

文章编号: 2096-1618(2018)06-0688-16

ECMWF 高分辨率网格对云南区域 降水预报性能的定量检验

张超^{1,2}, 孙绩华³, 巩远发², 段玮⁴

(1. 云南省气象服务中心, 云南 昆明 650034; 2. 成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225; 3. 云南省气象台, 云南 昆明 650034; 4. 云南省气象科学研究所, 云南 昆明 650034)

摘要:针对 ECMWF 高分辨率网格的降水产品在云南山地区域适用性的问题, 采用云南 2016 年逐 24 h 和逐 3 h 的区域站观测资料, 利用平均绝对误差的计算公式, 对 ECMWF 模式降水产品的预报性能进行定量检验。首先把降水观测资料插值成格点资料, 然后将云南区域内的观测降水分布与 ECMWF 模式的预测降水分布进行对比, 绘制每个格点上预报减观测得到的平均绝对误差分布图, 最后利用区域平均法对预报质量进行讨论。结果表明, ECMWF 模式对于地形相对平缓的滇中到滇东南地区, 模式的误差值较小, 预报质量较好; 而对于地形相对复杂的山脉及河谷地区, 模式的误差值较大, 预报质量相对较差。随着预报时效的增加, 预报误差也在增加, 并且逐 3 h 的降水预报误差大于逐 24 h 的预报误差。

关键词:气象学; 数值模式检验; 区域站; 降水分布; 平均绝对误差; 区域平均法

中图分类号: P426.6

文献标志码: A

doi: 10.16836/j.cnki.jcuit.2018.06.015

0 引言

近年来, 气象工作者对数值模式的研究主要集中在资料同化以及 WRF 等中小尺度的数值模拟^[1-3], 而对于各模式预报效果的检验, 还缺少统一的评价标准。实际上, 不同的数值模式, 往往具有不同的参考价值。目前主流的数值模式主要有 ECMWF、T639 以及 WRF, 气象科技人员, 在业务运用的过程中, 往往会根据实际需要, 对各家模式的产品进行统计检验^[4-9], 可以针对某一预报变量(如降水、温度)进行精细化检验, 得出一些本地化的模式订正经验。

云南地处低纬高原, 数值模式在低纬度地区的模拟性能, 长久以来受到气象工作者的关注。许美玲等^[10]根据 MM5/V3 中尺度非静力模式数值预报的结果, 分区域检验了该模式在云南汛期的降水预报效果; 许彦艳等^[11]使用 WRF 中尺度模式进行地形敏感度的数值试验, 发现去除山脉地形后, 云南区域的降水量明显减弱, 大雨、暴雨的落区急剧缩减。实际上, 山脉地形不但能改变近地层气流的流向, 而且对低层水汽通量散度分布也有一定的影响^[12], 这意味着降水等因子的变化, 受下垫面因素的影响较大, 数值预报产品面临着如何在山地区域中解释应用的问题。

目前, ECMWF 模式的使用最广泛, 综合评价也最高。特别是在大尺度的形势预报场中, ECMWF 模式具有较高的参考价值^[13]。主要针对 ECMWF 高分辨

率模式($0.125^\circ \times 0.125^\circ$)的降水产品在云南山地条件下的适用性, 通过区域站的观测数据, 把格点资料和站点资料进行点对点的定量化对比^[14]。根据平均绝对误差分析, 希望能得出对于云南降水预报具有参考意义的 EC 模式订正经验。

1 资料和方法

1.1 研究资料

选取 ECMWF 高分辨率网格(简称 EC_Thin 网格)资料作为检验对象, 资料分辨率为 $0.125^\circ \times 0.125^\circ$, 模式模拟的范围选取云南区域, 模式产品选取逐 3 h 和逐 24 h 的降水产品, 预报时效均为 24 h、48 h 和 72 h。选取云南 125 个大监站和 2914 个区域站的 2016 年全年逐 3 h 和逐 24 h 的降水观测资料, 站点总数合计 3039 个。

定义 3、4、5 月为春季, 6、7、8 月为夏季, 9、10、11 月为秋季, 12、1、2 月为冬季^[15-16](因为观测数据只取 1 年, 冬季默认为当年的 1、2 月和当年的 12 月)。

1.2 云南区域站插值方法简述

绘制云南区域站分布示意图(图 1), 区域乡镇站的优势在于站点的密度非常大, 站点所在位置几乎涵盖云南所有地形地貌, 海拔 102 ~ 4368 m, 垂直落差最大超过 4000 m, 是目前最能反映云南区域内天气实况的一套站点资料。实际业务上, 因为区域站的平均密

度要大于 EC_Thin 网格的格点密度,所以选择把站点资料插值到格点上。

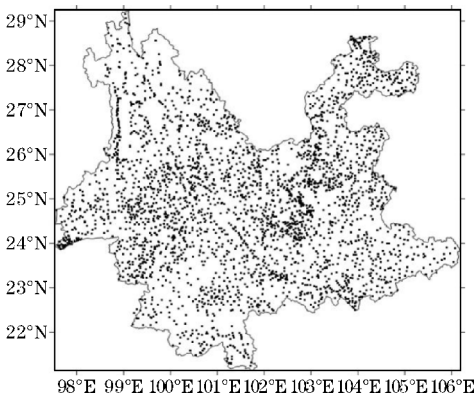
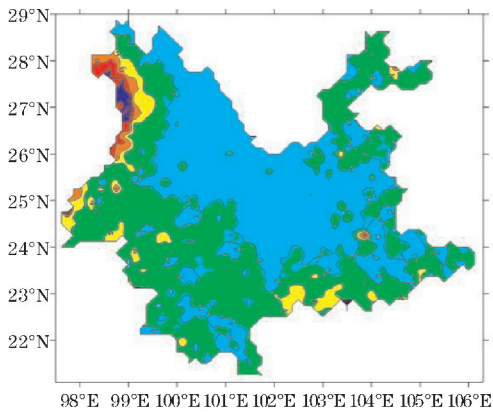


图 1 云南区域站分布

采取 Cressman 插值方案,设置一个逐级扩大的动态扫描半径:首先在 0.0625° 的范围里扫描,如果扫到的站点数不足 3 个,就把扫描半径扩大到 0.125° ,此时不管扫到多少个站点,都进入插值程序计算。经过对比试验,这样的插值方案与观测降水最为接近^[17]。



(a)春季平均观测降水

2 日降水产品的检验(逐 24 h)

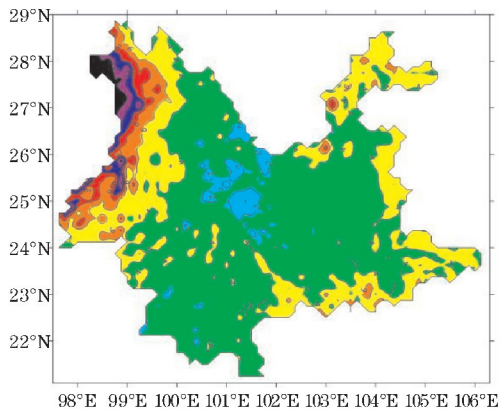
选取每天 20 时起报的 EC_Thin 网格降水产品作为检验对象,预报时效为 24 h、48 h 和 72 h,分别与观测降水进行对比。为了便于直观地比较,统一观测降水与 EC_Thin 网格预测降水的间隔等级,每 2 mm/d 一个区间,大于 14 mm/d 的降水量分布区,统一用黑色绘制。

2.1 观测降水与预测降水的定性对比

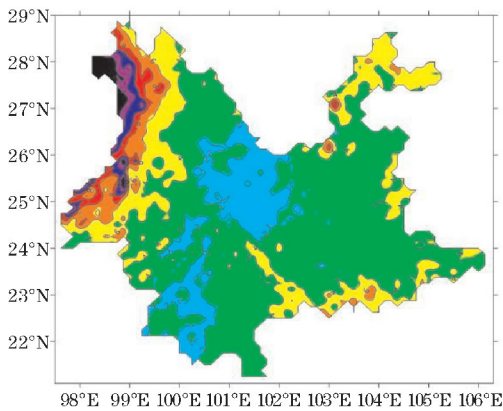
2.1.1 春季

从云南 2016 年春季的平均观测降水可以看出(图 2a),降水主要集中在滇西北的怒江,是当地春季的“桃花汛”。滇西北东部—滇中—滇东南地区,为季节性的春旱,大部降水在 2 mm/d 以下。

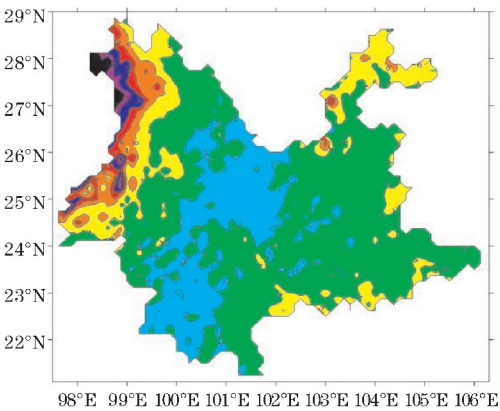
EC_Thin 网格对云南春季降水的预测,在降水区域上基本准确,但预报量级偏大。并且时效 24 h、48 h 和 72 h 的强降水预报区域都是在滇西北的迎风坡上。



(b)预报时效 24 h



(c)预报时效 48 h



(d)预报时效 72 h

图 2 云南 2016 年春季平均观测降水与 EC_Thin 春季降水预测的对比

2.1.2 夏季

夏季是云南的主汛期,观测降水迅速增多,分布在滇西南、滇东,以及金沙江的河谷地区,滇西北—滇中—滇东南,是夏季降水相对较少的地区(图 3a)。

EC_Thin 网格对 2016 年夏季降水的预测,强降水的预报区域在滇西南和滇中以北的金沙江流域,降水区域的预测与观测降水大致相似,但降水量预测普遍偏大。总体来看,时效 24 h、48 h 和 72 h 的预报误差逐渐增大。

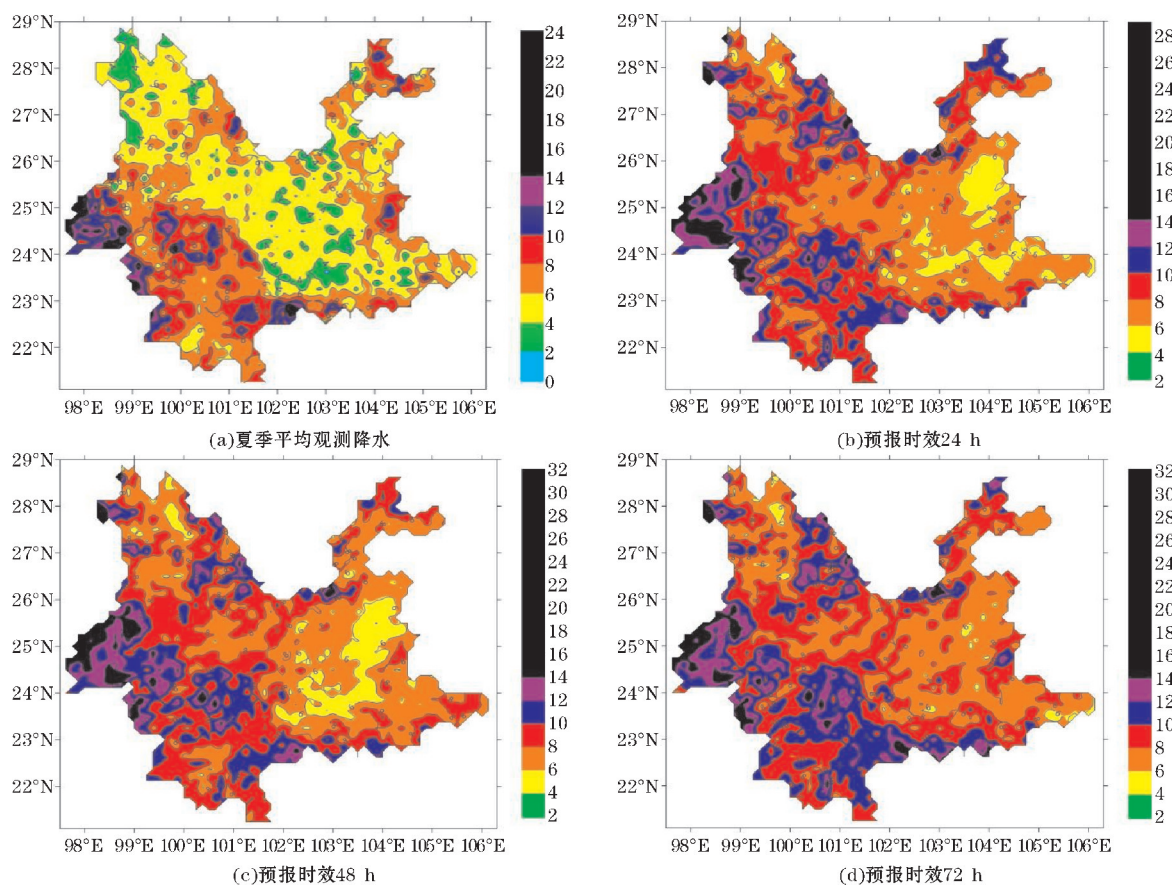


图3 云南2016年夏季平均观测降水与EC_Thin夏季降水预测的对比

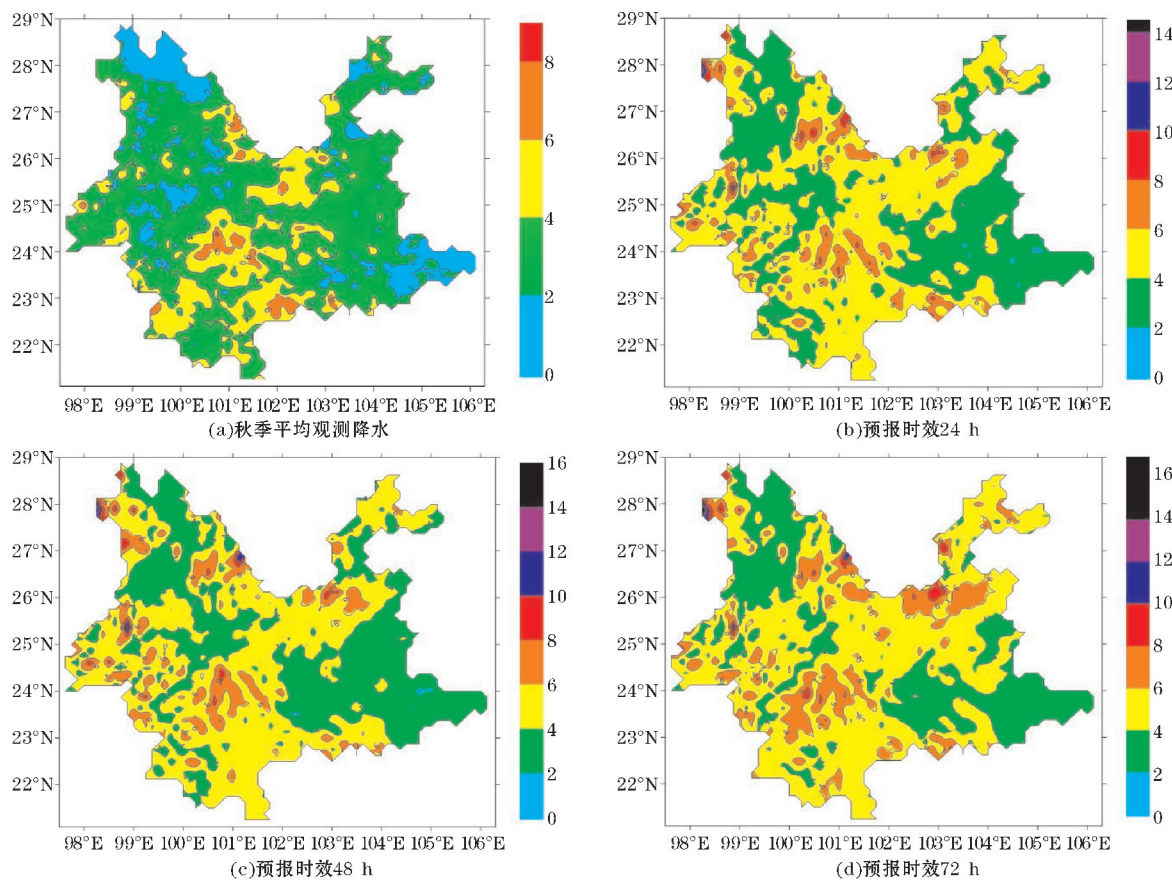


图4 云南2016年秋季平均观测降水与EC_Thin秋季降水预测的对比

2.1.3 秋季

由夏入秋以后,降水明显减少,仅有滇中以北和滇西南局部有6~8 mm/d的降水分布,滇中以东和滇西北地区,降水较少(图 4a)。

EC_Thin 网格,对于滇西北部-滇中-滇东南,降水预测基本接近观测降水,但对于滇中以北和滇西南,降水预测的量级偏大。

2.1.4 冬季

冬季是云南的季节性干季,主要以冷锋降水为主,降水的尺度大,大部地区的平均降水在 0~2 mm/d,滇西北局部达到2~4 mm/d(图 5a)。

EC_Thin 网格对冬季降水的模拟,大部地区的降水预测与观测降水基本一致,但在滇西北的西部、滇东北和滇南的哀牢山地区,降水预测量级偏大2~4 mm/day。

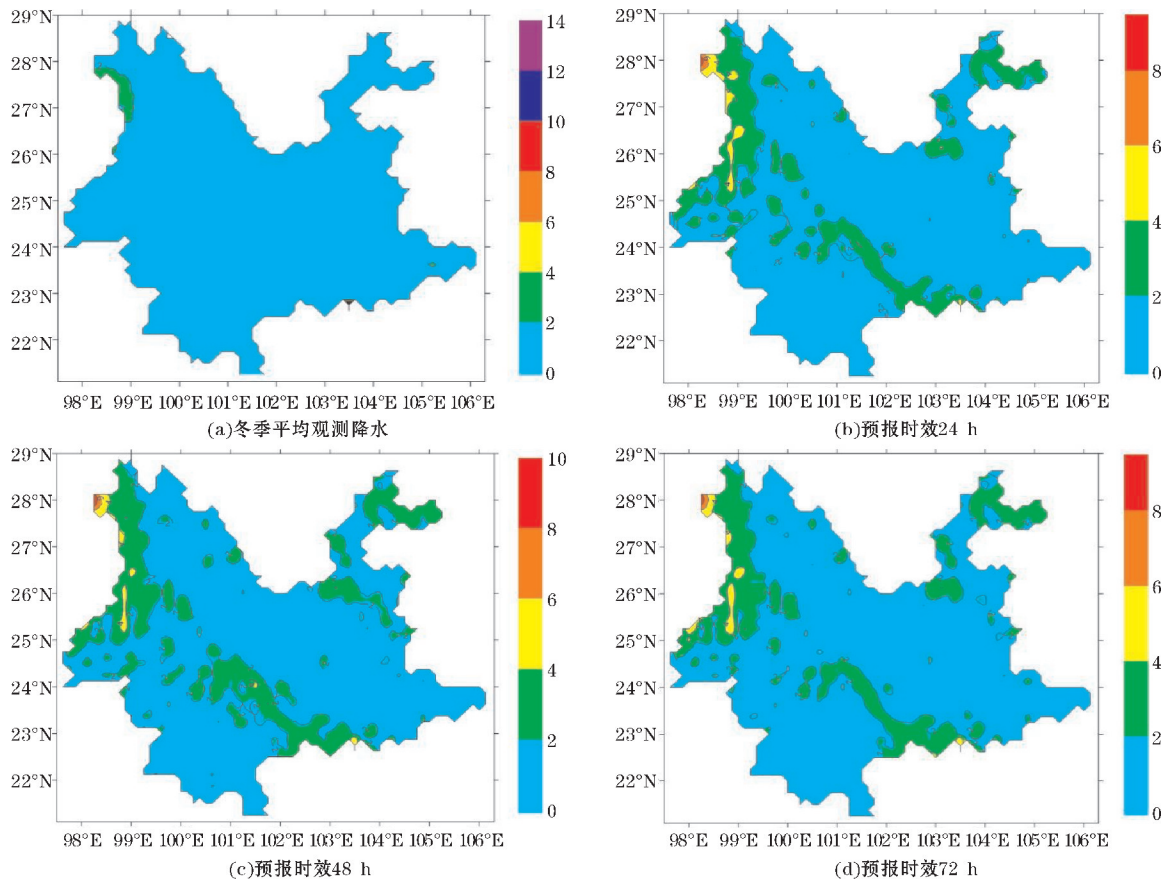


图 5 云南 2016 年冬季平均观测降水与 EC_Thin 冬季降水预测的对比

2.1.5 年平均

从年平均观测降水来看,降水最多的地方是在滇西边缘、滇西南以及滇南边缘,年平均降水在4~6 mm/d,其他区域年平均降水在2~4 mm/d(图 6a)。

EC_Thin 网格对滇西北的西部-滇中-滇东南这片区域,降水预测与观测降水基本一致,其他区域降水预测量级偏大。

2.2 定量检验

每个降水格点上的预测值减去观测值,得到绝对误差。绝对误差一般有正有负,具有方向性,在检验长期的预测效果时,可以采用平均绝对误差的公式进行计算:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |F_i - O_i| \tag{1}$$

其中 F_i 为预测值, O_i 为观测值, n 是天数, 求出每个格点上不同时段平均绝对误差(式 1, 简称 MAE)。

如果观测和预测的绝对误差值 $\leq \pm 0.1$ mm, 那么视同绝对误差等于 0, 即认为模式在该格点上预报正确。为了便于直观地比较, MAE 的配色标准与观测降水相同。

2.2.1 春季

在春季, MAE 值较大的区域是在滇西北的西部, 该地区是迎风坡, MAE 值在 4 mm/d 以上; 滇西北的东部-滇中, MAE 值较小, 局地 2 mm/d 以下(图 7)。

根据观测降水的分布还可以得出, 模式在观测降水较多的区域, MAE 值相应较大; 而在观测降水较少的区域, MAE 值较小。

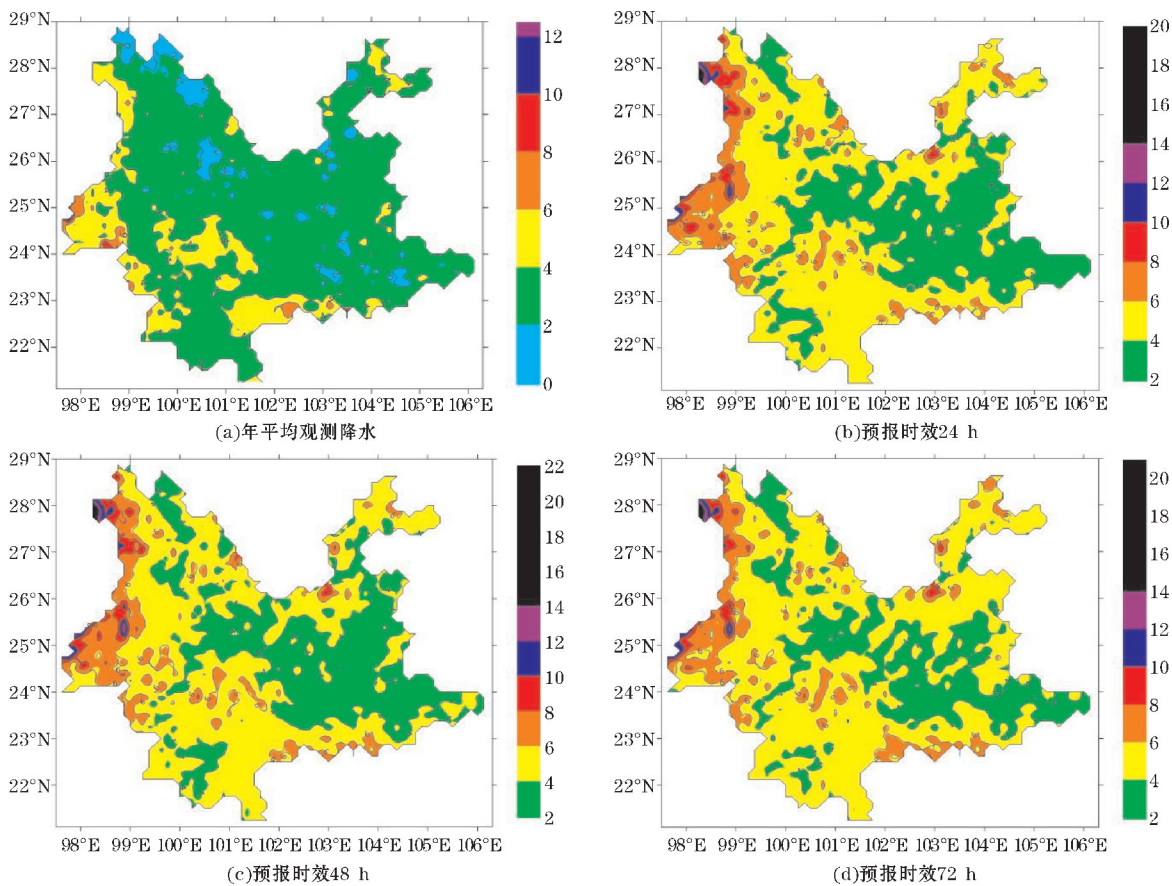


图 6 云南 2016 年的年平均观测降水与 EC_Thin 网格年平均降水预测的对比

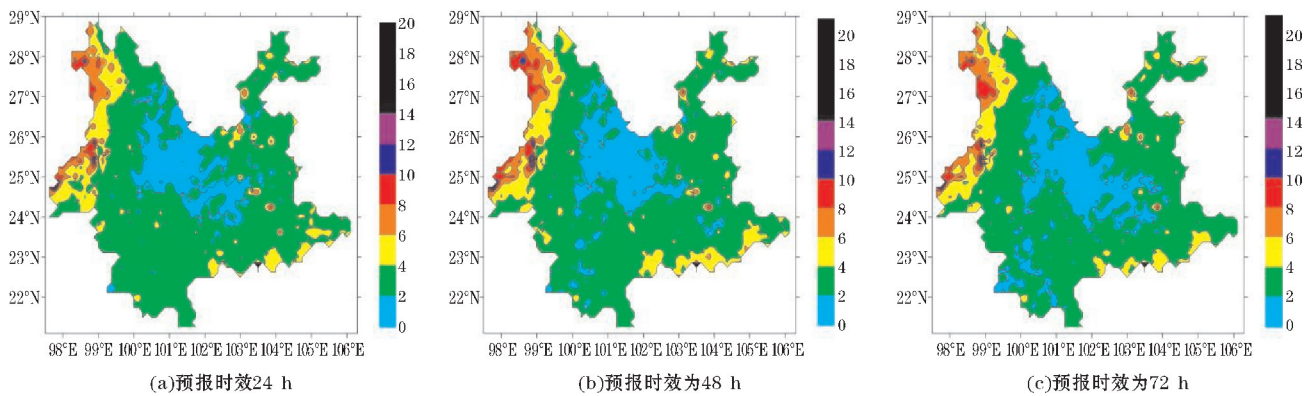


图 7 EC_Thin 网格的平均绝对误差 (MAE) 在春季的分布图

2.2.2 夏季

夏季 MAE 值较大的区域是在滇西南和滇中以北地区,MAE 值达到6 mm/d以上;MAE 值较小的区域是滇西北的中部-滇中-滇东南。

随着预报时效的临近,在地形相对低缓的滇中及以东,MAE 值减小,但在山脉河谷较多的滇西南和滇中以北,MAE 值减小的趋势不明显。

2.2.3 秋季

秋季的降水尺度增大,MAE 值相较于夏季,明显减小。MAE 值较大的区域,是在滇西南和滇中以北的局部,MAE 值大多在 4 ~ 6 mm/d。MAE 值较小的区

域,是在滇西北-滇中-滇东南(图 9)。

2.2.4 冬季

冬季降水主要以大尺度的冷锋降水为主,MAE 值在 4 个季节当中最小。MAE 值较大的区域是在滇西北西部、滇南哀牢山和滇东北,MAE 值大多在 2 ~ 4 mm/d,其中,滇西的高黎贡山区域,MAE 值达到 4 ~ 6 mm/d,其他区域的 MAE 值在2 mm/d(图 10)。

MAE 值在冬季的分布,呈现出“地形敏感”的特点,24 h、48 h和72 h的 MAE 都稳定分布在山脉地形区和滇西北的迎风坡上,这些地区的 MAE 值达到 2 ~ 4 mm/d。另外,根据降水尺度的对比分析可以得

出,降水尺度较大时,MAE 值较小;降水尺度较小时, MAE 值较大。

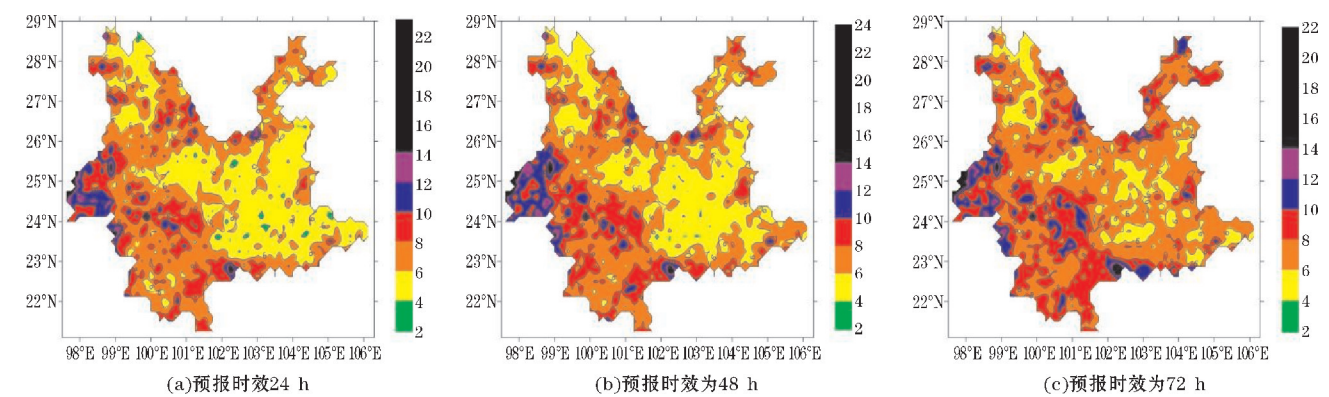


图8 EC_Thin 网格的平均绝对误差(MAE)在夏季的分布图

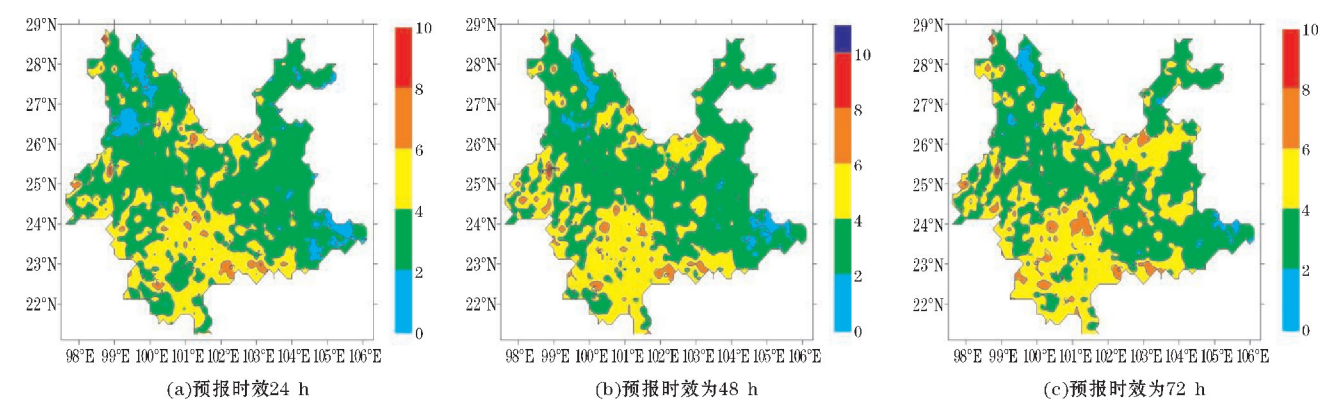


图9 EC_Thin 网格的平均绝对误差(MAE)在秋季的分布图

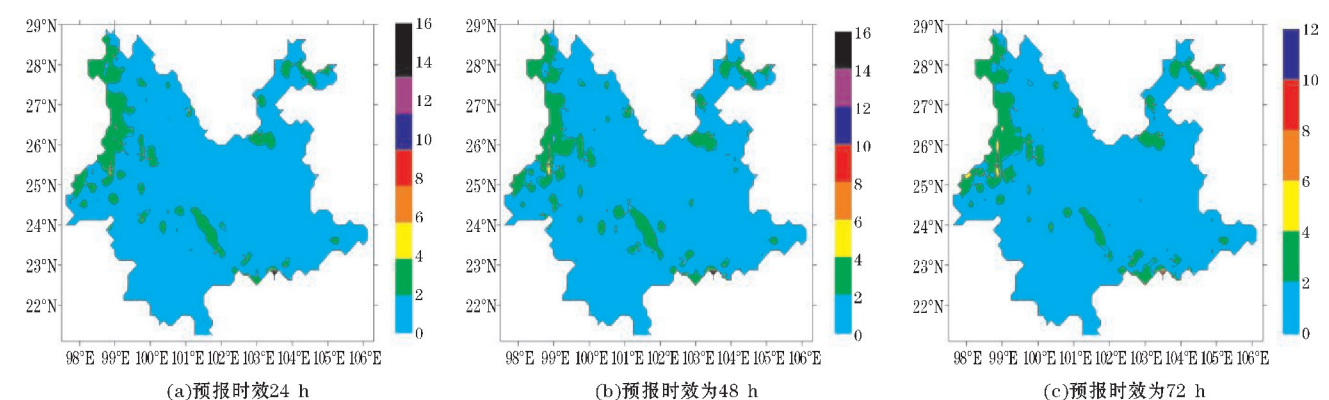


图10 EC_Thin 网格的平均绝对误差(MAE)在冬季的分布图

2.2.5 年平均

在年平均的检验结果中,滇西北东部-滇中-滇东南地区,MAE 值较小,大多为2~4 mm/d,MAE 值较大的区域是滇西边缘、滇西南和滇中以北局部地区,MAE 值为4~6 mm/d,局地 在 10~12 mm/d(图 11)。

3 精细化降水产品的检验(逐3 h)

选取每天 20 点起报的 EC_Thin 网格逐3 h精细化降水产品作为检验对象,采取前面逐24 h日降水产品

的检验方法,对逐3 h降水产品进行检验。其中,20 时-23 时这个时段的72 h预报文件由于超出预报时效的缘故,检验产品只取24 h和48 h。

为了便于直观地比较,统一逐3 h观测降水与 EC_Thin 网格预测降水的间隔等级,每0.2mm/d一个区间;大于1.4 mm/d的降水量分布区,统一用黑色绘制。按照 1 天 8 个时段(02 时、05 时、08 时、11 时、14 时、17 时、20 时、23 时)逐一绘制观测和预测的年平均降水分布对比图。

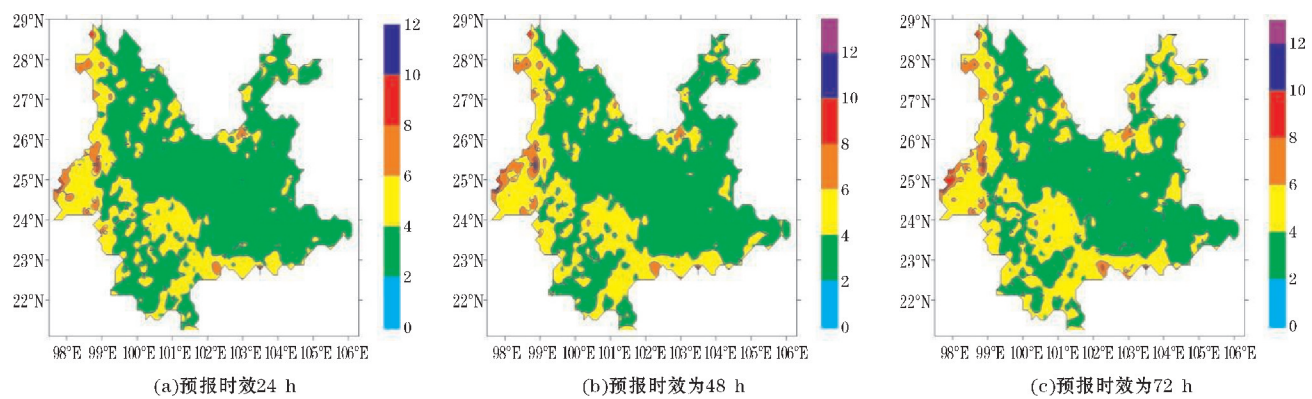


图 11 EC_Thin 网格的年平均绝对误差 (MAE) 分布图

3.1 观测降水与预测降水的定性对比

3.1.1 夜间时段(20 时-08 时)

夜间共分为 20 时-23 时、23 时-02 时、02 时-05 时和 05 时-08 时 4 个时段,如图 12 ~ 15 所示。逐 3 h 观测降水显示,夜间降水主要集中在滇东北和滇东边缘,以及滇南边缘和滇西边缘,这些属于“夜雨”较多的地方。滇西北东部-滇中-滇东南的这片狭长地带,夜间降水相对较少。

夜间滇东北和滇东边缘的降水属于近地面转为偏东气流后,冷空气形成的静止锋降水,该类型降水在 20 时-23 时和 23 时-02 时这两个时段最明显。02 时-05 时和 05 时-08 时这两个时段,降水主要集中在滇南边缘和滇西边缘,属于后半夜西南气流加强,导致在滇西边缘和滇南边缘的迎风坡上形成的降水。总体来看,前半夜(20 时-02 时)降水少,范围小;后半夜(02 时-08 时)降水多,范围大。

EC_Thin 网格时效 24 h、48 h 和 72 h 的降水产品,在前半夜的两个时段(20 时-02 时),对降水区域

和量级的预测都偏大;后半夜两个时段里(02 时-08 时),对降水区域的预测基本一致。

3.1.2 白天时段(08 时-20 时)

白天分为 08 时-11 时、11 时-14 时、14 时-17 时和 17 时-20 时 4 个时段,如图 16 ~ 19 所示。逐 3 h 观测降水显示,全省降水较多的地方集中在滇西和滇西南,降水量普遍达到 0.4 mm/d 以上。滇西北东部-滇中-滇东,是白天降水相对较少的区域。总体来看,午前时段(08 时-14 时)的降水少,午后时段(14 时-20 时)降水多。

午前时段(08 时-14 时)的降水,多是西南气流在滇西和滇南边缘的迎风坡上形成的降水。午后(14 时-20 时)的降水,则是西南气流加强以后,深入云南的西南腹地形成的降水。

EC_Thin 网格对白天时段的预测,除了 08 时-11 时模式的预测效果相对较好之外,其余 3 个时段的预测中,不管是降水量级还是区域的预测,都与观测降水差别较大。特别是 11 时-14 时和 14 时-17 时这两个时段中,模式预测的降水量级普遍偏高 0.4 mm/d。

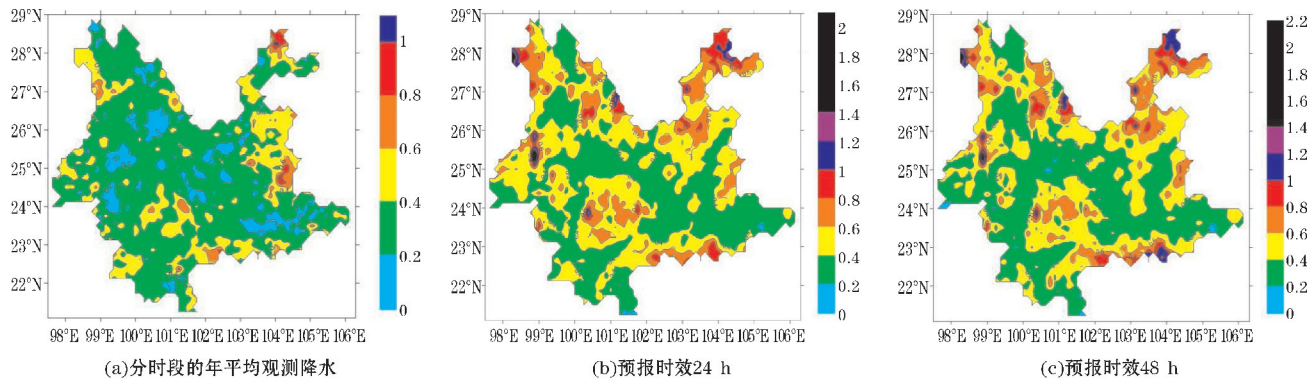


图 12 云南 2016 年分时段的逐 3 h(20 时-23 时)年平均观测降水与 EC_Thin 网格逐 3 h 年平均预测降水的对比

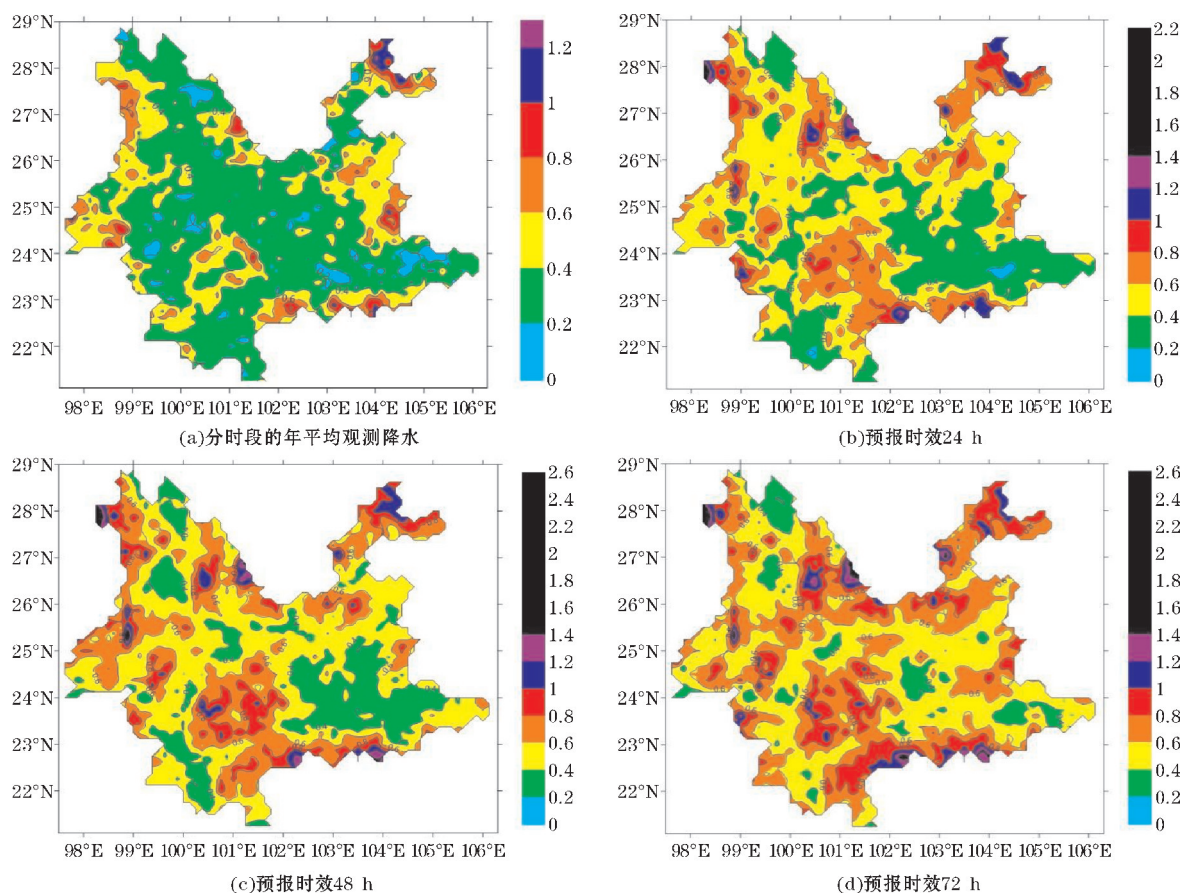


图 13 云南 2016 年分时段逐 3 h(23 时-02 时)年平均观测降水与 EC_Thin 网格逐 3 h 年平均预测降水的对比

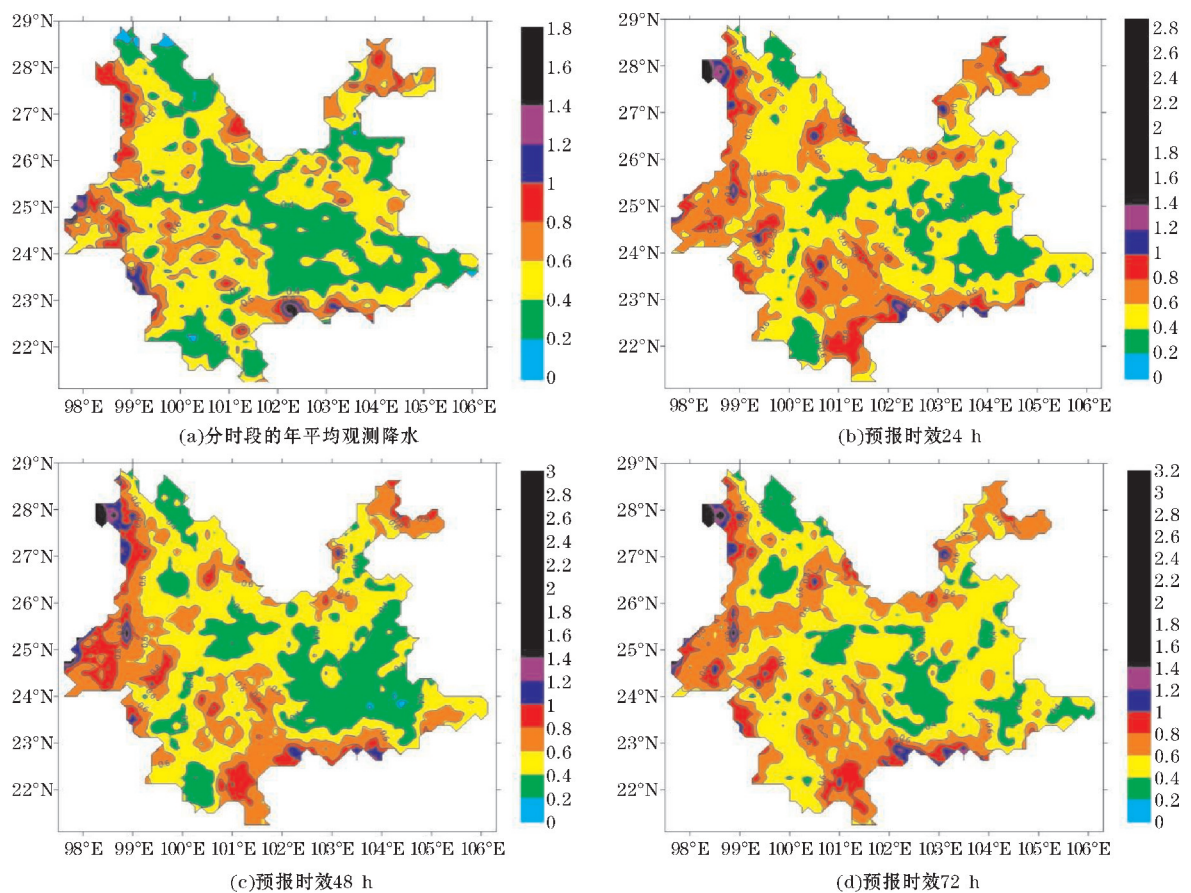


图 14 云南 2016 年分时段逐 3 h(02 时-05 时)年平均观测降水与 EC_Thin 网格逐 3 h 年平均预测降水的对比

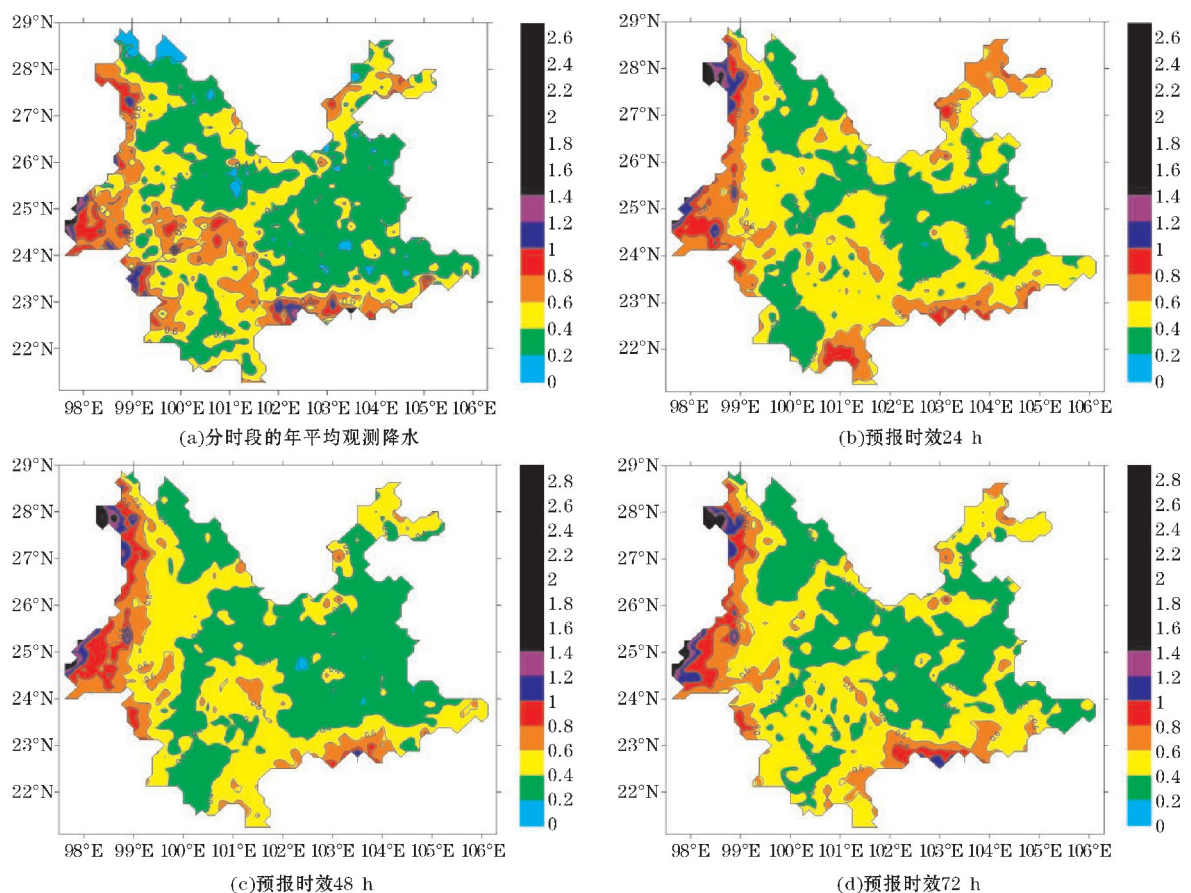


图 15 云南 2016 年分时段的逐 3 h(05 时–08 时)年平均观测降水与 EC_Thin 网络逐 3 h 年平均预测降水的对比

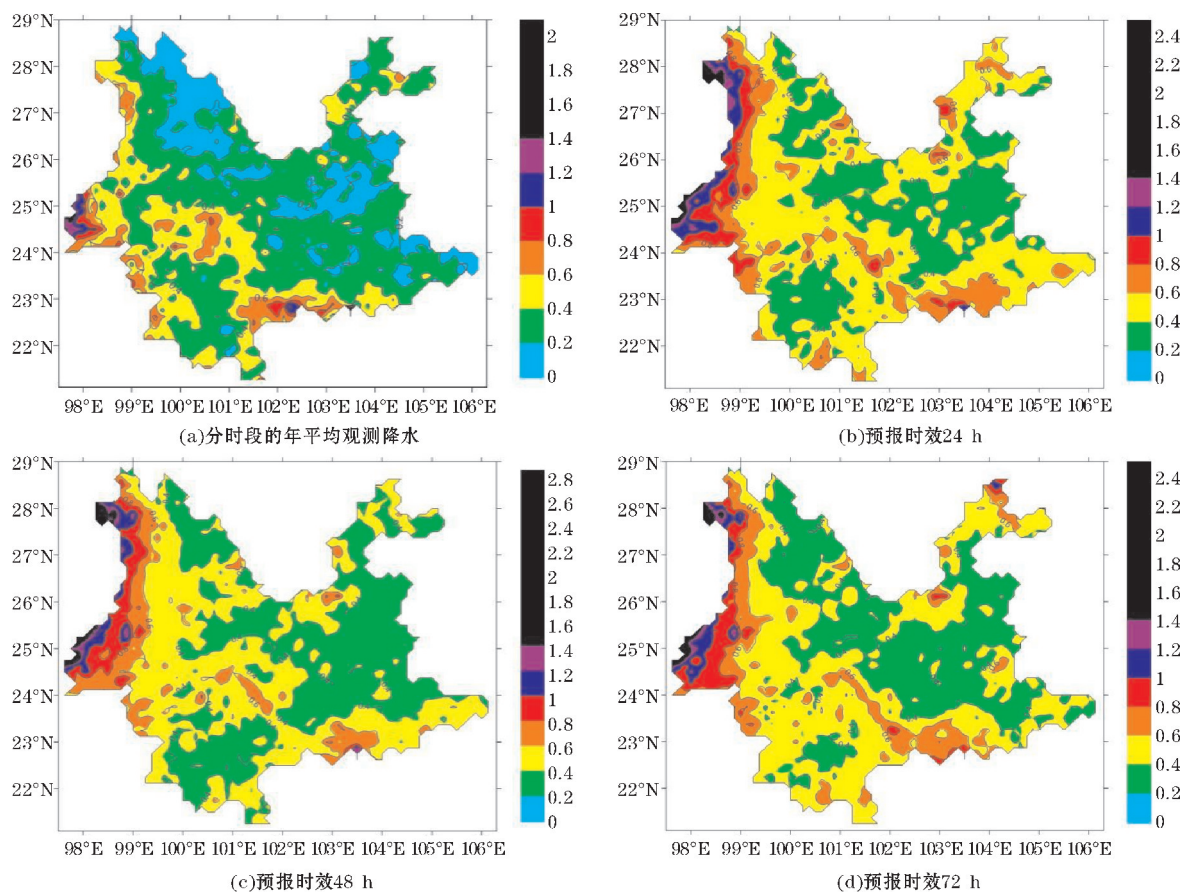


图 16 云南 2016 年分时段的逐 3 h(08 时–11 时)年平均观测降水与 EC_Thin 网络逐 3 h 年平均预测降水的对比

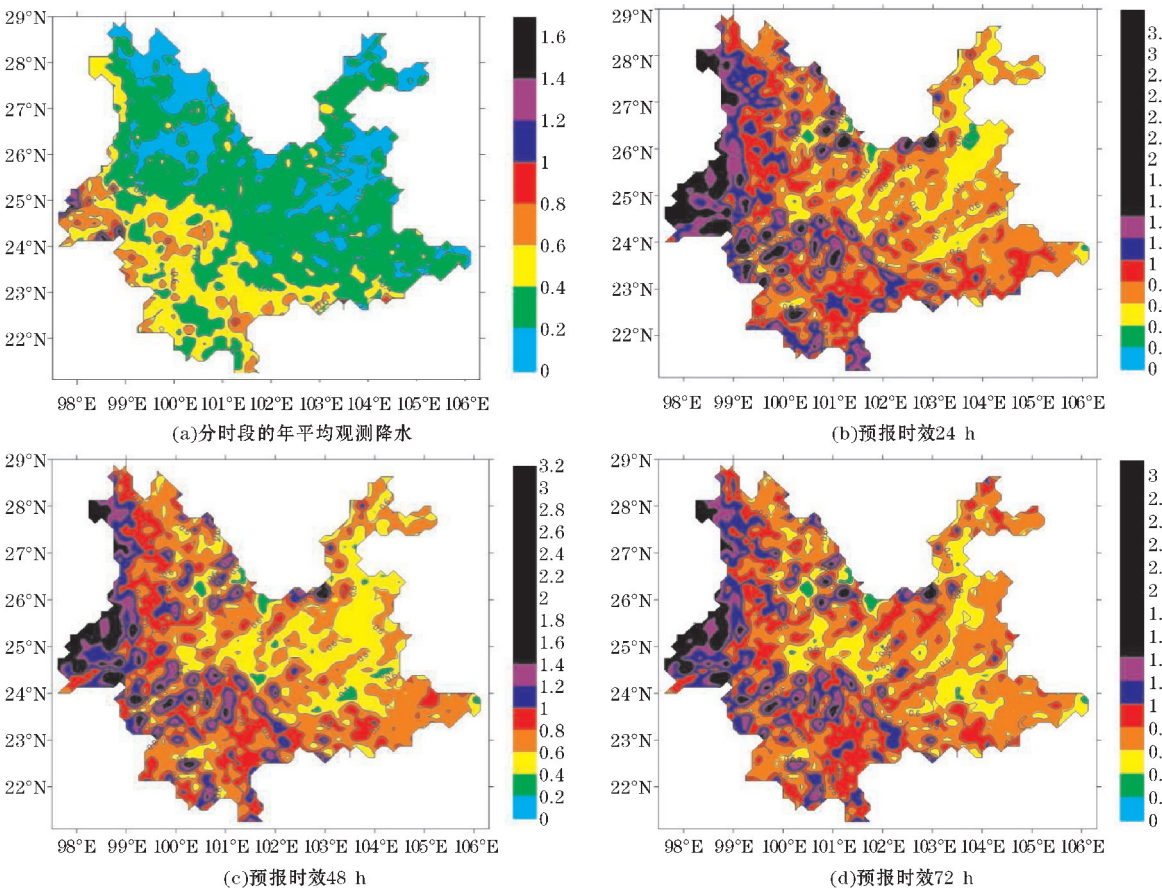


图 17 云南 2016 年分时段逐 3 h(11 时–14 时)年平均观测降水与 EC_Thin 网格逐 3 h 年平均预测降水的对比

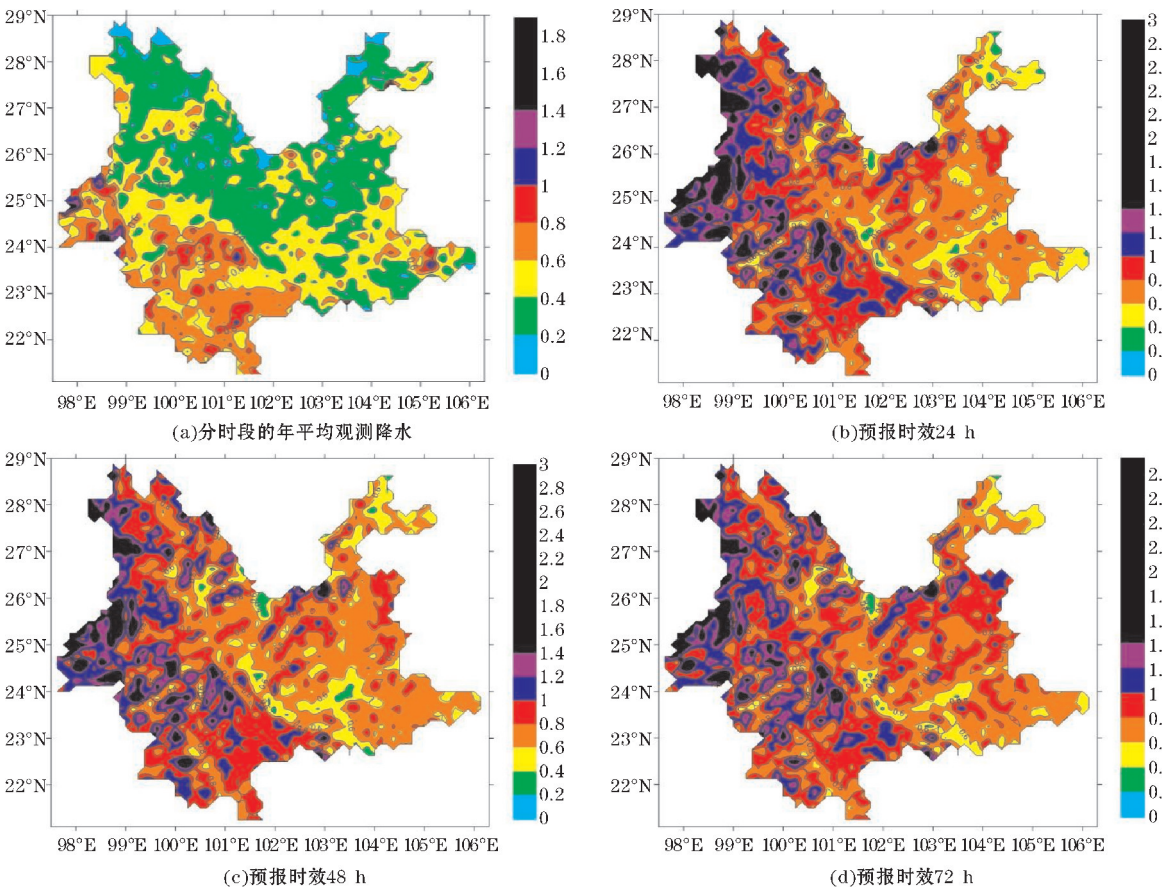


图 18 云南 2016 年分时段逐 3 h(14 时–17 时)年平均观测降水与 EC_Thin 网格逐 3 h 年平均预测降水的对比

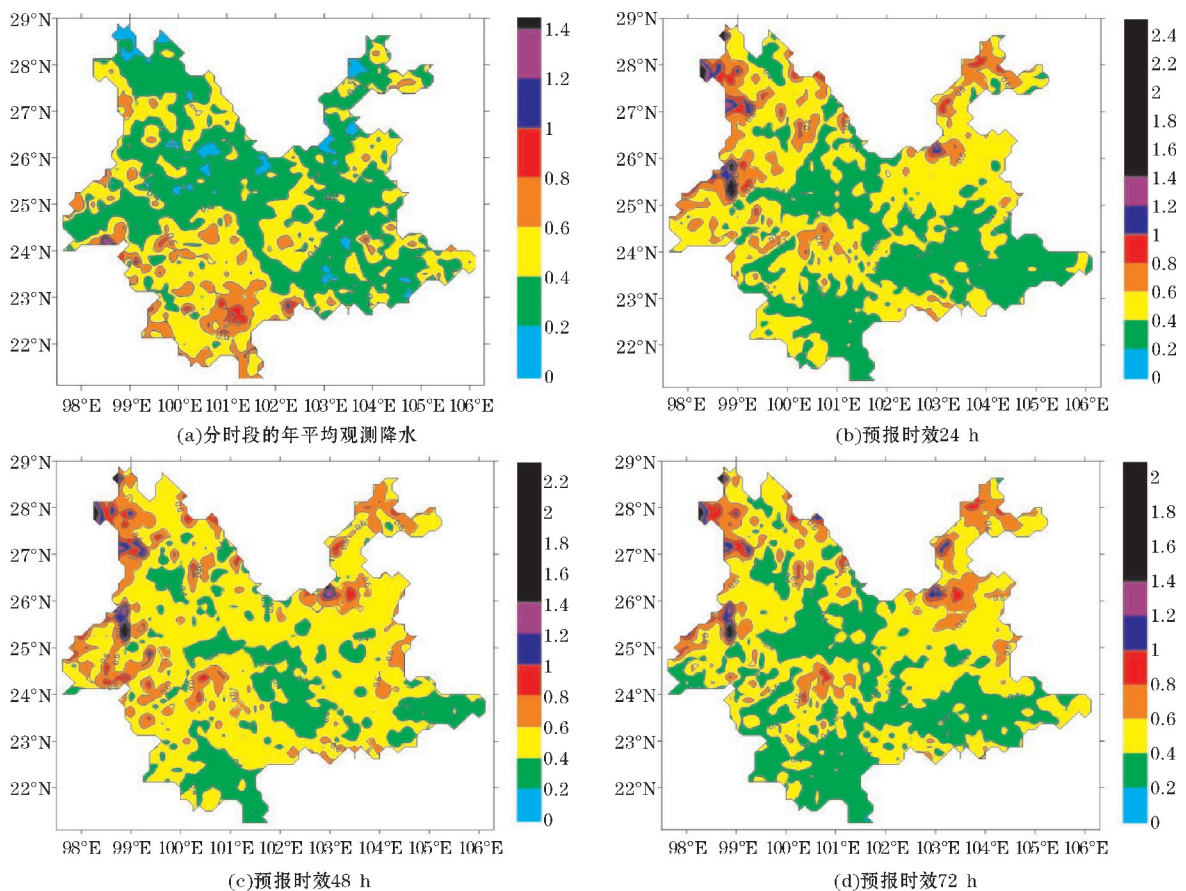


图 19 云南 2016 年分时段逐 3 h(17 时–20 时)年平均观测降水与 EC_Thin 网格逐 3 h 年平均预测降水的对比

3.2 定量检验

同样地,在对逐 3 h 降水产品的定量检验中,如果格点的绝对误差 $\leq \pm 0.1$ mm,那么视同绝对误差等于 0,即认为模式在该格点上预报正确。为了便于直观地比较,MAE 的配色标准与观测降水相同。

3.2.1 夜间时段(20 时–08 时)

分别绘制夜间 4 个时段的时效 24 h、48 h 和 72 h 的年平均 MAE 分布图,其中,20 时–23 时只绘制 24 时

和 48 时的 MAE 分布,如图 20 ~ 23 所示。

可以看出,夜间各时段里,MAE 值较大的区域是滇东北、滇西和滇西南,MAE 值达到了 0.6 mm/d 以上的量级。MAE 值较小的区域是滇西北的东部–滇中–滇东南的这片区域,MAE 值在 0.2 ~ 0.6 mm/d。

随着预报时效的临近,在地形相对低缓的滇中及以东,MAE 值有所减小,但在山脉河谷较多的滇西南和滇中以北地区,MAE 值减小的趋势不明显。

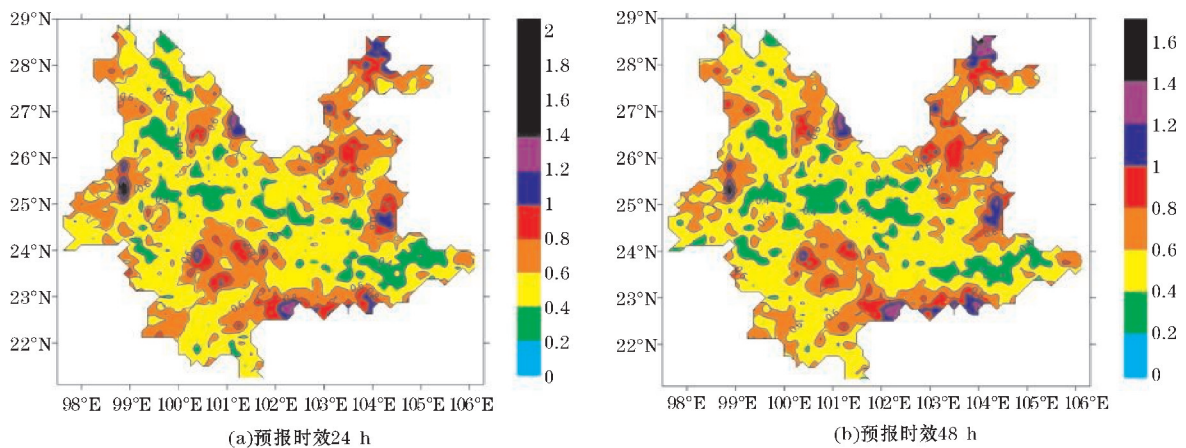


图 20 EC_Thin 网格的平均绝对误差(MAE)在夜间(20 时–23 时)的分布图

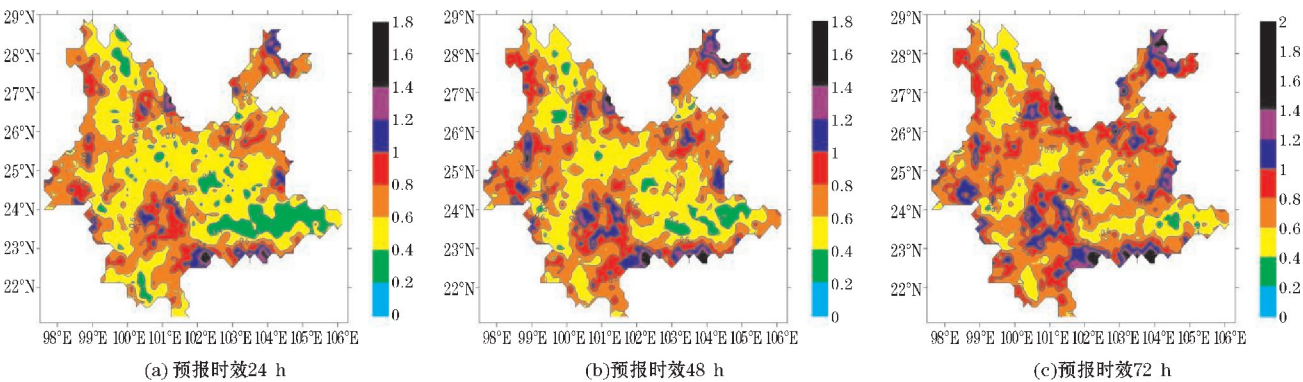


图 21 EC_Thin 网格的平均绝对误差(MAE)在夜间(23 时-02 时)的分布图

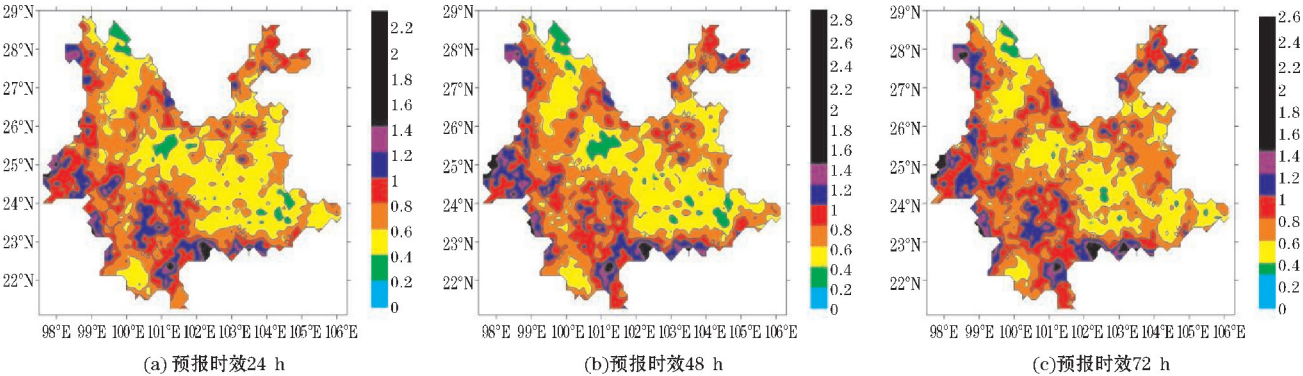


图 22 EC_Thin 网格的平均绝对误差(MAE)在夜间(02 时-05 时)的分布图

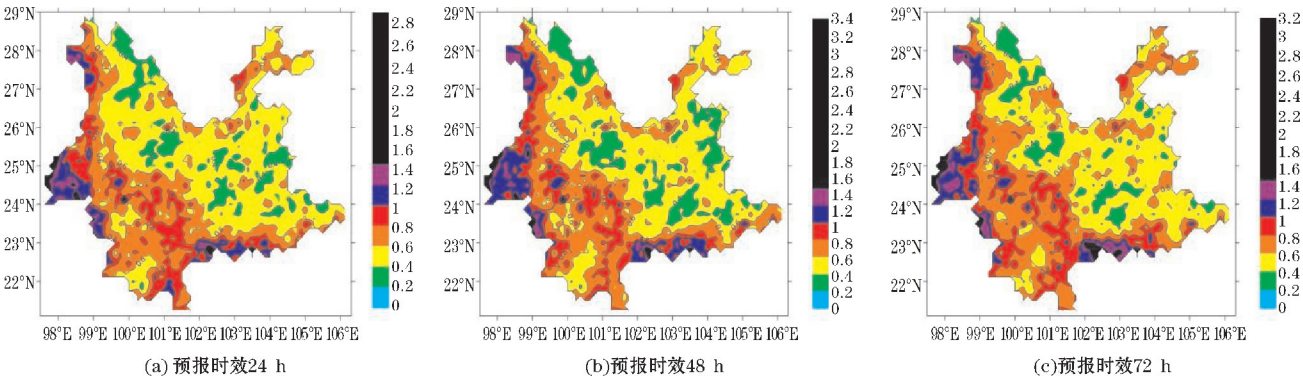


图 23 EC_Thin 网格的平均绝对误差(MAE)在夜间(05 时-08 时)的分布图

3.2.2 白天时段(08 时-20 时)

白天 4 个时段的年平均 MAE 分布(图 24 ~ 27), MAE 值较大的区域是在滇西到滇西南,MAE 值较小的区域是在滇西北东部-滇中-滇东南。11 时-14 时和 14 时-17 时这两个时段的 MAE 值较大,MAE 值相

对较小的时段是 08 时-11 时和 17 时-20 时。
分析白天时段 MAE 值的分布规律,平均而言,白天时段的 MAE 值要大于夜间时段。在滇西的高黎贡山、澜沧江河谷,滇南的哀牢山、元江河谷,滇东北的乌蒙山、金沙江河谷,MAE 值都在 0.8 mm/d 以上,局部超过 1.4 mm/d。

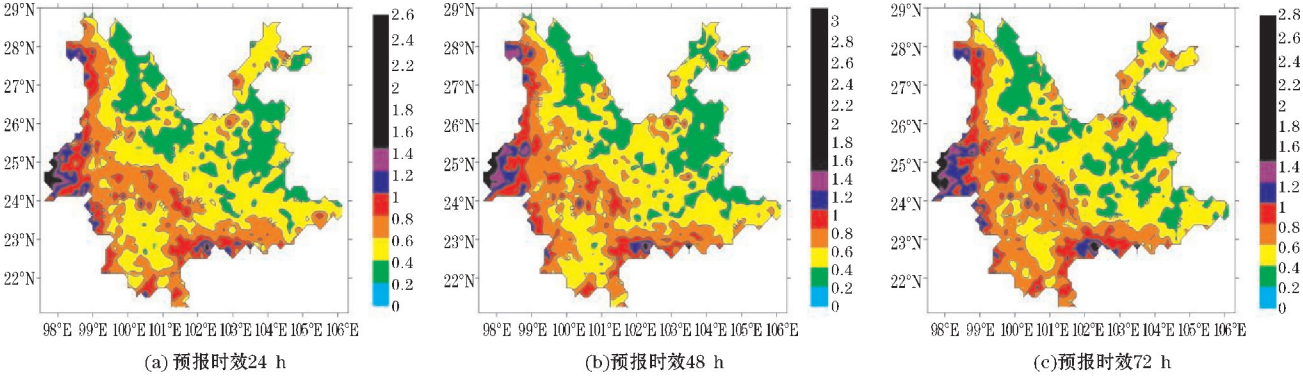


图 24 EC_Thin 网格的平均绝对误差(MAE)在白天(08 时-11 时)的分布图

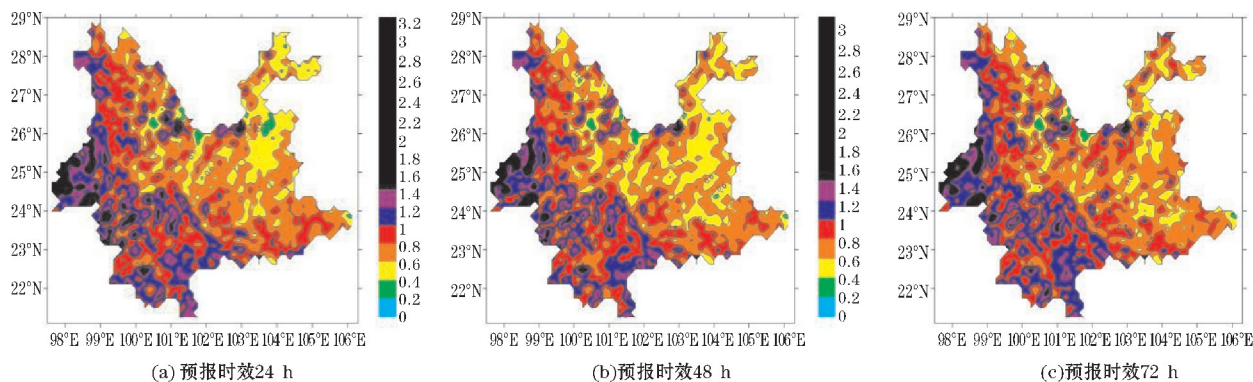


图 25 EC_Thin 网格的平均绝对误差(MAE)在白天(11 时–14 时)的分布图

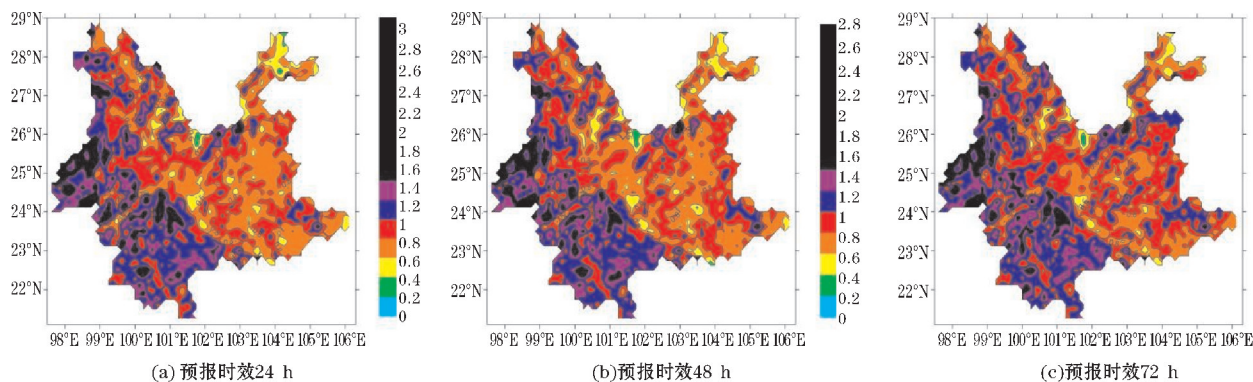


图 26 EC_Thin 网格的平均绝对误差(MAE)在白天(14 时–17 时)的分布图

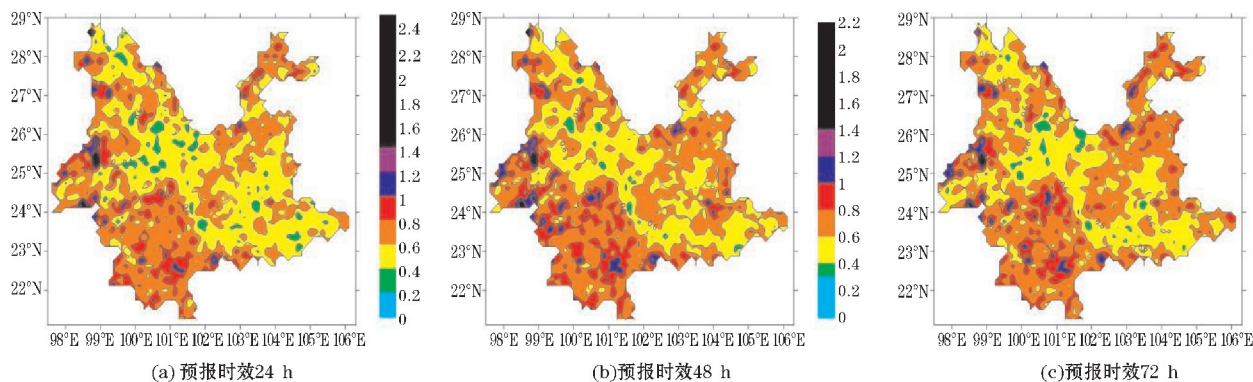


图 27 EC_Thin 网格的平均绝对误差(MAE)在白天(17 时–20 时)的分布图

4 预报质量讨论

利用区域平均法,把云南区域内所有格点的 MAE 值进行区域平均,得出 MAE 的区域平均值,如图 28 所示。

可以看出,逐24 h降水产品的 MAE 值在夏秋季较大,而冬春季较小。夏秋季,MAE 值随着预报时效的增加而增大;冬春季,MAE 值随着预报时效的增加而增大的趋势不明显;年平均的结果显示,MAE 值随着预报时效的增加而增大(图 28a)。

逐3 h降水产品在白天14 时、17 时,以及夜间02 时、05 时的 MAE 值较大,其他时段的 MAE 值相对较小。02 时、05 时、08 时、17 时和23 时,这几个时段的 MAE 值随着预报时效的增加而增大;11 时、14 时和20 时,这几个时段的 MAE 值随预报时效的增加而增大的趋势不明显(图 28b)。

逐 24 h 年平均 MAE 的区域平均值分别是 3.81、3.93 和4.07 mm/d,逐3 h所有时段年平均 MAE 的区域平均值分别是0.71、0.72和0.77 mm/d,就平均值而言,逐 3 h 降水产品的 MAE 平均值要大于逐24 h 的降水产品。

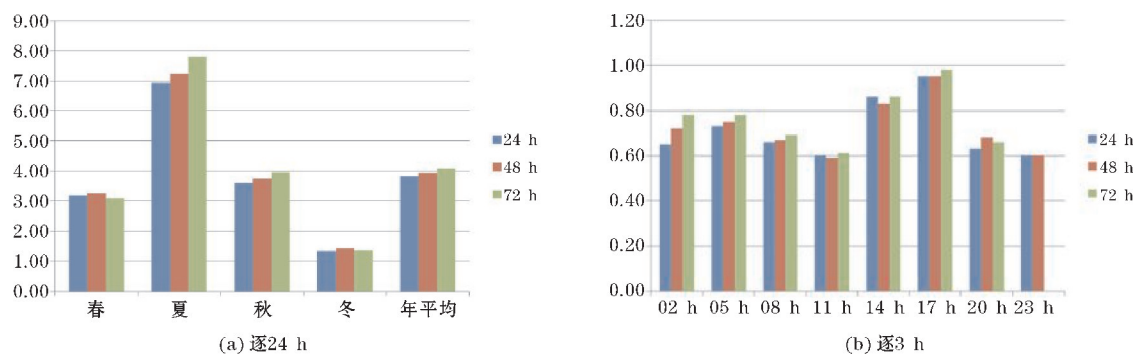


图 28 区域平均的 MAE 对比

根据 MAE 的区域平均值,可以求出代表离散程度的标准差,如图 29 所示。标准差越小,表示数据的离散程度越小,预报结果的一致性更好;标准差越大,说明预报结果的离散程度越大。

逐 24 h 降水产品的标准差在春夏季更大,秋冬季更小。除了冬季的标准差随着预报时效的增加而增大以外,其余季节里,标准差都是 48 h 的预报产品更大(图 29a)。

逐 3 h 降水产品的标准差在 14 时和 17 时这两个时

段里更大,20 时和 23 时这两个时段更小。02 时、08 时、11 时和 23 时的标准差随着预报时效的增加而增大,14 时和 17 时的标准差随着预报时效的增加反而减小(图 29b)。

逐 24 h 年平均降水产品的 24 h、48 h 和 72 h 标准差分别是 1.03、1.10 和 1.03,逐 3 h 每个时段的年平均 24 h、48 h 和 72 h 的标准差分别是 0.25、0.26 和 0.26,就平均值而言,逐 3 h 的年平均标准差比逐 24 h 的更大,说明离散程度更大,预报的一致性更差。

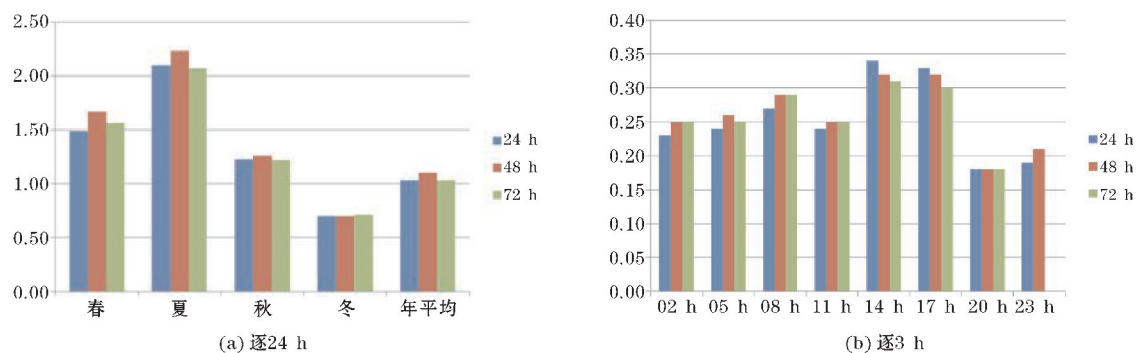


图 29 区域平均 MAE 的标准差对比

5 结论

根据 EC_Thin 网格逐 3 h 和 24 h 降水产品的定量检验结果,可以得出以下结论:

(1) 逐 24 h 年平均观测降水显示,冬春季为干季,降水主要集中在滇西北;夏秋季为湿季,降水主要集中在滇西南和滇中以东。逐 3 h 的年平均观测降水显示,白天降水较多的是滇西和滇西南,而夜间降水较多的是滇东和滇东北。

(2) 逐 3 h 和逐 24 h 降水产品的预报结果,对于地势相对平缓的滇中到滇东南区域,预报质量较好;而对于地形相对复杂的滇西北西部、滇西南和滇中以北区域,预报质量较差。对于山脉的背风坡一侧,预报质

量较好;而对于山脉的迎风坡一侧,预报质量较差。对于观测降水较少的区域,预报质量较好;而对于观测降水较多的区域,预报质量较差。

(3) 逐 24 h 的降水产品中,对于秋、冬、春季常见的较大尺度的降水,预报质量较好;而对于夏季较小尺度的降水,预报质量较差;逐 3 h 的降水产品中,对于夜间时段,预报质量较好;而对于白天时段,预报质量较差。

(4) 逐 24 h 和逐 3 h 的降水产品,预报误差都随着预报时效的增加而增大。其中,逐 3 h 的预报误差比逐 24 h 的预报误差更大,并且随着预报时效的增加,逐 3 h 的降水产品离散程度更大,预报的一致性更差。

(5) 随着预报时效的临近,在地形相对低缓的滇中及以东,预报误差有所减小,但在山脉河谷较多的滇

西南和滇中以北局部,预报误差减小的趋势不明显。

参考文献:

- [1] 钟兰頔,朱克云,王炳贇,等. 陡峭地形特大暴雨的雷达资料变分同化试验研究[J]. 成都信息工程大学学报,2017,32(2):165-174.
- [2] 彭敏,巩远发,纪策,等. 新疆昌吉州一次极端暴雨天气过程分析及数值模拟[J]. 成都信息工程大学学报,2017,32(5):537-543.
- [3] 徐伙,肖天贵,李跃清. WRF 模式不同边界层参数化方案对四川盆地夏季两次强降水的模拟分析[J]. 成都信息工程大学学报,2017,32(2):175-183.
- [4] 刘洋,李诚志,刘志辉,等. 基于 WRF 模式的新疆巴音布鲁克盆地强降雨天气数值模拟效果分析[J]. 干旱区研究,2016,33(1):28-37.
- [5] 庄晓翠,周鸿奎,李博渊. T639 模式在新疆北部暖区强降雪中的预报检验[J]. 干旱气象,2015,33(6):1031-1037.
- [6] 范苏丹,盛春岩,肖明静,等. 多模式集合对山东省气象要素预报效果检验[J]. 气象与环境学报,2015,31(6):68-77.
- [7] 阎丽凤,盛春岩,肖明静,等. MM5、WRF-RUC 及 T639 模式对山东沿海风力预报分级检验[J]. 气象科学,2013,33(3):340-346.
- [8] 潘留杰,张宏芳,袁媛,等. 基于 T639 细网格模式的陕西省秋淋天气预测效果评估[J]. 气象与环境学报,2015,31(6):09-17.
- [9] 史金丽. WRF 模式不同参数化方案对内蒙古不同性质降水模拟分析. [D]. 南京:南京信息工程大学,2013.
- [10] 许美玲,孙绩华. MM5 中尺度非静力模式对云南省降水预报检验[J]. 气象,2002,28(12):24-27.
- [11] 许艳彦,王曼,马志敏,等. 山脉地形对云南冷锋切变型强降水的影响[J]. 云南大学学报(自然科学版),2015,37(5):717-727.
- [12] 董海萍,赵思雄,曾庆存. 低纬高原地形对强降水过程影响的数值试验研究[J]. 气候与环境研究,2007,12(3):381-396.
- [13] A J simmons, A. Hollingsworth. Some aspects of the improvement in skill of numerical weather prediction [J]. Q. J. R. Meteorol. Soc.,2002,128:647-677.
- [14] 潘留杰,张宏芳,王建鹏. 数值天气预报检验方法研究进展[J]. 地球科学进展,2014,29(3):327-335.
- [15] 张超,程军,徐瑞. CMIP5 多模式预测 21 世纪中国西南区域平均降水量及其变化的对比分析[J]. 成都信息工程大学学报,2016,31(6):645-650.
- [16] 张宏芳,潘留杰,杨新. ECMWF、日本高分辨率模式降水预报能力的对比分析[J]. 气象,2014,40(4):424-432.
- [17] 张超,孙绩华,段玮. 云南区域站降水资料利用 Surfer 软件实现 Cressman 插值的研究[J]. 成都信息工程大学学报,2018,33(1):84-90.
- [18] Brownlee K A. Statistical Theory and Methodology in Science and Engineering [M]. New York: John Wiley & Sons Wiley,1965:26-30.
- [19] Schaefer J T. The critical success index as an indicator of warningskill [J]. Weather and Forecasting,1990,5(4):570-575.
- [20] Mason I. Dependence of the critical success index on sample climate and threshold probability [J]. Australian Meteorological Magazine,1989,37:75-81.
- [21] Doswell C A, Jones R D, Keller D L. On summary measures of skill in rare event forecasting based on contingency tables [J]. Weather and Forecasting,1990,5(4):576-585.
- [22] Hoffman R N, Liu Z, Louis J, et al. Distortion representation of forecast errors [J]. Monthly Weather Review,1995,123(5):2758-2770.
- [23] Lack S, Limpert G L, Fox N I. An object-oriented multiscale verification scheme [J]. Monthly Weather Review,2009,131(8):1001-1005.
- [24] Gilleland E, David A, Brown B G, et al. Verifying forecasts spatially [J]. American Meteorological Society,2010,8:1365-1373.
- [25] 曾瑾瑜,韩美,吴幸毓,等. WRF、EC 和 T639 模式在福建沿海冬半年大风预报中的检验与应用[J]. 海洋科学,2015,39(7):75-85.

Quantitative Verification of Precipitation Forecasts Performance in Yunnan by ECMWF High Resolution Grid

ZHANG Chao^{1,2}, SUN Ji-hua³, GONG Yuan-fa², DUAN Wei⁴

(1. Yunnan Meteorological Service Center, Kunming 650034, China; 2. College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 3. Yunnan Provincial Meteorological Observatory, Kunming 650034, China; 4. Yunnan Institute of Meteorological Sciences, Kunming 650034, China)

Abstract: In view of the applicability of ECMWF high-resolution grid precipitation products in the Yunnan mountainous region, the forecast data of ECMWF-type precipitation products are forecasted by using the regional station observation data of Yunnan in 2016 for 24 h and 3 h respectively. And the average absolute error calculation formula is used and the quantitative tests are performed. Firstly, the precipitation observation data were interpolated into grid data, and then the observed precipitation distribution in the Yunnan region was compared with the ECMWF model's predicted precipitation distribution, and the average absolute error distribution map obtained from the forecast minus observation at each grid point was plotted. The regional average method is used to discuss the quality of the forecast at last. The results show that the ECMWF model has a smaller error value and better prediction quality for the relatively flat terrain in the middle to southeast Yunnan province, while for the relatively complex topographic mountain and valley areas, the model has larger error values and the forecast quality is relatively high. With the increase of forecasting time, the forecast error is also increasing, and the forecast error of precipitation by 3 h is larger than that by 24 h.

Keywords: meteorology; numerical model test; regional station; precipitation distribution; mean absolute error; regional average method