多卫星遥感降水数据精度评价

刘俊峰[1,2], 陈仁升[1,2], 韩春坛[1,2], 谭春萍[2]

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所黑河上游生态-水文试验研究站, 兰州 730000;
2. 中国科学院黑河生态水文与流域科学重点实验室, 兰州 730000)

摘要: 利用中国 650个台站降水数据, 在日、月、年尺度上,分析了多卫星降水分析数据 (TMPA 3B42)在中国大陆 50°N以南地区的适用性, 并利用 MODIS逐日积雪数据评估了冬季 TMPA数据在以青藏高原为主体区的精度。结果表明: TMPA日降水数据精度存在时空不稳定性, 且随着时间尺度的增加, TMPA降水数据的精度提高; 在同一时间尺度上, TMPA数据精度在降水量大的地区要明显好于降水稀少地区, 但年尺度降水大于 2500 mm地区存在明显低估; TMPA数据冬季区域降水空间误差平均水平在 15%, 当只考虑积雪区时的降水空间误差平均水平在 40%, 这说明 TMPA对冬季降水空间量较差, 但同时这也意味着可以利用 MODIS积雪数据修正 TMPA冬季降水数据。

关键词: 多卫星降水数据; 精度评价; MODIS
中图分类号: P338.8 **文献标志码**: A **文章编号**: 1001-6791(2010)03-0343-06

降水强烈的时空变化常使得常规地基台站的降水观测不能准确把握降水的空间分布和强度变化, 而卫星微波遥感可以克服此局限, 实现全球尺度降水和云的观测, 而且相对于红外/可见光只能反映云厚、云高等信息而言, 微波能够穿透云体, 利用云内降水粒子和云粒子与微波的相互作用对云、雨进行更为直接的探测[1-2]。1997年, 热带测雨卫星 (TRMM)的成功发射为与降水有关的研究提供了新的数据支撑, TRMM数据被应用于模型模拟[3-6]、天气过程分析和潜热分析[7-8], 应用研究趋于多样性。随着 TRMM卫星降雨数据应用日趋广泛的同时, 数据精度成为很多研究人员关注的焦点。

TRMM多卫星降水数据 (TMPA)由于融合了多个卫星数据, 且数据质量较高, 成为研究和应用的热点。Huffman等指出 TMPA在月尺度上降水估计较好, 卫星降水资料对主要降水过程的落区探测与地面气象台站观测结果大体一致; 在小尺度上则能够重现基于地面观测的降雨过程, 却不能很好的估计历时短、降水小的过程, 但可以用来做降水量日循环的估计[9]。国内许多研究人员对 TRMM不同级别的数据精度也有大量的分析[5, 10-11], 其中白爱娟等对比分析了 TMPA与陕西地区实测降水, 指出 TMPA在局部地区能够反映降水特征, 而在有些区域则表现出对夏季降水量探测能力较差[10], 但资料整体在中纬度地区具有可用性[11]。毛红梅利用 TMPA对比分析汉江地区站点雨量观测资料, 结果表明随着尺度增加, TMPA结果越好, 而空间对比表明与站点观测结果差别较大[5]。

虽然与 TRMM有关的降水数据精度分析较多, 但针对 TMPA数据精度分析较少, 且 TMPA资料分析多偏重于局部地区某次大的降水过程, 对中国大陆的精度分析欠缺, 因此有必要给出不同时间尺度的 TMPA数据在中国不同区的精度结果。夏季降水在中国年降水总量中比例较大, 利用 TMPA数据分析夏季降水过程成为关注的焦点, 而由于冬季降水少, 利用 TMPA数据的相关研究较少。冬季降水在青藏高原、西北地区和东北地区以固态为主, 但由于气象站点稀少, 积雪量观测精度较低, 难以满足与 TMPA的对比需要, 考虑到在无云情况下, MODIS积雪数据在整个北半球范围尺度上年均估计误差大约为 8%[12], 在青藏高原误差大约为 10%[13]。利用 MODIS积雪数据相对 TMPA数据较高的空间率和较高的准确性来判定其准确性, 特别是降

收稿日期: 2009-08-18
基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向性资助项目 (KZCX2-YW-301-3); 国家自然科学基金资助项目 (40771045; 90702001-2; 40401012); 国家重点基础研究发展计划 (973) 资助项目 (2007CB411506)
作者简介: 刘俊峰 (1982-), 男, 宁夏中卫人, 博士研究生, 主要从事寒区水文研究。E-mail: jfliu121@163.com

水范围的判定上不失为一种很好的方法。本文借助 TMPA拟分析在日、月和年尺度上与地面台站降水数据的差异，并根据青藏高原冬季积雪面积变化对降水很敏感[14]，借助 MODIS积雪数据记录每次降雪过程和范围来判定 TMPA数据在青藏高原生成的逐日降水范围的误差。

1 资料与方法

1.1 TMPA资料及处理

TRMM数据产品 3B42空间范围为 50°S～50°N，180°W～180°E，空间分辨率为 0.25°×0.25°，时间分辨率为3 h，数据包括降水强度和误差。3B42融合了多个微波遥感数据，其中包括 TRMM卫星上的 TMI(Microwave Imager)，DMSP(Defense Meteorological Satellite Program)上的 SSM/I(Special Sensor Microwave Imager，2004年3B42产品融合了 Aqua卫星上的 AMSR-E(Advanced Microwave Scanning Radiometer-Earth Observing System)以及 NOAA系列卫星上的 AMSU-B(Advanced Microwave Sounding Unit-B)。由于该数据产品融合了多个微波遥感数据，且数据质量高于以往数据产品，从而成为被推荐用于科学研究的数据产品[15]。日尺度的降水通过每日 8次的降水强度，计算在北京时间下逐日的降水量，月和年尺降水量则通过逐日降水量累加计算得到。TMPA数据与实测降水数据的对比分析，利用 50°N以南地区 650个气象台站的降水量(图 1)，分别与对应的 TMPA栅格点上的降水量做相关分析，得到日，月尺度的相关系数分布图；年尺度上则利用散点图分析站点降水量与 TRMM资料的相关性，并给出了拟合的 R^2。

图 1 气象站点分布图

Fig.1 Distribution of precipitation observation stations in China

1.2 积雪数据及对比方法

为分析 TMPA数据空间误差，选取 MOD10C1数据，其空间分辨率为 0.05°×0.05°，时间分辨率为 1 d，数据覆盖全球。以青藏高原为主体的研究区(25°～40°N，74°～104°E)，选择了 2000年 12月 1日～2001年 3月 9日共 99 d的时段，根据在高原区 MODIS积雪数据记录的降雪过程和范围来判定 TMPA数据生成的逐日降水范围的误差。具体方法如下：

根据连续 2 d的积雪数据判断积雪面积新增加区、消失区和连续无积雪区域，根据以上区域的分布来判定 TMPA数据，如果在积雪增加的区 TMPA数据有降水，说明 TMPA降水数据合理，反之则说明 TMPA降水数据在该区判断有问题。利用同样的方法，判断在积雪消融区和连续无积雪区 TMPA数据的可靠性，如果在连续无积雪区 TMPA数据显示无降水，则说明 TMPA数据合理，在积雪消融区，出现降水的可能性比较小，一般认为没有降水出现。需要指出的是，在连续的积雪区，不能判断是否有降水出现，所以这部分区域出现降水不在考察范围。

根据以上积雪遥感数据与 TMPA逐日降水数据分析，找出每天 TMPA有问题的栅格，判定错误的栅格占总栅格的比例，从而可以知道 TMPA日降水数据在空间上对实际降水空间分布的判定有效性。据此，首先采用区域降水误差作为判定 TMPA日降水数据空间判定准确性的依据。区域降水误差：

$$R_i^1 = N_i / N_{total} \tag{1}$$

式中 R_i^1为第 i天 TMPA日降水数据中误判栅格数占整个研究区总栅格数的比例；N_i为在第 i天出现错误的栅格数；N_{total}为研究区总的栅格数。

由于以青藏高原为主体的研究区连续无积雪区域比例较大，而人们更为关心 TMPA降水区和 MODIS积雪区的范围差异，所以在这里建立了只考虑在第 i天有积雪的区域中 TMPA降水数据，却没能判断出有降水区所占到的比例。积雪区域降水误差(R_i^2)：

$$R_i^2 = S_i / S \tag{2}$$

式中　R_i^2 为只考虑积雪区域时 TMPA 日降水数据在第 i天中 TRMM 误判栅格数占积雪区域栅格数的比例；S_i 为第 i天 TMPA 误判的栅格数；S为第 i天出现积雪的栅格数。

2　TMPA 与站测差异分析

2.1　日尺度

日尺度两种降水数据对比分析表明：中国东部和南部地区 TMPA 数据结果与站点结果相关系数较高，大致分布在 0.4～0.9的水平，而西北地区相关系数较低，大致分布在 0～0.4的水平。TMPA 日降水估计东部和南部地区明显好于西部地区，青藏高原南部好于高原中北部地区。从不同年份日尺度相关系数分布的差异来看，2001年 TMPA 日降水估计明显好于其它 4年，2000年次之，而 1999年估计最差。这表明，在不同年份，TMPA 对特定站点或区域的日降水估计存在不稳定性，特别是东北地区以及内蒙古自治区，年际日降水估计差异变化很大，2001年相关系数在该地区达到 0.5的平均水平，而 1999年只有 0.3(图 2)。

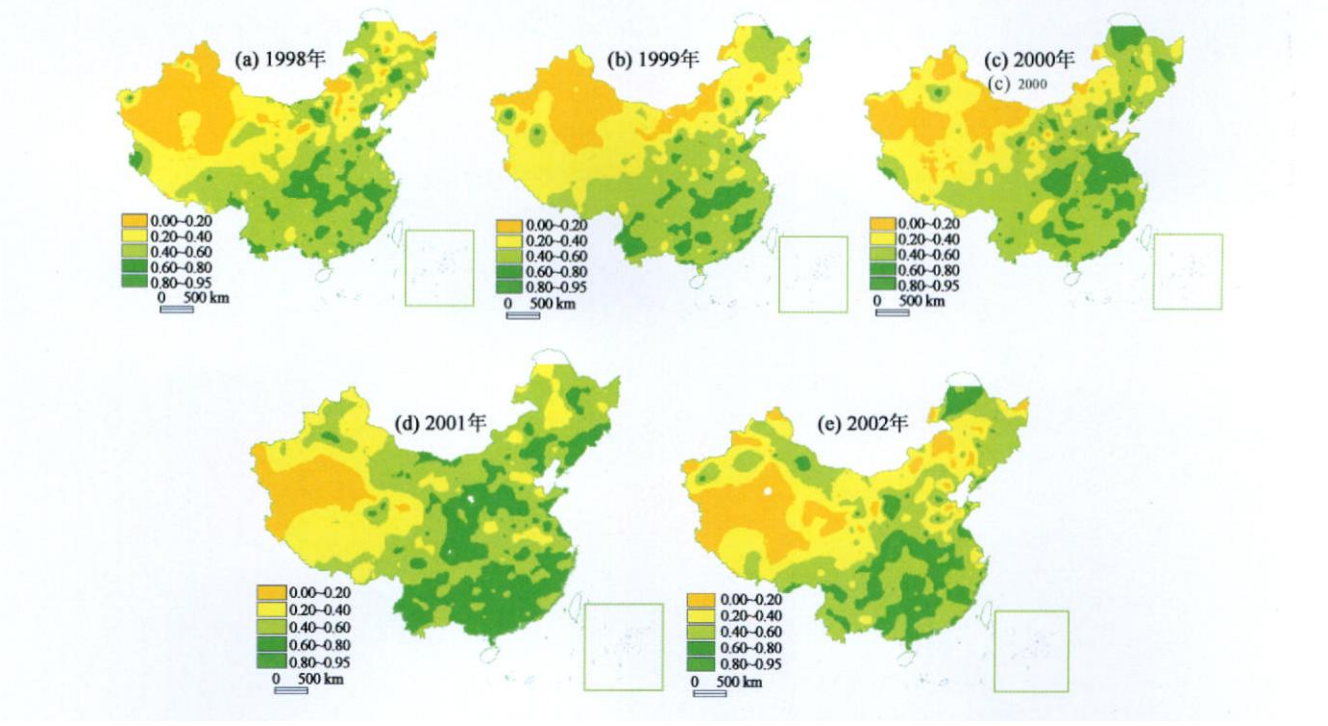

图 2　日尺度 TMPA 与站点降水数据相关系数分布

Fig. 2　Distribution of correlation coefficients between TMPA and at day scale observations in precipitation stations

2.2　月尺度

1998～2002年大陆地区 TRMM 数据与站点月降水数据的相关系数趋势可以看出：相关系数的分布趋势从西北向东南地区递增，与日尺度结果一致，但 TRMM 在月降水量的估计上整体明显好于日尺度的估计，相关系数在西北局部地区小于 0.47，全国 3/4地区相关系数高于 0.68，一半的区域相关系数高于 0.88。从月尺度相关系数具体的分布来看，TMPA 月降水数据对中国东部、南部以及东北地区估计的准确性比较高；青藏高原南部地区好于高原北部；而西北地区的结果表现出降水越少的地区，估计结果越差(图 3)。

2.3　年尺度

TMPA 对站点年降水总量的估计结果较日、月尺度要好，R^2 可以达到 0.92以上，但从散点相对于 1∶1线分布来看，在实测降水大于 2 500 mm 的区域，TMPA 年降水估计明显小于实测结果。而在降水量小于 500 mm 的站点，除少数站点估计高出或接近实测外，多数点 TRMM 结果同样偏小。其原因可能与 TMPA 不能估

计历时短、降水小的过程，致使年降水量在小于 500 mm地区出现的偏差较大 (图 4)。年降水量误差分析表明：1999～2002年 TMPA年降水量与站点年降水量相对误差在 - 20% ～20%的格点占所有选用格点的 70%，相对误差在 - 40% ～40%的格点占所有选用格点的 95%以上。

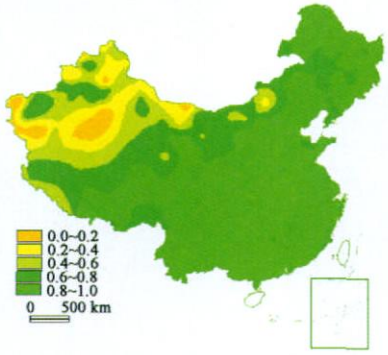

图 3 月尺度 TMPA 与站点降水数据相关系数分布

Fig. 3 Distribution of Correlation coefficients between TMPA and in suit observation of precipitation at monthly scale

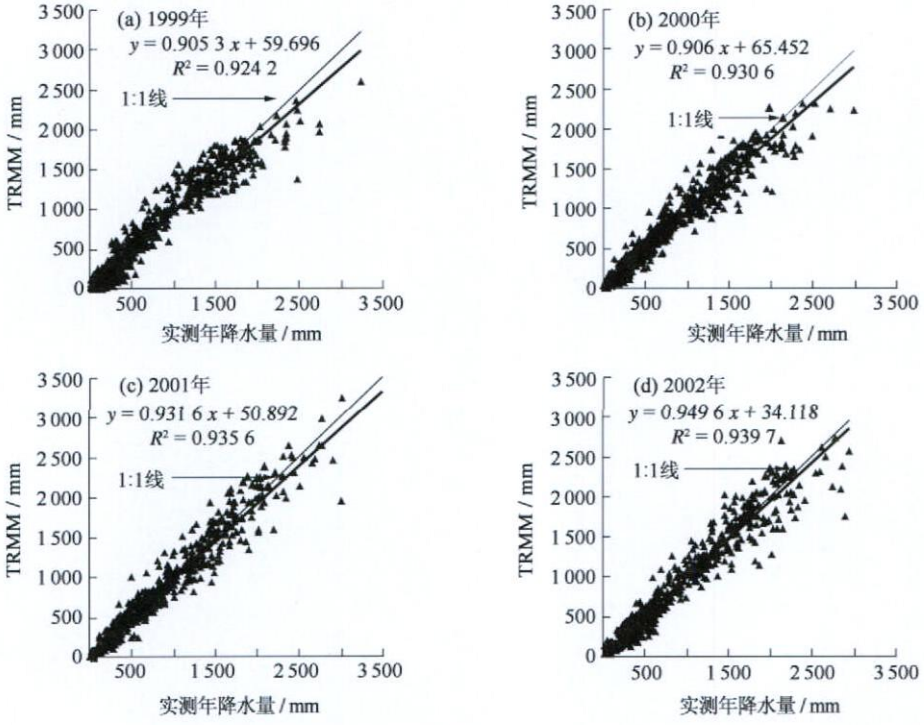

图 4 年尺度 TMPA 与站点降水数据散点分布图

Fig. 4 Scatter diagrams between TMPA and in suit observations in precipitation stations at annual scale

3 TMPA与 MODIS积雪覆盖差异分析

MODIS积雪覆盖产品作为验证数据，TMPA日降水结果作为被评价的对象，从整个研究区域来看，TMPA日降水数据区域降水误差较小，出现错误判定的区域平均水平在 15%，在某些时段可能达到 25%的误判区域，这些误判区有可能是把无降水区判定为有降水，也有可能是把有降水区判定为无降水区。当只考虑积雪区域时，降水的空间误判 (R_i^2)平均水平在 40%，也就是把出现积雪覆盖的 40%的有降雪区判断为无降雪区。在所选研究时段，积雪区降水误差最大可以达到 70%的水平 (图 5)。

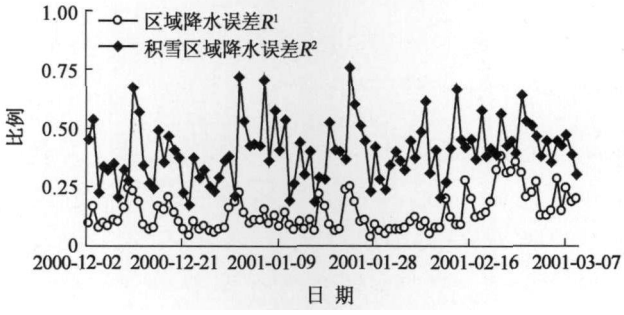

图 5　TMPA与 MODIS对比误差分析结果

Fig. 5　TMPA spatial distribution error level compared with MODIS snow cover in winter of Tibetan Plateau

4 结　　论

(1) TMPA与台站降水数据在中国大陆 50°N以南地区日、月、年尺度相关分析表明：日尺度对同一地区不同年份的降水估计有一定差异，TMPA降水估计具有空间不稳定性，但整体上降水充沛地区估计结果好于降水稀少地区的估计精度，只有在降水大于 2500 mm地区，TMPA存在明显的估计偏小；此外，随着时间尺度增加，TMPA对降水估计精度越好，年尺度上 R^2 可以达到 0.92以上。

(2) 借助 MODIS逐日积雪数据，分析了 TMPA日降水数据在冬季的空间误差，结果表明区域降水空间误差一般在 15%，当只考虑积雪区域时，降水的空间误差平均水平在 40%。

参考文献：

[1] OLSON W S, KUMMEROW C D, HEYMSFIELD G M, et al. A method for combined passive-active microwave retrievals of cloud and precipitation profiles[J]. J Apple Meteorol, 1996, 35: 1763-1789.

[2] 杨扬，张建云，戚建国，等．雷达测雨及其在水文中应用的回顾与展望[J]. 水科学进展，2000, 11(1): 92-98. (YANG Yang, ZHANG Jian-yun, QI Jian-guo, et al. Review and prospect on the application of weather radar in hydrology[J]. Advances in Water Science, 2000, 11(1): 92-98. (in Chinese))

[3] COLLISCHONN B, COLLISCHONN W, TUCCI C. Daily hydrological modeling in the Amazon basin using TRMM rainfall estimates [J]. Journal of Hydrology, 2008, 360: 207-217.

[4] IMMERZEEL W W, DROOGERS P, JONG S M, et al. Large-scale monitoring of snow cover and runoff simulation in Himalayan river basins using remote sensing[J]. Remote Sensing of Environment, 2008, 113: 40-49.

[5] 毛红梅．TRMM雨量在汉江上游大尺度水文模型中的应用[J]. 水利水电快报，2008, 29(8): 22-26. (MAO Hun-mei. TRMM rainfall applied in flow prediction of LSHM in upper Hanjiang River basin[J]. EWRHI, 2008, 29(8): 22-26. (in Chinese))

[6] 杨传国，余钟波，林朝晖，等．基于 TRMM卫星雷达降雨的流域陆面水文过程[J]. 水科学进展，2009, 20(4): 461-466. (YANG Chuan-guo, YU Zhong-bo, LIN Zhao-hui, et al. Study on watershed hydrologic processes using TRMM satellite precipitation radar products[J]. Advances in Water Science, 2009, 20(4): 461-466. (in Chinese))

[7] FU Rong, HU Liang, GU Guo-jun, et al. A comparison study of summer-time synoptic-scale waves in South China and the Yangtze River basin using the TRMM multi-satellite precipitation analysis daily product[J]. Science in China Series: D Earth Sciences, 2008, 51(1): 114-122.

[8] 傅云飞，刘奇，自勇，等．基于 TRMM卫星探测的夏季青藏高原降水和潜热分析[J]. 高原山地气象研究，2008, 28(1): 8-18. (FU Yun-fei, LIU Qi, ZI Yong, et al. Summer precipitation and latent heating over the Tibetan Plateau based on TRMM measurement[J]. Plateau and Mountain Meteorology Research, 2008, 28(2): 8-18. (in Chinese))

[9] HUFFMAN G J, ADLER R F, BOLVIN D T, et al. The TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA): Quasi-global, multi-year, combined-sensor precipitation estimates at fine scales[J]. Journal of Hydrometeorology, 2006, 8: 38-54.

[10] 白爱娟, 刘长海, 刘晓东. TRMM多卫星降水分析资料揭示的青藏高原及其周边地区夏季降水日变化[J]. 地球物理学报, 2008, 51(3): 703-714. (BAI Ai-juan, LIU Chang-hai, LIU Xiao-dong. Diurnal variation of summer rainfall over the Tibetan Plateau and its neighboring regions revealed by TRMM multi-satellite precipitation snalysis[J]. Chinese J Geophys, 2008, 51(3): 704-714. (in Chinese))

[11] 白爱娟, 方建刚, 张科翔. TRMM卫星资料对陕西周边地区夏季降水的探测[J]. 灾害学, 2008, 23(2): 41-45. (BAI Ai-juan, FANG Jian-gang, ZHANG Ke-xiang. Summer rain fall in Shanxi and its neighborhood regions observed by TRMM satellite [J]. Journal of Catastrophology, 2008, 23(2): 41-45. (in Chinese))

[12] HUFFMAN G J. BOLVIN D T. TRMM and other data precipitation data set documentation[EB/OL]. [2009-03-15]. ftp://meso-a.gsfc.nasa.gov/pub/trmmdocs/3B42 - 3B43 - doc.pdf.

[13] PU Zhao-xia, XU Li, SALOMONSON V V. MODIS/Terra observed seasonal variations of snow cover over the Tibetan Plateau [J]. Geophysical Research Letters, 2007, 34: L06706. [doi: 10.1029/2007GL029262]

[14] 王叶堂, 何勇, 侯书贵. 2000～2005年青藏高原积雪时空变化分析[J]. 冰川冻土, 2007, 29(6): 855-861. (WANG Ye-tang, HE Yong, HOU Shu-gui. Analysis of the temporal and spatial variations of snow cover over the Tibetan Plateau based on MODIS[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2007, 29(6): 855-861. (in Chinese))

[15] HALL D K, FOSTER J L, SALOMONSON V, et al. Development of a technique to assess snow-cover mapping errors from space [J]. IEEE Trans Geosci Remote Sens, 2001, 39: 432-438.

Evaluating TRMM multi-satellite precipitation analysis using gauge precipitation and MODIS snow-cover products*

LIU Jun-feng[1,2], CHEN Ren-sheng[1,2], HAN Chun-tan[1,2], TAN Chun-ping[2]

(1. *Heihe Upstream Watershed Ecology-Hydrology Experimental Research Station, CAREERI, CAS, Lanzhou* 730000, *China;*

2. *Heihe Key Laboratory of Ecohydrology and Integrated River Basin Science, CAS, Lanzhou* 730000, *China*)

Abstract: The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA) 3B42 product is evaluated using the gauge precipitations from 650 weather stations across China at daily, monthly and annual time steps. The TMPA-3B42 performance accuracy is also assessed using the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) daily snow-cover product for the Tibetan Plateau region. Results show that TMPA-3B42 performs well at coarse temporal resolutions. However, less satisfactory result is obtained at the daily time step. At the same temporal resolution, the humid region TMPA-3B42 performs better than the arid region ones. An exception is found for regions with the annual precipitation excess the 2 500 mm threshold. During winter, the average difference between the TMPA-3B42 product and the MODIS snow-cover product is only around 15% at a regional scale. However, the difference can be as high as 40% if only the region's snow covered areas are considered in the product comparison, which indicates that the TMPA-3B42 product is less skilful in winter. The MODIS snow-cover product can thus be used to improve the performance of TMPA-3B42.

Key words: multi-satellite precipitation analysis; precision evaluation; MODIS

* The study is financially supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 40771045; No. 90702001-2; No. 40401012) and the National Basic Research Program of China (No. 2007CB411506).