

周雅蔓,马超,陈鹤,等.降水 *EFI* 产品在新疆夏半年极端降水预报中的检验评估 [J].沙漠与绿洲气象,2022,16(2):106–115.
doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2022.02.015

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



降水 *EFI* 产品在新疆夏半年极端降水 预报中的检验评估

周雅蔓^{1,2,3}, 马超^{1,3}, 陈鹤^{4*}, 刘成武¹

(1.新疆气象台,新疆 乌鲁木齐 830002;2.中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所,新疆 乌鲁木齐 830002;
3.中亚大气科学研究中心,新疆 乌鲁木齐 830002;4.湖南省气象台,湖南 长沙 410118)

摘 要:基于2013—2019年4—9月欧洲中期天气预报中心(ECMWF)集合预报的极端天气指数(*EFI*)资料和新疆95个气象观测站点的实况降水数据,研究了新疆夏半年(4—9月)极端降水阈值及分布情况,运用*TS*评分,综合分析降水*EFI*产品在新疆夏半年极端降水预报中的应用效果。结果表明:(1)夏半年极端降水阈值、极端降水量和极端降水频次的空间分布呈山区高、盆地低的特点,且南疆低于北疆;观测站点平均夏半年极端降水量、极端降水频次总体呈上升趋势,在20世纪90年代前后发生突变。(2)降水*EFI*预报值与夏半年极端降水量呈正相关,随预报时效延长,降水*EFI*预报能力在逐渐降低,夏半年极端降水预报的*TS*评分在降水*EFI*阈值处于0.50~0.80达到峰值,综合*TS*评分和预报偏差,新疆夏半年极端降水预报的最优降水*EFI*阈值集中在0.65~0.75。(3)降水*EFI*预报对降水落区有一定的指示意义,当降水*EFI*预报值>0.60时,要考虑出现极端降水的可能性,降水*EFI*预报值在0.70及以上的范围可作为极端降水的预报落区。

关键词:极端天气指数;极端降水;*TS*评分;阈值;新疆

中图分类号:P456.7

文献标识码:A

文章编号:1002-0799(2022)02-0106-10

极端降水事件随机性大,突发性强,极易引发泥石流和山体滑坡等自然灾害,对国民经济、农业生产和人民生活带来很大的影响^[1-2],如2010年6月贵州省关岭县特大山体滑坡^[3],2010年8月甘肃省舟曲县特大泥石流灾害^[4],2012年北京“7·21”城市内涝等^[5]。鉴于极端降水事件属于小概率事件,不确定性较大,采用单一数值天气模式预报其未来演变是不准确的,而集合预报不仅能反映出未来大气的多种状况,也能体现出预报结果的发生概率,为极端降

水的预报提供更加全面的信息^[6-9]。

Lalaurette 基于欧洲中期天气预报中心(ECMWF)集合预报,通过计算“模式气候”连续概率和集合预报(EPS)累积概率分布函数的差异,获得预报与气候特征偏离程度,提出极端预报指数(Extreme Forecast Index,简称*EFI*)^[10-11],研究表明,极端天气指数与中短期极端天气密切相关,有助于预报员提前预报极端天气^[12-13]。*EFI*产品在我国应用的检验评估显示,极端天气指数与强对流天气有密切的关系,不同类型的强对流天气,极端指数的分布和阈值具有各自的特点^[14]。降水*EFI*与降水气候百分位有较好的相关关系,*EFI*值越大,降水气候百分位值也越大^[15],*EFI*产品对于95%和99%的极端强降水事件,阈值在0.45和0.70左右,整体上时效越长,阈值的绝对值越小,事件越极端,阈值的绝对值越大^[16]。通过ECMWF降水极端天气预报指数对不

收稿日期:2021-01-22;修回日期:2021-04-01

基金项目:第二次青藏高原综合科学考察研究项目(2019QZKK0120);
中国气象局创新发展专项(CXFZ2021Z034-21-104)

作者简介:周雅蔓(1990—),女,工程师,主要从事天气预报预测和灾害性天气研究。E-mail:15276759704@163.com

通信作者:陈鹤(1986—),男,高级工程师,主要从事天气预报技术评估。E-mail:chenhe@msn.cn

同地区强降水的评估来看,逐日 *EFI* 产品对湖南地区的暴雨预报准确率在夏季最高,秋季次之,春季和冬季准确率最低^[17],降水大值区和强降水具有较好的对应关系^[17-18]。24~72 h 预报时效内,四川盆地夏季暴雨预报对应最佳降水 *EFI* 产品的阈值为 0.40~0.60,空报率(或漏报率)随着预报时效的增加也明显增加^[19-20],并且 *EFI* 产品对华东地区夏季 95%和 99%分位极端降水预报的 ETS 评分整体高于 ECMWF 高分辨率模式降水,对极端降水最大值也有一定的预报能力^[21]。

在气候变暖背景的影响下,新疆极端降水事件在 20 世纪 80 年代后明显增加^[22-23],且在不同区域的分布呈明显差异^[24],极端降水量的增多使得新疆部分地区洪涝灾害损失呈上升趋势^[25]。已有专家对 2015—2018 年逐日降水极端天气指数(*EFI*)在新疆不同季节大量、暴量、大暴量 3 个等级降水预报中的应用情况进行了评估^[26],但此研究旨在对新疆大量及以上降水量级预报的站点检验,单纯区分降水量级对 *EFI* 产品的应用检验不能代表不同区域的实际情况,且根据阿勒泰市强降水衍生灾害分析结果来看,降水超过 15 mm 并伴有雷暴可作为阿勒泰市泥石流气象预警指标^[27],并非暴量及以上的强降水才会引发洪涝、泥石流等自然灾害。另外,新疆受降水影响出现洪涝及衍生灾害的时间主要集中在夏半年(4—9 月)。因此,本文基于现阶段较为完整的降水极端天气指数,对 2013—2019 年新疆夏半年历史 95%分位以上的极端降水进行检验评估,在分析降水 *EFI* 预报阈值的基础上,对降水 *EFI* 预报极端降水落区的情况进行评估,为降水 *EFI* 产品在新疆夏半年极端降水预报中的应用提供参考依据,有助于提前防范极端降水引发的洪涝、泥石流、山体滑坡及其他衍生灾害。

1 资料和方法

1.1 研究区域和资料说明

使用的资料为:(1)2013—2019 年欧洲中心集合预报提供的 4—9 月逐日降水极端天气指数(*EFI*)产品(北京时间 20 时起报),预报时效选取 12~36、36~60、60~84 h,空间分辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 。(2)全国综合气象信息共享平台提供的 1961—2019 年 4—9 月新疆 105 个气象观测站逐日降水量资料(08—次日 08 时),剔除缺测量超过 5%的站点,所选 95 个站点均匀分布于新疆各地州,不同地形、高度站点均有选样(图 1)。

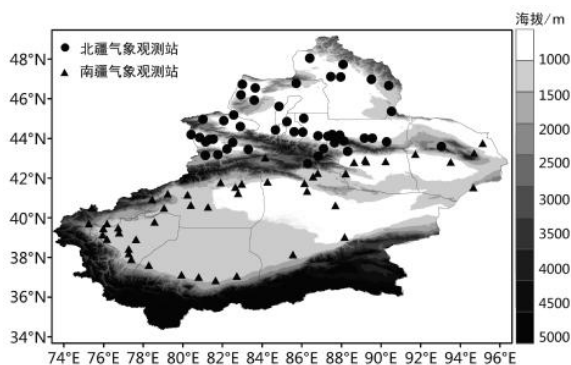


图 1 研究区域气象观测站点的分布

1.2 *EFI* 算法介绍

极端天气指数(*EFI*)产品取值范围为 $[-1, 1]$,当所有的集合预报成员大于(小于)气候概率的最大值,则 *EFI* 取值为 1(-1),它的绝对值大小不仅反映与模式气候平均值的距离,也反映预报的可信度。对于降水 *EFI* 产品,数值越接近 0,表明发生极端强降水或者干旱情况的可能性越小;数值越接近 1(-1),表明出现极端强降水事件(极端干旱事件)的可能性越高。

1.3 研究方法

鉴于极端降水具有明显的区域差异,采用研究气候极值变化最常用的百分位法^[28],分别确定不同站点的极端降水阈值,将 1961—2017 年各站点夏半年日降水量按升序排列,选取 95%作为研究站点的极端降水阈值,当测站日降水量超过该站点阈值,认为出现极端降水事件。时间特征部分做 Mann-Kendall 突变及线性趋势分析,对统计结果进行显著性检验(相关系数检验)。

降水 *EFI* 产品与站点观测数据的检验评估采用“相邻格点”插值方法^[29],即将研究测站周围 4 个格点中最大的值赋予给该站点。在降水 *EFI* 产品的检验评估中,运用 *TS* 评分来寻找最优预报阈值,预报偏差 *BIAS* 用来衡量漏报($BIAS < 1$)或者空报($BIAS > 1$)^[30]。本文评估对象是极端降水事件,因此将满足极端降水条件的降水日观测值标记为 1,其他未达到极端降水条件的观测值标记为 0,当预报 *EFI* > 阈值时,预报值标记为 1,简化为单个等级值 1 的 *TS* 评分统计。

本文通过分析南、北疆夏半年极端降水事件的时空分布特征,检验不同阈值、不同预报时效降水 *EFI* 产品在极端降水中的应用情况,评估降水 *EFI* 对 2018、2019 年极端降水的落区预报,讨论和订正降水 *EFI* 的最优预报阈值。

2 夏半年极端降水的特征分析

2.1 极端降水的空间分布特征

由1961—2017年夏半年极端降水阈值的空间分布(图2a)可知,夏半年极端降水阈值呈山区高、盆地低的特点,北疆平均夏半年极端降水阈值达12.7 mm,高于南疆夏半年极端降水阈值(9.7 mm),高值区主要分布在伊犁河谷南部山区、天山山区、乌鲁木齐、昌吉州东部、南疆西部山区、和田地区、巴州北部山区和哈密市北部山区。年均夏半年降水量(图2b)和极端降水量(图2c)的分布存在明显的区域差异,南疆夏半年降水量和极端降水量平均为59.2和19.2 mm,北疆夏半年降水量和极端降水量平均为166.7和45.2 mm,远大于南疆;结合年均夏半年极端降水频次(图2d),北疆平均值为2.3 d,其中伊犁河谷山区、天山山区的极端降水频次>3.0 d,是夏半年极端降水频发区;南疆年均夏半年极端降水频次为1.2 d,仅4站>2.0 d,表明南疆夏半年发生极端降水的次数比北疆少,这与年均夏半年降水量和极端降水量的分布较为一致。

2.2 极端降水的时间变化特征

从南、北疆夏半年极端降水量和极端降水频次的时间变化(图3)可知,1961—2017年南、北疆观测站点的平均极端降水量、极端降水频次总体上均呈上升趋势。结合M-K突变检验和线性趋势分析(通过0.05的显著性检验),北疆平均夏半年极端降水

量和极端降水频次从20世纪80年代后均有明显的增加,分别在1991、1987年发生突变,两者在2016年达到峰值,夏半年极端降水量达99.1 mm,极端降水频次达4.7 d。南疆平均夏半年极端降水量和极端降水频次均在1992年发生突变,两者在2010年达到峰值,夏半年极端降水量达49.2 mm,极端降水频次达2.6 d。

3 降水EFI的预报阈值分析

北疆与南疆地区的极端降水特征不同,降水EFI产品的预报能力是否也会呈现出不同的特征?本文分南、北疆不同区域检验降水EFI产品在夏半年极端降水预报中的应用情况。

3.1 不同预报时效降水EFI与极端降水的分布

对2013—2017年夏半年12~36、36~60、60~84 h逐日降水EFI值与极端降水进行拟合分析,结果见图4。夏半年极端降水对应EFI预报值主要分布在0.10~1.00,随着极端降水量的增加,降水EFI预报值呈线性增加趋势,表明降水EFI与极端降水有很好的正相关。北疆夏半年极端降水量为8.2~91.5 mm,对比极端降水与12~36 h预报时效内降水EFI预报值(图4a)可知,82%的极端降水对应降水EFI预报值在0.40以上,降水EFI预报均值为0.60;36~60 h预报时效内(图4b),77%的极端降水对应降水EFI预报值在0.40以上,降水EFI预报均值为

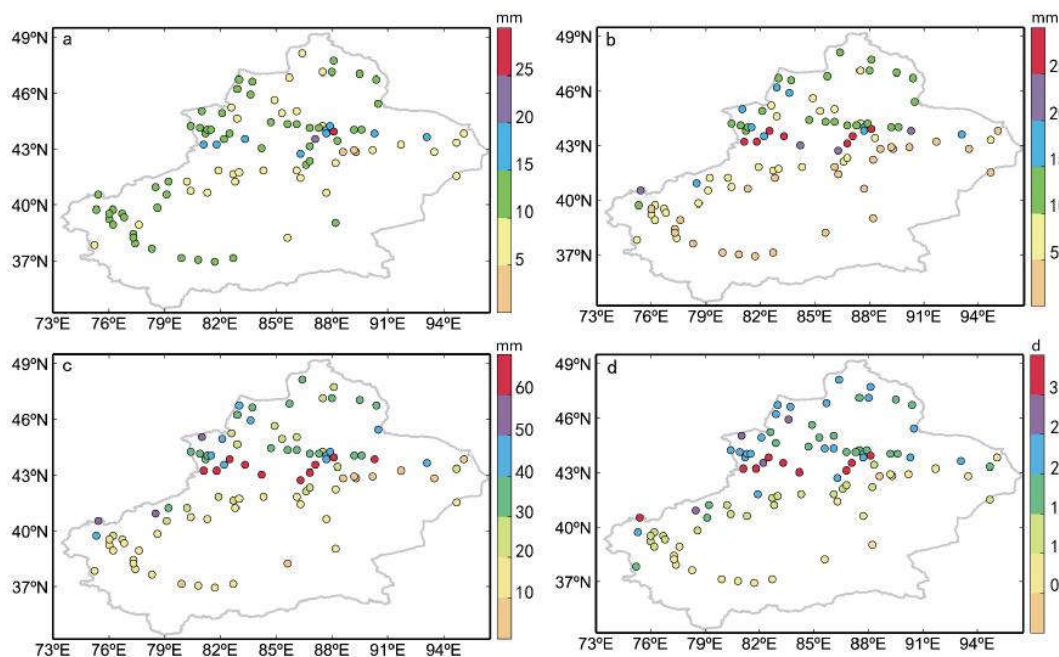


图2 新疆夏半年极端降水阈值(a,单位:mm)、降水量(b,单位:mm)、极端降水量(c,单位:mm)和极端降水频次(d,单位:d)的空间分布

0.54; 60~84 h 预报时效内 (图 4c), 68% 的极端降水对应降水 *EFI* 预报值在 0.40 以上, 降水 *EFI* 预报均值为 0.48, 随着预报时效的增加, 降水 *EFI* 预报均值越来越小。南疆夏半年极端降水量为 4.4~44.4 mm, 12~36、36~60、60~84 h 预报时效内, 逐日降水 *EFI* 预报均值分别为 0.49、0.44、0.36, 明显低于北疆极端

降水预报均值, 对应降水 *EFI* 预报值在 0.40 以上的极端降水分别为 62%、57% 和 42%, 降水 *EFI* 在北疆夏半年极端降水预报中的预报效果优于南疆, 且南疆极端降水量与降水 *EFI* 预报值拟合直线的斜率由 0.008 减小至 0.006, 表明随着预报时效的增加, 降水 *EFI* 的预报能力有所降低。

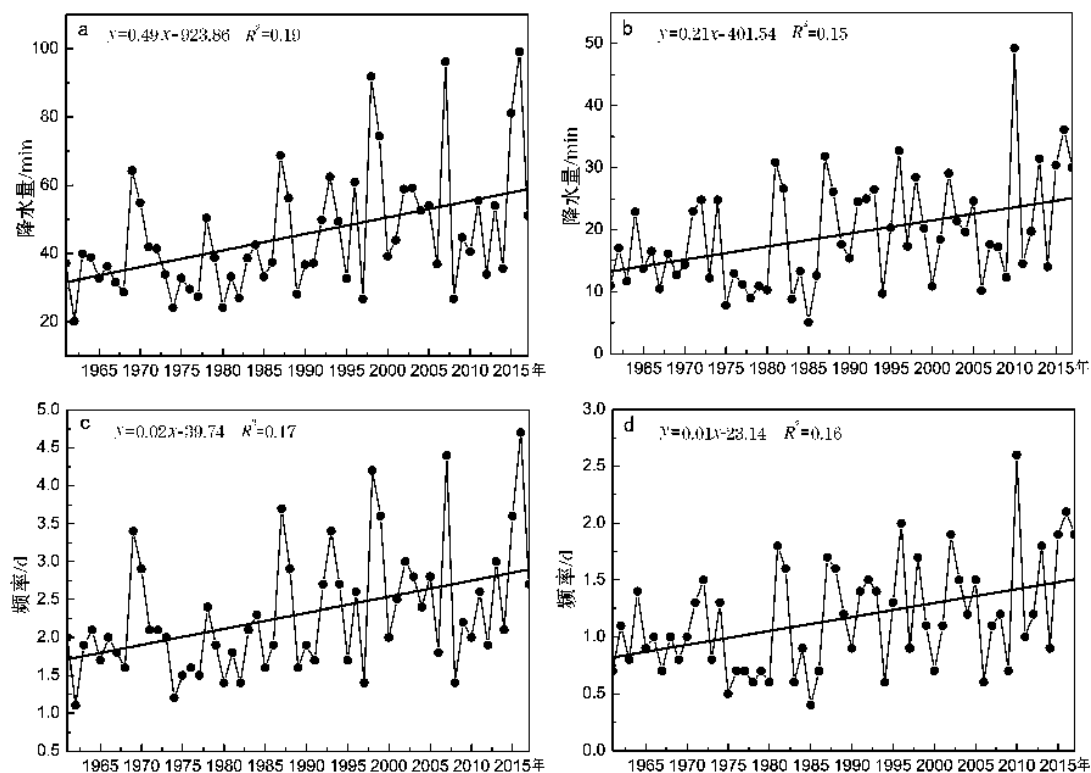


图 3 南、北疆夏半年极端降水量(a 为北疆, b 为南疆; 单位: mm)和极端降水频次(c 为北疆, d 为南疆; 单位: 1/d)的时间变化

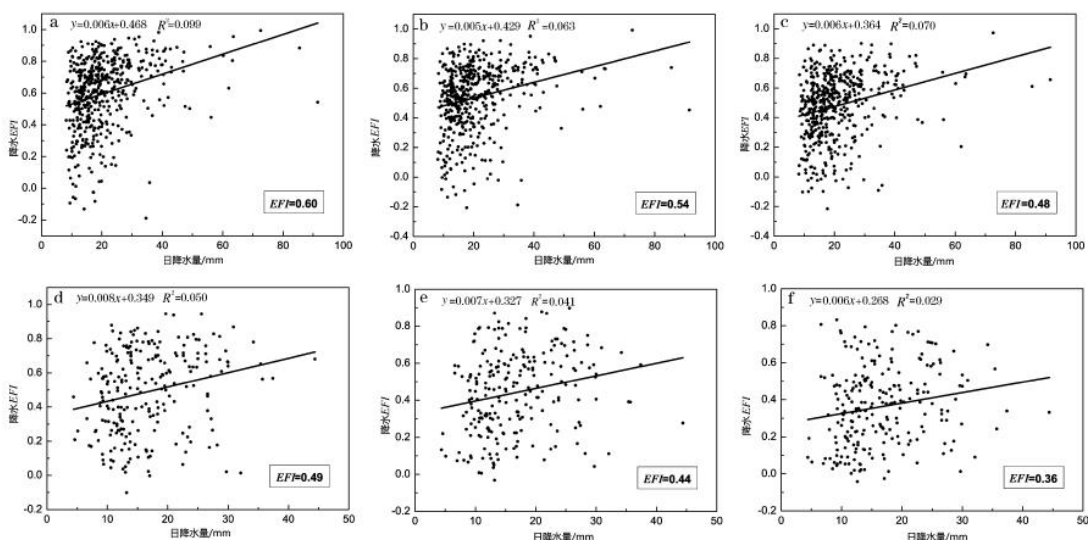


图 4 12~36、36~60、60~84 h 预报时效内降水 *EFI* 与南、北疆夏半年极端降水量的散点分布 (a、b、c 为北疆, d、e、f 为南疆)

降水 EFI 预报值与夏半年极端降水有很好的正相关,降水 EFI 对北疆夏半年极端降水的预报略优于南疆;随着预报时效的增加,降水 EFI 预报能力逐渐降低。

3.2 降水 EFI 的最优预报阈值

为分析夏半年极端降水中降水 EFI 的预报准确率和最优预报阈值,图5为12~36、36~60、60~84 h预报时效内,不同降水 EFI 预报值对应南、北疆夏半年极端降水的 TS 评分和预报偏差。整体来看,降水 EFI 对南、北疆夏半年极端降水预报的 TS 评分并非随着降水 EFI 阈值的增大而增大,而是在降水 EFI 阈值处于0.50~0.80达到峰值,且随着降水 EFI 阈值的增加,预报偏差明显减小,即空报率减少,漏报率增加。12~36 h预报时效中,北疆夏半年极端降水出现最高 TS 评分(0.13)时,降水 EFI 预报值为0.70,对应预报偏差为2.18,南疆夏半年极端降水出现最高 TS 评分(0.06)时,降水 EFI 预报值为0.65或0.70,预报偏差分别为4.35和2.99;36~60 h预报时效中,北疆夏半年极端降水出现最高 TS 评分(0.12)时,降水 EFI 预报值为0.65,对应预报偏差为2.23,南疆夏半年极端降水出现最高 TS 评分(0.05)时,降水 EFI 预报值为0.55,预报偏差>5.00;60~84 h预报时效中,降水 EFI 预报值为0.60时,北疆、南疆夏半年极端降水均出现最高 TS 评分(0.10、0.04),对应预报偏差分别为2.36、2.65。由此可知,随着预报时效的增加,夏半年极端降水最高 TS 评分均有所减小,北疆夏半年极端降水最高 TS 评分对应的 EFI 阈值随着预报时效的增加,由0.70减小至0.60,而南疆最高 TS 评分对应的降水 EFI 阈值在0.55~0.65,且最高降水 EFI 阈值对应的预报偏差并非最接近1。

在夏半年极端降水预报中,选取最高 TS 评分对应的降水 EFI 阈值进行预报时,要考虑空报率和漏报率,但最高 TS 评分与最接近1的预报偏差并

非对应同一降水 EFI 阈值。因此,依据不同降水 EFI 阈值对应的 TS 评分,综合预报偏差($BIAS$)的取值,得到南、北疆夏半年极端降水预报的最优降水 EFI 阈值(表1)。北疆和南疆夏半年极端降水预报的最优降水 EFI 阈值集中在0.65~0.75,选择最优阈值作为极端降水预报标准时,北疆地区12~36、36~60、60~84 h预报时效内,极端降水的 TS 评分分别为0.13、0.11、0.10,南疆地区对应时效的 TS 评分分别下降至0.06、0.05、0.04,表明降水 EFI 在北疆夏半年极端降水预报中的预报效果优于南疆,随着预报时效延长,降水 EFI 预报准确性降低。

表1 最优 EFI 阈值及对应的 TS 评分和预报偏差 $BIAS$

	北疆			南疆		
预报时效/h	12~36	36~60	60~84	12~36	36~60	60~84
最优阈值	0.75	0.70	0.65	0.75	0.75	0.70
TS	0.13	0.11	0.10	0.06	0.05	0.04
$BIAS$	1.34	1.38	1.52	1.91	0.97	0.94

4 降水 EFI 最优阈值检验和应用

4.1 降水 EFI 最优阈值检验

夏半年极端降水预报的最优降水 EFI 阈值集中在0.65~0.75,以2018、2019年极端降水天气事件为例,对最优降水 EFI 阈值进行检验,结果见表2。北疆地区,当降水 EFI 预报阈值取0.70时,12~36、36~60、60~84 h预报时效内, TS 评分分别为0.23、0.22、0.24,均高于降水 EFI 预报阈值取0.65和0.75时的 TS 评分,且对应的预报偏差 $BIAS$ 最接近于1;南疆地区,当降水 EFI 预报阈值取0.65时,12~36、36~60、60~84 h预报时效内, TS 评分分别为0.14、0.12、0.12,除了与12~36 h预报时效内,降水 EFI 预报阈值取0.70时的 TS 评分持平外,其余评分均为最高,但对应预报偏差 $BIAS$ 分别为1.48、1.36、0.83,相较

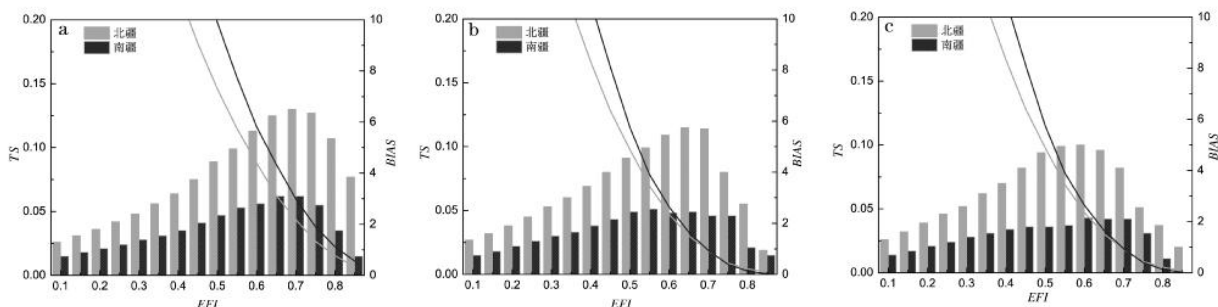


图5 12~36 h(a)、36~60 h(b)、60~84 h(c)预报时效内,降水 EFI 对南、北疆夏半年极端降水的 TS 评分(柱状)和预报偏差(曲线)

而言,降水 *EFI* 预报阈值取 0.70 时,12~36、36~60 h 预报时效内的预报偏差更接近于 1。通过检验分析,12~36、36~60 h 预报时效内,最优降水 *EFI* 阈值取 0.70 时,对南、北疆夏半年极端降水的预报效果最佳。

表 2 2018、2019 年极端降水最优 *EFI* 阈值检验

降水 <i>EFI</i> 阈值		北疆			南疆		
预报时效/h		12~36	36~60	60~84	12~36	36~60	60~84
0.65	<i>TS</i>	0.21	0.21	0.23	0.14	0.12	0.12
	<i>BIAS</i>	1.65	1.36	1.22	1.48	1.36	0.83
预报时效/h		12~36	36~60	60~84	12~36	36~60	60~84
0.70	<i>TS</i>	0.23	0.22	0.24	0.14	0.11	0.09
	<i>BIAS</i>	1.09	0.93	0.84	0.93	0.90	0.48
预报时效/h		12~36	36~60	60~84	12~36	36~60	60~84
0.75	<i>TS</i>	0.22	0.20	0.21	0.10	0.08	0.10
	<i>BIAS</i>	0.76	0.58	0.45	0.51	0.46	0.27

4.2 降水 *EFI* 预报应用

根据 2018—2019 年夏半年极端降水的情况,选取日降水中发生极端降水站数>10 个的极端降水天气,依据 12~36 h 预报时效内降水 *EFI* 的预报情况来预报极端降水落区。为保证选取的日极端降水天气中,站点分布均匀且南、北疆均有涉及,本文研究中选取 2018、2019 年各两场极端降水天气,分别为:2018 年 5 月 21 日,2018 年 9 月 24 日、2019 年 8 月 17 日、2019 年 9 月 10 日。

图 6 为 4 场极端降水天气中降水 *EFI* 预报场与实况降水落区。降水 *EFI* 正值区与 4 场天气的有量降水区均有很好的对应,最优降水 *EFI* 阈值选取为 0.70 时,对南、北疆夏半年极端降水的预报效果最佳。2018 年 5 月 21 日,降水 *EFI* 预报 0.70 及以上的区域位于喀什地区西部、克州及和田地区南部(图 6a),对比实况降水落区(图 6b)来看,降水 *EFI* 预报 0.70 的范围对喀什地区西部、克州 5 个站点的预报与实况吻合,其他站点的预报值略偏小。2018 年 9 月 24 日北疆偏西地区极端降水天气,降水 *EFI* 预报 0.60 及以上的区域主要位于伊犁州、博州、塔城地区北部和天山山区的局部区域(图 6c),上述区域均出现中雨及以上降水,对伊犁州北部和东部、博州及塔城地区北部的预报值>0.70,实况中上述区域 13 个站点均出现极端降水(图 6d)。2019 年 8 月 17 日,降水 *EFI* 对伊犁州、博州、塔城地区北部和阿克苏地区北部山区预报值>0.70(图 6e),其中 10 站出现极端降水(图 6f),仅对阿合奇站出现漏报。2019 年 9 月

10 日(图 6g、6h),南、北疆均出现降水天气,降水范围广,21 站出现极端降水,降水 *EFI* 预报 0.70 及以上的预报落区中有 15 个站点出现极端降水,但对北疆偏西地区和南疆部分站点存在漏报。

通过降水 *EFI* 对 4 场极端降水天气的预报及其与实况的对比分析可知,降水 *EFI* 预报的正值区与实况降水落区有很好的对应,降水 *EFI* 预报的大值区也正好对应降水的大值区。实况降水量为大雨(>12.1 mm)的站点,对应降水 *EFI* 的预报值也多在 0.50 以上;实况中 79.6%的极端降水站点对应降水 *EFI* 的预报值在 0.70 及以上,但降水 *EFI* 阈值选取 0.70 时,上述 4 场极端降水天气均存在部分站点的空报或漏报。

4.3 降水 *EFI* 预报分析

根据降水 *EFI* 对 4 场极端降水天气的 *TS* 评分和预报偏差(图 7)可知,2018 年 5 月 21 日南疆西部极端降水天气中,降水 *EFI* 预报值为 0.40~0.45, *TS* 评分最高,但对应预报偏差为 1.88,预报值取 0.70 时, *TS* 评分为 0.15,预报偏差为 0.44,漏报偏多,预报值取 0.60 时, *TS* 评分为 0.45,预报偏差为 1.67。2018 年 9 月 24 日北疆偏西极端降水天气中,降水 *EFI* 预报值为 0.65 时, *TS* 评分最高(0.73),对应预报偏差为 1.31,空报较多,预报值为 0.70 时, *TS* 评分为 0.71,预报偏差为 1.15,仍存在部分站点的空报,但综合来看,当降水 *EFI* 预报值取 0.70 时,降水 *EFI* 对此场天气的预报效果尤为显著。2019 年 8 月 17 日极端降水天气, *TS* 评分最高时(0.50),降水 *EFI* 预报值为 0.70,此时预报偏差为 1.55,预报值选取 0.80 时,预报偏差(0.91)最接近 1,但此时 *TS* 评分为 0.45。2019 年 9 月 10 日南北疆极端降水天气中,降水 *EFI* 预报值选取 0.60 和 0.75 时, *TS* 评分均为 0.24,但预报偏差分别为 2.14 和 1.14。通过对 4 场极端降水天气的分析,结合空报率和漏报率,降水 *EFI* 阈值选取 0.60~0.80 时, *TS* 评分相对较高。

5 结论和讨论

根据新疆 1961—2019 年夏半年 95 个气象观测站点的降水数据和 2013—2019 年极端天气指数(*EFI*)资料,分析了南、北疆夏半年极端降水的时空分布特征,并运用 *TS* 评分和偏差分析,检验了不同预报时效内降水 *EFI* 产品在南、北疆夏半年极端降水中的应用情况,以 2018、2019 年夏半年极端降水天气为例,评估了降水 *EFI* 对降水落区的预报性能,订正最优降水 *EFI* 的预报阈值。主要得出以下

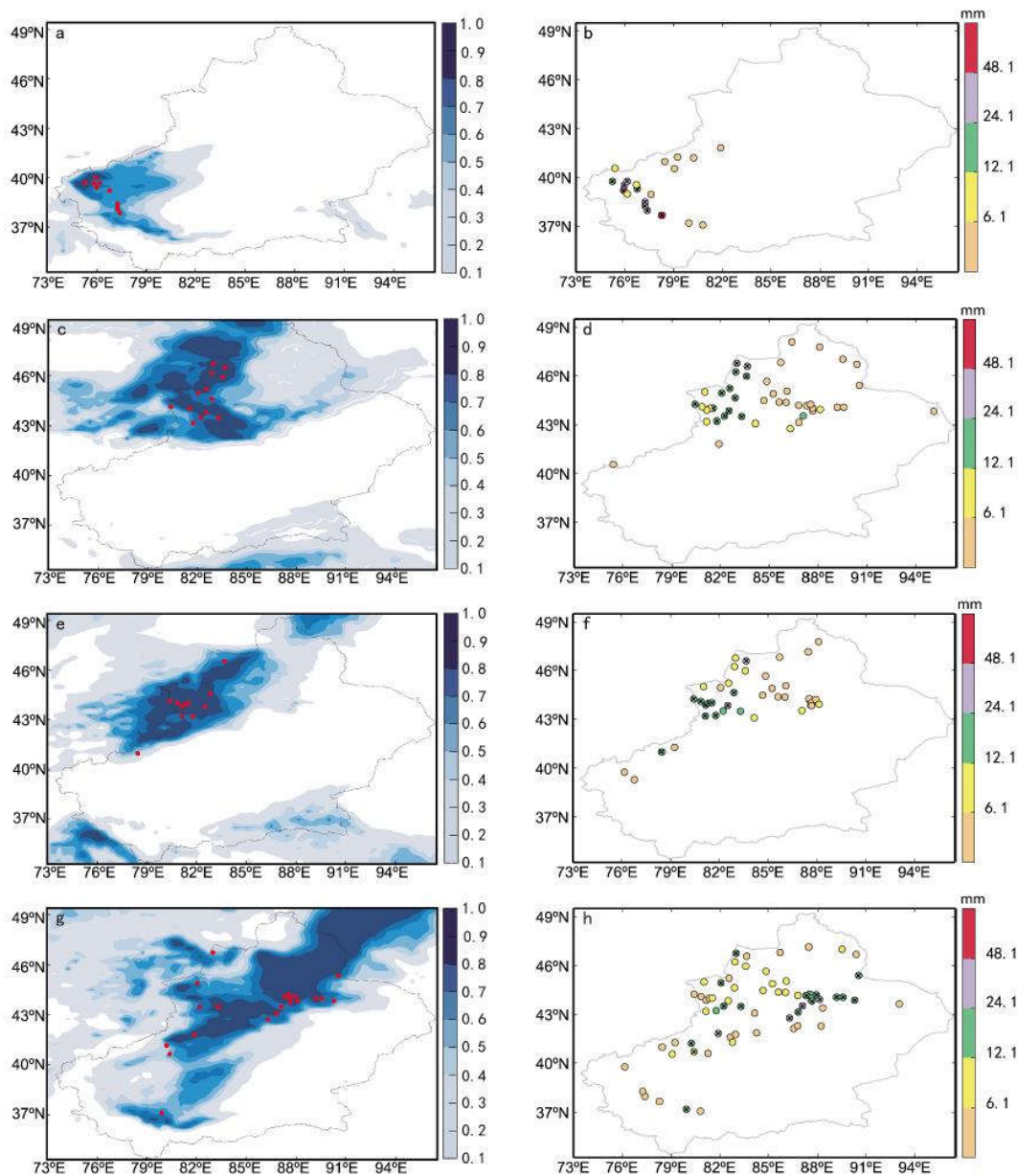


图6 降水EFI预报场(a、c、e、g)与实况降水落区(b、d、f、h)

(a、b为2018年5月21日,c、d为2018年9月24日,e、f为2019年8月17日,g、h为2019年9月10日;

红点代表出现极端降水的站点;黑叉代表出现极端降水的站点)

结论:

(1)夏半年极端降水阈值、极端降水量和极端降水频次的空间分布存在明显的区域差异,均呈现山区高、盆地低的特点,南疆夏半年极端降水阈值低于北疆,南疆夏半年发生极端降水的次数相比于北疆偏少。南、北疆观测站点平均夏半年极端降水量、极端降水频次总体均呈上升趋势,北疆夏半年极端降水量和极端降水频次在1991、1987年发生突变,南疆夏半年极端降水量和极端降水频次均在1992年发生突变。

(2)降水EFI预报值随着降水量的增加呈线性增加趋势,夏半年极端降水量与降水EFI预报值有很好的正相关,随着预报时效延长,降水EFI预报能力逐渐降低,尤其是对南疆夏半年极端降水的预报能力。降水EFI对夏半年极端降水预报的TS评分并非随着降水EFI阈值的增大而增大,而是在EFI阈值处于0.50~0.80达到峰值,且随着降水EFI阈值增加,预报偏差明显减小。综合TS评分和预报偏差,南、北疆夏半年极端降水预报的最优降水EFI阈值集中在0.65~0.75。

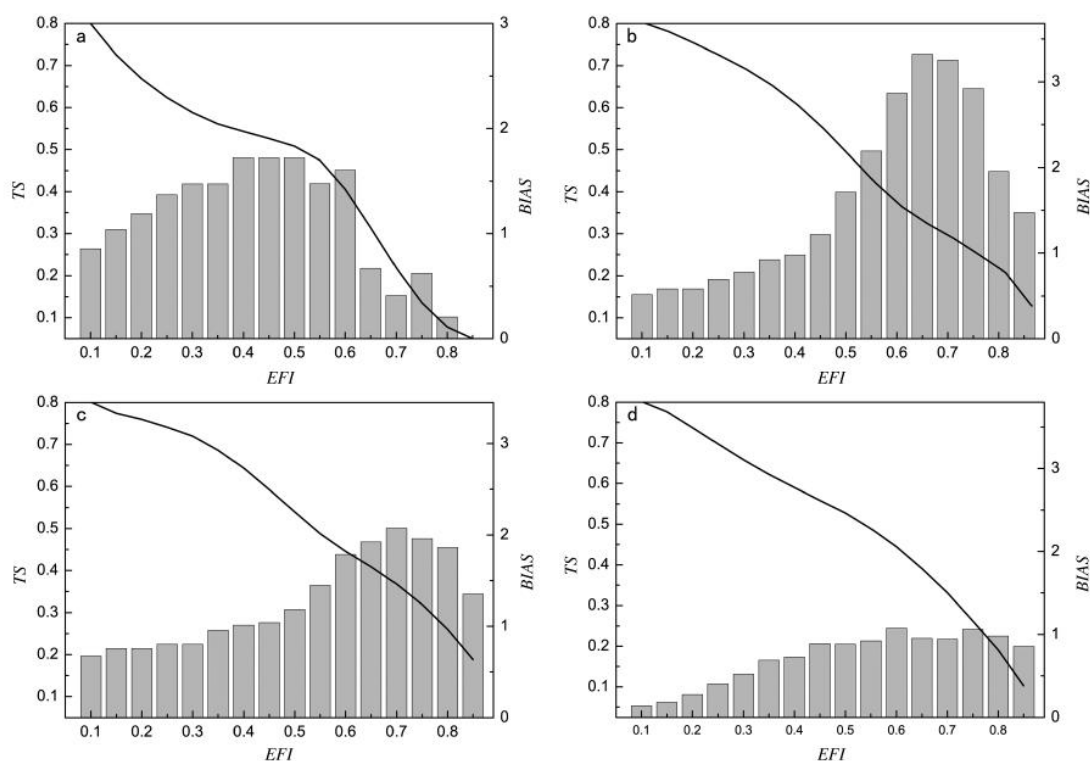


图7 12~36 h 预报时效内,降水 *EFI* 对4场极端降水天气的 *TS* 评分(柱状)和预报偏差(曲线)
(a为2018年5月21日,b为2018年9月24日,c为2019年8月17日,d为2019年9月10日)

(3)通过对2018、2019年夏半年极端降水天气的预报检验,最优降水 *EFI* 阈值为0.70时,南、北疆极端降水预报的 *TS* 评分与预报偏差综合最好;降水 *EFI* 预报对实况降水落区有一定的指示意义,降水 *EFI* 预报的大值区也正好对应降水的大值区,降水 *EFI* 预报值越大,出现极端降水的可能性越大。当降水 *EFI* 预报值超过0.60时,要考虑出现极端降水的可能性,实际预报中,可以将降水 *EFI* 预报值在0.70及以上的范围作为可能出现极端降水的预报落区。

本文检验评估了降水 *EFI* 产品在新疆夏半年极端降水落区预报中的应用情况和最优预报阈值,但由于保存资料的年限限制,选取的大范围极端降水天气偏少,在落区预报中的检验和评估有一定的局限性。且由于降水 *EFI* 预报落区与实况站点有所偏差,在实际业务中,当降水 *EFI* 预报达到或超过预报阈值时,要根据天气形势和物理量特征等对极端降水预报落区进行订正。

参考文献:

- [1] 杨金虎,江志红,王鹏祥,等.中国年极端降水事件的时空分布特征[J].气候与环境研究,2008,13(1):75-83.
- [2] 江志红,丁裕国,陈威霖.21世纪中国极端降水事件预估

[J].气候变化研究进展,2007,3(4):202-207.

- [3] 杜小玲,彭芳,吴古会,等.应用新型辐散方程诊断“6.28”关岭大暴雨的激发和维持[J].高原气象,2013,32(3):728-738.
- [4] 铃伟妙,罗亚丽,张人禾,等.引发舟曲特大泥石流灾害强降雨过程成因[J].应用气象学报,2011,22(4):385-397.
- [5] 孙继松,何娜,王国荣,等.“7.21”北京大暴雨系统的结构演变特征及成因初探[J].暴雨灾害,2012,31(3):218-225.
- [6] 杜钧,陈静.单一值预报向概率预报转变的基础:谈谈集合预报带来的变革[J].气象,2010,36(11):1-11.
- [7] 李泽椿,陈德辉.国家气象中心集合数值预报业务系统的发展及应用[J].应用气象学报,2002,13(1):1-15.
- [8] 李俊,杜钧,许建玉,等.一次特大暴雨过程高分辨率集合预报试验的检验和评估[J].暴雨灾害,2020,39(2):176-184.
- [9] 付宗钰,于波,荆浩,等.联合概率方法在北京灾害天气预报中的应用研究[J].气象与环境学报,2020,36(5):1-9.
- [10] LALAURETTE F. Early detection of abnormal weather conditions using a probabilistic extreme forecast index[J]. Quart J R Meteorol Soc,2002,129(594):3037-3057.
- [11] LALAURETTE F, van der Grijn G. Predictability of weather and climate:ensemble forecasts:can they provide useful early warnings [M]//Palmer T,Hagedorn R.

- Predictability of weather and climate. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2005: 614–627.
- [12] RICHARDSON D S, BIDLOT J R, FERRANTI L, et al. Verification statistics and evaluations of ECMWF forecasts in 2010–2011[R]. England: ECMWF, 2011: 654.
- [13] ZSOTER E, PAPPENBERGER F, RICHARDSON D. Sensitivity of model climate to sampling configurations and the impact on the Extreme Forecast Index[J]. Meteor Appl, 2015, 22(2): 236–247.
- [14] 张小雯, 郑永光, 盛杰, 等. 极端天气指数在强对流天气中的应用及检验[J]. 气象科学, 2018, 38(6): 768–779.
- [15] 罗玲, 娄小芬, 傅良, 等. ECMWF 极端降水预报指数在华东台风暴雨中的应用研究 [J]. 气象, 2019, 45(10): 1382–1391.
- [16] 董全, 代刊, 陶亦为, 等. 基于 ECMWF 集合预报的极端天气预报产品应用和检验[J]. 气象, 2017, 43(9): 1095–1109.
- [17] 陈鹤, 唐杰. ECMWF 极端天气指数产品在湖南降水预报中的评估[J]. 河南科学, 2018, 36(8): 1268–1273.
- [18] 朱鹏飞, 邱学兴, 王东勇, 等. ECMWF 降水极端天气指数在安徽省的应用评估[J]. 暴雨灾害, 2015, 34(4): 316–323.
- [19] 季晓东, 漆梁波. ECMWF 模式降水预报与极端天气预报指数在暴雨预报中的评估与应用 [J]. 暴雨灾害, 2018, 37(6): 566–573.
- [20] 龙柯吉, 陈朝平, 郭旭, 等. 基于 ECMWF 极端降水天气指数的四川盆地暴雨预报研究[J]. 高原山地气象研究, 2016, 36(2): 30–35.
- [21] 郭兴苗, 李丽平, 刘璞, 等. ECMWF 极端降水指数对 2016 年夏季华东地区极端降水预报的检验[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2019, 55(5): 693–700.
- [22] 陈亚宁, 王怀军, 王志成, 等. 西北干旱区极端气候水文事件特征分析[J]. 干旱区地理, 2017, 40(1): 1–9.
- [23] 赵丽, 韩雪云, 杨青. 近 50 a 西北干旱区极端降水的时空变化特征[J]. 沙漠与绿洲气象, 2016, 10(1): 19–26.
- [24] 李佳秀, 杜春丽, 杜世飞, 等. 新疆极端降水事件的时空变化及趋势预测 [J]. 干旱区研究, 2015, 32(6): 1103–1112.
- [25] 王妮, 崔彩霞, 刘艳. 新疆暴雨洪涝灾害损失的时空特征及其影响因素[J]. 干旱区研究, 2020, 37(2): 325–330.
- [26] 贾丽红, 马诺, 孙鸣婧, 等. ECMWF 极端天气指数在新疆强降水预报中的检验评估 [J]. 沙漠与绿洲气象, 2019, 13(3): 25–32.
- [27] 王建刚, 陈春艳, 徐建春, 等. 阿勒泰市强降水衍生泥石流灾害分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2013, 7(2): 51–55.
- [28] ZHANG X, HEGERL G, ZWIERS F W, et al. Avoiding inhomogeneity in percentile-based indices of temperature extremes[J]. Journal of Climate, 2005, 18(11): 1641–1651.
- [29] EBERT E. Fuzzy verification of high-resolution gridded forecasts: A review and proposed framework [J]. Meteor Appl, 2010, 15(1): 51–64.
- [30] 翟振芳, 魏春璇, 邓斌, 等. 安徽省 ECMWF 数值模式降水预报性能的检验[J]. 气象与环境学报, 2017, 33(5): 1–9.

Verification and Evaluation of Precipitation Extreme Forecast Index Products in Extreme Precipitation Forecast of Summer Half Year in Xinjiang

ZHOU Yaman^{1,2,3}, MA Chao^{1,3}, CHEN He⁴, LIU Chengwu¹

(1.Xinjiang Meteorological Observatory, Urumqi 830002, China;

2.Institute of Desert Meteorology, China Meteorological Administration, Urumqi 830002, China;

3.Center for Central Asian Atmospheric Science Research, Urumqi 830002, China;

4.Hunan Meteorological Observatory, Changsha 410118, China;)

Abstract The Extreme Forecast Index (*EFI*) data from the European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) ensemble forecast and the precipitation observation data from 95 meteorological observation stations in Xinjiang from 2013 to 2019(April to September). The thresholds and distribution of extreme precipitation during the flood season (April to September) in Xinjiang were studied.The performance of precipitation *EFI* product in extreme precipitation forecast during flood season in Xinjiang was comprehensively analyzed by *TS* score.The results show that: (1) The extreme precipitation,its threshold and frequency in Xinjiang were higher in mountainous areas and lower in the basin,higher in northern Xinjiang and lower in southern Xinjiang.The area average extreme precipitation and its frequency showed an increasing trend,the abrupt change observed in the 1990s. (2)There was a positive correlation between precipitation *EFI* forecast and extreme precipitation.The forecast ability of precipitation *EFI* decreased with the increase of the forecast validity.The *TS* score of extreme precipitation forecast in Xinjiang reached the peak when *EFI* threshold ranged from 0.50 to 0.80.Based on *TS* score and forecast bias,the optimal threshold for extreme precipitation forecast during summer half year in Xinjiang was concentrated between 0.65 and 0.75.(3) Precipitation *EFI* gave indication of the rain area.When the precipitation *EFI* was higher than 0.60,the extreme precipitation should be considered.Where the precipitation *EFI* value beyond 0.70 can be defined as the forecast area of extreme precipitation.

Key words extreme forecast index; extreme precipitation; *TS* score; threshold value; Xinjiang