

文章编号: 1673-8411(2019)01-0024-05

多模式多分辨率面雨量预报在淮河流域的性能评估

郝莹^{1,2}, 王皓², 刘杰¹, 邱学兴²

(1. 淮河流域气象中心 合肥 230031; 2. 安徽省气象台 合肥 230031)

摘要: 利用2015~2017年淮河流域汛期ECMWF(空间分辨率 $0.125^{\circ} \times 0.125^{\circ}$)、JMA(空间分辨率 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$)、WRF(空间分辨率 $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$) 6h、12h、24h时间分辨率的降水预报产品计算淮河流域面雨量预报,对比评估各预报时效的绝对误差、相对误差、晴雨正确率及各量级面雨量预报的TS评分。结论如下:(1)0~72h预报时效,EC的绝对误差最小、WRF居中, JMA最大。(2)三个模式的晴雨正确率随着时效的增加缓慢下降,但都维持较高水平。(3)EC和JMA的面雨量预报存在系统性高估。(4)WRF在对短历时强降水的预报性能优于其他两个模式。(5)各模式的面雨量预报性能存在日变化,且随着降水强度的增大,日变化特征更加显著,对午后到傍晚的暴雨预报准确率明显低于其他时间段。

关键词: 多模式; 面雨量预报; 性能评估

中图分类号: P338+.8

文献标识码: A

Performance Evaluation of Multi-Model and Multi-Resolution Area Rainfall Forecast in Huaihe River Basin

Hao Ying^{1,2}, Wang Hao², Liu Jie¹, Qiu Xuexing²

(1. Huaihe River Basin Meteorological Center, Hefei Anhui 230031;

2. Anhui Meteorological Observatory, Hefei, Anhui 230031)

Abstract: In order to improve the forecasting ability of numerical forecasting model in Huaihe River Basin and better play the role of precipitation forecast in decision support of flood control dispatch, this paper calculates the area rainfall in the sub-basins of Huaihe River Basin by using 6h, 12h and 24h temporal resolution precipitation forecast of ECMWF (spatial resolution 0.125°), JMA (spatial resolution 0.5°), and WRF (spatial resolution 0.1°) in flood season of Huaihe River Basin from 2015 to 2017. In addition, the absolute error, relative error, accuracy of sunshine and rain, and the TS scores of area rainfall prediction in each magnitude are compared and evaluated. The conclusions are as follows: (1) The absolute error of EC is the smallest, WRF is the middle and JMA is the largest in the 0-72 h forecast time. (2) The accuracy of the three models decreases slowly with the increase of time, but they all maintain a high accuracy. (3) Systematic overestimation exists in EC and JMA area rainfall forecasting. (4) WRF is superior to the other two models in predicting short-duration heavy rainfall. (5) There are diurnal variations in the area rainfall prediction performance of each model, which is more significant with the increase of precipitation intensity. Besides, the accuracy rate from afternoon to evening is significantly lower than that of other periods.

Keywords: multi-model; area rainfall forecast; performance evaluation

1 引言

流域面雨量预报是防汛抗旱决策的重要科学依据^[1-2],根据面雨量预报进行科学调度,实现

防洪错峰、蓄水兴利,是防汛抗旱及洪水资源利用的重要非工程措施之一^[3-5]。在面向江河流域的水文气象服务中,数值预报模式在客观定量降水预报方面的优势越来越突出,已成为日常预报

收稿日期: 2018-12-03

基金项目: 中国气象局预报员专项 CMAYBY2018-032 资助。

作者简介: 郝莹(1982-),女,高级工程师,主要从事水文气象方面研究。

的主要参考依据之一。选用不同预见期降水预报信息, 可为防汛抗洪调度及物资调配提前提供决策支持信息, 为抗洪抢险赢得宝贵时间^[6]。因此, 准确地把握降水预报性能并有效利用降水预报, 对于科学调度, 保障人民生命财产安全和发挥经济社会效益有重要价值^[7-9]。淮河流域具有较为独特的“漏斗形”地形, 上游比降较大, 中下游比降较小, 因此上游降水快速汇流, 而中下游由于地势平坦极易排水不畅。每年夏季, 该流域多持续性强降水, 常造成流域性洪涝灾害^[10]。因此评估降水预报产品在淮河流域的预报效果, 开展流域面雨量预报方法研究及其应用效果评估, 对于提高流域防汛决策气象服务水平具有重要意义^[11-15]。本文对 ECMWF、JMA、WRF 等三个数值模式的 24h、12h、6h 时间分辨率的面雨量预报产品在淮河流域的预报

性能进行评估, 以期对防汛调度、科学决策提供参考信息。

2 数据与方法

2.1 数据

利用 2015 ~ 2017 年淮河汛期 6 ~ 8 月的 ECMWF、JMA、WRF 资料计算各模式的对淮河流域各子流域的面雨量预报, ECMWF 和 JMA 降水预报产品是通过中国气象局气象数据卫星广播系统 (CMACast) 收集获取, WRF 降水预报产品为安徽省气象台业务化运行的中尺度数值预报模式产品。模式详细介绍见表 1。2015 ~ 2017 年 6 ~ 8 月地面观测雨量资料采用淮河流域 3388 个国家地面气象观测站及区域自动雨量站逐小时雨量资料, 该资料来源于 CIMISS。

表 1 各数值模式概况

模式	最大时间分辨率	空间分辨率	预报时间间隔	预报时效
ECMWF	3h	0.125° × 0.125°	6h	6h, 12h, 18h...72h
			12h	12h, 24h, 36h...240h
			24h	24h, 48h, 72h...240h
JMA	3h	0.5° × 0.5°	6h	6h, 12h, 18h...72h
			12h	12h, 24h, 36h...240h
			24h	24h, 48h, 72h...240h
WRF	1h	0.1° × 0.1°	6h	6h, 12h, 18h...72h
			12h	12h, 24h, 36h...72h
			24h	24h, 48h, 72h...72h

2.2 面雨量计算方法

面雨量 (流域平均降雨量) 是指一次降水过程中整个流域面上的平均降水量。本文利用地面观测雨量资料, 采用泰森多边形法估算流域面雨量实况。利用数值预报模式降水预报产品, 采用网格算术平均法估算流域面雨量预报。

2.3 面雨量检验方法

由于我国江河面雨量等级划分标准只有 12h 和 24h 的面雨量等级标准, 而本文中不仅需要评估 12h 和 24h 的面雨量预报效果, 还需要评估 6h 的面雨量预报效果, 因此综合参考江河面雨量等级划分标准和安徽省短时临近降水强度地方标准将各个时间分辨率的面雨量划分为小雨、中雨、大雨、暴雨四个等级。具体划分标准见表 2。

采用平均绝对误差、平均误差、正确率、TS 评分等统计评价指标, 对淮河流域面雨量预报产品进行检验。

3 结果分析

3.1 24h 时间分辨率的多模式面雨量预报评估

2015-2017 年淮河流域汛期 (6 ~ 8 月) 的多模式检验结果表明 (图 1), 相比而言, 72h 内 EC 的绝对误差最小、WRF 次之、JMA 最大。随着预报时效的增加, 绝对误差不断增大, EC 和 JMA 在 192h 预报时效的误差达到最大 (7.6 ~ 8.4mm), 之后略有下降。从平均误差来看, EC 预报的降水

表 2 各时间分辨率的面雨量等级标准

强度等级	6h	12h	24h
小雨	0.1 ~ 2.4	0.1 ~ 2.9	0.1 ~ 5.9
中雨	2.5 ~ 6.9	3.0 ~ 9.9	10.0 ~ 14.9
大雨	7.0 ~ 14.9	10.0 ~ 19.9	15.0 ~ 29.9
暴雨	15.0 ~ 34.9	20.0 ~ 39.9	30.0 ~ 59.9
大暴雨	≥ 35.0	≥ 40.0	≥ 60.0

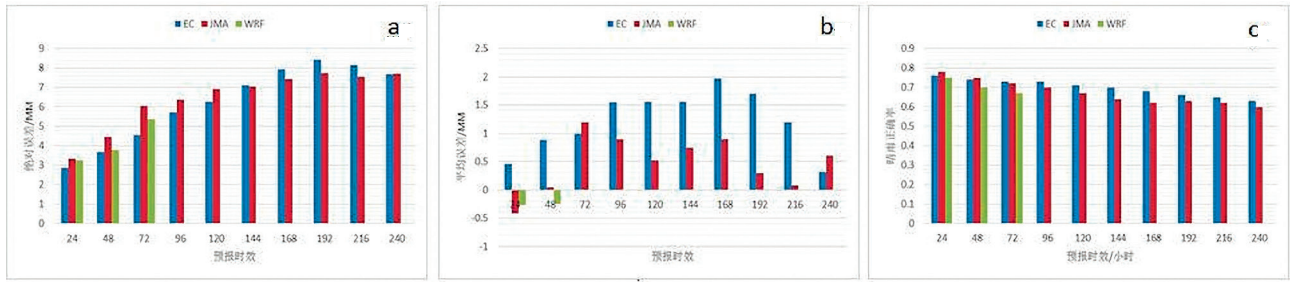


图1 24h 分辨率的各模式预报绝对误差 (a)、相对误差 (b) 及晴雨正确率 (c)

较实况普遍偏多；JMA 除了 24h 时效外，也以偏多为主；WRF 的 24 ~ 48h 降水预报较实况略偏少，72h 偏多偏少趋势不明显。从晴雨正确率来看，72h 内三种模式的晴雨正确率在 0.7 左右，且相差不大，WRF 正确率略低于其他两个模式。72~240h 正确率下降的非常缓慢，到 240h 时效仍在 0.6 左右，EC 正确率略高于 JMA。

量级的 TS 评分检验表明（图 2），对于小雨、中雨、大雨量级的预报，整体来看 EC 的 TS 评分

最高、JMA 其次、WRF 最低。随着预见期增加，EC 和 JMA 的 TS 评分下降的趋势基本相似，而对于中雨、大雨量级的降水 WRF 在 72h 预报时效的 TS 评分迅速减小。对于暴雨而言，EC 仍是预报效果最好的模式，但和其他量级的降水不同的是，TS 评分随预见期的增加减少速度更快，WRF 的对暴雨的预报能力显著优于 JMA，在 72h 预报时效时，甚至略高于 EC。

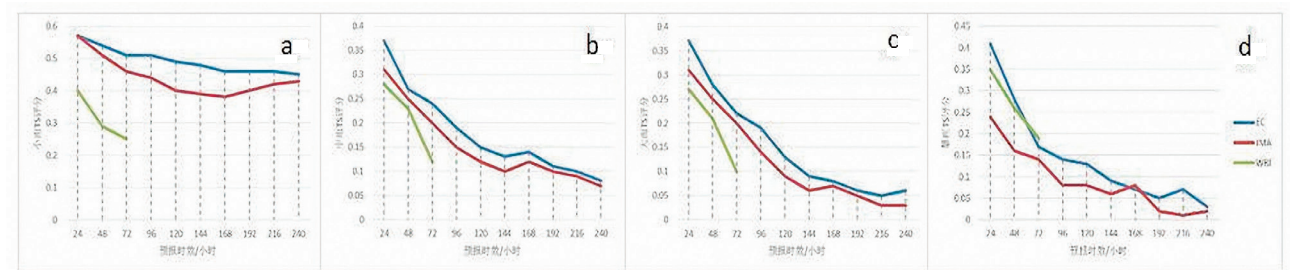


图2 各模式各降水量级 24h 时间分辨率的 TS 评分 (a, 小雨；b, 中雨；c, 大雨；d, 暴雨)

3.2 12h 时间分辨率的多模式面雨量预报评估

对于 12h 时间分辨率的降水预报产品（图 3），0 ~ 72h 预见期 EC 的绝对误差最小，JMA 和 WRF 的绝对误差大致相似，但 JMA 在 36 ~ 48h、60 ~ 72h 时效的绝对误差明显偏大。72 ~ 240h 预报时效，EC 在白天时间段（08 ~ 20h）的预报误差较 JMA 大，但在夜间的预报绝对误差较 JMA 明显偏小。

从平均相对误差来看，EC 和 JMA 表现为明显的系统性高估，EC 的相对误差随预报时效的分布呈单峰型，在 96 ~ 108h 预报时效，预报较实况高估最为明显。JMA 在 48 到 96h，相对误差逐渐增加，但在 108h 后，仅在夜间（20h ~ 08h）存在较明显的系统性高估，白天时间段系统性误差并不明显。WRF 仅在 0 ~ 12h 预报时效存在系统性低估。对于晴雨预报正确率，72h 预报时效内，三个模

式相差不大，WRF 相对来说正确率最高，EC 次之。在 72 ~ 240h 时效，EC 的正确率普遍比 JMA 高，最多高 0.09。

分量级的 TS 评分显示（图 4），对于小雨、中雨、大雨量级的预报，整体来看和 24h 时间分辨率预报评估结果相似，TS 评分由高到低依次为 EC、JMA 和 WRF。在 0 ~ 72h 预报时效内 WRF 对于小雨的预报能力显著低于其他两个模式，144h 预报时效后，JMA 和 EC 评分相差不大。对于暴雨量级的 TS 评分，0 ~ 72h 预报时效，EC 仍然具有最高的 TS 评分，在 0 ~ 12h 高达 0.32，之后随着预报时效的增长，TS 评分迅速降低。WRF 和 JMA 的暴雨 TS 评分具有同样的迅速减少趋势，但 WRF 对暴雨的预报能力超过 JMA，和 EC 较为接近。在 72 ~ 240h 预报时效，大体上 EC 的暴雨预报能力远优于 JMA。

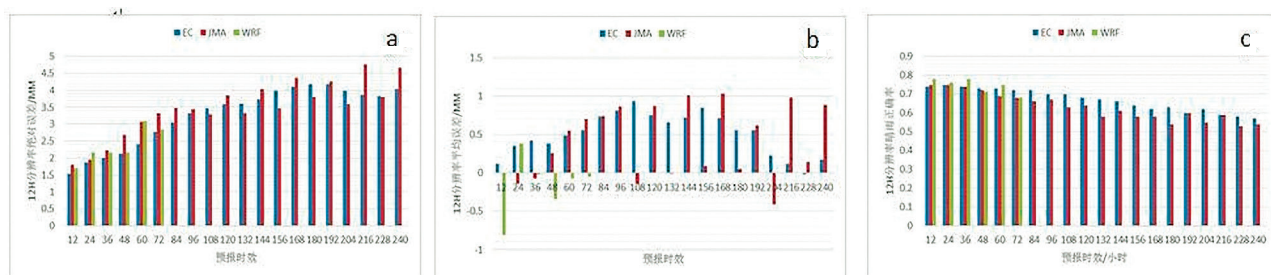


图 3 12h 分辨率的各模式预报绝对误差 (a)、相对误差 (b) 及晴雨正确率 (c)

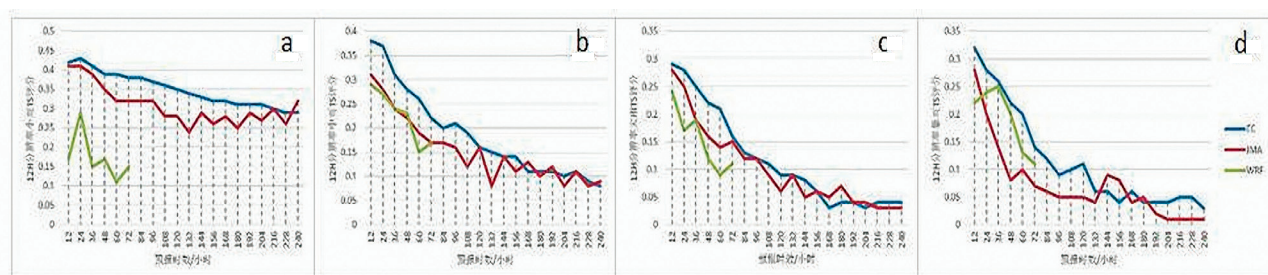


图 4 各模式各降水量级 12h 时间分辨率的 TS 评分 (a, 小雨; b, 中雨; c, 大雨; d, 暴雨)

3.3 6h 时间分辨率的多模式面雨量预报评估

对于绝对误差 (图 5a), 在 0 ~ 72h 预报时效内, 总体上 EC 绝对误差最小, JMA 最大, WRF 居中。在 72 ~ 240h 预报时效内, EC 的绝对误差大都小于 JMA。绝对误差随时间不断增大的同时, 具有较明显的日变化, 凌晨 (02 ~ 08h) 和上午 (08 ~ 14h) 的绝对误差最大, 而上半夜的绝对误差最小。和绝对误差的特征相对应, EC 和 JMA 在

凌晨和上午降水预报以高估为主, 在夜里和下午, 没有明显的系统偏差 (图 5b)。对于晴雨预报正确率 (图 5c), 在 0 ~ 72h 预报时效 WRF 表现较为优异, 平均值为 0.78, 高于 EC 和 JMA 的平均值 0.72。72 ~ 240h 预报时效 EC 正确率较 JMA 高。EC 的晴雨正确率存在明显的日变化特征, 在上午到中午 (08 ~ 14h) 的晴雨正确率显著偏低, 夜间的晴雨正确率较高。其他两个模式日变化特征不明显。

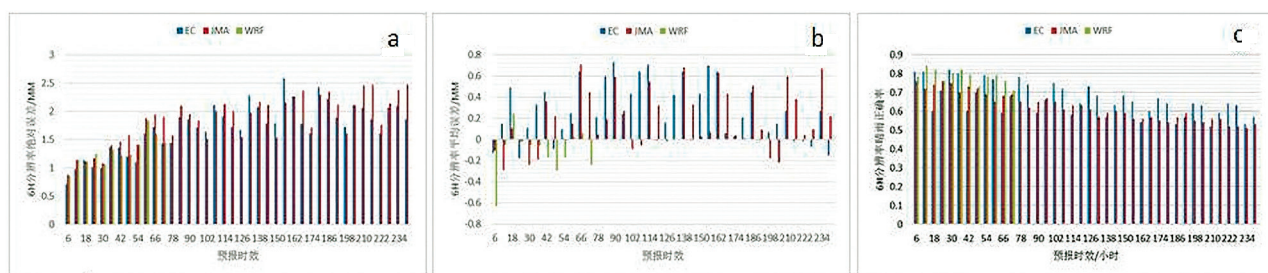


图 5 6h 分辨率的各模式预报绝对误差 (a)、相对误差 (b) 及晴雨正确率 (c)

对小雨和中雨的预报 (图 6a, b) 0 ~ 72h 预报时效内, EC 仍具有最高的平均 TS 评分, JMA 次之, WRF 显著偏低; 在 72 ~ 240h 预报时效内, EC 的评分普遍高于 JMA, 但 JMA 和 EC 的中雨预报准确率差异逐渐缩小, 到了 150h 以后, 两者的中雨 (图 6c) TS 评分基本相同。对于大雨的预报 TS 评分, 0 ~ 72h 预报时效, 仍然是 EC 的评分最高 (0.19), WRF 和 JMA 差距不大, 分别为 0.14 和

0.15。72 ~ 96h, EC 的大雨 TS 评分仍然比 JMA 高, 但 96 ~ 240h 预报时效, EC 和 JMA 具有相近的预报质量。对于暴雨量级的降水预报, (图 6d) 0 ~ 72h 预报时效, JMA 对暴雨的预报能力最弱; 而 WRF 的 TS 为 0.18, 略大于 EC 的 0.17, 表现出较为突出的暴雨预报性能。72h 以后, EC 和 JMA 的 TS 低于 0.1, 对短时暴雨几乎没有预报能力。

三种数值模式的预报性能都具有明显的日变

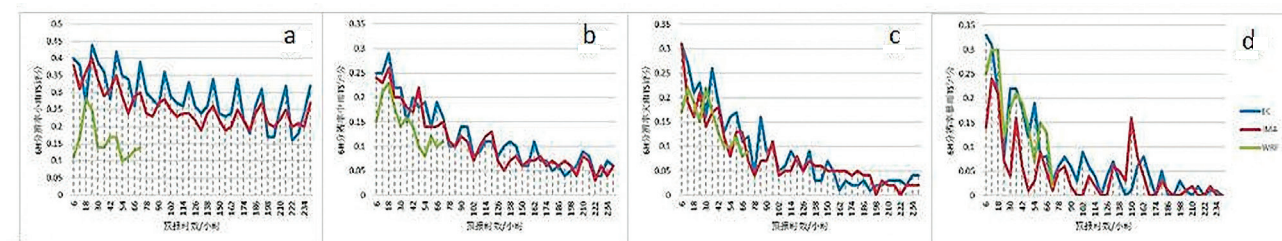


图6 各模式各降水量级6h时间分辨率的TS评分(a, 小雨; b, 中雨; c, 大雨; d, 暴雨)

化,且随着降雨强大的增大,日变化特征更加显著,EC和JMA对于午后到傍晚的暴雨预报准确率明显低于其他时间段,其可能的原因是午后到傍晚的暴雨多是对流性质的,全球尺度模式很难捕捉到中小尺度的对流性暴雨。WRF具有相同的特征,但TS要略偏高些,可见WRF对于对流性暴雨的预报能力要略优于其他两个模式。

4 结论

(1) 对于各时间分辨率的降水预报产品,平均绝对误差随着预报时效的增加而增加,但当预报时效超过168h后,绝对误差反而会略有减小或增加趋势减缓。0~72h预报时效,EC的预报绝对误差最小、WRF居中,JMA最大。

(2) 三个模式的晴雨正确率随着时效的增加缓慢下降,但都维持较高的正确率。对于6h分辨率的面雨量预报,WRF的优势较其他两个模式更为明显。

(3) EC和JMA的面雨量预报存在系统性高估,而WRF的面雨量预报则不存在明显的系统性偏差。

(4) 总体来看,对于各种量级的降水,EC的TS评分都优于其他两个模式,但随着降水强度的增加,降水持续时间的减少,WRF的面雨量预报能力接近甚至超过EC。说明WRF在对短历时强降水的预报中显示出一定的优势。

(5) 各模式的面雨量预报性能存在日变化,且随着降水强度的增大,日变化特征更加显著。对于午后到傍晚的暴雨预报准确率明显低于其他时间段,但相比之下WRF的TS要略偏高些。

参考文献:

- [1] 刘宁. 防汛抗旱与水旱灾害风险管理[J]. 中国防汛抗旱, 2012, 22(2):1-4.
- [2] 翟盘茂, 李蕾, 周佰铨, 等. 江淮流域持续性极端降水及预报方法研究进展[J]. 应用气象学报, 2016, 27(5):631-640.
- [3] 霍世青, 王春青, 许卓首. 近10a黄河水文气象情报预报工作进展[J]. 人民黄河, 2016, 38(10):36-39.
- [4] 张和喜, 迟道才, 王永涛, 等. 基于NNBR与蒙特卡洛算法的降雨量预报模型应用研究[J]. 水土保持研究, 2014, 21(2):106-110.
- [5] 龙志宇, 曹志国, 曾德松, 等. 精细化面雨量处理在小流域山洪灾害评估中的应用[J]. 广东气象, 2011, 33(6):40-42.
- [6] 崔春光, 彭涛, 沈铁元, 等. 定量降水预报与水文模型耦合的中小流域汛期洪水预报试验[J]. 气象, 2010, 36(12):56-61.
- [7] Diakakis M. Rainfall thresholds for flood triggering. The case of Marathonas in Greece[J]. Natural Hazards, 2011, 60(3):789-800.
- [8] 黄小祥, 姚成, 李致家, 等. 栅格新安江模型在天津于桥水库流域上游的应用[J]. 湖泊科学, 2016, 28(5):1134-1140.
- [9] 张星星, 朱成立, 彭世彰, 等. 降水预报准确度分析及其在提高降水利用率中的作用[J]. 河海大学学报:自然科学版, 2014, 42(3):230-233.
- [10] 唐娟, 蔡洪梅, 陈晓伟. 淮河流域一次暴雨过程的成因分析[J]. 广东气象, 2013, 35(4):20-24.
- [11] 徐文文, 陈申鹏, 李晴岚. 2012年前汛期降水EC与HAPS数值模式检验[J]. 气象研究与应用, 2013, 34(3):13-16.
- [12] 崔丽曼. 2014年河南汛期久旱转雨过程分析及模式预报检验[J]. 气象研究与应用, 2016, 37(1):25-29.
- [13] 姚浪, 吴姗, 王璇. T639模式降水预报产品在毕节市的检验和分析[J]. 气象研究与应用, 2016, 37(1):30-33.
- [14] 黄思琦, 谢敏, 莫建飞, 等. 基于GIS的洛清江流域洪涝致灾面雨量计算方法研究[J]. 气象研究与应用, 2017, 38(1):36-39.
- [15] 陈伟斌, 韩慎友, 刘国忠. 欧洲集合预报产品降水预报检验分析[J]. 气象研究与应用, 2017, 38(2):6-9.