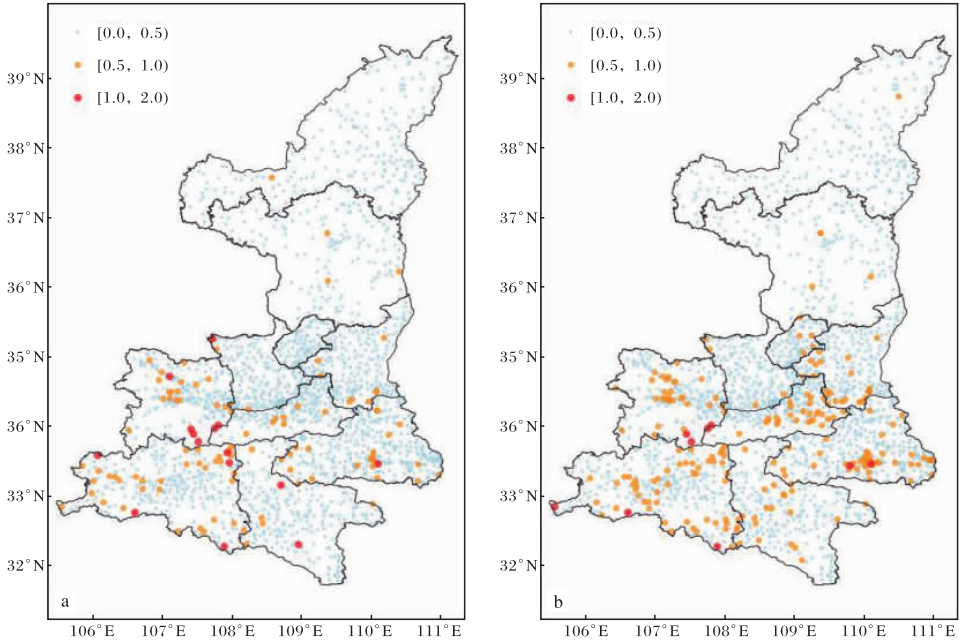


图3 陕西省 2021-03-01—2022-02-28 降水融合产品均方根误差(E_{RMS})空间分布
(a 1 km,b 5 km;单位为 mm;文见第 62 页)

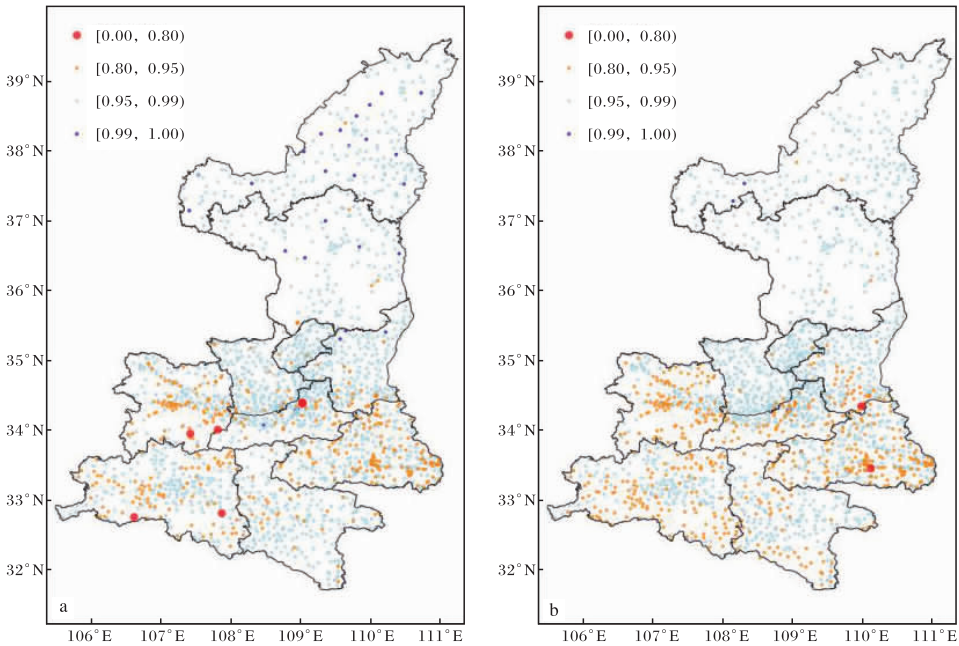


图4 陕西省 2021-03-01—2022-02-28 降水融合产品晴雨准确率(P_C)空间分布
(a 1 km;b 5 km;文见第 62 页)

2.4 不同降水等级下的准确率

进一步分析降水融合产品在不同降水等级下的准确率,了解不同降水等级下降水强度的误差,为该产品在天气预报、气候预测等方面的研究提供参考。采用 T_s 评分结果评估降水融合数据质量, T_s 评分介于 0~1 之间,数值越大表明融合降

水数据的命中率越高,即对陕西降水情况的反映越准确。表 3 为不同降水量级融合数据的 T_s 评分结果。总体来看,各量级 1 km 融合产品的 T_s 评分均大于 5 km。当降水量级为中雨时,1 km 和 5 km 融合产品的 T_s 评分均最高,表明中雨量级的融合产品的适用性最好;降水量级为大雨、暴

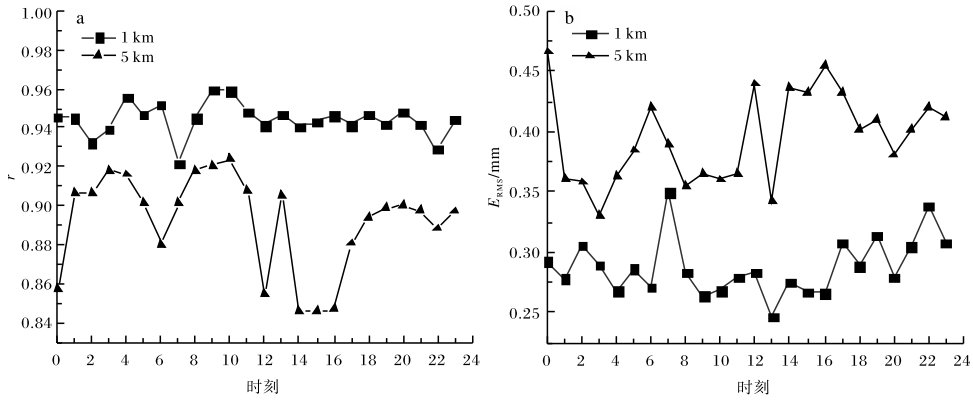


图5 陕西省 2021-03-01—2022-02-28 降水融合产品检验结果的日变化(a: r ; b: E_{RMS})

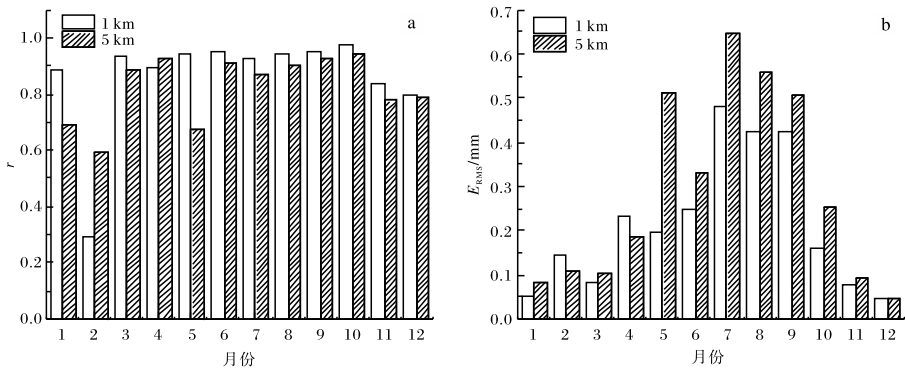


图6 陕西省 2021-03-01—2022-02-28 降水融合产品检验结果的月变化(a: r ; b: E_{RMS})

雨、大暴雨时,量级越高 T_s 评分越低,大暴雨时 1 km、5 km 融合产品的 T_s 评分仅为 0.571 3、0.361 1。

表3 陕西省 2021-03-01—2022-02-28 降水融合产品不同量级降水的 T_s 评分

产品类别	小雨	中雨	大雨	暴雨	大暴雨
1 km	0.810 1	0.822 4	0.740 3	0.662 3	0.571 3
5 km	0.681 2	0.701 6	0.600 5	0.461 1	0.361 1

3 不同海拔高度下的降水检验结果

秦岭与关中平原交界处融合产品误差较大,可能是由于该区域有秦岭山脉,地势起伏较大。

为研究海拔高度与评估结果的关系,将海拔高度分为 ≤ 500 m、 $(500, 1\ 000]$ m、 $(1\ 000, 1\ 500]$ m 和 $> 1\ 500$ m 四级,对降水产品进行评估,如表 4 所示。经统计共有 456 站的海拔高度 ≤ 500 m, 961 站为 $(500, 1\ 000]$ m, 515 站为 $(1\ 000, 1\ 500]$ m, 61 站 $> 1\ 500$ m, 最高为太白山拔仙台站。相较而言,海拔高度为 $(1\ 000, 1\ 500]$ m 时,两类融合产品适用性较好,海拔高度 $\leq 1\ 000$ m 时,各评估指标差别不大,当海拔高度 $> 1\ 500$ m 时,融合产品的误差明显变大,效果较低海拔、地势平坦地区差。此外,从各项指标来看,1 km 降水融合产品效果均优于 5 km 降水融合产品。

表4 陕西省 2021-03-01—2022-02-28 降水融合产品在不同海拔的检验结果

海拔高度/m	r		M_E /mm		E_{MSE} /mm	
	5 km	1 km	5 km	1 km	5 km	1 km
≤ 500	0.903 1	0.946 2	-0.001 0	0.000 9	0.353 2	0.225 2
$(500, 1\ 000]$	0.900 0	0.938 1	-0.001 1	0.000 9	0.358 1	0.249 3
$(1\ 000, 1\ 500]$	0.913 0	0.941 0	-0.002 0	0.000 8	0.308 4	0.218 6
$> 1\ 500$	0.863 1	0.880 0	-0.013 2	-0.019 0	0.359 1	0.286 1

4 结论

利用陕西省国家气象站、区域气象站的降水观测数据,采用相关系数、平均误差、均方根误差、晴雨准确率等指标,对 1 km 和 5 km 的降水融合产品进行质量检验,得到如下结论。

(1)两套融合产品在陕西省的评估效果较好,尤其是对降水有、无反映较好,陕北晴雨准确率较高,秦巴山区晴雨准确率较低;1 km 融合产品整体上优于 5 km 产品。

(2)融合产品能较好反映陕西区域内的降水时空变化特征,特别是在陕北地区评估误差较小,相较而言,误差较大的区域主要集中在关中与秦岭交界处的关中南部及陕南秦巴山区,这些区域地形复杂,且多为高山站,站点代表性和空间插值方法都有待于进一步研究。

(3)从降水量级的检验评估结果来看,降水量级为中雨时,1 km 和 5 km 融合产品的 T_s 评分均最高,其次为小雨,其他级别降水融合产品 T_s 评分随着降水量级的增大而降低,说明在小雨、中雨时融合产品与观测值更接近。

(4)融合产品误差随季节变化明显,强降水时期(5—9月)融合产品的偏差大于弱降水时期(12月—次年2月),1 km 产品在强降水时期均方根误差较 5 km 产品明显偏小。

参考文献:

- [1] 赵煜飞,朱江. 近 50 年中国降水格点日值数据集精度及评估[J]. 高原气象,2015,34(1):50-58.
- [2] 庄薇,刘黎平,王改利,等. 青藏高原复杂地形区雷达估测降水方法研究[J]. 高原气象,2013,32(5):1224-1235.
- [3] 张婷,李怡,李建柱,等. 多源降雨数据融合及其水文应用研究进展[J]. 自然灾害学报,2022,31(1):15-28.
- [4] 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):142-152.
- [5] 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):95-106.
- [6] 吴薇,黄晓龙,徐晓莉,等. 融合降水实况分析产品在四川地区的适用性评估[J]. 沙漠与绿洲气象,2021,15(4):1-8.
- [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] 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.
- [9] 王川,刘勇,张宏. 陕西省地质灾害预报预警研究[J]. 陕西气象,2003(6):10-12.
- [10] 任芝花,赵平,张强,等. 适用于全国自动站小时降水资料的质量控制方法[J]. 气象,2010,36(7):123-132.
- [11] 任芝花,张志富,孙超,等. 全国自动气象站实时观测资料三级质量控制系统研制[J]. 气象,2015,41(10):1268-1277.
- [12] 李超,李华宏,杨素雨,等. 国家级多源融合降水产品在云南的适用性评估[J]. 高原山地气象研究,2021,41(3):108-114.
- [13] 邓悦,任晓炜,丘平珠,等. 台风“海高斯”(2007)期间多种降水融合实况产品的误差评估[J]. 气象研究与应用,2021,42(3):62-68.
- [14] 杨晓柳,王平,高大威,等. 1979-2014 年秦巴山区 MSWEP 降水数据精度评估及变化特征分析[J]. 水土保持研究,2020,27(6):146-152.
- [15] 杨亦典,彭菊蓉,白爱娟,等. 西南涡的中尺度特征及其对陕南降水影响的研究综述[J]. 陕西气象,2021(5):9-14.
- [16] 晁智龙,KHEM CHUNPANHA,严宝文,等. 陕南秦巴山区极端降水的空间分布特征研究[J]. 水利与建筑工程学报,2022,20(1):73-77.
- [17] 谢漪云,王建捷. GRAPES 千米尺度模式在西南复杂地形区降水预报偏差与成因初探[J]. 气象学报,2021,79(5):732-749.