

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2012.01.007

淮河流域典型洪水年流量空间分布的季节特征

杨传国¹, 余钟波¹, 郝振纯¹, 林朝晖², 齐枝花³

(1. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098; 2. 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029;
3. 台州市环境科学设计研究院, 浙江 台州 318000)

摘要: 为了分析淮河流域洪水过程空间分布的季节变化特征, 提高对典型洪水过程的认识, 以 TRMM 3B42 卫星降水数据为驱动资料, 利用分布式陆面-水文模型(LSX-HMS)模拟淮河流域典型洪水年(以 2003 年为例)的流量过程. 结果表明: TRMM 3B42 卫星数据能够较好地反映淮河流域降水的时空分布; LSX-HMS 模型对流量时间变化过程的模拟精度较高; 逐月流量空间分布给出了流域洪水过程的季节变化特征, 准确反映了流量从南向北推进进而消退的空间演变过程. 分布式水文模型对流量空间分布的模拟预测有助于流域洪水事件的预警与管理.

关键词: 分布式水文模型; 流量; 空间分布; 卫星降水数据; 淮河流域

中图分类号: P333.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2012)01-0033-04

Seasonal characteristics of spatial distribution of streamflow in a typical flood year in Huaihe Basin

YANG Chuan-guo¹, YU Zhong-bo¹, HAO Zhen-chun¹, LIN Zhao-hui², QI Zhi-hua³

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;

3. Environmental Science Research and Design Institute of Taizhou City, Taizhou 318000, China)

Abstract: In order to analyze the seasonal characteristics of the spatial distribution of streamflow in the Huaihe Basin and enhance our knowledge of typical flood processes, a distributed land surface-hydrology model (LSX-HMS) was used to simulate the streamflow in a typical flood year(in 2003) in the Huaihe Basin, with the TRMM 3B42 satellite rainfall data being the driving data. The results show the following: The TRMM 3B42 satellite rainfall data can well represent the spatio-temporal distribution of rainfall in the basin, and the LSX-HMS model provides high-precision simulation of the temporal variation of streamflow. Based on the spatial distribution of monthly streamflow, the seasonal variation characteristics of floods in the basin were determined, and the spatial process of streamflow that moved from south to north and finally subsided was identified. The distributed hydrological model that can simulate and forecast the spatial distribution of streamflow is helpful for pre-warning and management of flood events in the basin.

Key words: distributed hydrological model; streamflow; spatial distribution; TRMM satellite rainfall data; Huaihe Basin

水文模型是研究水循环过程及其相互作用的重要工具. 自 20 世纪 80 年代以来, 具有物理基础的分布式水文模型逐步发展起来^[1-6], 对模型参数初始化和气象驱动数据提出了更高的时空精度要求. 目前地理信息系统(GIS)、全球卫星定位系统(GPS)和遥感(RS)技术为分布式水文模型提供了高精度的下垫面数据. 对于一个大尺度流域或区域, 传统的降雨站点观测资料在一定程度上制约着分布式水文模型的推广应用^[7-8]. 雷达作为一种有力的降水探测手段, 随着其技术与订正方法的提高, 能够获取区域以至全球降雨的高分辨率时空四维分布, 已广泛应用于天气、气候和水文等领域.

收稿日期: 2011-01-11

基金项目: 全球变化研究国家重大科学研究计划(2010CB951101); 中国博士后科学基金(20100471374); 中央高校基本科研业务费专项(2010B24914); 国家自然科学基金(41101016)

作者简介: 杨传国(1981 —) 男, 山东青州人, 讲师, 博士, 主要从事环境变化与水文水资源研究. E-mail: jcyang@hhu.edu.cn

本文利用分布式陆面-水文模型(LSX-HMS)^[9],选择淮河流域为研究对象,验证热带降雨观测计划(tropical rainfall measuring mission, TRMM)^[10]卫星雷达降水数据产品的质量,分析流域河道径流空间分布的季节变化特征.

1 研究区域

淮河流域地处我国东部南北典型气候过渡带,流域面积 27 万 km². 淮河流域气候温和,年平均气温为 11~16℃,多年平均降水量约为 888 mm. 淮河,古称淮水,出南阳平氏桐柏大復山^[11],在三江营入长江,全长约 1 000 km. 境内人口密度高,日照时间长,光热资源充足,气候温和,是国家重要的商品粮棉油基地. 由于特殊的地形和地理位置,淮河流域历史上洪水干旱灾害事件频繁,年内亦经常出现旱涝交替或南涝北旱现象,严重威胁着流域工农业经济的可持续发展.

2 模型与数据

2.1 模型结构

收集亚洲区域的 DEM、植被、土壤等基础参数数据以及常规气象观测资料和大气模式再分析资料等,在亚洲区域建立分布式陆面-水文模型^[12]. 该模型系统集成了粗网格(约 1.875°)陆面模式和细网格(10 km)分布式水文模型(HMS)^[9]. 陆面模式计算地表能量平衡,将得到的产流、蒸散发和深层入渗量通过降尺度方法解集到水文细网格. 细网格分布式水文模型 HMS 包括地表水动力模块(THM)、土壤水模块(SHM)、地下水模块(GHM)和河流/湖泊-地下水相互作用模块(CGI)等各个水文物理环节. LSX-HMS 模型系统采用基于土壤含水量的尺度转换方法进行模型间连接^[9],该方法以细网格土壤含水量的时空动态变化为权重因子,充分考虑了水文细网格空间非均匀性的影响,实现了粗网格陆面模式和细网格分布式水文模型空间升尺度和降尺度的有效转换.

2.2 TRMM 卫星降水数据

TRMM 计划由美国国家宇航局(NASA)和日本国家宇航局(JAXA)联合发起. 本文采用 TRMM 3B42 v6 卫星雷达降水产品,3B42 算法结合了多种高质量的降水评估算法,并对地球同步红外观测系统获得的红外辐射资料进行了校准.

淮河流域站点观测降水和 TRMM 3B42 卫星降水数据逐日序列统计结果(表 1)表明:2003 年 TRMM 卫星降水总量误差为 3%,能够反映流域的降水量;TRMM 降水序列和站点降水数据的离散程度相近,体现了降水时间分布的高度非均匀性. 同时,2 组数据的最大 1 d 降水量误差不超过 6 mm. 流域内最大 5 d 降水量、TRMM 数据和站点观测相比同样具有很好的一致性. 2 组序列相关性较高,逐日降水累积曲线的相关系数达到 0.99 以上.

表 1 淮河流域 2003 年逐日降雨的观测序列与 TRMM 序列统计比较

Table 1 Comparison of observed rainfall and TRMM rainfall at daily scale in Huaihe Basin in 2003

降雨序列	平均值/ (mm·d ⁻¹)	标准差/ (mm·d ⁻¹)	最大 1 d 雨量/mm	最大 5 d 雨量/mm
观测降水	3.32	6.70	53.1	205.5
TRMM 降水	3.42	6.54	47.9	194.2

3 流量模拟结果

3.1 时间序列

蚌埠站流量过程线表明:由 TRMM 3B42 v6 降水数据得到的流量过程与观测降水得到的流量过程(1998—2003 年)基本一致^[13]. 2 组模拟流量序列的相关系数为 0.89,观测降水模拟流量的多年平均值为 1 218.9 m³/s,TRMM 卫星降水的多年平均流量为 1 161.2 m³/s,与前者相比仅相差 -4.7%,模拟结果精度相当. 与实测流量相比,TRMM 卫星降水得到的模拟结果同样具有较高精度,1998—2003 年的相关系数 PMC 为 0.84,效率系数为 0.69,站点观测降水模拟结果 1998—2003 年的相关系数 PMC 为 0.88,效率系数为 0.72. TRMM 降水模拟流量的水量平衡系数为 1.24,站点观测降水模拟结果的水量平衡系数为 1.30.

3.2 流量空间分布的季节变化

图 1 给出了淮河流域典型洪水年份 2003 年 1—12 月的月平均流量的空间分布,关注区域集中在洪泽湖

及其以上淮河干流周围地区,其中细实线表示河流或湖泊(洪泽湖)范围,干流北部 2 条主要支流从西往东分别是颍河和涡河,图中右下角粗实线是流域边界线.

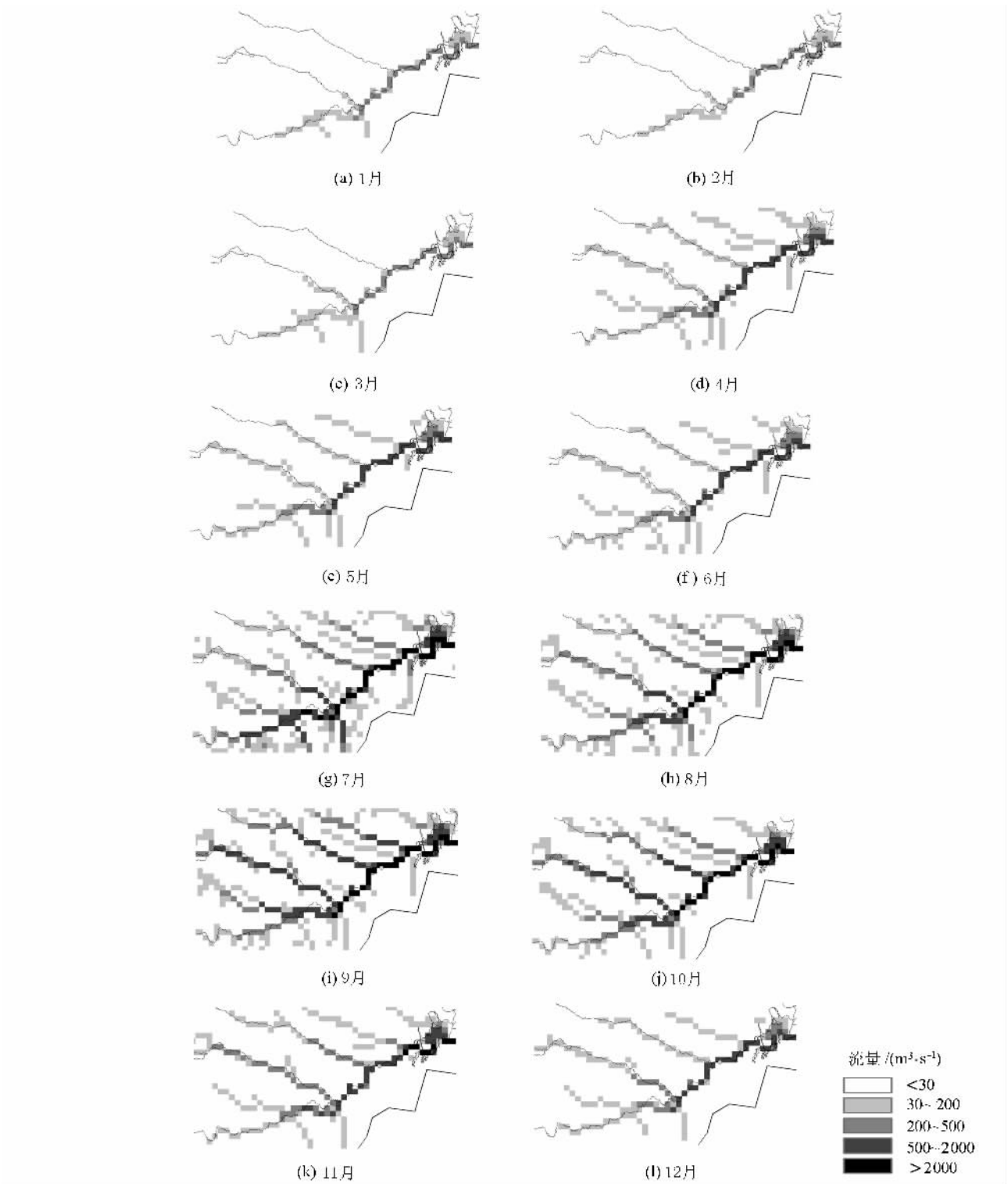


图 1 淮河流域 2003 年逐月模拟流量空间变化

Fig. 1 Spatial distribution of monthly simulated streamflow in Huaihe Basin in 2003

从图 1 可知 2003 年 1—3 月淮河流域流量较小,河道网络的流量均小于 $500\text{ m}^3/\text{s}$,径流主要集中在淮河干流王家坝以下河段和个别支流下游.从 4 月份开始,流域大部分区域的流量开始增加,大多数干流河段流量大于 $500\text{ m}^3/\text{s}$,对应于降水过程 4 月雨量开始增大.与 4 月相比,淮河流域 5 月和 6 月流量总体平稳,流域西南部山区径流量开始增大.

2003年7月,淮河流域发生了严重的洪涝灾害,干流大多数河道的月平均流量大于 $2000\text{ m}^3/\text{s}$,各个主要支流的河道流量显著增加,流量大于 $30\text{ m}^3/\text{s}$ 的河网密度达到全年最高,流域西南部尤为明显.8月整个流域的流量均有所回落,但仍然大于 $2000\text{ m}^3/\text{s}$,流域西南部流量减少明显.9月淮河流域的流量有所增加,但洪水空间分布形态显著不同,流量高值区主要集中在干流及以北地区的洪河、颍河和涡河等支流水系.7—9月淮河流域干流及支流洪水过程的上述演变是该年份主雨带由南往北推进过程的水文响应.

10月淮河流域洪水仍然维持在高位,干流多处河段流量超过 $2000\text{ m}^3/\text{s}$,是该月上旬降水过程和流域前期洪水退水过程的共同作用结果.11月和12月流域降水量较小,在前期洪水的影响下,干流和各条支流仍保持一定的流量,但均已明显减小.12月网格流量的空间分布已小于该年4月的流量分布.淮河流域2003年汛期特大洪水逐渐消退.

4 结 论

TRMM 3B42 卫星降水数据能够较好地反映淮河流域降水的时空分布,分布式陆面-水文模型对流量时间变化过程的模拟精度较高,模拟流量在流域内的空间分布合理,流量逐月平均值空间分布准确反映了流量的季节变化特征.该模型明确给出了洪水过程中河道洪水风险较大网格的空间分布,时间分辨率可小于1d,有助于流域汛期调度规划和防洪预警.同时,河道流量等陆面水文要素的时空变化体现了淮河流域旱涝极端事件的高度非均匀性,对于全方位反映洪水干旱事件的时空演化过程具有重要意义.分布式水文模型对流量空间分布的模拟预测有助于流域洪水事件的预警与管理.

参考文献:

- [1] BEVEN K J, KIRKBY M J. A physically based variable contributing area model of basin hydrology[J]. Hydrological Science Bulletin, 1979, 24: 43-69.
- [2] 郭生练,熊立华,杨井,等.基于DEM的分布式流域水文物理模型[J].武汉水利电力大学学报,2000,33(6):1-5.(GUO Sheng-lian, XIONG Li-hua, YANG Jing, et al. A DEM and physically based distributed hydrological model[J]. Journal of Wuhan University of Hydraulic and Electric Engineering, 2000, 33(6): 1-5. (in Chinese))
- [3] 任立良,刘新仁.基于DEM的水文物理过程模拟[J].地理研究,2000,19(4):369-376.(REN Li-liang, LIU Xin-ren. Hydrological processes modeling based on digital elevation mode[J]. Geographical Research, 2000, 19(4): 369-376. (in Chinese))
- [4] 李丽,郝振纯,王加虎.一个以DEM为基础的分布式水文模型[J].水电能源科学,2004,22(4):5-7.(LI Li, HAO Zhen-chun, WANG Jia-hu. Distributed hydrologic model based on DEM[J]. Hydroelectric Energy, 2004, 22(4): 5-7. (in Chinese))
- [5] 夏军,叶爱中,王纲胜.黄河流域时变增益分布式水文模型(Ⅰ):模型的原理与结构[J].武汉大学学报:工学版,2005,38(6):10-15.(XIA Jun, YE Ai-zhong, WANG Gang-sheng. A distributed time-variant gain model applied to Yellow River(Ⅰ): model theories and structures[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2005, 38(6): 10-15. (in Chinese))
- [6] 彭顺风,李凤生.基于数字流域的地表水资源模拟[J].水资源保护,2009,25(2):10-14.(PENG Shun-feng, LI Feng-sheng. Modeling surface water resources based on digital basin[J]. Water Resources Protection, 2009, 25(2): 10-14. (in Chinese))
- [7] 李致家,刘金涛,葛文忠,等.雷达估测降雨与水文模型的耦合在洪水预报中的应用[J].河海大学学报:自然科学版,2004,32(6):601-606.(LI Zhi-jia, LIU Jin-tao, GE Wen-zhong, et al. Coupling of weather radar rainfall data with hydrological model and its application to flood forecasting[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2004, 32(6): 601-606. (in Chinese))
- [8] 芮孝芳,梁霄.水文学的现状与未来[J].水利水电科技进展,2011,31(2):1-4.(RUI Xiao-fang, LIANG Xiao. Present situation and future of hydrology[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2011, 31(2): 1-4. (in Chinese))
- [9] YU Z, POLLARD D, CHENG L. On continental scale hydrologic simulations with a coupled hydrologic mode[J]. Journal of Hydrology, 2006, 331: 110-124.
- [10] SIMPSON J, ADLER R F, NORTH G R. A Proposed Tropical Rainfall Measuring Mission(TRMM) Satellite[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1988, 69(3): 278-295.
- [11] 许慎.说文解字[M].北京:中华书局,2004.
- [12] YANG Chuan-guo, LIN Zhao-hui, YU Zhong-bo, et al. Analysis and simulation of human activity impact on streamflow in the Huaihe River Basin with a large-scale hydrologic mode[J]. Journal of Hydrometeorology, 2010, 11: 810-821.
- [13] 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))