

基于 TRMM 卫星资料的渤海降水遥感估算研究

姜德娟¹, 张 华¹, 常远勇², 李瑞泽³

(1. 中国科学院 烟台海岸带研究所 海岸带环境过程与生态修复重点实验室, 山东 烟台 264003; 2. 上海市气象科学研究所, 上海 200030; 3. 鲁东大学 地理与规划学院, 山东 烟台 264025)

摘要: 降水是全球能量平衡和水分循环中的关键要素, 但海洋区域实时、准确的降水观测资料难以获取, 因此, 遥感卫星资料在海洋降水及全球能量和水分循环研究领域具有十分重要的应用前景。本文基于 1998~2012 年 6 个气象站点(岛屿或海岸带)的实测降水资料, 评估 TRMM(Tropical Rainfall Measuring Mission)V7 版本 3B42、3B43 两个降水产品对渤海降水量的估算精度, 在此基础上, 分析并揭示渤海区域年、季和月降水量的时空特征。结果表明: 在日尺度, 3B42 产品对渤海降水量的估算效果总体较差, 而在月、年尺度, 3B42、3B43 产品与实测降水量比较接近, 而且, 3B43 产品的估算精度稍高; 总体上, TRMM 表现出低估降水的特点, 且当实测月降水量大于 300 mm 时, 这种特征尤为显著; 1998~2012 年, 渤海年降水量表现出明显的年际丰枯变化特征, 多年均值为 631.6 mm; 夏季降水量占年降水总量的 62.0%, 7 月是降水量最丰富的月份; 空间上, 渤海中南部降水量相对较高, 而近岸区域降水量相对较低; 受大气环流等因素的影响, 夏季降水量重心向西北方向偏移, 冬季则向东南方向偏移。

关键词: 降水; TRMM(Tropical Rainfall Measuring Mission); 遥感估算; 渤海

中图分类号: P426 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2015)10-0116-09

doi: 10.11759/hyqx20141015001

降水是全球能量平衡和水分循环中的关键要素, 在区域天气和全球气候形成过程中起重要作用^[1]。由于降水具有很强的时空变异性, 利用传统的区域站点观测手段难以获取高时空分辨率的降水资料。特别是在海洋上, 虽然可以通过陆地观测资料预报估算海洋降水量, 或通过有限的浮标、船测手段观测海洋降水量, 但均难以获取长时期实时、连续和准确的区域或全球海洋降水资料^[2]。近年来, 随着卫星技术及其产品订正方法的提高和改进, 各种卫星观测能够获取区域以至全球的高分辨率降水时空分布数据, 有效弥补了站点降水仅能提供局地观测资料的缺陷, 已成为监测全球降水变化的重要手段, 在国际上得到了广泛应用^[3-26]。其中, 较具代表性的降水产品有 CMORPH(Climat Prediction Center MORPHing technique)、PERSIANN(Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks)、TRMM(Tropical Rainfall Measuring Mission)等。大量研究指出, 在各种星载传感器中, TRMM 的 TMPA(TRMM Multisatellite Precipitation Analysis)数据和 CMORPH 数据对降水的估算相对较为准确^[13-15]。特别是 TMPA, 因其具有观测三维降水信息的能力, 得到了更为广泛的应用^[12, 17]。

目前, TRMM 卫星资料主要在陆地降水估算以及在水文模型驱动等方面得到了较多的应用^[9-21]。常用的 TRMM 数据主要包括 RT、3B42、3B43 等产品, 其中, RT 为准实时数据, 而 3B42、3B43 则经过地面站点数据的融合, 因此, 3B42 或 3B43 对降水的估算精度高于 RT^[10, 12-16]。另外, 3B42、3B43 分别有 V6 和 V7 两个版本, 相对 V6, V7 对降水的估算及在模型中的应用均表现出较好的效果^[20-21]。TRMM 在海洋方面的应用相对较少^[3-7, 22-26]。其中, Bowman^[22]基于浮标观测降水资料, 检验了 TRMM 对热带太平洋降水估算的精度; 进而, Demoss 等^[24]又基于浮标观测资料, 研究了 TRMM 在卫星轨道推进(2001 年 8 月)前后对热带太平洋和热带大西洋降水估算的差异性。但总体来说, 他们的研究采用的浮标观测站点比较稀疏, 在整个热带太平洋(或热带太平洋和热带大西洋)也仅有 25 个(或 34 个)浮标观测站点。在我国,

收稿日期: 2014-10-15; 修回日期: 2015-01-05

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项子课题(XDA11020401);

国家自然科学基金项目(40901028; 41101331)

作者简介: 姜德娟(1979-), 女, 山东日照人, 助理研究员, 博士, 主要从事海岸带水文水环境模拟与气候变化研究, 电话: 0535-2109122, E-mail: djjiang@yic.ac.cn

海洋降水观测资料更为缺乏且难以获取,因此,遥感卫星资料的应用价值更为显著。鉴于此,本文基于1998~2012年岛屿或海岸带气象站点的实测降水资料检验 TRMM V7 版本 3B42 和 3B43 两种降水产品对渤海降水估算的精度,在此基础上,分析渤海降水量的时空特征。

1 资料与方法

TRMM 是由美国国家航空航天局(NASA)和日本国家空间发展局(NASDA)共同研制并于1997年11月28日发射的第一颗专门用于定量测量热带、亚热带降水的气象卫星,旨在通过研究热带地区的降雨量和潜热来进一步了解水循环和全球能量,研究热带降水的日变化情况以及通过提供降水和潜热分布来改进24h预报和短期气候模式。TRMM 卫星搭载的探测器包括:测雨雷达(PR)、微波成像仪(TMI)、可见光和红外扫描仪(VIRS)、云和地球辐射能量系统(CERES)、闪电成像传感器(LIS)等。本研究采用1998~2012年 TRMM V7 版本的卫星雷达降水产品,空间分辨率为 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$,覆盖全球 $50^\circ\text{S} \sim 50^\circ\text{N}$ 的区域,数据可从 NASA 网站(<http://trmm.gsfc.nasa.gov>)免费获取。其中,TRMM 3B42 是3h降水数据产品,是利用红外亮温资料、采用3B42算法得到的准全球降水估量数据。TRMM 3B43 产品是由 TRMM 3B42 数据、NOAA 气候预测中心气候异常监测系统(CAMS)的全球格点雨量测量器资料、全球降水气候中心(GPCC)的全球降水资料共同合成的逐月平均的全球格点化数据集。

选取国家气象信息中心提供的环渤海岛屿或海岸带8个气象站点1998~2012年实测降水资料,用于 TRMM 降水数据质量的检验。为避免台站迁移、仪器变更及观测规范变化等因素对降水资料产生非均一性影响,本研究在 R 软件中采用 RHtests_dlyPrep 软件包(<http://eccma.seos.uvic.ca/ETCCDI>)^[27]对8个气象站点的逐日降水资料进行非均一性检验。考虑到降水资料的完整性、数据质量及均一性,最终选用6个站点(图1)检验 TRMM 降水数据质量。

采用相关系数(C_C)、偏差百分比(S_{BIA} , %)、平均绝对误差(E_{MA} , mm)、均方根误差(E_{RMS} , mm)等4个指标^[10]评估 TRMM 降水数据的精度。 C_C 用来表示 TRMM 与实测降水之间的密切程度; S_{BIA} 用来表示 TRMM 与实测降水之间的偏离程度,其值越小,表示 TRMM 与实测降水越接近; E_{MA} 用来表示 TRMM

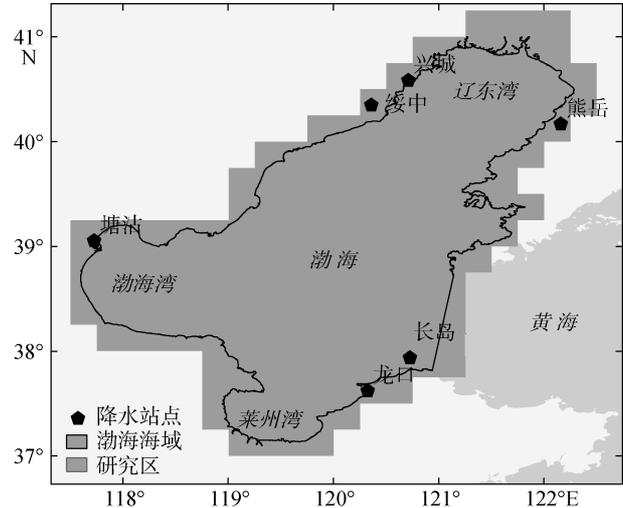


图1 渤海及本文所用气象站点的位置示意图

Fig.1 Location map of the Bohai Sea and 6 meteorological stations

与实测降水之间的平均绝对误差; E_{RMS} 用来表示 TRMM 与实测降水之间的偏差,其值越小,表示 TRMM 与实测降水越接近。计算公式如下:

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

$$S_{BIA} = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - G_i)}{\sum_{i=1}^n G_i} \times 100\% \quad (2)$$

$$E_{MA} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |S_i - G_i| \quad (3)$$

$$E_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - G_i)^2} \quad (4)$$

式中, G_i 是站点实测降水量(mm), \bar{G} 是 G_i 在*i*期间的平均值(mm), S_i 是降水遥感估算值(mm), \bar{S} 是 S_i 在*i*期间的平均值(mm)。

此外,分析了年、季与月均降水量的重心分布特征。降水的重心是研究区域内某时刻降水分布在空间平面上力矩达到平衡的点,用来反映降水在整个空间上的分布情况和变迁状况^[16, 28],其计算公式如下:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i \times X_i)}{\sum_{i=1}^n C_i} \quad (5)$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i \times Y_i)}{\sum_{i=1}^n C_i} \quad (6)$$

式中, X 、 Y 为研究区降水的重心坐标, n 为区域内的基本单元个数, X_i 、 Y_i 为各基本单元代表雨量站的坐标, C_i 是基本单元的降水量。

2 结果与分析

2.1 TRMM 降水精度检验

图 2 为整个渤海区域 TRMM 3B42 产品与实测

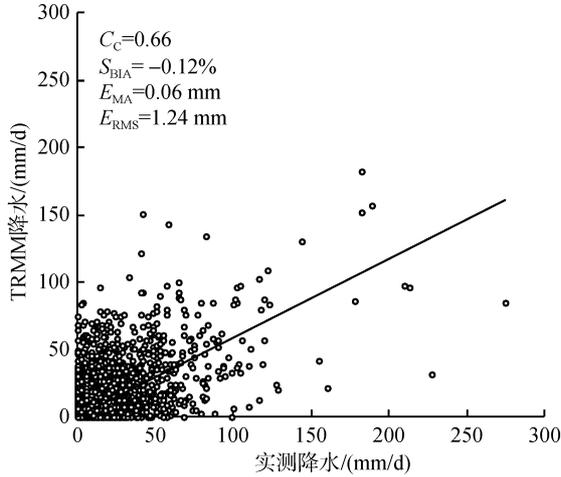


图 2 TRMM 3B42 与站点日降水量的散点图

Fig. 2 Scatterplots of daily precipitation by TRMM 3B42 product and gauge stations

日降水的对比图, 可见, TRMM 对日降水量的估算总体较差, 其与实测日降水量之间的相关系数(C_c)仅为 0.66, S_{BIA} 为 -0.12% , E_{RMS} 为 1.24 mm。

在月与年尺度, 2 种 TRMM 产品对渤海降水量的估算与实测降水均比较吻合, 相关系数均在 0.9 左右 (图 3)。总体上, 两种产品均表现出低估降水的特点。而且, 在月尺度, 实测月降水量大于 300 mm 时, TRMM 对降水的低估尤为显著 (图 3c、图 3d)。

对比而言, 3B42 与 3B43 产品对降水的估算精度差别不大 (图 3), 但 3B43 产品相对较为准确, 其与实测降水之间的相关系数 (年降水: 0.88; 月降水: 0.93) 高于 3B42 产品 (年降水: 0.87; 月降水: 0.92), 而其 E_{MA} 、 E_{RMS} 则均低于 3B42 产品。这表明 3B43 产品集成 CAMS 全球格点雨量资料和 GPCC 全球降水资料, 的确提高了其精度水平。

另外, 在每个站点位置对比 TRMM 与实测月降水, 表明, 相对于 3B42 产品, 3B43 产品与实测降水之间的相关性较好, 这与区域尺度的研究结果相一

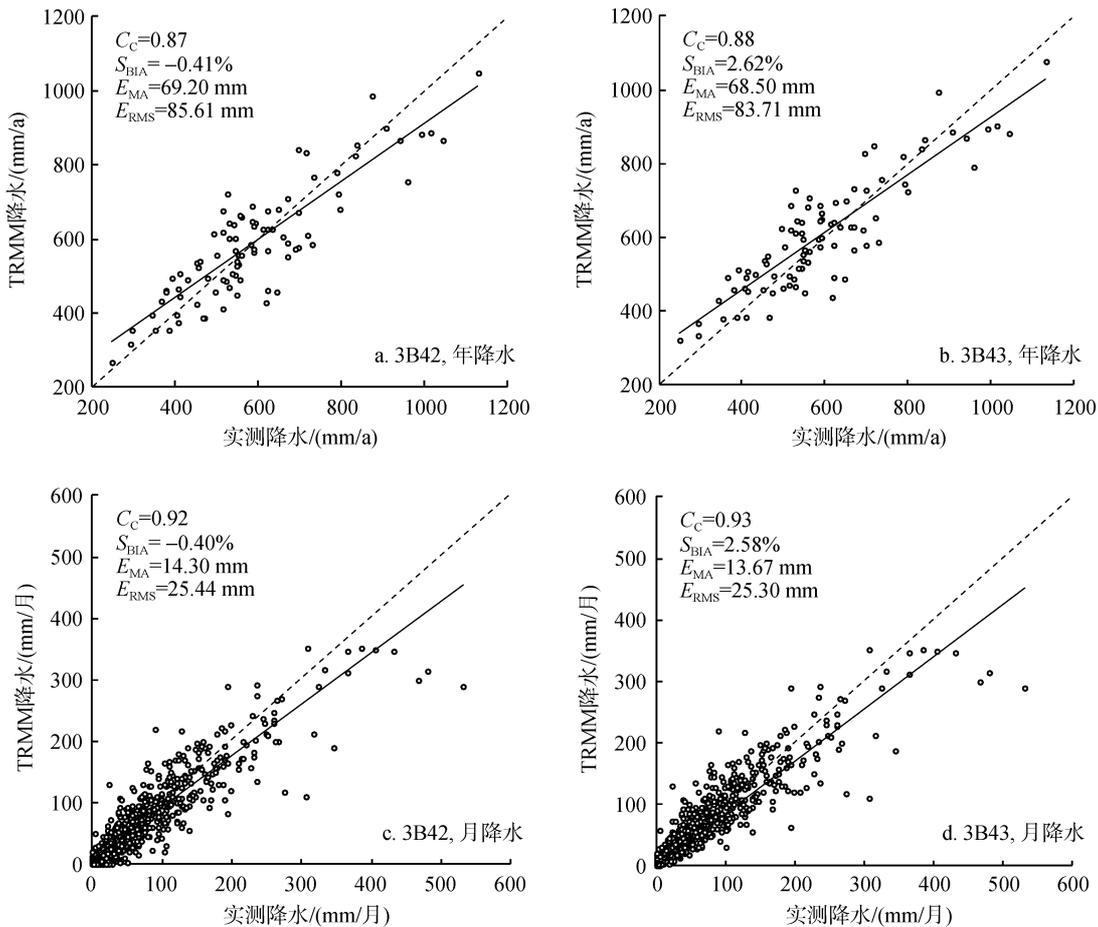


图 3 TRMM 3B42、3B43 分别与站点年降水量(a~b)和月降水量(c~d)散点图

Fig. 3 Scatterplots of annual (a~b) and monthly (c~d) precipitation by TRMM 3B42 or 3B43 products and gauge stations

致。因此, 本文仅列出 3B43 产品与实测月降水之间的对比图(图 4)。由图 4 可见, 3B43 产品与实测降水之间的相关系数(C_C)在 0.91~0.95 之间, S_{BIA} 在 -5.81%~12.66%之间, E_{MA} 在 11.17~16.42 mm 之间, E_{RMS} 在 19.68~31.54 mm 之间。总体来说, TRMM 对各站点月降水量的估算也比较理想。此外, 当实测月降水大于 300 mm 时, TRMM 明显低估了月降水量, 这一特征在站点尺度也非常显著。

2.2 渤海区域降水遥感估算

鉴于 TRMM 3B43 产品与实测降水之间的相关性更好, 因此, 基于 3B43 月降水资料分析渤海区域

的年、季与月降水量特征。

2.2.1 年降水量

1998~2012 年, 渤海年均降水量为 631.6 mm, 最大值为 917.5 mm(2012 年), 最小值为 375.0 mm(1999 年), 表现出明显的年际丰枯变化特征(图 5a)。图 5b 为渤海降水量的年内分配, 可见, 年降水量集中分布在夏季(6~8 月), 该季降水量占年降水总量的 62.0%; 其中, 7~8 月份是降水最丰富的月份, 占年降水总量的比例达 48.7%。从渤海年降水量的空间分布(图 6)来看, 渤海中南部降水量相对较高, 其多年均值在 700 mm 以上, 而近岸区域降水相对较低, 年均值在 600 mm 以下, 说明渤海区域年降水量的空间差异比较明显。

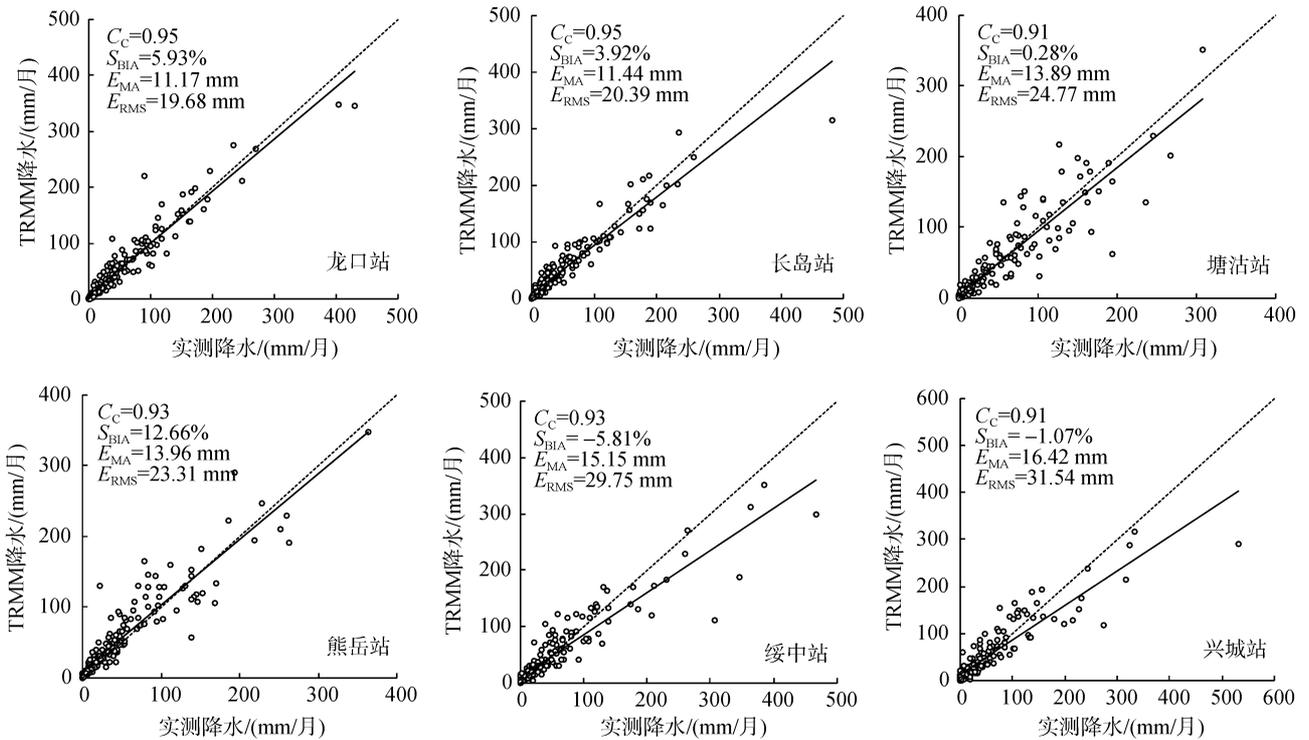


图 4 TRMM 3B43 与不同站点月降水量的散点图

Fig. 4 Scatterplots of monthly precipitation by TRMM 3B43 product and different gauge stations

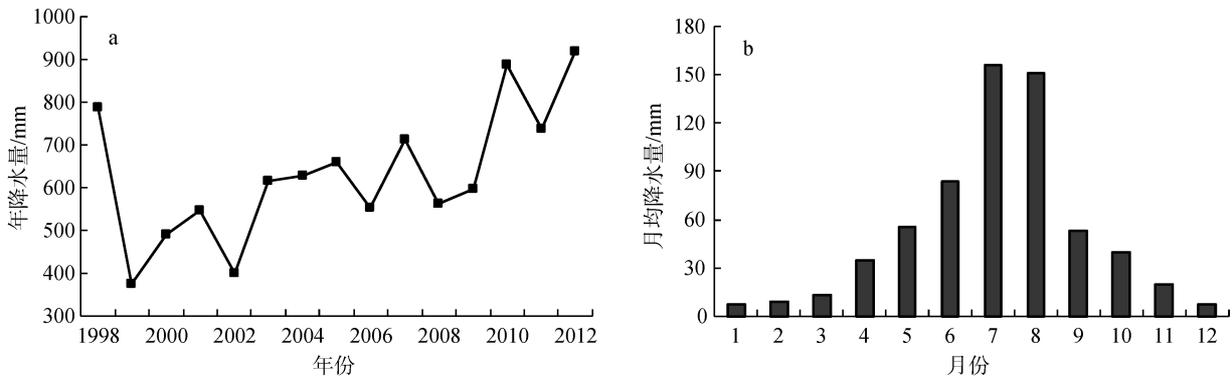


图 5 渤海年降水量时间序列(a)及年内分配(b)

Fig. 5 Time series of annual precipitation (a) and its distribution (b) in the Bohai Sea

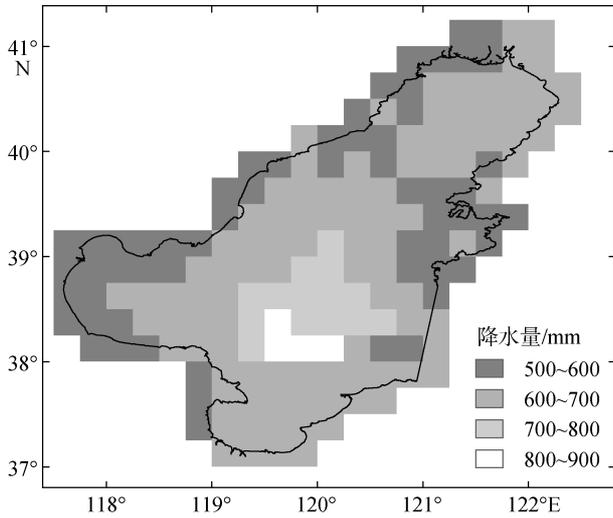


图 6 渤海年均降水量空间分布图

Fig. 6 Spatial distribution of annual mean precipitation in the Bohai Sea

2.2.2 季节降水量

受东亚季风的影响, 夏季外海水汽向渤海的输

送、渤海海气之间的对流及水汽辐合均比较强烈, 水交换通量大^[29-30], 所以, 夏季是年降水量最丰富的季节, 其降水量多年均值为 391.3 mm。相反, 受大陆高压的影响, 冬季水汽来源少, 海洋蒸发弱, 降水少, 多年均值仅为 21.7 mm。春季和秋季降水量基本相当, 分别为 103.4 mm 和 113.0 mm。从空间分布(图 7)来看, 春、夏、秋 3 个季节的降水量在渤海中南部相对较高, 而在近岸区域则相对较低, 因此导致年降水量也呈现相似的空间分布特征。对照而言, 冬季降水量在莱州湾附近相对较高, 而在西部近岸区域则较低。分析其原因可能在于, 渤海离岸海域水汽来源丰富, 水汽交换通量大, 而在近岸区域, 水汽来源相对较少, 所以导致近岸区域降水量相对较低。另外, 冬季大陆高压向东南方向传输, 使得冬季降水量较高的区域相对其他季节向东南方向有所偏移。

2.2.3 月降水量

图 8 为渤海各月降水量多年均值的空间分布图, 可见, 大多数月份降水量的空间分布与年降水量总

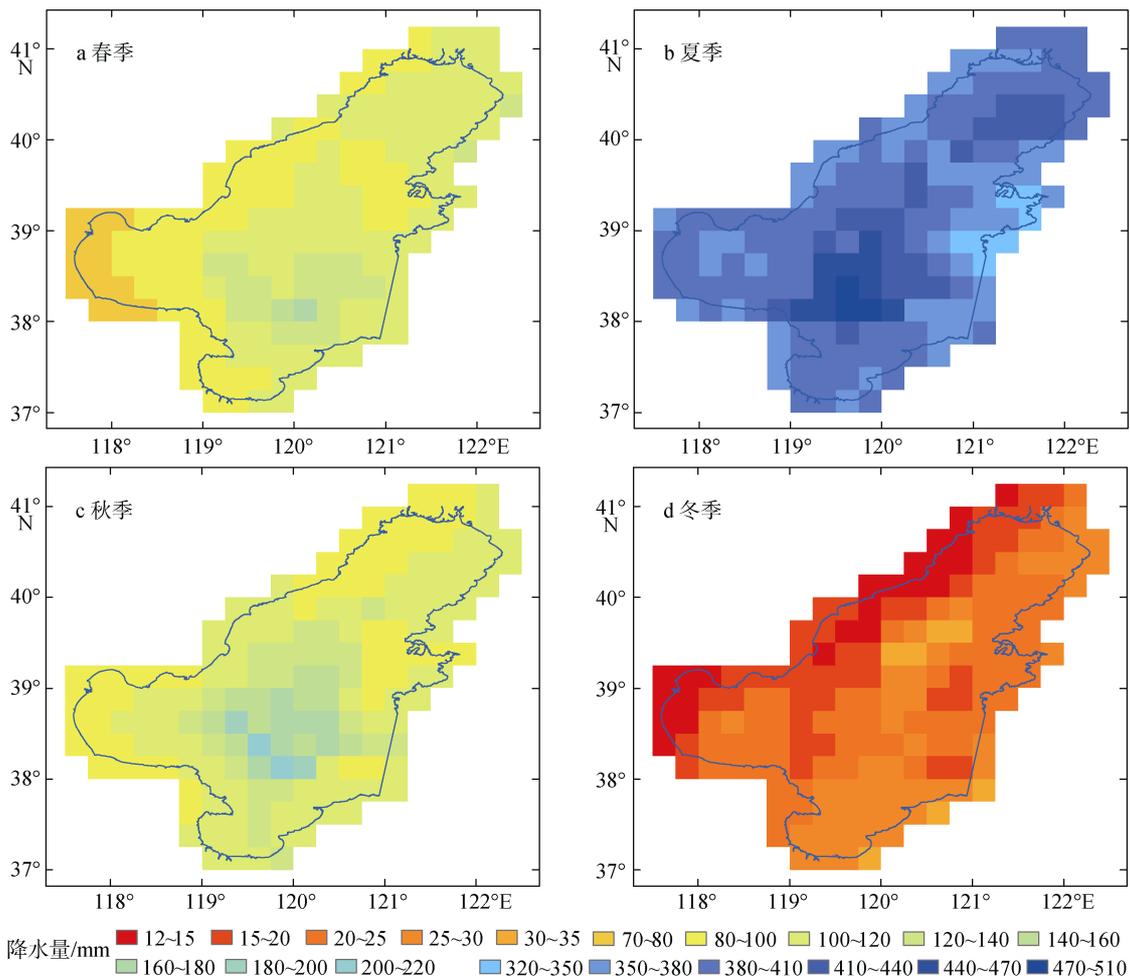


图 7 渤海春(a)、夏(b)、秋(c)、冬季(d)降水量空间分布图

Fig. 7 Spatial distribution of seasonal precipitation (a spring, b summer, c autumn and d winter) in the Bohai Sea

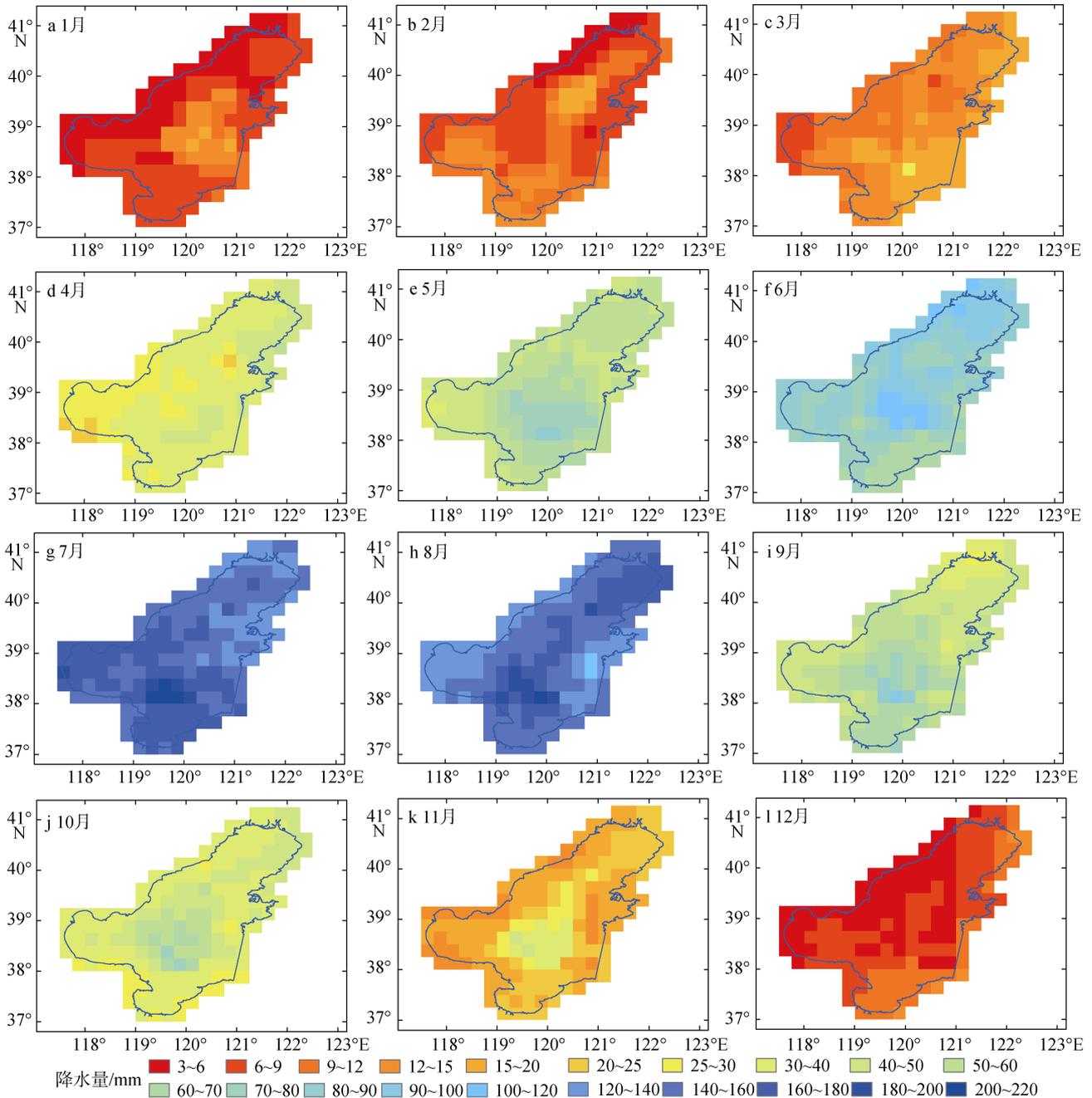


图 8 渤海各月降水量空间分布图

Fig. 8 Spatial distribution of monthly precipitation in the Bohai Sea

体一致。其中，降水最大月发生在 7 月份，多年均值在 120.6~215.3 mm 之间；空间上，渤海南部降水量相对较高，最大值位于渤海中南部，而渤海东北部的降水量相对较低。降水量最小月发生在 12 月，其多年均值分布在 3.5~13.4 mm 之间；空间上，莱州湾与渤海东北部的降水量相对较高，其他区域则较低。

2.2.4 渤海降水量重心分布特征

由图 9 可见，年、季及月多年平均降水量的重心

均位于渤海中部。其中，年与夏季降水量重心之间的距离最小，因为年降水量主要来自夏季的贡献。季节尺度上，受西南季风的影响，夏季降水量的重心略向西北方向偏移，而受西北大陆高压的影响，冬季降水量的重心则向东南方向偏移。总体来说，受大气环流等因素的影响，夏季、秋季降水量的重心分布偏西，而春季、冬季降水量的重心分布偏东。各月降水量的重心分布与所属季节基本一致。

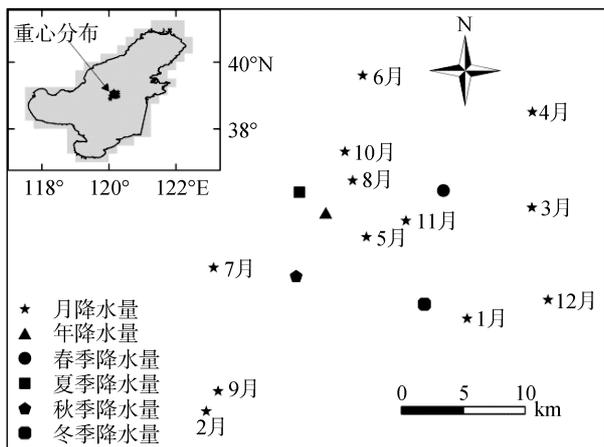


图9 渤海年、季与月多年平均降水量的重心分布

Fig. 9 Gravity centers of annual, seasonal and monthly mean precipitation in the Bohai Sea

3 结论与展望

基于6个岛屿或海岸带气象站点的实测降水资料,评估了TRMM V7版本3B42、3B43两个产品对渤海降水量的估算精度,结果表明,在日尺度,3B42产品对渤海降水量的估算与实测降水量之间的相关性总体较差;在月和年尺度,3B42、3B43产品与实测降水量比较接近,但总体上表现出过低估算的特点;当实测月降水量大于300 mm时,TRMM低估降水的特征尤为显著。相对于3B42产品,3B43产品对降水的估算更为准确。

基于TRMM的3B43产品,分析了渤海区域的年、季和月降水量,表明:1998~2012年,渤海年降水量表现出明显的年际丰枯变化特征,多年均值为631.6 mm;夏季降水量占年降水总量的62.0%,7月份是降水量最丰富的月份;空间上,渤海中南部的降水量相对较高,而近岸区域降水量相对较低;受大气环流等因素的影响,夏季降水量重心向西北方向偏移,而冬季向东南方向偏移。

海气界面之间的能量与水分循环,及其传输的温室气体(CO₂等)、污染物(营养盐、有机污染物等)等物质的交换,对气候变化、环境变异和海洋生态系统起重要作用。降水作为海洋能量与水分循环的关键要素,以及作为海洋大气湿沉降的一种重要输入方式,对海洋和大气研究均具有十分重要的意义。TRMM数据能较准确地反映海洋降水情况,可以有效弥补实测降水资料缺乏的不足。例如,降水场是海洋模型的重要输入参数之一,高时空分辨率的TRMM数据可替代稀缺或缺乏的实测降水资料在模

型中应用,但应用时需注意TRMM数据对降水低估的问题。针对该问题,通常需基于实测降水资料,对TRMM产品进行校正,以提高其对降水量的估算精度。

参考文献:

- [1] Chen G, Ma J, Fang C Y, et al. Global oceanic precipitation derived from TOPEX and TMR: climatology and variability[J]. *Journal of Climate*, 2003, 16: 3888-3904.
- [2] 隋玉正. 多源海洋降水信息的融合与应用[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2006.
- [3] Ghosh A, Varma A K, Shah S, et al. Rain identification and measurement using Oceansat-II scatterometer observations[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2014, 142: 20-32.
- [4] Liberti G L, Chéruey F. Tropospheric dryness and clouds over tropical Indian Ocean[J]. *Atmospheric Research*, 2006, 82: 276-293.
- [5] Watanabe M. Simulation of temperature, salinity and suspended matter distributions induced by the discharge into the East China Sea during the 1998 flood of the Yangtze River[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2007, 71: 81-97.
- [6] Zhang X F, Tang D L, Li Z Z, et al. The effects of wind and rainfall on suspended sediment concentration related to the 2004 Indian Ocean tsunami[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2009, 58: 1367-1373.
- [7] Green R E, Gould Jr R W, Ko D S. Statistical models for sediment/detritus and dissolved absorption coefficients in coastal waters of the northern Gulf of Mexico[J]. *Continental Shelf Research*, 2008, 28: 1273-1285.
- [8] Tian Y D, Peters-Lidard C D. A global map of uncertainties in satellite-based precipitation measurements [J]. *Geophysical Research Letters*, 2010, 37: L24407.
- [9] Taylor C M, de Jeu R A, Guichard F, et al. Afternoon rain more likely over drier soils[J]. *Nature*, 2012, 489: 423-426.
- [10] Yong B, Ren L L, Hong Y, et al. Hydrologic evaluation of Multisatellite Precipitation Analysis standard precipitation products in basins beyond its inclined latitude band: A case study in Laohahe basin, China[J].

- Water Resources Research, 2010, 46: W07542.
- [11] 江志红, 唐振飞. 基于 CMORPH 资料的长三角城市化对降水分布特征影响的观测研究[J]. 气象科学, 2011, 4: 355-364.
- [12] 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, 452-453: 213-225.
- [13] Gao Y C, Liu M F. Evaluation of high-resolution satellite precipitation products using rain gauge observations over the Tibetan Plateau[J]. Hydrology and Earth System Sciences, 2013, 17: 837-849.
- [14] Shen Y, Xiong A Y, Wang Y, et al. Performance of high-resolution satellite precipitation products over China[J]. Journal of Geophysical Research, 2010, 115: D02114.
- [15] 胡庆芳, 杨大文, 王银堂, 等. 赣江流域高分辨率卫星降水数据的精度特征与时空变化规律[J]. 中国科学: 技术科学, 2013, 43(4): 447-459.
- [16] 孙乐强, 郝振纯, 王加虎, 等. TMPA 卫星降水数据的评估与校正[J]. 水利学报, 2014, 46(10): 1135-1146.
- [17] 李景刚, 黄诗峰, 李纪人. TRMM 数据在区域同期降水趋势特征分析中的应用[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2012, 2: 98-104.
- [18] Duan Z, Bastiaanssen W G M. First results from Version 7 TRMM 3B43 precipitation product in combination with a new downscaling-calibration procedure[J]. Remote Sensing of Environment, 2013, 131: 1-13.
- [19] 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, 4: 461-466.
- [20] Xue X W, Hong Y, Limaye A S, et al. Statistical and hydrological evaluation of TRMM-based Multi-satellite Precipitation Analysis over the Wangchu Basin of Bhutan: Are the latest satellite precipitation products 3B42V7 ready for use in ungauged basins[J]. Journal of Hydrology, 2013, 499: 91-99.
- [21] Qiao L, Hong Y, Chen S, et al. Performance assessment of the successive Version 6 and Version 7 TMPA products over the climate-transitional zone in the southern Great Plains, USA[J]. Journal of Hydrology, 2014, 513: 446-456.
- [22] Bowman K P. Comparison of TRMM Precipitation Retrievals with Rain Gauge Data from Ocean Buoys[J]. Journal of Climate, 2005, 18: 178-190.
- [23] 马雷鸣, 端义宏. 利用 TRMM 资料对热带气旋“威马逊”结构及其降水特征的研究[J]. 海洋学报, 2005, 1: 36-44.
- [24] Demoss J D, Bowman K P. Changes in TRMM Rainfall due to the Orbit Boost Estimated from Buoy Rain gauge Data[J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2007, 24: 1598-1607.
- [25] Brown J E M. An analysis of the performance of hybrid infrared and microwave satellite precipitation algorithms over India and adjacent regions[J]. Remote Sensing of Environment, 2006, 101: 63-81.
- [26] Wolff D B, Fisher B L. Comparisons of Instantaneous TRMM Ground Validation and Satellite Rain-Rate Estimates at Different Spatial Scales[J]. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 2008, 47: 2215-2237.
- [27] Wang X L L, Chen H F, Wu Y H, et al. New techniques for the detection and adjustment of shifts in daily precipitation data series[J]. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 2010, 49: 2416-2436.
- [28] 常远勇, 侯西勇, 于良巨, 等. 基于 TRMM 3B42 数据的 1998-2010 年中国暴雨时空特征分析[J]. 水资源与水工程学报, 2013, 3: 105-112, 115.
- [29] 齐庆华. 西北太平洋水汽输送异常及其与中国夏季降水的耦合模态[J]. 海洋科学, 2009, 33(9): 35-41.
- [30] 姜杰, 查勇, 陈骁强, 等. 渤海大气二氧化硫浓度分布及陆源输送研究[J]. 海洋学报, 2011, 6: 73-78.

Precipitation estimation in the Bohai Sea based on TRMM remote sensing data

JIANG De-juan¹, ZHANG Hua¹, CHANG Yuan-yong², LI Rui-ze³

(1. Key Laboratory of Coastal Environmental Processes and Ecological Remediation, Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China; 2. Shanghai Institute of Meteorological Science Research, Shanghai 200030, China; 3. Geographical Science and Planning School of Ludong University, Yantai 264025, China)

Received: Oct., 15, 2014

Key words: precipitation; TRMM(Tropical Rainfall Measuring Mission); remote sensing estimation; the Bohai Sea

Abstract: Precipitation is a key process in the global energy and water cycle. It is more difficult to accurately measure real-time rainfall of ocean than that of land. The remote sensing data are essential for studying ocean precipitation in global energy and water cycle. In this study, based on the observed rainfall data at 6 climatological stations of island or coastal region during 1998-2012, the performance of 3B42 and 3B43 products of TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) Version 7 has been assessed over the Bohai Sea. The spatio-temporal characteristics of precipitation in the Bohai Sea have been investigated based on the TRMM data at annual, seasonal and monthly scales. The results showed that at a daily scale, daily precipitation from the 3B42 product of TRMM and at gauge stations was weakly correlated, while at annual and monthly scales, both 3B42 and 3B43 products of TRMM well captured the spatial pattern and temporal variations of precipitation and the 3B43 product had comparatively better performance. In general, the TRMM products slightly underestimated rainfall over the Bohai Sea, especially obvious when the monthly observed rainfall was greater than 300 mm. For the period from 1998 to 2012, precipitation over the Bohai Sea showed an inter-annual wet and dry fluctuation with annual mean rainfall of about 631.6 mm. The summer rainfall accounted for 62.0% of the annual rainfall and the maximum average monthly precipitation occurred in July. Spatially, rainfall in the Bohai Sea was higher in the central-south part and lower in the in-shore regions. Influenced by atmospheric circulation, the gravity centers of rainfall over the Bohai Sea leaned toward the north-west in summer and toward the east-south in winter.

(本文编辑: 李晓燕)