

# TRMM 卫星降水数据在老哈河流域的精度评估

李剑锋<sup>1</sup>, 余文婧<sup>2</sup>, 江善虎<sup>3</sup>, 石琳<sup>1</sup>

(1. 河南省水利勘测设计研究有限公司, 河南 郑州 450016; 2. 安徽水利水电职业技术学院, 安徽 合肥 231603; 3. 河海大学 水文水资源学院, 江苏 南京 210098)

**摘 要:** 采用地面雨量站点观测降水作为基准数据, 评估热带降雨观测计划 (TRMM) 最新一代降水产品 3B42V7 在高纬度半干旱的老哈河流域的精度。结果显示: TRMM 3B42V7 在老哈河流域较基准降水系统偏大, 平均偏差为 17.46%, 相关系数为 0.73, 平均意义上日卫星降水精度相对较高; 但 TRMM 3B42V7 绝对值偏差达到 81.26%, 在绝对值意义上日卫星降水精度较低; 经过 GPCC 地面月降水量偏差校准, TRMM 3B42V7 精度在月尺度上有较大提高, 绝对偏差为 21.95%, 相关系数达到 0.98; TRMM 3B42V7 精度同纬度和高程存在明显的相关关系; TRMM 3B42V7 能较好反映老哈河流域日降水事件并展现降水的空间分布特征。因此, TRMM 3B42V7 可用于老哈河流域月尺度的水文过程模拟、水资源评价与规划等相关研究。

**关键词:** 卫星降水; TRMM 3B42V7; 精度评估; 老哈河流域

中图分类号: TV125

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2014)05-0089-04

## Evaluation of accuracy of Laoha river basin by data of TRMM satellite precipitation

LI Jianfeng<sup>1</sup>, SHE Wenjing<sup>2</sup>, JIANG Shanhu<sup>3</sup>, SHI Lin<sup>1</sup>

(1. Henan Water Conservancy Reconnaissance Design Research Co., Ltd, Zhengzhou 450016, China; 2. Anhui Hydropower Vocational Technical, Hefei 231603, China; 3. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** Taking the ground site observation rainfall precipitation as benchmark data, the paper assessed the precision of the latest generation precipitation product 3B42V7 of tropical rainfall observation plan (TRMM) in Laoha river basin basin in northern semi - arid area. The result shows that the TRMM 3B42V7 in a benchmark Laoha river basin basin precipitation system is larger, the average deviation is 17.46%, the correlation coefficient is 0.73, the, the precision of satellite daily precipitation is relative high in average sense; But TRMM 3B42V7 absolute deviation reaches 81.26%, the precision of satellite precipitation in an absolute sense is low; After the deviation calibration of month GPCC ground rainfall, the precision of TRMM 3B42V7 on month scale has greatly increased, the absolute deviation is 21.95%, the correlation coefficient is 0.98; The accuracy of TRMM 3B42V7 has obvious correlation with latitude and elevation; TRMM 3B42V7 can better reflect the spatial distribution characteristics of precipitation and precipitation events in Laoha river basin basin, . Therefore, TRMM 3B42V7 can be used for the simulation of monthly scale hydrological process, the evaluation and planning research of water resources in Laoha river basin watershed.

**Key words:** satellite precipitation; TRMM 3B42V7; accuracy assessment; Laoha river basin

降水是水文循环中最重要、最活跃的物理过程之一,也是流域水文模型最重要的输入变量,其具有明显的时空变异性,快速获取高时空精度的降水数据一直是水文气象领域的研究热点和难点<sup>[1]</sup>。多

卫星遥感联合反演能够提供具有一定时空精度的连续降水数据,其覆盖空间范围广,获取方便,能为水文气象实际应用及相关研究提供有力的数据支持,特别是能为无资料和少资料地区提供一种新的数据

收稿日期: 2014-05-23; 修回日期: 2014-06-11

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目 (2013B31114)

作者简介: 李剑锋 (1979-), 男, 河南洛阳人, 硕士, 工程师, 研究方向: 水文水资源。

通讯作者: 江善虎 (1983-), 男, 安徽安庆人, 博士, 讲师, 主要从事流域水文过程模拟方面的研究。

来源<sup>[2]</sup>。近年来,随着航空航天以及遥感技术的不断进步,卫星遥感反演降水得到了迅速发展,出现了大量不同时空分辨率的全球卫星降水产品,如 CMORPH、PERSIANN、GSMaP 等<sup>[3]</sup>。特别是 20 世纪 90 年代末热带降雨观测计划 (TRMM) 卫星降水取得了突破性成功,开创了全球降水监测的 TRMM 时代<sup>[3]</sup>。然而,现行的 TRMM 卫星反演降水精度受到数据来源、反演算法、地形、纬度、雪等因子的影响,仍存在一定的系统偏差,数据精度存在明显的空间变异特性,中高纬度地区卫星降水偏差较低纬度地区大<sup>[4-5]</sup>。评估 TRMM 卫星降水的精度,识别 TRMM 卫星降水的误差特征,仍是当前值得深入探究的内容。国内学者在 TRMM 卫星降水精度评估、应用 TRMM 卫星降水分析流域降水时空变化特征上开展了许多研究。如杨云川等检验了 TRMM 3B42V6 在四川盆地及周边地区的精度,发现卫星降水随着时间尺度的扩展精度不断提高<sup>[6]</sup>。胡庆芳等评估了赣江流域 TRMM 3B42V6 的精度,并进行了误差特征分析与成因解释<sup>[7]</sup>。李相虎等利用 TRMM 3B42V6 数据分析了鄱阳湖流域降水时空分布特征<sup>[8]</sup>。李景刚等基于 TRMM 数据分析了 1998-2010 年汉江流域降水的时空变化特征<sup>[9]</sup>。但在高纬度半干旱地区关于卫星降水精度评估的研究较少,尤其是对最新一代 TRMM 3B42V7 数据的精度还缺少系统评估。本文以北方半干旱的高纬度老哈河流域为例,基于地面密集的雨量站点观测数据,评估最新一代 TRMM 卫星降水产品 3B42V7 的精度与误差特征,以促进 TRMM 卫星降水数据在我国高纬度流域水文中的应用。

## 1 研究区域与数据

### 1.1 研究区域概况

老哈河流域是西辽河的主要的源头流域之一,发源于河北省平泉县西北山区柳西川。流域位于北纬  $41^{\circ} \sim 42^{\circ}30'$ ,东经  $117^{\circ}15' \sim 120^{\circ}$ ,兴隆坡水文站 ( $42^{\circ}26' \text{ N}$ ,  $119^{\circ}34' \text{ E}$ ) 以上集水面积为  $18\,112 \text{ km}^2$ 。老哈河流域地势西南高、东北低,海拔高程自西南向东北由  $2\,017 \text{ m}$  降低到  $427 \text{ m}$ 。流域处于中温带、半干旱、大陆性季风气候区。年平均气温是  $14^{\circ}\text{C}$ ,年平均降水量约为  $450.0 \text{ mm}$ ,年平均蒸发量  $1\,600 \sim 2\,600 \text{ mm}$ ,年平均风速  $3.0 \sim 4.7 \text{ m/s}$ 。流域降水的年内分布也不均匀,约 88% 的年降水分布在 5 到 9 月份。图 1 展示了老哈河流域水系分布及流域内的站点布设情况。

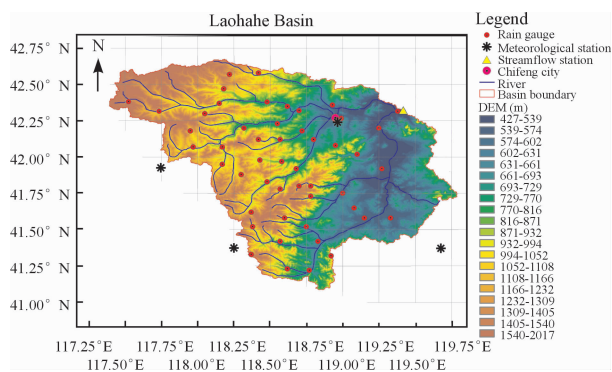


图 1 老哈河流域地理位置及测站分布图

### 1.2 研究数据

研究共收集老哈河流域内 52 个雨量站点 2003-2008 年逐日降水资料,采用反距离加权法 (IDW) 将点雨量插值到流域面上分布,进而计算得流域逐日降雨量。采用的卫星降水数据为 TRMM 最新一代降水产品 TRMM 3B42V7 (2012 年 12 月制作发布),它是 TRMM 3B42V6 数据的升级版本。TRMM 3B42V7 是经过全球降水气候学中心 (GPCC) 地面月降水数据偏差校准的研究型数据,数据在降水发生后一个月的第 10~15 d 可获取;数据空间分辨率均为  $0.25^{\circ}$ ,时间步长为 3 h;数据可由美国国家航空和宇宙航行局 (NASA) 的 Goddard 数据分发中心免费下载。

## 2 研究方法

在评估 TRMM 3B42V7 精度时,分别求得卫星降水的流域均值和站点降水的流域均值,在流域尺度上进行比较。采用偏差 (Bias,  $B$ )、绝对值偏差 (Absolute Bias,  $A_B$ ) 和相关系数 (Correlation Coefficient,  $C$ ) 3 项定量精度指标来评价卫星降水与基准降水值在数量上的一致性。其中  $B$  反映了卫星降水的系统偏差程度; $A_B$  代表绝对偏差程度; $C$  表征卫星降水同站点观测降水的线性相关程度。

$$B = \sum_{i=1}^n (S_i - G_i) / \sum_{i=1}^n G_i \times 100 \% \quad (1)$$

$$A_B = \sum_{i=1}^n | (S_i - G_i) | / \sum_{i=1}^n G_i \times 100 \% \quad (2)$$

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})(S_i - \bar{S})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}} \quad (3)$$

式中:  $G_i$ 、 $S_i$  分别为老哈河流域在第  $i$  天的基准降水量、卫星降水量;  $\bar{G}$ 、 $\bar{S}$  分别为基准降水量、卫星降水量日均值; $n$  为 2003-2008 年的总天数。

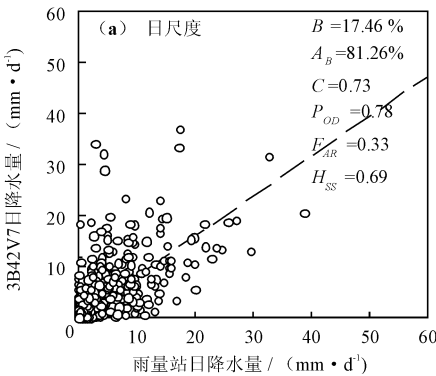
采用探测率 (Probability of Detection,  $P_{OD}$ )、空报率 (False Alarm Ratio,  $F_{AR}$ ) 和 Heidke 技巧评分指数 (Heidke's skill score,  $H_{SS}$ ) 3 项分类评价指标来反映卫星降水对日降水事件的探测能力<sup>[7]</sup>。 $P_{OD}$  越高,表明卫星降水对日降水事件的漏报程度越小; $F_{AR}$  越小,空报程度越小; $H_{SS}$  综合反映卫星降水对降水事件是否发生的估计能力<sup>[10]</sup>。

$$P_{OD} = n_{11} / (n_{11} + n_{01}) \tag{4}$$
$$F_{AR} = n_{10} / (n_{11} + n_{10}) \tag{5}$$
$$H_{SS} = \frac{2(n_{11}n_{00} + n_{10}n_{01})}{(n_{11} + n_{01})(n_{01} + n_{00}) + (n_{11} + n_{10})(n_{10} + n_{00})} \tag{6}$$

式中:  $n_{11}$ 、 $n_{01}$  和  $n_{00}$  根据表 1 定义。 $n_{11}$  表示卫星降水数据和基准降水数据同时有雨的频数,其他变量类似。有雨或无雨根据日降水量大小确定,本文选定阈值为 0.1mm。

### 3 TRMM 3B42V7 精度评价

图 2 给出了洮水流域日尺度 (图 2a)、月尺度 (图 2b)TRMM 3B42V7 卫星降水和站点降水的散点



图,并计算了各评价指标的数值。在日尺度上,TRMM 3B42V7 降水的  $B$  相对较小,为 17.46%;而  $A_B$  却较大,达到 81.26%。说明在平均意义上,TRMM 3B42V7 日降水稍微高估了降水量;但在绝对值意义上,TRMM 3B42V7 日降水存在较大偏差。TRMM 3B42V7 日降水与站点降水的  $C$  为 0.73,二者具有较好的相关性。分类评价指标方面:  $P_{OD}$  为 0.78,  $F_{AR}$  为 0.33,  $H_{SS}$  为 0.69,说明 TRMM 3B42V7 能较好反映日降水事件的发生。在月尺度上,TRMM 3B42V7 的  $A_B$  较日尺度明显降低,为 21.95%;  $C$  显著提高,达到 0.98;大部分月份 TRMM 3B42V7 与站点观测降水较好吻合。比较日尺度和月尺度的  $B$  与  $A_B$  可以发现,TMAP 算法中月尺度偏差校准能有效地保证 TRMM 3B42V7 日降水的  $B$  接近于零,但其没有削减日降水的  $A_B$  数值,该算法仍有待进一步改进和提高。

表 1 降水两类估计列联表

| 卫星降水量 | 基准降水量    |          |
|-------|----------|----------|
|       | 有雨       | 无雨       |
| 有雨    | $n_{11}$ | $n_{10}$ |
| 无雨    | $n_{01}$ | $n_{00}$ |

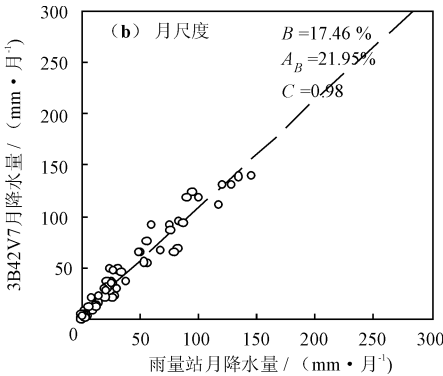


图 2 TRMM 3B42V7 卫星降水与站点降水散点图

图 3 为 TRMM 3B42V7 日降水和站点观测日降水在不同强度区间发生频率及对总降水量的贡献率的比较。由图可以看出,TRMM 3B42V7 降水数据除了在没有降水(0 mm)和小降水事件(0~1 mm,1~5 mm)发生概率上与站点数据存在一定偏差之外,在其它不同量级降水事件的发生频率与站点数据均吻合较好;而在贡献率方面,TRMM 3B42V7 数据在小降水事件(5~10 mm)和强降水事件(>20 mm)有一个低估,而在中等降水事件(10~20 mm)有一个高估。总体来说,TRMM 3B42V7 日降水在不同强度区间发生频率及对总降水量的贡献率与站点数据分布较好吻合;但对于小雨和强降水事件,

TRMM 3B42V7 反演精度有待提高。

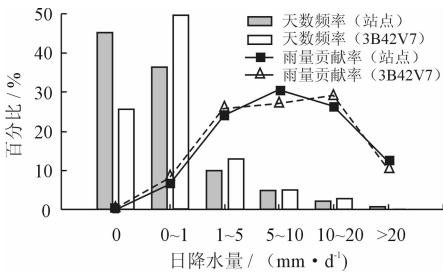
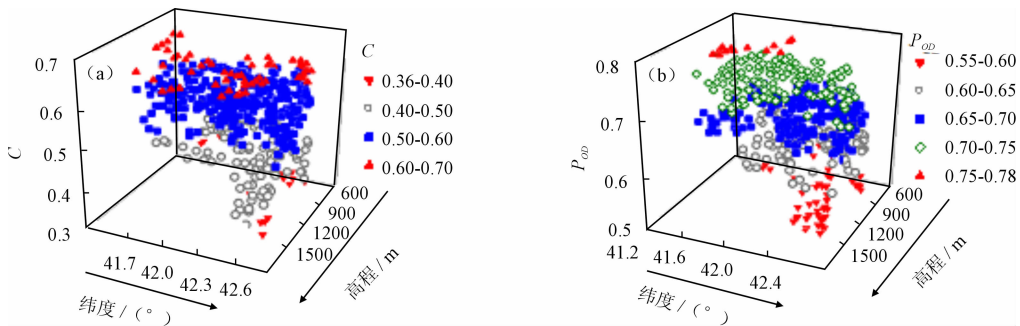


图 3 不同量级 TRMM 3B42V7 卫星降水和站点降水的发生概率及贡献率

图 4 给出了 TRMM 3B42V7 各评估指标与纬度

和高程的关系。从图中可以看出:在老哈河流域, TRMM 3B42V7 精度同纬度和高程存在明显的相关关系,纬度越低、高程越低的地区,卫星降水具有更高的相关系数和命中率,卫星降水的精度越高;而纬度越高、高程越高的地区,卫星降水具有更低的相关

系数和命中率,卫星降水的精度越低。老哈河流域纬度变化范围为  $41^{\circ} \sim 42.75^{\circ}$ ,高程变化范围为  $427 \sim 2017 \text{ m}$ , TRMM 3B42V7 的精度会受到流域纬度高程的共同影响。



(注:选取相关系数 ( $C$ ) 和命中率 ( $P_{od}$ ) 两个指标,在  $0.0625^{\circ}$  空间网格上分别计算每一评估指标的数值,再根据每一网格的指标值、高程及纬度来分析卫星降水误差同纬度和高程的关系。)

图4 3B42V7 卫星降水各评估指标 ( $C$  和  $P_{od}$ ) 与纬度和高程的关系

图5给出了 TRMM 3B42V7 和站点观测降水 2003 – 2008 年均值的空间分布情况。总体上, TRMM 3B42V7 与站点观测降水具有较一致的空间分布,表现出在流域西南部降水比较丰沛,流域北部地区降水量偏少,流域由南往北降水量存在明显的递减趋势。但 TRMM 3B42V7 在最大值和最小值数

值上都较站点观测降水有一定的偏大,这与 TRMM 3B42V7 在老哈河流域的系统高估降水量以及 TRMM 3B42V7 的空间分辨率较低有关;当前, TRMM 3B42V7 的空间分辨率为  $0.25^{\circ}$ ,在中小流域尺度上进行应用,其空间分辨率还有待进一步提高。

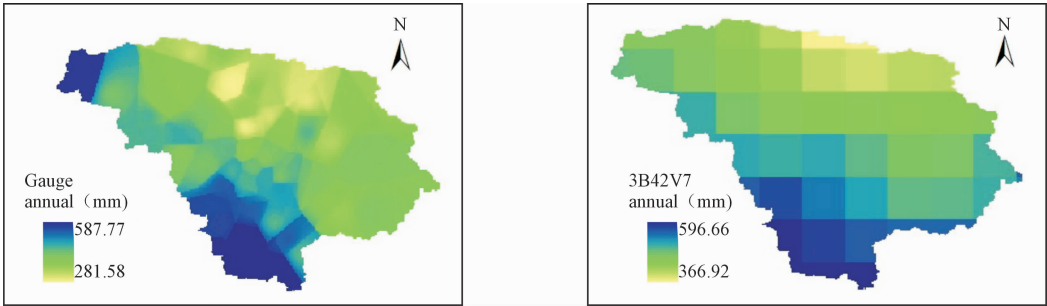


图5 老哈河流域站点降水和 TRMM 3B42V7 卫星降水 2003 – 2008 年空间分布图

4 结 语

TRMM 3B42V7 日数据较基准降水有一个明显的系统偏大,平均偏差为  $17.46\%$ ,绝对值偏差为  $81.26\%$ ;TRMM 3B42V7 月数据精度较日数据有很大提高,绝对偏差为  $21.95\%$ ,相关系数为  $0.98$ ,说明 TMPA 算法中 GPCP 地面月降水数据偏差校准有效地保证了 TRMM 3B42V7 日降水在月尺度平均意义上接近于基准降水量,但在日和小时尺度时程分

配上仍存在较大差异。TRMM 3B42V7 精度与纬度和高程存在一定的相关性。TRMM 3B42V7 能较好的反映老哈河流域日降水事件,但对小雨和强降水事件反演还不够准确;空间上 TRMM 3B42V7 能很好的展现老哈河流域降水的分布特征,但在中小流域应用,其分辨率仍有待提高。总体上, TRMM 3B42V7 对老哈河流域降水有一定的估测能力,能够用于该地区月尺度水文过程模拟、水资源评价与规划等相关研究和工作。(下转第 97 页)

阿基米德数随射流送风速度的增大而急剧减小。与雷诺数相比,阿基米德数对射流卷吸量的影响非常小,在3~5 m/s的送风速度下 $Ar$ 数的作用更不明显。可以看出送风速度提高,惯性力比浮升力对射流运动的作用更显著,卷吸运动主要受雷诺数的影响。

## 6 结 语

(1)利用模型实验台,分别采用传统方法和示踪气体法测量了喷口射流对环境空气的卷吸量,对比两种测量结果,可以利用示踪气体浓度分析射流卷吸量。

(2)表征流体所受惯性力与粘滞力比值的雷诺数 $Re$ 是影响卷吸效应强弱的关键因素,随着出口雷诺数增大卷吸量逐渐增加,当出口雷诺数 $Re$  15000时,流量增大系数几乎不变。

(3)阿基米德数总体上对射流卷吸的影响不明显,且随雷诺数的增大,影响效果逐渐减弱,说明阿基米德数对卷吸效应的影响程度远小于雷诺数。

### 参考文献:

- [1] 黄晨,李美玲,左涛,等.采用第一类边界条件数值模拟具有开口的大空间建筑室内速度场与温度场[J].制冷学报,2002,23(2):20-24.

- [2] 胡宇,黄晨,蔡宁.大空间建筑及其相似放大建筑的室内热环境模拟分析[J].流体机械,2012,40(9):67-71+42.
- [3] 董小超.大空间分层空调热环境设计、实验研究及综合评价[D].上海:上理工大学,2012.
- [4] 朱能,刘珊.置换通风与冷却顶板的热舒适性研究[J].制冷学报,2000(4):64-70.
- [5] Fernando H J S. Turbulent mixing in stratified fluids[J]. Fluid Mechanics and Heat Transfer, 1991,23:455-493.
- [6] Turner J S. Turbulent entrainment; the development of the entrainment assumption and its application to geophysical flows[J]. Journal of Fluid Mechanics, 1986,173:431-471.
- [7] 余常昭,李春华.圆形断面自由湍动射流卷吸的实验研究[J].气动实验与测量控制,1996,10(1):31-38.
- [8] Fischer H B, List E J, Koh R C Y, et al. Mixing in inland and coastal waters[M]. London: Academic Press, 1979.
- [9] 刘沛清.自由紊动射流理论[M].北京:北京航空航天大学出版社,2008.
- [10] 余常昭.紊动射流[M].北京:高等教育出版社,1993.
- [11] Strang E J, Fernando H J S. Entrainment and mixing in stratified shear flows[J]. Fluid Mech, 2001:349-386.
- [12] 阳东.狭长受限空间火灾烟气分层与卷吸特性研究[D].合肥:中国科学技术大学,2010.

(上接第92页)

### 参考文献:

- [1] 刘元波,傅巧妮,宋平,等.卫星遥感反演降水研究综述[J].地球科学进展,2011,26(11):1162-1172.
- [2] Jiang S H, Ren L L, Yong B, et al. Evaluation of high-resolution satellite precipitation products with surface rain gauge observations from Laohahe Basin in northern China[J]. Water Science and Engineering, 2010,3(4):405-417.
- [3] Kidd C, Huffman G. Global precipitation measurement[J]. Meteorological Applications, 2011,18(3):334-353.
- [4] Jiang S H, Ren L L, Hong Y, et al. Comprehensive evaluation of multi-satellite precipitation products with a dense rain gauge network and optimally merging their simulated hydrological flows using the bayesian model averaging method[J]. Journal of Hydrology, 2012,452:213-225.
- [5] Jiang S H, Ren L L, Hong Y, et al. Improvement of multi-satellite precipitation products for ensemble streamflow

- simulation in a middle latitude basin in South China[J]. Water Resources Management, 2014(28):2259-2278.
- [6] 杨云川,程根伟,范继辉,等.四川盆地及周边地区TRMM 3B42数据精度检验[J].气象科学,2013,33(5):526-535.
- [7] 胡庆芳,杨大文,王银堂,等.赣江流域TRMM降水数据的误差特征与成因[J].水科学进展,2013,24(6):794-800.
- [8] 李相虎,张奇,邵敏.基于TRMM数据的鄱阳湖流域降雨时空分布特征及其精度评价[J].地理科学进展,2012,31(9):1164-1170.
- [9] 李景刚,黄诗峰.基于TRMM数据的汉江流域1998年-2010年降水变化特征[J].南水北调与水利科技,2011,9(6):48-53.
- [10] 罗阳,赵伟,翟景秋.两类天气预报评分问题研究及一种新评分方法[J].应用气象学报,2009,20(2):129-136.