

吴迎旭,孟莹莹,周一,等.基于ECMWF细网格、GRAPES的短时强降水潜势预报和检验[J].沙漠与绿洲气象,2021,15(5):30-40.

doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2021.05.005

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



基于ECMWF细网格、GRAPES的短时强降水潜势预报和检验

吴迎旭,孟莹莹,周一,赵柠,李兴权,刘松涛,吴岩

(黑龙江省气象台,黑龙江 哈尔滨 150030)

摘要:利用2016—2018年6—8月ECMWF细网格、GRAPES-GRAPES(简称GRAPES)、黑龙江省822个自动站资料研究黑龙江省6—8月短时强降水(一般短时强降水和极端短时强降水)的预报方法和各影响因子指标与它们之间的融合。采用双线插值法或临近格点法、分位数法、配料法、排除法、多重分析法等形成以水汽、不稳定、抬升为框架的客观预报方法。研究发现,强降水的环境背景不仅受限于各物理因子阈值,还与它们之间融合密切相关。各因子间存在一定差异和日较差,与水汽相关的各阈值夜间大于白天,热力不稳定性白天高于夜间。6月中上旬与水汽含量相关的各因子阈值小于其它时段。从检验结果看,由于强降水的突发性、局地性和研究方法以及模式本身的特征,预报的空报率非常大,漏报率较低,TS评分最低且随着强降水分布密度的降低而降低。一般性强降水检验中,两种模式点对点检验的TS评分为0.015左右,14和40 km为半径的点对面检验中TS评分约0.03和0.08。极端强降水检验中,两种模式点对点检验TS评分约0.004,14和40 km点对面检验TS约0.007和0.02。7月由于强降水分布密度相对较大,检验效果也相对较好。一般性强降水检验TS评分EC细网格高于GRAPES-GRAPES,而极端强降水检验TS评分刚好相反。

关键词:短时强降水;ECMWF细网格;GRAPES-GRAPES;潜势预报;检验

中图分类号:P457.6

文献标识码:A

文章编号:1002-0799(2021)05-0030-11

短时强降水强度和致灾可能性很大^[1],同时分布零散,时效短,可预报性差。它有时会出现连续降水中的某个时段,因为一次暴雨过程的降水总量往往是中尺度雨团不断生成和移动的结果^[2]。有时仅产生在一个很弱的影响系统,2014年7月4日黑龙江省伊春的朗乡站3 h雨量超过100 mm,最大10 min雨量超过30 mm,而当日黑龙江其它自动站

没有出现24 h雨量超过30 mm的站点^[3],降水非常集中。

有关极端性强降水的个例研究较多:何斌等^[4]对杭州湾北岸的短时暴雨做了中尺度分析,指出短时暴雨与近地面西南偏西气流和东南偏东气流的辐合作用密切相关,局地热对流触发两股气流导致短时大暴雨产生。一场午后气温的高低可能直接影响对流触发,郑婧等^[5]分析了江南北部梅雨锋和低空急流引发的灾害性暴雨,认为热力不稳定、较强的垂直风切变、低层充沛的水汽供应以及强烈的辐合抬升是短时暴雨产生的有利环境场,而多尺度系统的协同作用和稳定维持加大了短时暴雨强度。近年来有一些关于短时强降水影响系统和分布特征的研究,何晗等^[6]针对2009—2013年4—9月的65个冷

收稿日期:2020-02-08;修回日期:2020-05-06

基金项目:中国气象局预报员专项“基于EC细网格和GRAPES-GRAPES短时强降水客观预报”(CMAYBY2018-024);黑龙江省自然科学基金项目“黑龙江省致灾强降水雷达回波物理机制研究”(LH2020D014)

作者简介:吴迎旭(1980—),女,高级工程师,主要从事卫星、雷达、短时临近预报。E-mail:wuyingxu281@163.com

涡背景下短时强降水特征及两者之间的关系得出结论:冷涡背景下的短时强降水主要集中在京津和河北东南部以及东北平原地区,冷涡发展时期突发性暴雨很多,并主要位于冷涡中心的东南部和西南部。沈澄等^[7]将南京市的雨量站按照 1979—2012 年的一般站和 2008—2012 年自动站进行划分,分析短时强降水发生规律,指出城区的对流活动较郊区更活跃,且城市下风向地区的降水随之增强。常煜等^[8]采用 Gumbel 极值法确定内蒙古 1991—2013 年 6—8 月极端强降水时空分布特征和演变过程,发现极端强降水主要分布在 7 月下旬 17 时左右。黑龙江省在这方面也做了一些相关研究,曾利用 2008—2016 年 6—8 月黑龙江省 844 个自动雨量站资料,采用了多级判别法、一元线性回归、平均值显著性检验等方法统计黑龙江省 311 d 的 2 154 个站次短时强降水的时空分布特征和高空地面影响系统,分析发现高空低值系统与地面锋面共同影响是产生短时强降水及较大影响面积的主要原因;由于受降水性质和系统发生频率以及物理条件影响,高空槽前配合地面暖锋是最主要的影响系统^[9]。

目前,我国强降水的研究主要在两方面,第一,是时效较长物理意义更明确的中尺度环境场的研究;第二,是依托自动站、雷达的临近预报或预警。强降水潜势预报主要依据的就是各类数值模式,董全等^[10]利用 EC 集合预报判断极端强降水的预报阈值。陈涛等^[11]针对 2016 年 7 月 16 日华北极端强降水过程,基于 4 km 分辨率的 WRF-ARW 中尺度模式,采用 Morrison 方案和 WSM6_P2 方案检验 <50 mm 量级和 >100 mm 量级强降水预报。段鹤等^[12]利用多普勒天气雷达、探空和雨量站按照降水结构分为 3 种短时强降水概念模型并分析了强度、移速、生命期、垂直风切变等特征,给出了西双版纳短时强降水预报指标。以上的各类研究多是对强降水个例、气候特征的研究,而针对强降水的指标研究较少,特别是黑龙江省一直以来缺少高于实况分布密度的模式预报的物理因子阈值和各因子间融合的分析,本文针对黑龙江省短时临近预报应用最多的 ECMWF 细网格(简称“EC”)和 GRAPES-GRAPES(简称“GRAPES”)模式,分析统计黑龙江省短时强降水预报方法、各项指标的确定以及检验和应用情况。

1 资料和方法

1.1 资料选取

采用 2016—2018 年 6—8 月 EC、GRAPES 模

式 08 时初始场配合黑龙江省 822 个自动雨量站逐小时雨量,逐 3 h 识别不同级别的强降水天气。

按照我国《短时临近预报业务规定》和黑龙江省近 3 a 强降水中雨强约第 90 百分位平均降水阈值,将强降水分为一般强降水(小时雨量>20 mm)和极端强降水(小时雨量>40 mm 或 2 h 雨量>50 mm)。根据样本数据,极端强降水占样本总数的 15.2%。由于资料接收的滞后性,利用 08 时初始场预报未来 12~36 h 不同程度强降水落区。

1.2 研究方法和步骤

1.2.1 读取自动站气象要素信息

根据气象要素性质决定自动站信息的读取方式,正态分布的要素如气温、气压,采用双线插值法获取,公式为:

$$f(x, y) \approx f(0, 0)(1-x)(1-y) + f(1, 0)x(1-y) + f(0, 1)(1-x)y + f(1, 1)xy. \quad (1)$$

非正态分布要素如降水、风速,双线插值法会更多的平滑掉小尺度特征,因而采用临近格点法获取,即距离站点最近的格点值。

1.2.2 分位数法

根据降水、暴雨和强对流的形成和维持机制,选定强降水影响因子。没有采用相关法,统计中发现:强降水产生前后,会出现某一因子持续处于有利状态,如副热带高压外围影响黑龙江省时,会在很大范围出现较高的比湿值,而这一阶段的实况可能是一个较大范围强降水或者暴雨,也可能是无强降水产生。采用物理因子样本数的 95 或 98 分位数(公式 2)作为单一因子能否产生强降水的阈值,无法达到阈值的区域被视为非强降水区。

$$j = \frac{P}{100} \times n, \\ X_p = \begin{cases} X_{(j+1)}, & j \text{ 不是整数}, \\ \frac{X_j + X_{(j+1)}}{2}, & j \text{ 是整数}. \end{cases} \quad (2)$$

其中, P 代表百分数(例如:10, 25, 50, 75, 90), n 代表成员数, X_p 为返回 P 分位数的值。

1.2.3 配料法

以水汽、触发抬升、不稳定、能量为框架,对强降水有影响的因子按照不同搭配方式逐一识别。方法是在所有影响因子满足阈值后,当某一因子相对不是很有利的情况下,判断是否会出现其它非常有利的条件,如中低层温差虽然达到基础阈值但仍然较小时,对强降水不是很有利,但可能在配合低层近饱和状态的水汽时,就会出现强降水,如果没有配合其

它更好的形成条件视为非强降水区。本文的研究为了尽可能降低漏报率,保证每一次的搭配都要满足样本数的 95%以上,同时也为降低空报率,各项因子经过多次搭配完成配料。

1.2.4 排除法

在各项物理因子阈值和配料的框架下,逐一剔除非强降水区得到强降水区域。再依据维持机制,剔除部分区域后,得到极端强降水区。

1.2.5 潜势预报原则

从实际业务出发,目前我国对于>2 h 的强对流预报仍然处于一种潜势预报的态势,即使是 2 h 以内的临近预报也只是在一定程度上缩小预报的时空范围,黑龙江的强对流临近预报预警目前是精准至县级,所以长时效的点对点精准预报至今还无法实现,由面到点的预报预警在实际业务中得到应用。因此客观预报是一个较大范围和较模糊时段,也会在一定程度上导致大量空报的站点。

一般性强降水主要分析对流的形成原因,因为这种强度降水由于对流强度和尺度往往不大,很难长久维持,生命期也较短。但极端强降水除了探讨形成过程,对于维持机制的研究也很重要,只有具备了能够长久生存的机制才可能保证风暴的持续时间、尺度和强度,所以对于极端强降水的配料着重分析它的维持机制。

2 研究原理和预报指标

2.1 确定影响因子

充沛的水汽、强烈上升运动、较长持续时间是暴

雨形成必要条件;水汽、抬升不稳定、触发是雷暴产生的基本条件^[2]。从以上角度出发,选择影响因子(表 1),与水汽相关的因子包括:水汽通量、比湿、相对湿度、温度露点差、气柱含水量、抬升凝结高度,由于降水的水汽来源主要在低层,所以 1 000~850 hPa 水汽分布是直接决定降水的关键,而 925 hPa 比湿介于 850 hPa 和 1 000 hPa 之间,所以其分布的代表性不如 850 hPa 和 1 000 hPa 强,但考虑低层水汽有时会在某一层表现更加明显,用这 3 个等压面比湿和量进一步表征效果更佳;另外,增加 700 hPa 相对湿度可在一定程度上判断大气湿层厚度。不稳定条件根据气块法分析对流不稳定、静力不稳定,考虑中低层温差或者位温差,中低层温差考虑 $T_{850-500}$ (850 与 500 hPa 温度差)和 $T_{700-500}$ (700 hPa 与 500 hPa 温度差)。上升运动参考中低层辐合辐散,包括散度、水汽通量散度、垂直上升速度和海平面气压。降水持续性和强度方面主要考虑能量,如果仍有能量需要继续或快速释放,一定程度上就有利于强降水的产生,参考的能量参数主要是对流有效位能(CAPE)和 K 指数。能够表现水汽、抬升、不稳定的条件除了以上这些基本条件外还包括一些其他条件。其他因子的选择主要从两方面出发:一方面是当发生强降水时这些物理量是否能够表现出一个较明显的上限或者下限或者区间值又或者通过诊断方式得出发展趋势;另一方面这些因子相互配合后在某一特征上具有明显性或基本条件相关的因子能够得出某一限定值,本文选取中层相对湿度、水汽总含水量、湿层厚度、抬升凝结高度。

表 1 强降水框架下的物理因子

模式	EC	GRAPES
比湿	850 hPa、1 000 hPa、(850+925+1 000) hPa	850 hPa、1 000 hPa、(850+925+1 000) hPa
相对湿度	850 hPa、1 000 hPa、(850+925+1 000) hPa、 (500+700) hPa、2 m 温度露点差	850hPa、1 000hPa、(850+925+1 000)hPa、 (500+700) hPa、2 m 相对湿度
中低层温差	$T_{850-500}$ 、 $T_{700-500}$ 、假相当位温差(500~850)	$T_{850-500}$ 、 $T_{700-500}$ 、假相当位温差(500~850)
温度平流	700~500 hPa 的温度平流、925~850 hPa 的温度平流、水平温差	700~500 hPa 的温度平流、925~850 hPa 的温度平流、水平温差
低层辐合抬升	1 000~850 hPa 的垂直上升速度、水汽通量散度、散度	1 000~850 hPa 的垂直上升速度、水汽通量散度、散度
其它因子	汽柱含水量、地面温度、海平面气压、云总量、10 m 极大风速	抬升凝结高度、海平面气压、2 m 温度
水汽与抬升配合	低层辐合抬升与相对湿度度、水汽通量散度与相对湿度	低层辐合抬升与相对湿度度、水汽通量散度与相对湿度
水汽与能量的配合	CAPE、K 指数与相对湿度	CAPE、K 指数与相对湿度
温度与湿度配合	中低层温差与比湿	中低层温差与比湿
其它因子配合	海平面气压、云总量与相对湿度	海平面气压、相对湿度

2.2 各指标差异性

白天和夜间各因子之间以及两种模式本身都有一些差异性,选择相关因子时会在各项指标阈值和配合上有所考虑。每一因子的确定和不同因子之间的融合标准以及定量化指标必须满足 95%以上统计值(或者 95 以上分位数)。表 2 为一般性强降水的两种模式在不同时段的部分因子阈值。

2.2.1 时间差异性

时间差异性一方面表现在以旬为单位的旬变化,另一方面是以北京时间 08、20 时为分界点的日较差。尽管研究对象仅仅集中在 6—8 月,但 3 个月的时间跨度同样存在一定的差异性,主要体现在与水汽和温度相关的物理量,与抬升机制相关的定性诊断方面还没有进行时段划分。划分方法是以旬为单位,对比 6—8 月所有样本中,当某个因子在某旬与总样本的 95 分位数相差 5%以上时,该因子被认为有显著旬变化,如果连续 2 个或更多旬一致与总样本数相差较大,而他们本身差异不足 5%时,则这连续的 2 个或多个旬可划分在同一时段内。根据这一方法,两种模式预报都可以划分 6 月中上旬(6.1—6.20)和其他时段(6 月下旬—8 月下旬,简写为 6.21—8.31)。6 月中上旬由于大气含水量相对较低,比湿和气柱含水量都有显著旬变化,而相对湿度、温度露点差、抬升凝结高度、水汽通量没有明显旬变化,但存在较明显日较差,夜间(20 时至第二天 08 时)出现强降水一定要有充沛的水汽条件,假相当位温差、中低层温差这些表现温度层结稳定性的因子在白天阈值明显高于夜间。

从一般性强降水统计结果看,EC 和 GRAPES 的比湿在任何时段,都是随着高度的升高而减小,根据表 2 两种模式 6 月中上旬的比湿都相对较小(图 1),EC 在夜间和白天比其它时段分别降低约 6.1%

和 9.1%; GRAPES 降低约 6.0%和 13.0%,两种模式都是夜间比湿大于白天,根据 25、50、75、95 分位数的变化率,其波动性小于白天。表示空气饱和度的相对湿度和温度露点差两项因子,也是在夜间要求高于白天,夜间强降水要求地面为湿区(温度露点差 $<4\text{ }^{\circ}\text{C}$),白天仅要求非干区(温度露点差 $<10\text{ }^{\circ}\text{C}$)即可,但不同于比湿,波动性在夜间更大一些;一般情况下低层相对湿度高于高层,统计中发现两种模式白天 850 hPa 的相对湿度阈值基本与 1 000 hPa 相同。另外研究发现夜间的抬升凝结高度整体要高于白天的高度。

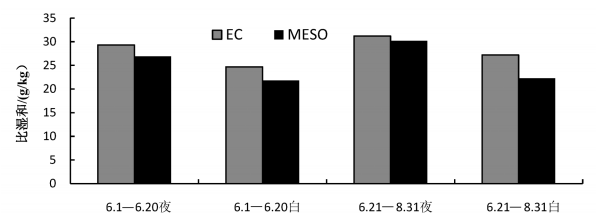


图 1 模式比湿阈值

温度层结作用对强降水非常明显,中低层的温差越大越易出现强降水,两种模式的夜间中低层温差的阈值比白天低。从 $T_{850-500}$ 指标和 K 指数看,6 月中上旬都要高于其它时段,根据样本数据,当这两项因子刚好达到阈值时,往往需要较大比湿或相对湿度才可能出现强降水。例如 EC 在 6 月 21 日—8 月 31 日如果 $T_{850-500}$ 达到阈值 $19\text{ }^{\circ}\text{C}$,但 $<21\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,低层比湿和必须 $>35\text{ g/kg}$,低层相对湿度和也要 $>280\%$,才有可能出现强降水。

低层的抬升一方面通过低层散度、垂直上升速度、水汽通量散度几项因子定性判断,不同时间不同模式都是用低层辐合和上升运动判断;另一方面通过海平面气压分析,当低气压团四周空气和水流向

表 2 一般强降水部分物理因子阈值

模式和时间	EC 夜间		EC 白天		GRAPES 夜间		GRAPES 白天	
	6.1—6.20	6.21—8.31	6.1—6.20	6.21—8.31	6.1—6.20	6.21—8.31	6.1—6.20	6.21—8.31
低层比湿和/(g/kg)	7.0	7.7	6.85	7.42	7.8	8.2	6	6.9
$T_{850-500} / T_{700-500} / ^{\circ}\text{C}$	22/12.3	19/12.1	23/13.7	20/13.7	18.1/11.6	16.1/11.6	19.9/11.9	19.6/11.9
850 hPa 相对湿度/%	49.7		57.9		62		55.385	
抬升凝结高度/m	—		—		987		979	
地面 $T-T_0 / ^{\circ}\text{C}$	4.2		10.55		—		—	
2 m 地面相对湿度/%	—		—		70.1		47.2	
对流有效位能/(J/kg)	9.45	10.25	6.4	10.02	—		—	
K 指数/ $^{\circ}\text{C}$	25.1	24.9	25	24.2	28.2	27.7	23	21.6

气压中心时,可以增加气压中心温度和水汽含量引起上升运动。通过分析,不同时间要求的气压阈值没有明显变化,但在相对海平面气压值不是很低的情况下,周围的水汽通常都比较大,并存在一定的对流有效位能。

2.2.2 不同级别强降水差异性

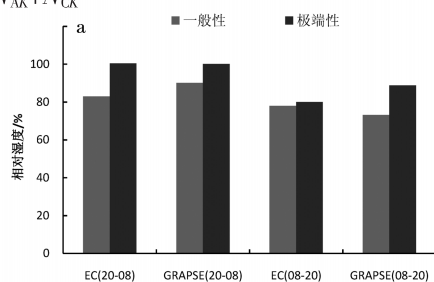
极端强降水是在一般强降水基础上,着重分析积云对流的维持机制。所以对它的识别是在一般强降水的潜势预报基础上剔除一部分降水持续时间较短的区域。研究的指标也是在一般性强降水(表2)基础上附加低层水汽含量、大气饱和程度、中低层冷暖平流或者温差、对流有效位能、垂直风切变、低层最大风速几方面因子。极端强降水中层饱和度(相对湿度)的阈值较一般强降水增长约20%,同时在其它因子变化不是很突出时,中层500、700 hPa相对湿度和($RH_{500+700}$)有明显的增加,一般出现在距离极端强降水很近或者已经开始时。极端强降水在任何时段都高于一般强降水(图2)。

3 效果检验

根据本文的研究方法和原理,检验2018年6—8月强降水的识别,按照国家气象局对降水评分标准(公式3~5),计算逐3h强降水预报的TS评分(T_{SK})、漏报率(P_{OK})、空报率(F_{ARK}):

$$T_{SK} = \frac{N_{AK}}{N_{AK} + N_{BK} + N_{CK}} \times 100\%, \quad (3)$$

$$P_{OK} = \frac{N_{AK}}{N_{AK} + N_{CK}} \times 100\%, \quad (4)$$



$$F_{ARK} = \frac{N_{AK}}{N_{AK} + N_{BK}} \times 100\%. \quad (5)$$

式中, N_{AK} 为预报正确站(次)数、 N_{BK} 为空报站(次)数、 N_{CK} 为漏报站(次)数。本文TS评分也称为准确率。

3.1 点对点检验

3.1.1 一般性强降水点对点检验

根据图3可知,一般强降水的识别,两种模式空报率都>97%,尤其是6月的空报率>98%。漏报率和准确率却非常低,特别是准确率<2%。从模式上看,两种模式的漏报率相差很小,EC漏报率在时段上的波动性比较大,漏报率略低,准确率高于GRAPES,但是由于漏报率本身非常高,所以任何时段两种模式的空报率相差都不足1%。从预报时间看,由于强降水的局地性特征,所以检验效果与强降水时空密度相关。由表3可知,2018年7月强降水站次约占本年度强降水总站次的62.3%,准确率最高,而6月的夜间强降水站次仅占该年强降水总站次的3.2%,因此两种模式的准确率都是最低的。

表3 2018年强降水在各时间段所占比例

时间	6月20—08时	6月08—20时	7月20—08时	7月08—20时	8月20—08时	8月08—20时
一般性强降水/%	3.2	18.3	31.3	31.0	8.3	7.8
极端强降水/%	2.0	23.5	27.5	32.2	9.4	5.4

3.1.2 极端强降水点对点检验

由于极端强降水局地性和不确定性更强,所以

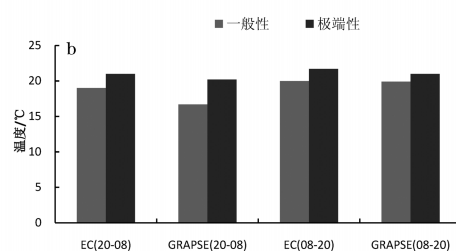


图2 6月21日—8月31日不同程度强降水温湿条件比较

(a为 $RH_{500+700}$,b为 $T_{850-500}$)

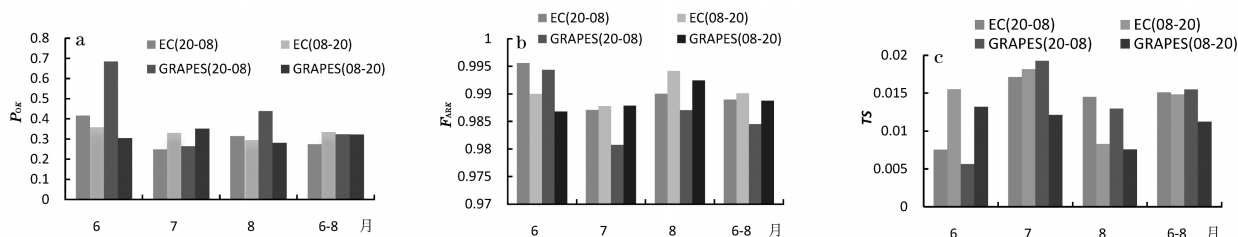


图3 一般性强降水点对点效果检验

(a为漏报率,b为空报率,c为准确率)

空报率明显高于一般性强降水,如果想降低漏报率,那么一定会增加空报率。根据图 4 可知,2 个模式的漏报率不超过 50%,TS 评分不足 0.7 分。从时间看,也是由于 6 月的夜间强降水分布密度最低导致整体漏报率较高、准确率较低,7 月的检验效果相对最好。从模式上看,与一般性强降水相反,EC 准确率低于 GRAPES,其中 EC6 月夜间的预报准确率最低。

3.2 点对面检验

强降水分布零散,突发性强,这也是空报率高、准确率低的的重要原因,漏报率和空报率本身又存在一定的矛盾。如果要保证较低的漏报率,潜势预报的区域可能会相对较大,空报率也会随之增大。而强降水的潜势预报目的就是预报某一定区域,而非某一个站点,即使在预报区域内,能够突发强降水的站点分布的零散性和偶然性也很大,所以点对点式检验必然会出现大量空报现象。而点对面的检验更为广泛应用,即对于每一个站点上的强降水预报正确与否,是用以该点为中心,一定半径内是否出现了强降水为判断标准。采用两种半径长度实行点对面的检验:第一种,由于研究过程中采用的是 822 个自动站,根据黑龙江省面积 473 000 km²,平均每个自动站的代表面积约 575.4 km²,所以选用检验半径为 14 km。第二种是参考美国 SPC 的“点对面”普遍检验方法^[13],即识别 40 km 为半径的圆面上的强降水。

3.2.1 一般强降水点对面检验

比较图 5 与图 3,点对面检验的准确率有明显增加。从模式上看,EC 的准确率高于 GRAPES,其中

EC 白天的准确率相对较高。14 km 为半径点对面的检验,准确率基本在 3 分以上,7 月最高。40 km 为半径的点对面检验,两种模式的差距相对缩小,GRAPES 白天的准确率最低,为 6~8 分,EC 白天准确率最高,达 8~10 分。

3.2.2 极端强降水点对面检验

极端强降水准确率较一般性强降水的准确率明显偏低(图 6),即使是 40 km 半径的点对面检验,最高也不足 5 分,最低是 6 月夜间,约 0.5 分,与一般性强降水检验结果不同,极端强降水 GRAPES 的 TS 评分高于 EC。

3.3 检验误差说明

根据检验结果,由于空报率很大导致最终 TS 评分很低,分析原因主要有以下几方面:

(1)模式本身,预报场不是实况场,本身就存在一定误差;两种模式的分辨率都无法预报一些直接产生强降水的中小尺度系统。

(2)采用的方法存在以下几个问题:第一,考虑雷达、自动站等探测手段在临近预报中的修订作用,所以制定的方法是为了一定程度上能够减小漏报可能,而不是单一的追求高准确率,从而影响了 TS 评分。第二,空间分析着重于垂直梯度,水平梯度是被忽略的。第三,潜在的强降水条件可能持续时间较长,但实况强降水发生只是其中很短的时间,所以存在较大时间误差。第四,日较差划分不够详细,只是简单划分了白天和夜间。第五,没有其他资料融合和订正。

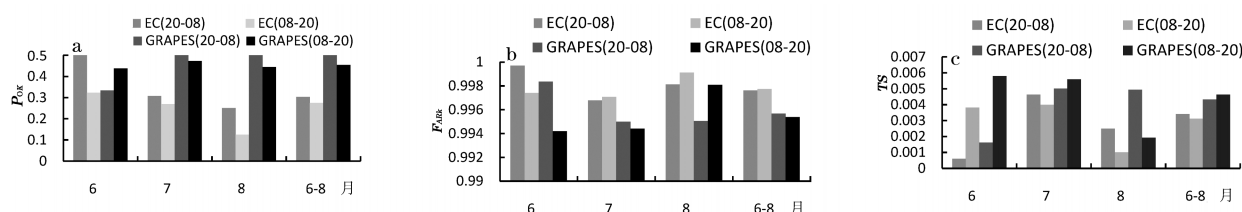


图 4 极端强降水点对点效果检验

(a 为漏报率, b 为空报率, c 为准确率)

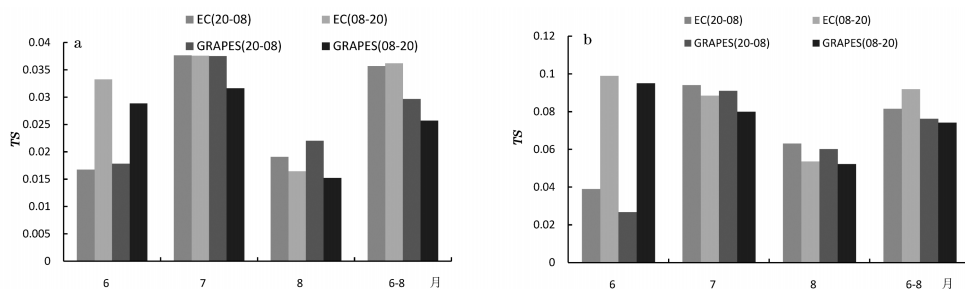


图 5 一般性强降水点对面效果检验

(a 为 14 km 半径检验, b 为 40 km 半径检验)

(3)预报区域中,虽然没有达到强降水的标准,但是基本都会出现明显降水,可能还常常伴有其它类型强对流天气发生。

4 个例实验

根据前文中部分物理因子不同时段特征,分别选取了2019年6月中旬和8月上旬2个实验。

4.1 2019年6月12—13日

利用2019年6月12日08时初始场EC和GRAPES模式资料识别2019年6月12日20时—13日20时强降水。12日20时—13日20时黑龙江省处于500 hPa低涡前部,并伴有低层切变线,冷涡中心位于黑龙江西部,切变线和中层干空气随着系统向东移动,同时,低层垂直上升区强度和面积也增大,气柱含水量超过 30 kg/m^2 的区域增大并向东北地区移动。黑龙江省的低层暖平流较强,冷空气自西北向黑龙江渗透,中西部有冷暖交汇和上干下湿的对流不稳定层结。

4.1.1 一般性强降水

6月12日20时—13日08时的实况强降水发生在黑龙江西部地区,其中西南部站次密度相对较大(图7a);EC预报区分布同样是西南部集中,西北部分散,其他地区无,但密集区的位置比实况场略有偏东,落区预报整体比较准确(图7b),具有参考性。

GRAPES预报落区与EC和实况都大致相同(图7c),只是预报的西北部密度偏大,所以空报率会更大,与预报的西南部的密集区相比,EC更接近实况,同样具备参考性。

6月13日08—20时实况强降水主要在黑龙江北部地区(图8a);两种模式空报都比较明显。EC预报集中在黑龙江北部和南部特别是东北部和南部的中部地区(图8b),其中黑龙江南部出现明显空报;GRAPES同样在南部地区出现空报(图8c),但空报区和密集程度比EC小。

4.1.2 极端强降水

6月12日20时—13日08时实况的极端强降水位于黑龙江中部,局地性非常强(图9a);EC预报集中区域比实况偏东不足30 km(图9b);GRAPES预报的面积更大(图9c),所以空报率更大,但从预报的密集区与实况区的吻合看,比EC更准确。两种模式整体效果较好。

13日08—20时实际的极端强降水在黑龙江北部(图10a);EC和GRAPES预报区域面积过大,整体效果较差,在东北部和南部完全是空报(图10b、图10c)。GRAPES并没有在实况位置形成预报密集区,所以这次的潜势预报基本是错误的。

4.2 2019年8月6—7日

2019年8月6日08时高空500 hPa构成了

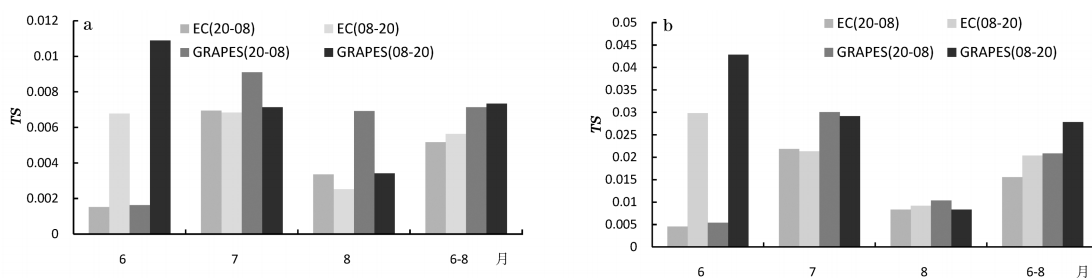


图6 极端强降水点对点效果检验
(a为14 km半径检验;b为40 km半径检验)

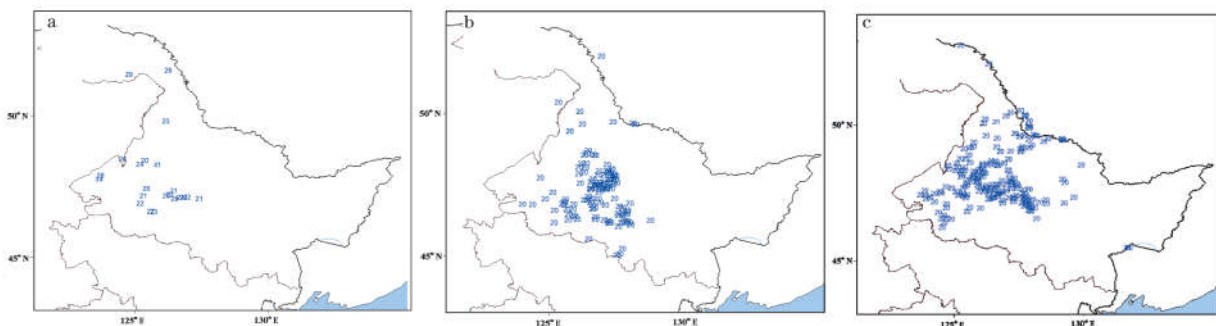


图7 6月12日20时—13日08时一般强降水落区
(a为实况,b为EC逐3 h强降水叠加,c为GRAPES逐3 h强降水叠加)

“两高两低”的“鞍形场”,东北部为冷涡系统,冷涡底后部不断有弱冷空气引导南下影响强降水区;西南部冷涡缓慢东移,冷涡前部西南气流向北输送影响黑龙江省,东南部和西北部分别为高值系统,2个低值系统的温度场落后于高度场,西北部高值系统是由于贝加尔湖西部暖脊加强形成,东南部为副热带高压,“584 dagpm”线北挺至黑龙江东南部,强降水区处于副热带高压外围,同时在我国台湾岛东部有台风“范斯高”正在北上,在一定程度上阻碍系统的移动。配合地面系统在6日上午,同样存在4个不同的高低系统,地面辐合线明显,西南部气旋中心位于内蒙古东北部。

4.2.1 一般性强降水

8月6日20时—7日08时的实况强降水区位

于黑龙江西南部和中部地区,强降水出现连续性和集中性(图11a圆圈处)。EC预报也出现了密集区,但同时又在东北部出现了相对较为稀松的落区(图11b),总体与实况吻合较好。GRAPES在东北部没有出现明显的空报,预报区也集中在西南部和中部,与实况不同的是预报区中没有出现相对集中区(图11c)。2个模式预报都有较好的指示性。

8月7日08—20时的实况强降水在中部、中南部和东部(图12a),两种模式在预报区域和密集程度上出现了很高的相似(图12b、12c),它们都出现了较大空报,并集中在西南部和东南部,实况与预报密集区相吻合,所以这次过程两种模式的一般性强降水预报有一定参考价值,可以在降水过程中关注其他探测手段。

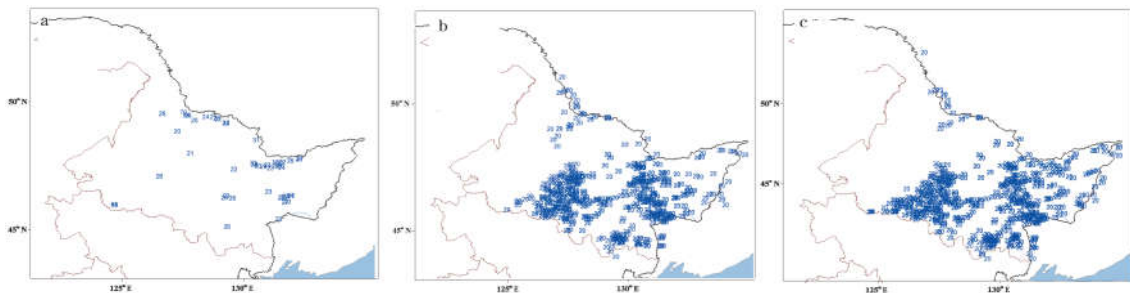


图8 6月13日08时—13日20时一般强降水落区
(a为实况,b为EC逐3h强降水叠加,c为GRAPES逐3h强降水叠加)

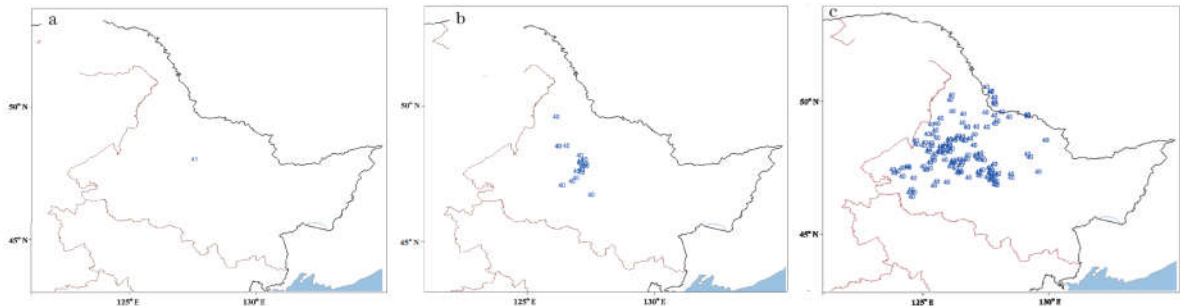


图9 6月12日20时—13日08时极端强降水落区
(a为实况,b为EC逐3h强降水叠加,c为GRAPES逐3h强降水叠加)

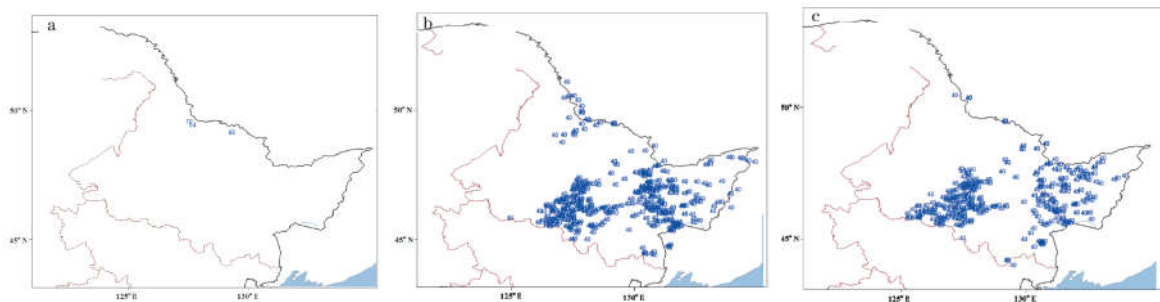


图10 6月13日08—20时极端强降水落区
(a为实况,b为EC逐3h强降水叠加,c为GRAPES逐3h强降水叠加)

4.2.2 极端强降水

8月6日20时—7日08时的极端强降水区与该时段一般性强降水区在实况和模式预报中的分布都基本一致(图13),只是它们的集中程度略小一些,所以预报效果较好。

8月7日08—20时极端强降水(图14)也与一般性强降水相似,但由于极端强降水本身的偶然性,所以实况分布相对零散,两种模式预报有一定的差别,EC仍然是在西南部和东南部出现空报,GRAPES在西南部基本没有预报区,减少了空报率,

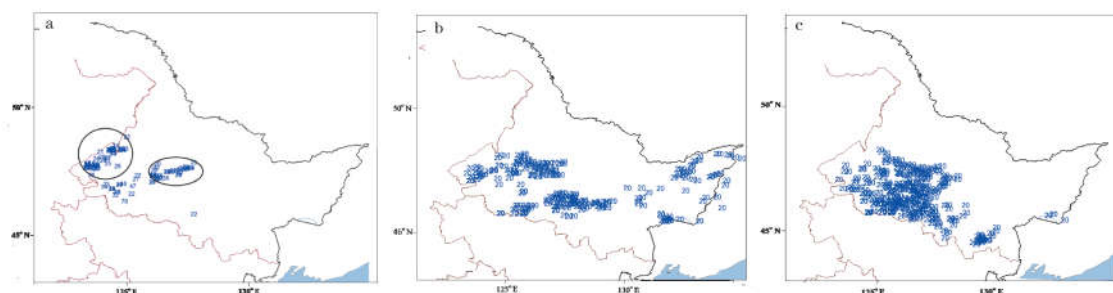


图11 8月6日20时—7日08时一般性强降水落区

(a为实况,圆圈处为强降水密集区;b为EC逐3h强降水叠加;c为GRAPES逐3h强降水叠加)

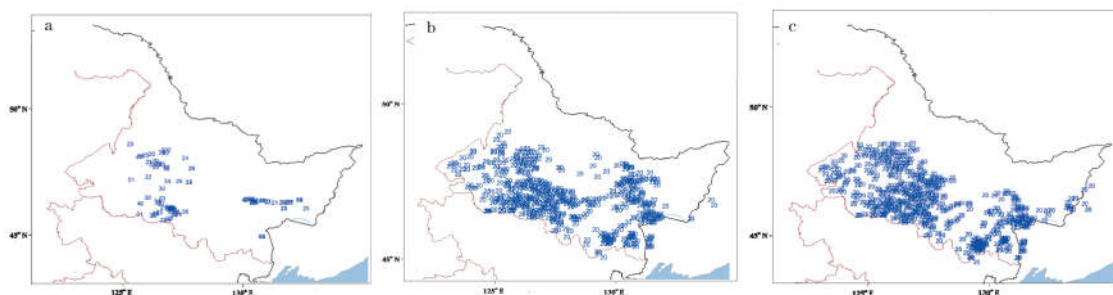


图12 8月7日08—20时一般性强降水落区

(a为实况,b为EC逐3h强降水叠加,c为GRAPES逐3h强降水叠加)

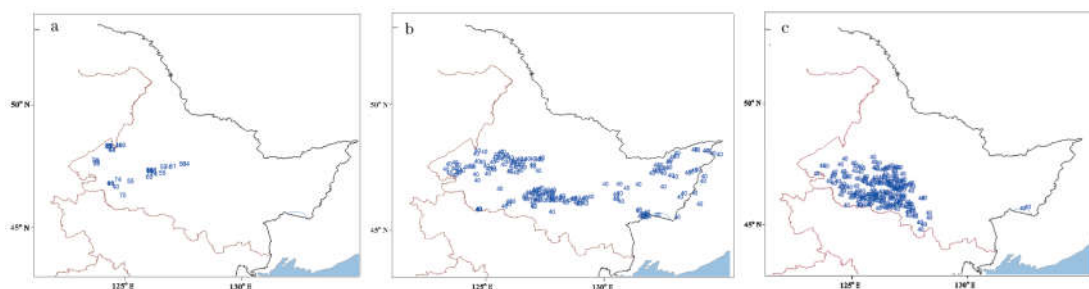


图13 8月6日20时—7日08时极端强降水落区

(a为实况,b为EC逐3h强降水叠加,c为GRAPES逐3h强降水叠加)

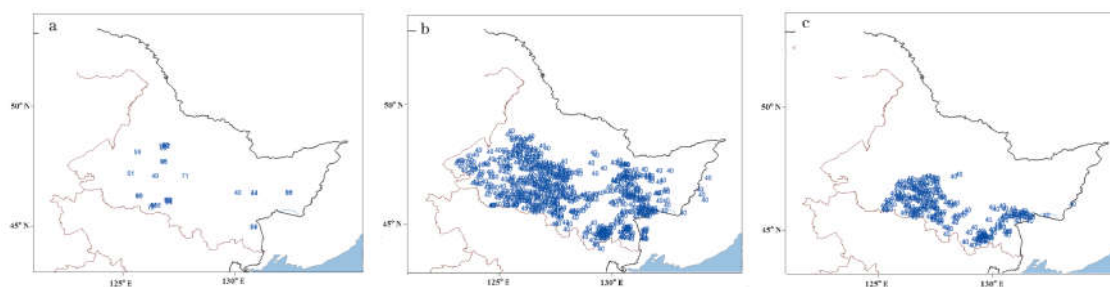


图14 8月7日08—20时极端强降水落区

(a为实况,b为EC逐3h强降水叠加,c为GRAPES逐3h强降水叠加)

但在中部地区出现了部分漏报。

5 结论

(1) 强降水的环境背景一方面受限于基本因子阈值,另一方面也需要各物理因子间的融合,当所有影响因子达到阈值后,某一因子的条件相对较差时需要其他因子非常有利情况下,才可能出现强降水。

(2) 一般性强降水的主要影响因子为与水汽(比湿、相对湿度)、热力(中低层温差、地面温度、温度平流、能量)、抬升(散度、水汽通量散度、垂直速度、海平面气压)相关的因子,其中水汽和热力条件以定量诊断为主,抬升条件以定性诊断为主。极端强降水的识别是在一般性强降水的基础上考虑积云的维持与增长机制。各物理因子间存在一定旬差异和日较差,夜间与水汽含量相关因子的阈值明显大于白天,不稳定条件则是白天高于夜间。6 月中上旬要求的水汽含量小于其它时间。

(3) 由于模式本身、研究方法、实况代表性等原因,两种模式的潜势预报都存在很大误差。因为强降水的局地性、突发性特征,逐 3 h 检验结果空报率非常大,TS 评分很低。一般性强降水,两种模式点对点检验的 TS 评分基本在 2% 以下,14、40 km 半径点对面检验的 TS 评分约 3% 和 8%。极端强降水,两种模式点对点检验 TS 评分基本在 0.4% 左右;14、40 km 半径点对面检验 TS 评分约 0.7% 和 2%。

(4) 受强降水分布影响,7 月由于强降水发生频繁,检验效果相对好于其它时段,一般性强降水优于极端强降水。随着点对面检验半径的扩大,TS 评分随之增加。一般性强降水检验中 EC 细网格 TS 评分高于 GRAPES、GRAPES,而极端强降水检验中两种模式的 TS 评分刚好相反。

本文的研究还存在不足,物理因子垂直和水平

梯度分析的密度较小,且没有明确各因子的权重;自动站、雷达资料没有及时同化;在日较差方面,只分白天和夜间;存在降低漏报率和提高准确率之间的矛盾。

参考文献:

- [1] 俞小鼎, 摇秀萍, 熊庭南, 等. 多普勒天气雷达原理与业务应用[M]. 北京: 气象出版社, 2006: 170-180.
- [2] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理与方法[M]. 北京: 气象出版社, 2000: 383-399, 401-460.
- [3] 吴迎旭, 周一, 刘松涛, 等. 一次引发黑龙江省大风与强降水的 β 中尺度系统物理机制与特征分析[J]. 气象环境学报, 2016, 32(3): 1-9.
- [4] 何斌, 范晓红, 盛文斌, 等. “2013·7·21”杭州湾北岸短特大暴雨的中尺度分析[J]. 气象, 2015, 41(7): 842-851.
- [5] 郑婧, 孙素琴, 吴静, 等. 梅雨锋短特大暴雨的多尺度环境场分析[J]. 气象, 2014, 40(5): 570-579.
- [6] 何晗, 谌芸, 肖天贵, 等. 冷涡背景下短时强降水的统计分析[J]. 气象, 2015, 41(12): 1466-1476.
- [7] 沈澄, 颜廷柏, 刘冬晴, 等. 2008-2012 年南京短时强降水特征分析[J]. 气象与环境学报, 2015, 31(1): 28-33.
- [8] 常煜, 随沅锐, 赵斐. 内蒙古夏季极端降水持续性分析与时空分布特征[J]. 暴雨灾害, 2019, 38(2): 161-168.
- [9] 吴迎旭, 周一, 孟莹莹, 等. 2008-2016 年黑龙江省短时强降水分布特征及影响系统 [J]. 自然灾害学报, 2017, 26(6): 175-183.
- [10] 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.
- [11] 陈涛, 林建, 张芳华, 等. “16·7”华北极端强降水过程对流尺度集合模拟试验不确定性分析 [J]. 气象, 2017, 43(5): 513-527.
- [12] 段鹤, 夏文梅, 苏晓力, 等. 短时强降水特征统计及临近预警[J]. 气象, 2014, 40(10): 1194-1206.
- [13] 唐文苑, 周庆亮, 刘鑫华, 等. 国家级强对流天气分类预报检验分析[J]. 气象, 2017, 43(1): 67-76.

Short Time Heavy Rain Potential Prediction and Inspection Based on ECMWF Fine Grid and GRAPES _GRAPES

WU Yingxu, MENG Yingying, ZHOU Yi, ZHAO Ning, LI Xingquan , LIU Songtao, WU Yan
(Heilongjiang Meteorological Observatory, Harbin 150030, China)

Abstract Using the ECMWF fine grid, GRAPES _GRAPES and 822 automatic stations data from June to August during 2016–2018 to study the forecast methods of short–time heavy rainfall (general short time heavy precipitation and extreme short–term heavy precipitation) in Heilongjiang Province from June to August and the fusion of various impact factor indicators and them. Use double–line interpolation or adjacent grid method, quantile method, batching method, elimination method, multiple analysis method, etc. to form an objective forecast method based on water vapor, instability, and uplift. The results show that the environmental background of heavy rainfall is not only limited by the thresholds of various physical factors, but also closely related to their fusion. There are a certain ten–day difference and daily difference among various factors. The thresholds related to water vapor are greater at night than that during the day, and thermal instability is higher during the day than that at night. The thresholds of the factors related to water vapor content in mid–to–early June are smaller than that in other time periods. Due to the suddenness of heavy precipitation, local topography and research methods, and the characteristics of the model itself, the forecasting rate of false alarms is very high, the rate of under–reporting is low, and the *TS* score is the lowest, and reduces with the decrease of the distribution density of heavy precipitation. In the general heavy precipitation test, the *TS* score of the point–to–point test of the two modes is about 0.015, and the *TS* scores of the point–to–surface test with radius of 14 km and 40 km are about 0.03 and 0.08. In the extreme heavy precipitation test, the *TS* score for the two models is about 0.004 for point–to–point tests, and the *TS* for points–to–point tests for 14 km and 40 km are about 0.007 and 0.02. Due to the relatively large distribution density of heavy rainfall in July, the test results are relatively good. The general heavy rainfall test *TS* score of EC fine grid is higher than that of GRAPES _GRAPES, while the extreme heavy rainfall test *TS* score is just the opposite.

Key words short time heavy rain; EC fine grid; GRAPES _GRAPES; potential forecast; test