

赤山湖流域 TIGGE 降水预报精度 评价研究

杜开连, 葛 忆, 张佳丽, 朱 力

(句容市水利局, 江苏 镇江 212400)

摘要: 为了提高赤山湖流域洪水预测预报的能力, 对赤山湖流域 TIGGE 降水预报精度进行了评价研究。将 TIGGE 的 ECMWF、KMA、JMA、UKMO、CMA 等 5 个模式应用于赤山湖流域, 基于 2015—2019 年汛期降雨预报数据和流域实测降雨资料, 采用均方误差指标 RMSE 和降雨预报三率综合评价指标对这 5 个模式的预报精度进行了评价。结果表明: 在赤山湖流域 TIGGE 的 5 个模式中, JMA 模式的降水预报精度最高, 其次是 ECMWF。

关键词: TIGGE; 降水预报评估; 多模式集合预报

中图分类号: TV125

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839(2020)07-0048-04

Study on the evaluation of TIGGE precipitation forecast precision in Chishan Lake Catchment

DU Kailian, GE Yi, ZHANG Jiali, ZHU Li

(Jurong Water Conservancy Bureau, Zhenjiang 212400, China)

Abstract: In order to improve the ability of flood forecast in Chishan Lake Catchment, the TIGGE precipitation forecast precision was evaluated. The 5 models of TIGGE including ECMWF, KMA, JMA, UKMO and CMA were applied to the Chishan Lake Catchment, and based on the rainfall forecast data of the flood season in 2015 – 2019 and the measured rainfall data of the watershed, the prediction accuracy of the five models was evaluated by using the mean square root error index RMSE and the three – rate comprehensive evaluation index of rainfall forecast. The results showed that among the five TIGGE models in the Chishan Lake Catchment, the JMA model had the highest precipitation forecast accuracy, followed by ECMWF.

Key words: TIGGE; precipitation forecast assessment; multi – model ensemble

由落地雨驱动水文模型进行洪水预报, 其预见期为主雨停止时刻至洪峰出现的时距, 是由流域产汇流特性决定的。为了提高流域洪水预报的精度, 延长洪水预报的预见期, 为流域防洪减灾赢得更多的应急响应时间, 提高防洪调度的应急能力, 应采取切实措施利用 TIGGE 等数值气象预报产品进行降水预报, 提高洪水预报的精度, 延长洪水预报的预见期。欧洲洪水预报系统计划于 2003 年启动后,

最早开始将气象集合预报数值模式产品应用于洪水预报业务^[1]。2004 年, 欧洲中期天气预报中心在英国里丁召开了由气象和水文 2 个领域的科技工作者参加的国际水文集合预报试验第 1 次研讨会^[2-3]。2005 年世界气象组织启动了为期 10 年的 THORPEX 计划^[4], 作为 THORPEX 的一个重要组成部分, TIGGE 归档了全球范围内 10 个数值天气预报中心的集合预报产品^[5-6]。目前, 针对降雨预

收稿日期: 2019-12-06

作者简介: 杜开连 (1974—), 男, 高级工程师, 本科, 主要从事水利管理与防汛防旱工作。E-mail: dukailian@163.com

报能力的评估和集合预报,国内外学者已做了大量研究。例如,赵琳娜等^[7]指出多模式集合预报可以改善单一模式的不确定性;包红军等^[8]将 TIGGE 产品应用于淮河流域洪水预报,结果表明采用 TIGGE 集合预报产品,可以将洪水预报的预见期延长;杜雅玲等^[9]利用 TIGGE 数据的中期降水预报评估了在江苏省的应用效果,发现各模式在对中雨以上等级降水存在较明显的漏报;ChenkaiCai 等^[10]将 TIGGE 集合预报产品应用于淮河流域,对 TIGGE 的 ECMWF、KMA、JMA、UKMOCMA 等 5 个模式的精度进行了评价,并进行了非线性集合校正研究。本文以赤山湖流域为研究区域,选用不同模式的降雨预报数据,结合流域实测降雨资料,对各模式在 17 d 预见期内的预报精度进行综合评价,旨在为研究 TIGGE 应用于赤山湖流域洪水预报提供科学依据。

1 研究区域概况

赤山湖流域集水面积 527 km²,发源于秦淮河北支句容河的支流北河、中河与南西河,属丘陵山区和圩区混合地貌,亚热带湿润季风气候区,水文气象特点复杂,洪涝灾害频发。赤山湖流域出口有赤山闸控制泄流,流域下游地区分布着赤山湖内湖、西万亩圩等蓄滞洪区,这些蓄滞洪区是秦淮河流域调蓄洪水的重要措施,也是秦淮河流域全局防洪利益与赤山湖流域局部防洪利益冲突的焦点。

赤山湖流域有赤山闸、二圣水库、茅山水库、虬山水库、潘冲水库、马埂水库、李塔水库等自动测报雨量站,流域水系及测站分布见图 1。

2 降水实测与预报资料

2.1 实测降水资料

收集了赤山湖流域 2015—2018 年汛期(5 月 1 日至 9 月 30 日)赤山闸、二圣水库、茅山水库、虬山水库、潘冲水库、马埂水库、李塔水库 7 个雨量站的逐日实测雨量资料,采用泰森多边形法求得实测的流域面平均雨量系列。

2.2 TIGGE 资料

目前 TIGGE 已经归档了全球多个气象业务中心或预报模式的短中期降水集合预报产品,预报时效达 1~14 d。考虑到赤山湖流域 1~7 d 的降水量预报对流域防洪预报调度决策意义较大,本文降水预报最长预见期时长取为 7 d。本文主要选取 TIGGE 的欧洲中期天气预报中心 ECMWF、日本气

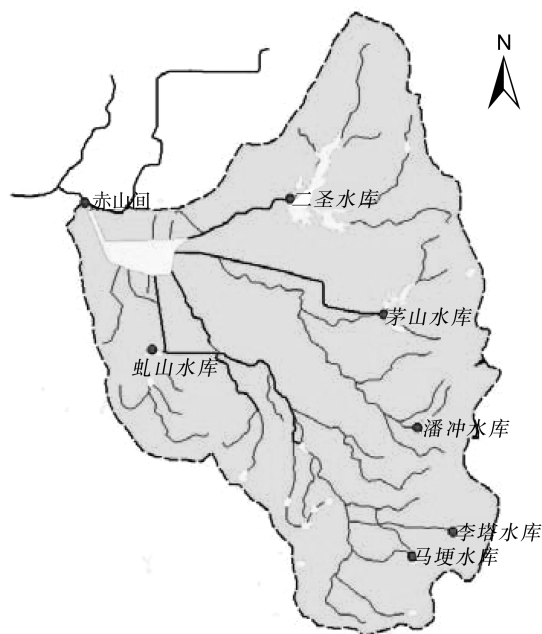


图 1 赤山湖流域水系及测站分布示意

象厅 JMA、中国气象局 CMA、英国气象局 UKMO 和韩国气象厅 KMA 预报模式^[5-6]的 7d 预报降雨量。由于各个机构发布的降水预报时空分辨率有所不同,因此统一选用预报时间为每天的世界标准时间(00:00UTC)的预报产品,预报时长统一为 7 d(共 168 h),时间序列为 2015—2019 年汛期(5 月 1 日至 9 月 30 日),分辨率为 0.5°×0.5°。根据覆盖赤山湖流域的格点 TIGGE 模式降雨预报资料采用泰森多边形法,求得 TIGGE 模式预报的流域面平均雨量系列。

2.3 降水预报精度评价方法

通常采用雨量预报的均方根误差评价降雨预报的精度。均方根误差公式为

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_i - o_i)^2} \quad (1)$$

式中: f_i 为降雨预报值,mm; o_i 为降雨实测值,mm; n 为样本容量。

除反映降水误差的 RMSE 指标外,还通常采用确报率、漏报率及空报率来评价预报的降水量级的准确程度。本文采用气象部门制定的 24 h 降雨量级多级划分标准。通常,气象上认为无雨即为降雨量为 0;由于在实际进行洪水预报时,小于 1 mm 的时段降雨量对洪水的形成几乎没有直接的影响。因此,本文将的 24 h 无雨标准改为 24 h 降雨总量小于 1 mm,其余不变。

为了能综合评价降雨预报精度,文献[10]在确报率、空报率和漏报率评价指标的基础上提出降雨

预报三率综合评价方法:

$$P_i = w_1 \cdot P_{h,i} + w_2 \cdot (1 - P_{f,i}) + w_3 \cdot (1 - P_{m,i}) \quad (2)$$

$$P = \sum_{i=1}^D V_i \cdot P_i \quad (3)$$

式中: $P_{h,i}$, $P_{f,i}$, $P_{m,i}$ 分别为预见期为 $i(d)$ 的确报率、空报率和漏报率; w_1, w_2, w_3 分别为确报率权重、非空报率权重、非漏报率权重, 满足 $w_1 + w_2 + w_3 = 1$; P_i 预见期为 i 的降雨预报三率综合评价值, 越大越好, 满足 $0 \leq P_i \leq 1$; V_i 为 P_i 的权重, 满足 $\sum_{i=1}^D V_i = 1$; D 为考虑的最长预见期 (d), 根据研究区域洪水预报与调度的实际情况, 本研究取 $D = 7$; P 为整个预见期降雨预报三率综合评价值, 越大越好, 满足 $0 \leq P \leq 1$ 。

考虑到不同预见期降水预报精度对洪水资源安全利用的作用大小, 1~7 d 的预见期精度综合评价指标权重 V_i 分别赋为 0.2, 0.2, 0.15, 0.15, 0.15, 0.1, 0.05; 鉴于漏报对于防洪调度可能产生较大不利, 本文主要考虑漏报率最低的预报方案, 因此 w_1, w_2, w_3 分别取为 0.3, 0.2, 0.5。

3 评价计算结果

采用均方根误差与三率综合评价对 TIGGE 降水预报中心 CMA、JMA、ECMWF、UKMO、KMA 预报模式在赤山湖流域的精度进行评价, 采样时段为 2015—2019 年汛期 (5—9 月)。

3.1 均方根误差

CMA、JMA、ECMWF、UKMO、KMA 预报模式在赤山湖流域的 RMSE 计算结果如表 1、图 2 所示。

由表 1、图 2 可知:

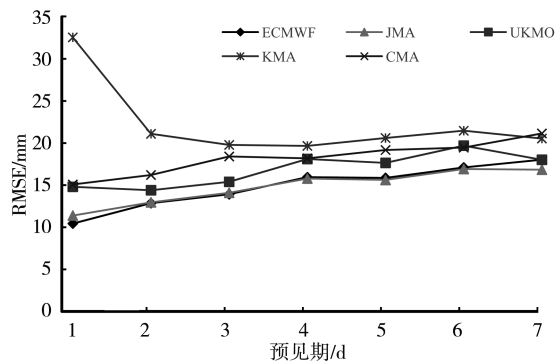


图 2 赤山湖流域降水预报均方根误差

(1) 5 个气象预报模式中 JMA、ECMWF 的 RMSE 最小, 预报效果最好; UKMO、CMA 效果次之, KMA 预报效果最差。

(2) KMA 的 RMSE 波动较大, 尤其是 1 d 预见期的 RMSE 达 30 mm 以上; 其次, UKMO 的 RMSE 波动也较大。

(3) 各模式降水预报的 RMSE 有随预见期增加而增大的趋势。

3.2 三率综合评价

CMA、JMA、ECMWF、UKMO、KMA 预报模式在赤山湖流域的三率综合评价值计算结果如表 2、图 3 所示。

由表 2、图 3 可知:

(1) 对于暴雨量级的降水预报, 5 个气象预报模式中 JMA 的三率综合评价值最高, 具有明显的优势。

(2) 对于大雨及其以下量级的降水预报, ECMWF 的三率综合评价值高于其他模式, 但 5 个气象预报模式的三率综合评价值相差不大。

(3) 整体上, 各模式降水预报的三率综合评价值随着量级增大有所下降趋势。

表 1 赤山湖流域降水预报均方根误差结果

预见期/d	ECMWF	JMA	UKMO	KMA	CMA
1	10.44	11.38	14.80	32.56	15.08
2	12.86	12.96	14.40	21.10	16.21
3	13.92	14.10	15.40	19.78	18.41
4	15.95	15.78	18.11	19.66	18.19
5	15.86	15.62	17.65	20.60	19.17
6	17.11	16.92	19.69	21.47	19.46
7	18.03	16.83	18.01	20.54	21.15

表 2 赤山湖流域降水预报三率综合评价值

预报模式	无雨	小雨	中雨	大雨	暴雨
JMA	0.92	0.59	0.53	0.52	0.70
ECMWF	0.93	0.62	0.56	0.56	0.57
UKMO	0.91	0.61	0.56	0.55	0.58
KMA	0.77	0.54	0.52	0.52	0.49
CMA	0.89	0.59	0.57	0.52	0.53

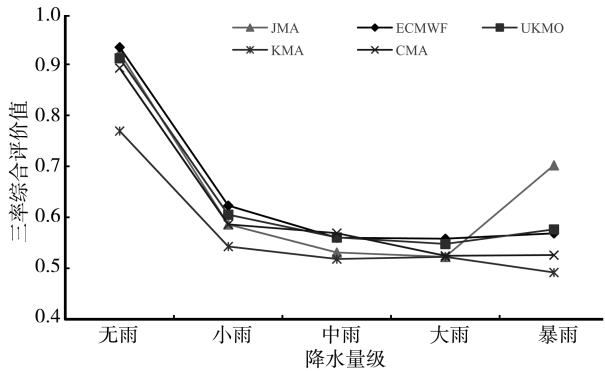


图 3 赤山湖流域降水预报三率综合评价值

4 结语

将 TIGGE 应用于赤山湖流域, 基于 2015—2019 年汛期(5—9 月)降雨预报数据和流域实测降雨资料, 采用均方根误差指标 RMSE 和降雨预报三率综合评价指标对 TIGGE 的 ECMWF、KMA、JMA、UKMO、CMA 等 5 个模式的预报精度进行了评价研究, 结论如下:

(1) 在赤山湖流域 TIGGE 的 ECMWF、KMA、JMA、UKMO、CMA 这 5 个模式中, 无论是均方根误差 RMSE 还是三率综合评价指标, JMA 模式的表现最好, 其次是 ECMWF; UKMO、CMA 和 KMA 整体误差偏大, KMA 还出现了不合理的波动。

(2) 随着预见期的增长, 各模式预报精度都呈下降趋势; 整个预见期内各模式无雨预报能力均较强, 小雨及以上量级降雨的预报能力逐渐减弱。

(3) 应加强对 TIGGE 产品的校正方法及其应用研究。

参考文献:

[1] THIELEN J, BARTHOLEMES J, RAMOS M H, et al. The European flood alert system - part 1: concept and development [J]. Hydrology and earth system sciences,

2009, 13(2):125-140.
[2] SCHAAKE J C, HAMILL T M, BUIZZA R, et al. HEP-EX: the hydrological ensemble prediction experiment[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2006, 3(5):1541-1547.
[3] FRANZ K, AJAMI N, SCHAAKE J, et al. Hydrologic ensemble prediction experiment focuses on reliable forecasts [J]. Eos Transactions American Geophysical Union, 2013, 86(25):239-239.
[4] BOUGEAULT P, TOTH Z, BISHOP C, et al. The THORPEX interactive grand global ensemble[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2010, 91(8):1059-1072.
[5] HERRERA M A, SZUNYOGH I, TRIBBIA J. Forecast uncertainty dynamics in the THORPEX interactive grand global ensemble (TIGGE) [J]. Monthly Weather Review, 2016, 144(7):2739-2766.
[6] SWINBANK R, KYOUDA M, BUCHANAN P, et al. The TIGGE project and its achievements[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2016, 97(1):49-67.
[7] 赵琳娜, 吴昊, 田付友, 等. 基于 TIGGE 资料的流域概率性降水预报评估[J]. 气象, 2010, 36(7):133-142.
[8] BAO H J, ZHAO L N, HE Y, et al. Coupling ensemble weather predictions based on TIGGE database with Grid-Xinjiang model for flood forecast[J]. Advances in Geosciences, 2011(29):61-67.
[9] 杜雅玲, 陆桂华, 吴志勇, 等. 基于 TIGGE 数据的中期降水预报在江苏省的应用效果评估[J]. 南水北调与水利科技, 2017(6):17-25.
[10] CAI Chenkai, WANG Jianqun, LI Zhijai. Improving TIGGE precipitation forecasts using an SVR ensemble approach in the Huaihe River Basin [EB/OL]. Advances in Meteorology. <https://doi.org/10.1155/2018/7809302>.