

多源再分析降水数据在拉萨河流域 应用对比研究

郭禹含^{1,2}, 王中根^{1*}, 伍玉良³

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101;
2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 济南大学, 济南 250000)

摘要: 针对资料稀缺地区水文模拟计算难题, 开展多源再分析降水数据在拉萨河流域应用对比研究, 本文基于HIMS系统构建了拉萨河流域分布式水文模型, 以气象站实测数据为参照, 对比分析了中国区域地面降水格点日值数据集和中国区域高时空分辨率地面气象要素驱动数据集两套遥感再分析数据集的气象数据在拉萨河流域的径流模拟效果。结果表明: 在日和月时间尺度上, 气象站实测降水数据的径流模拟精度最好, 驱动集降水数据径流模拟结果要好于网格点降水数据。总体上, 基于气象站实测降水数据的径流模拟纳西效率系数为0.86(日过程)和0.93(月过程), 相关系数均在0.9以上。基于两类再分析数据的降水径流模拟纳西效率系数均在0.7(日过程)和0.8(月过程)以上, 相关系数均在0.9左右。对于资料稀缺地区, 多源再分析降水数据是重要的可用数据来源。借助于降水—径流模型, 探讨多源再分析降水数据对径流模拟精度的影响, 是完善多源再分析降水数据产品质量的一个重要环节。

关键词: 分布式水文模型; 多源再分析降水数据; 模拟径流; 对比分析; 拉萨河流域

1 引言

资料稀缺地区水文模拟是国际水文水资源界研究的前沿热点与难点之一(黄粤等, 2009; 徐宗学, 2010), 需要在水文学理论、观测以及计算机技术三方面取得不断的突破(Sivapalan, 2003; Sivapalan et al, 2003)。因此, 早在2003年国际水文科学协会(IAHS)便实施 PUB(Prediction in Ungauged Basins)国际水文十年计划(引自 Hrachowitz et al, 2013)。在水文理论研究方面, 大量具有一定物理机制的水文模型应用于资料稀缺地区径流模拟计算(刘昌明等, 2012), 如 SWAT 模型(季璇等, 2011; 陆志翔等, 2012; 罗吉忠等, 2013)、VIC 模型(陈利群

等, 2006; 刘文丰等, 2012)等。在观测方面, 遥感技术不受复杂地形与恶劣环境的影响, 能相对准确地识别降水空间分布(刘俊峰等, 2010)。利用遥感反演、数据融合与同化等手段获得的相对丰富的降水数据, 成为资料稀缺地区水文模拟计算的重要数据来源。但通过遥感手段获取降水数据仍存在问题(刘元波等, 2011), 可靠的降水数据对于资料稀缺地区径流模拟而言至关重要(芮孝芳, 1997; Bastola et al, 2014), 需要开展多源降水数据的对比分析。

目前, 多源降水数据比较研究主要是以实测降水数据为参照, 分析遥测雨量数据、遥感反演降水数据与融合再分析降水数据等多源降水数据的精度, 并研究其不同流域上的时空分布特征(刘波

收稿日期: 2016-08; 修订日期: 2017-06。

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(41330529); 中国科学院战略性先导科技专项(XDB03030202); 西藏自治区水资源承载力研究项目(Y3M30170AL) [Foundation: Key Program of the National Natural Science Foundation of China, No.41330529; Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences, No.XDB03030202; Program on Water Carrying Capacity of Tibet Autonomous Region, No.Y3M30170AL]。

作者简介: 郭禹含(1994-), 女, 云南昆明人, 博士研究生, 主要从事水文水资源研究, E-mail: guoyh.16b@igsrr.ac.cn。

通讯作者: 王中根(1973-), 男, 河南潢川人, 研究员, 博士, 主要从事流域水文模拟及水资源管理工作,
E-mail: wangzg@igsrr.ac.cn。

引用格式: 郭禹含, 王中根, 伍玉良. 2017. 多源再分析降水数据在拉萨河流域应用对比研究[J]. 地理科学进展, 36(8): 1033-1039. [Guo Y H, Wang Z G, Wu Y L. 2017. Comparison of applications of different reanalyzed precipitation data in the Lhasa River Basin based on HIMS model[J]. Progress in Geography, 36(8): 1033-1039.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2017.08.012

等, 2011; 杨旭等, 2016)。如 Janowiak 等(1998)早就比较了两类降水再分析数据的误差精度; 黄浠等(2016)分析了雅鲁藏布江流域年、月尺度上不同来源降水数据的精度。上述研究仅探讨多源降水数据相比于实测气象数据的差异性以及精度, 但在水文计算中应更加关注不同来源降水数据驱动径流模拟效果如何。为此, 本文以国际典型 PUB 区——西藏拉萨河流域为案例, 基于自主产权的 HIMS 系统构建流域分布式水文模型, 针对国家气象中心的日降水数据和两类再分析数据, 开展不同源降水数据对于径流模拟影响的对比分析, 为稀缺资料地区水文模拟预报和水资源管理提供参考。

2 区域概况及数据来源

2.1 研究区域概况

2.1.1 地理位置

拉萨河位于西藏自治区中南部, 发源于念青唐古拉山中段南侧嘉黎里彭措拉孔马沟, 流经墨竹工卡县、达孜县, 最后经过拉萨市, 在拉萨市南部郊区汇入雅鲁藏布江。流域范围主要在东经 $90^{\circ}05' \sim 93^{\circ}20'$, 北纬 $29^{\circ}20' \sim 31^{\circ}15'$ 之间; 流域总河长约 500 km, 流域面积 31877 km^2 , 是雅鲁藏布江的五大支流之一。

2.1.2 水文气象条件

拉萨河流域径流来源主要有降水、冰雪融水和地下水 3 类, 其中降水径流占总径流的 50%。拉萨河总落差 1683.4 m, 平均纵比降为 0.34%。流域水能资源丰富, 其干流部分蕴藏量达到 171.7 万 kW, 在雅鲁藏布江各部分支流中位居第三。

拉萨河流域属于高原温带干旱半干旱区, 具有大陆性气候特点。流域雨热同期, 干湿两季分布明显。汛期主要有两条水汽输送带, 分别为印度季风输送带和中纬度西风输送带(林志强等, 2011)。流域内多年平均降水量在 500 mm 左右, 多年平均最大 4 个月降水量占多年平均年降水量的 80% 以上(蔺学东等, 2007)。降水多集中在 6-9 月, 年均气温为 7°C , 最高为 12°C , 最低 -2.5°C 左右。

2.2 数据来源

拉萨河流域的 DEM 分辨率为 $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$; 土地利用数据为拉萨河流域 2005 年的土地利用类型^①,

包括耕地、林地、草地、水域、居民用地和未利用土地 6 个一级分类; 土壤数据采用 1:100 万的土壤分类及其相应的理化性质, 数据均来自中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>)。

径流数据摘自《中国水文年鉴》的拉萨水文站(图 1)日流量数据, 序列长度为 49 年(1956-2008 年, 其中 1969-1972 年缺)。本文选取 3 种不同降水数据进行分析对比研究, 分别是: ①中国气象信息中心的实测日降水数据, 来自国家气象科学数据共享服务平台(<http://data.cma.cn>), 拉萨河流域内外共 6 个气象站点(图 1), 以下简称气象站降水数据(1973-2013); ②中国区域地面降水格点日值数据集在拉萨河流域的日降水格点数据, 以下简称网格点降水数据(1961-2013)(赵煜飞等, 2015), 拉萨河流域内的网格点共 14 个(图 1); ③中国区域高时空分辨率地面气象要素驱动数据集 (doi:10.3972/west-dc.002.2014.db) 的日降水数据, 简称驱动集降水数据(1979-2015)。该集数据是中国科学院青藏高原研究所开发的近地面气象与环境要素再分析数据集, 分辨率为 $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$, 以 Princeton 再分析资料、GLDAS 资料、GEWEX-SRB 辐射资料, 以及 TRMM 降水资料为背景场, 融合了中国气象局常规气象观测数据制作而成。

3 分布式水文模型构建

本文基于 HIMS 平台构建拉萨河流域分布式水文模型。HIMS 是基于模块化的流域水循环综合模

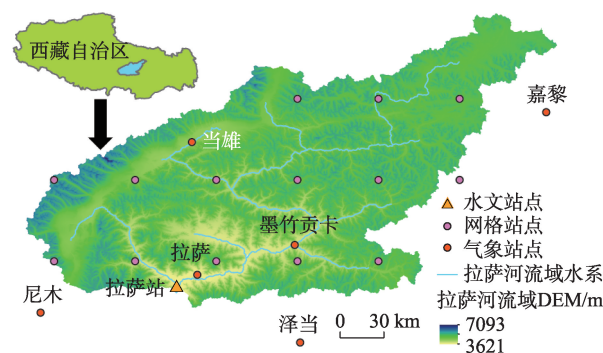


图 1 拉萨河流域 DEM 及站点水系分布图

Fig.1 Location and DEM of the Lhasa River Basin and distribution of data stations and drainage network

①土地利用数据及土壤数据用于初始参数选定, HIMS 模拟径流日过程对模型初始参数依赖不大, 且作为人类活动影响土地利用类型代表, 农地仅占全流域 2.00%(摆万奇等, 2014), 故仅选用 2005 年土地利用类型对模型模拟结果影响不大。

拟系统,能根据目标流域的特点定制水文模型。普适版的HIMS模型主要包含截留填洼、下渗、蒸发、产汇流等几个大过程(刘昌明等,2008)。

3.1 子流域划分

基于DEM提取河网以及子流域(图2),拉萨站是整个流域的控制水文站。将子流域编码后,形成河网拓扑结构关系。其中,14号子流域和16号子流域的流量最终汇入流域出口断面,即出口子流域有2个,在后续的分析中,主要应用16号子流域的出口流量与实测流量进行比较。

3.2 模型参数率定

应用IDW反距离加权法(Bartier et al, 1996)进行空间插值,产生子流域面降水数据、最高气温和最低气温输入数据。根据子流域的土地利用情况和土壤分布情况,给出每个子流域的参数初始值。

以拉萨河水文站的实测流量过程为参照,利用HIMS模型中的随机选优方法进行模型参数率定,并对模型参数合理性进行分析,最终得到各子流域参数如表1所示。

4 结果与分析

4.1 不同源降水数据对比分析

对3种降水数据进行分析,以气象站实测降水数据为参照,在0.01的显著性水平上,网格点降水、数据集降水与气象站降水的相关性分别为0.814、

0.790。年际变化方面(图3),网格点和数据集的年降水量总体偏大,其中数据集降水数据的相对误差为9.69%,网格点降水数据的为8.80%。通过各个季节降水量的比较分析,发现引起年总降水量差异的主要是夏季和秋季。

4.2 模拟效果评价

以气象站点实测降水为输入进行拉萨流域径流模拟,结果如表2和图4所示。HIMS模型的主要评估因子包括3个:①纳西效率系数(NSE);②相关系数(RE);③水量误差(WE)。其中,日过程模拟的纳西效率系数,率定期和验证期均在0.80以上,相关系数在0.90以上,水量误差较小。月过程纳西效率系数在0.90以上,相关系数在0.95以上,整体水量误差比日尺度模拟结果小。总体上,模拟流量整体小于实测流量,枯水期模拟结果要优于汛期。造

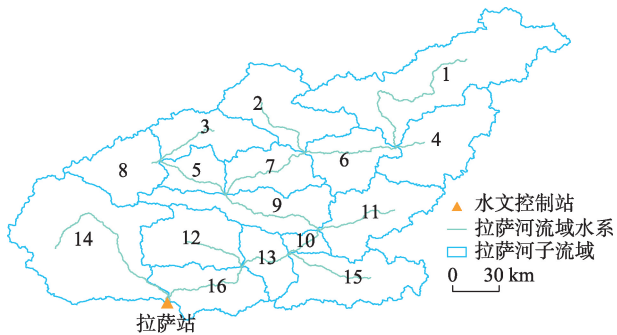


图2 拉萨河流域子流域划分图
Fig.2 Division of sub-basins in the Lhasa River Basin

表1 拉萨河流域分布式HIMS模型最终调参结果

Tab.1 Results of final parameters of the HIMS distributed model in the Lhasa River Basin

流域 编号	土壤蓄水 容量 W_{mm}	产流参数		壤中流 系数 L_n	地下水补给 系数 R_c	实际蒸散发 系数 ε	基流 系数 K_b	汇流参数	
		R	r					C1	C2
1	356.0	9.00	0.10	0.23	0.01	0.10	0.01	0.06	0.05
2	50.0	0.48	0.19	0.97	0.03	1.56	0.05	0.90	0.90
3	50.0	0.22	0.99	0.57	0.09	0.15	0.02	0.05	0.06
4	50.0	5.31	0.10	0.14	0.01	0.16	0.03	0.05	0.25
5	73.0	8.65	0.16	0.20	0.01	0.86	0.02	0.05	0.05
6	50.0	3.00	0.99	0.10	0.01	0.10	0.01	0.05	0.05
7	50.0	2.88	0.10	0.19	0.02	0.96	0.01	0.06	0.05
8	1000.0	3.60	0.63	0.15	0.09	0.10	0.02	0.09	0.28
9	50.0	2.62	0.36	0.51	0.01	0.15	0.01	0.07	0.16
10	96.0	11.25	0.10	0.10	0.13	0.10	0.01	0.05	0.05
11	93.5	0.30	0.10	0.33	0.02	0.38	0.01	0.07	0.17
12	50.0	0.22	0.10	0.10	0.01	0.14	0.01	0.13	0.07
13	50.0	4.83	0.70	0.10	0.03	0.35	0.06	0.06	0.05
14	50.0	0.68	0.10	0.10	0.14	0.10	0.01	0.09	0.09
15	50.0	4.34	0.99	0.15	1.00	0.13	0.01	0.05	0.05
16	113.0	0.37	0.19	0.42	0.01	0.10	0.01	0.05	0.90

成模拟流量整体偏小可能的原因为:一是面降水空间插值使输入的降水数据趋于均化,导致模拟流量出现高值低估;二是拉萨河流域属于高寒区存在融

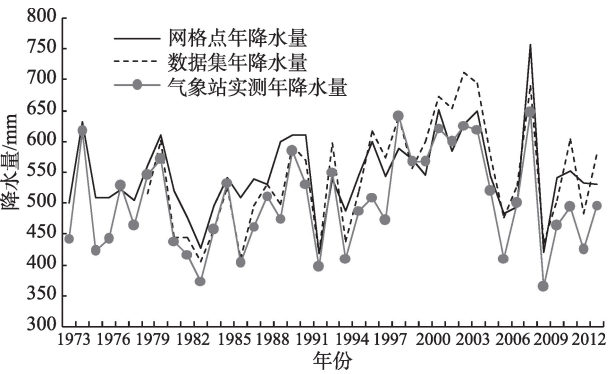


图3 三种降水数据多年平均年总降水量过程线
Fig.3 Curves of the three types of average annual total precipitation data

表2 拉萨站气象站降水输入模拟结果
Tab.2 Results of simulation using meteorological precipitation data at the Lhasa station

计算时期	NSE		RE		WE/%	
	日尺度	月尺度	日尺度	月尺度	日尺度	月尺度
率定期 (1973-2002)	0.86	0.93	0.93	0.97	-6.86	-6.91
验证期 (2003-2008)	0.83	0.90	0.92	0.95	-11.57	-7.85

雪径流,模型采用简单的度一日因子模拟融雪径流存在一定偏差。

4.3 网格点降水数据适用性分析

以网格点降水数据为输入进行径流模拟,并与气象站点降水模拟结果比较发现,在率定期和验证期,网格点降水径流模拟的纳西效率系数和相关系数均比前者低(表3)。可能原因是:①网格点利用多个站台数据插值,使数据趋于坦化;②网格点降水的数据分辨率为0.5°,气象站点数据IDW插值分辨率为0.1°,气象站点降水数据插值分辨率更高。日月尺度上,气象站点降水径流模拟水量误差偏小,网格站点降水径流模拟的水量误差偏大,说明气象站点降水模拟径流在总量上偏小,而网格点降水模拟径流偏大。可能原因是网格点降水数据的多年平均降水量大于气象站点降水数据。按照该思路,若将两类降水数据加以融合,有可能更好地描述与预测实测流量。

4.4 驱动集降水数据适用性分析

以驱动集降水数据为输入进行径流模拟,并与气象站点降水模拟结果比较发现,在率定期和验证期,驱动集降水径流模拟的纳西效率系数和相关系数均比前者低(表3)。但在整体的模拟效果上驱动集降水数据好于网格点降水数据。在率定期内,气象站点降水数据径流模拟的水量误差偏小,驱动集

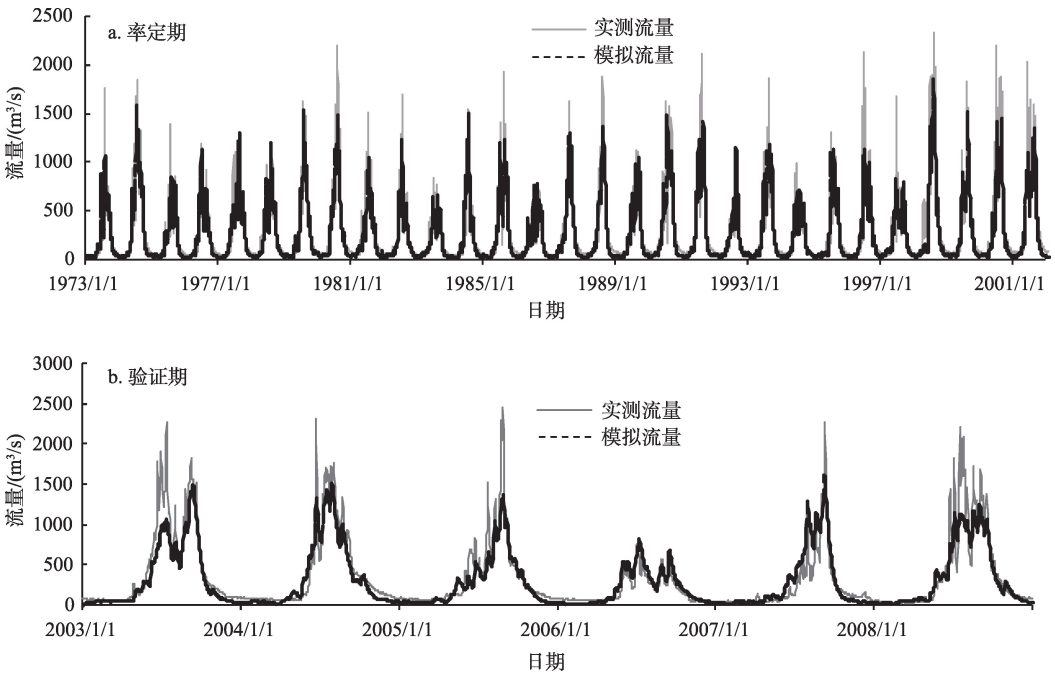


图4 拉萨站实测流量与模拟流量日过程
Fig.4 Daily process of measured flow and simulated flow at the Lhasa station

表3 拉萨气象站降水数据与两类再分析降水数据模拟结果对比

Tab. 3 Comparison of the results of simulations using meteorological precipitation data and two reanalyzed precipitation data at the Lhasa station

日尺度	率定期(1973–2002)			验证期(2003–2008)			月尺度	率定期(1973–2002)			验证期(2003–2008)		
	NSE	RE	WE/%	NSE	RE	WE/%		NSE	RE	WE/%	NSE	RE	WE/%
气象站降水数据	0.86	0.93	-6.86	0.83	0.92	-11.57	气象站降水数据	0.93	0.97	-6.91	0.90	0.95	-7.85
网格点降水数据	0.74	0.89	16.33	0.80	0.89	8.23	网格点降水数据	0.81	0.93	16.32	0.88	0.94	8.16
驱动集降水数据	0.79	0.90	6.36	0.78	0.88	-2.66	驱动集降水数据	0.87	0.94	6.38	0.86	0.93	-2.66

降水数据径流模拟的水量误差偏大。在验证期内，驱动集降水数据在总量模拟上相对更接近于实测流量，可能原因是驱动集数据在生成过程中结合气象观测资料与TRMM降水资料，修正了部分降水总量上的误差。同样由于遥感降水资料的融合，在日过程的模拟中降水数据存在“高值低估、低值高估”现象。

5 结论与讨论

本文应用HIMS模型在拉萨河流域构建分布式水文模型，收集整理国家气象中心的日降水数据和两类再分析数据，输入HIMS模型中得到不同径流模拟过程，进一步比较分析径流模拟结果。两种再分析数据输入均能较好模拟径流过程，总体的径流模拟精度低于气象站点降水输入。主要结论如下：

(1) 在日和月尺度上，利用HIMS平台构建拉萨河流域分布式水文模型，采用有限的常规气象站点观测数据开展降水径流过程模拟，能达到较高的模拟精度，其中，率定期和验证期的模型纳西效率系数均在0.8以上。但总径流量模拟值比实测值偏低，可能原因是气象站点较少，在面雨量处理中存在一定误差。此外，拉萨河流域融雪径流较大，采用简单的度一日因子模型模拟融雪径流也存在一定偏差。

(2) 与气象站降水径流模拟相比，网格点数据降水径流模拟精度稍低，日和月尺度上在拉萨河流域的适用性均较好。其中，日尺度上率定期和验证期纳西效率系数分别为0.74和0.80，相关系数都为0.89；月尺度上率定期和验证期的纳西效率系数分别为0.81和0.88，相关系数分别为0.93和0.94，精度较高。说明在缺常规气象观测站点的地区，可以使用网格点降水数据进行径流模拟分析，并具有一定的模拟精度。

(3) 驱动集数据降水径流模拟在拉萨河流域的适用性均较好，且优于网格点降水数据径流模拟结果。其中，日尺度上率定期和验证期纳西效率系数

分别为0.79和0.78，相关系数分别为0.90和0.88；月尺度上率定期和验证期的纳西效率系数分别为0.87和0.86，相关系数分别为0.94和0.93，精度较高。说明在稀缺资料地区，融合了遥感信息的驱动集降水数据比常规站点空间插值生成的网格点降水数据，在降水径流模拟中效果要好。

多源再分析降水数据对于资料稀缺地区水文计算是一个重要的数据源。但是，目前该类数据产品质量参差不齐，一些数据产品存在严重的“低值高估，高值低估”现象(黄滢，2016)，影响了水文计算精度。因此，对于多源再分析降水数据质量评价，不能仅仅局限于降水数据系列本身，需要借助于降水—径流模型，进一步分析其对径流模拟计算精度的影响。这对于完善多源再分析降水数据产品质量，提高其实际应用价值，是一个不可缺少的重要环节。

参考文献(References)

摆万奇, 姚丽娜, 张懿铨, 等. 2014. 近35 a西藏拉萨河流域耕地时空变化趋势[J]. 自然资源学报, 29(4): 623-632. [Bai W Q, Yao L N, Zhang Y L, et al. 2014. Spatial-temporal dynamics of cultivated land in recent 35 years in the Lhasa River basin of Tibet[J]. Journal of Natural Resources, 29 (4): 623-632.]

陈利群, 刘昌明, 袁飞. 2006. 大尺度资料稀缺地区水文模拟可行性研究[J]. 资源科学, 28(1): 87-92. [Chen L Q, Liu C M, Yuan F. 2006. Feasibility study on hydrologic simulation in basins with macro-scale data scarce[J]. Resources Science, 28(1): 87-92.]

黄滢, 王中根, 桑燕芳, 等. 2016. 雅鲁藏布江流域不同源降水数据质量对比研究[J]. 地理科学进展, 35(3): 339-348. [Huang X, Wang Z G, Sang Y F, et al. 2016. Precision of data in three precipitation datasets of the Yarlung Zangbo River basin[J]. Progress in Geography, 35(3): 339-348.]

黄粤, 陈曦, 包安明, 等. 2009. 干旱区资料稀缺流域日径流过程模拟[J]. 水科学进展, 20(3): 332-336. [Huang Y, Chen X, Bao A M, et al. 2009. Daily flow modeling in arid ungauged basin[J]. Advances in Water Science, 20(3): 332-

- 336.]
- 季璇, 罗毅. 2011. 资料稀缺高海拔山区降水量推算方法及在水文模拟中的应用[J]. 灌溉排水学报, 30(6): 103-106. [Ji X, Luo Y. 2011. A precipitation estimation method and its application in hydrologic simulation in data-scarce high mountain area[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 30(6): 103-106.]
- 刘波, 肖子牛. 2011. 多源降水数据在澜沧江—湄公河流域的比较研究[J]. 干旱区地理, 34(6): 958-966. [Liu B, Xiao Z N. 2011. Comparison of different precipitation datasets in Lancang-Mekong River basin[J]. Arid Land Geography, 34(6): 958-966.]
- 刘昌明, 白鹏, 张丹, 等. 2012. 基于HIMS的稀缺资料地区径流估算[C]//水利部水文局, 国际水文计划(IHP)中国国家委员会, 国际水文科学协会(IAHS)中国国家委员会, 中国水利学会水文专业委员会. 中国水文科技新发展: 2012中国水文学术讨论会论文集. 北京. [Liu C M, Bai P, Zhang D, et al. 2012. The ungauged area runoff estimation based on HIMS model[C]//Hydrology Bureau of Water Resources, the International Hydrological Programme (IHP) China National Committee, the International Association of Hydrological Science (IAHS) China National Committee, the Hydrological Professional Committee of China Water Conservancy Society. New development of hydrology technology in China: 2012 China academic conference on hydrology. Beijing, China.]
- 刘昌明, 王中根, 郑红星, 等. 2008. HIMS系统及其定制模型的开发与应用[J]. 中国科学: 技术科学, 38(3): 350-360. [Liu C M, Wang Z G, Zheng H X, et al. 2008. HIMS system and development and application of its customized model[J]. Chinese Science (E Series: Science and Technology), 38(3): 350-360.]
- 刘俊峰, 陈仁升, 韩春坛, 等. 2010. 多卫星遥感降水数据精度评价[J]. 水科学进展, 21(3): 343-348. [Liu J F, Chen R S, Han C T, et al. 2010. Evaluating TRMM multi-satellite precipitation analysis using gauge precipitation and MODIS snow-cover products[J]. Advances in Water Science, 21(3): 343-348.]
- 刘文丰, 徐宗学, 刘浏, 等. 2012. 基于VIC模型的拉萨河流域分布式水文模拟[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 48(5): 524-529. [Liu W F, Xu Z X, Liu L, et al. 2012. Distributed hydrological simulation in the Lhasa River basin based on VIC model[J]. Journal of Beijing Normal University: Natural Science, 48(5): 524-529.]
- 刘元波, 傅巧妮, 宋平, 等. 2011. 卫星遥感反演降水研究综述[J]. 地球科学进展, 26(11): 1162-1172. [Liu Y B, Fu Q N, Song P, et al. 2011. Satellite retrieval of precipitation: An overview[J]. Advances in Earth Science, 26(11): 1162-1172.]
- 林志强, 唐叔乙, 何晓红, 等. 2011. 青藏高原汛期水汽输送特征与降水异常[J]. 气象, 37(8): 984-990. [Lin Z Q, Tang S Y, He X H, et al. 2011. Features of water vapor transfer in rainy season and their relations to rainfall anomalies over Tibetan Plateau[J]. Meteorological Monthly, 37(8): 984-990.]
- 蔺学东, 张懿锂, 姚治君, 等. 2007. 拉萨河流域近50年来径流变化趋势分析[J]. 地理科学进展, 26(3): 58-67. [Lin X D, Zhang Y L, Yao Z J, et al. 2007. Trend analysis of the runoff variation in Lhasa River Basin in Tibetan Plateau during the last 50 years[J]. Progress in Geography, 26(3): 58-67.]
- 陆志翔, 蔡晓慧, 邹松兵, 等. 2012. SWAT模型在伊犁河上游稀缺资料区的应用[J]. 干旱区地理, 35(3): 399-407. [Lu Z X, Cai X H, Zou S B, et al. 2012. Application of SWAT model in the upstream of Ili River basin with scarce data[J]. Arid Land Geography, 35(3): 399-407.]
- 罗吉忠, 张新华, 肖玉成, 等. 2013. 基于SWAT模型的缺资料流域径流模拟研究[J]. 西南民族大学学报: 自然科学版, 39(1): 80-86. [Luo J Z, Zhang X H, Xiao Y C, et al. 2013. Runoff simulation in data-scarce basins based on SWAT hydrological model[J]. Journal of Southeast University for Nationalities: Natural Science Edition, 39(1): 80-86.]
- 芮孝芳. 1997. 流域水文模型研究中的若干问题[J]. 水科学进展, 8(1): 94-98. [Rui X F. 1997. Some problems in research of watershed hydrology model[J]. Advances in Water Science, 8(1): 94-98.]
- 徐宗学. 2010. 水文模型: 回顾与展望[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 46(3): 278-289. [Xu Z X. 2010. Hydrological models: Past, present, future[J]. Journal of Beijing Normal University: Natural Science, 46(3): 278-289.]
- 杨旭, 刘志武, 李波. 2016. 多源降水数据在长江上游流域比较研究[J]. 长江流域资源与环境, 25(1): 131-139. [Yang X, Liu Z W, Li B. 2016. Comparative study on various rainfall data in upper reaches in Yangtze River[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 25(1): 131-139.]
- 赵煜飞, 朱江. 2015. 近50年中国降水格点日值数据集精度及评估[J]. 高原气象, 34(1): 50-58. [Zhao Y F, Zhu J. 2015. Assessing quality of grid daily precipitation datasets in china in recent 50 years[J]. Plateau Meteorology, 34(1): 50-58.]
- Bartier P M, Keller C P. 1996. Multivariate interpolation to incorporate thematic surface data using inverse distance weighting (IDW) [J]. Computers & Geosciences, 22(7): 795-799.
- Bastola S, Misra V. 2014. Evaluation of dynamically downscaled reanalysis precipitation data for hydrological application[J]. Hydrological Processes, 28(4): 1989-2002.
- Hrachowitz M, Savenije H H G, Blöschl G, et al. 2013. A de-

- cade of Predictions in Ungauged Basins (PUB): A review [J]. *Hydrological Sciences Journal*, 58(6): 1198-1255.
- Janowiak J E, Gruber A, Kondragunta C R, et al. 1998. A comparison of the NCEP-NCAR reanalysis precipitation and the GPCP rain gauge-satellite combined dataset with observational error considerations[J]. *Journal of Climate*, 11 (11): 2960-2979.
- Sivapalan M. 2003. Prediction in ungauged basins: A grand challenge for theoretical hydrology[J]. *Hydrological Processes*, 17(15): 3163-3170.
- Sivapalan M, Takeuchi K, Franks S W, et al. 2003. IAHS decade on Predictions in Ungauged Basins (PUB), 2003 - 2012: Shaping an exciting future for the hydrological sciences[J]. *Hydrological Sciences Journal*, 48(6): 857-880.

Comparison of applications of different reanalyzed precipitation data in the Lhasa River Basin based on HIMS model

GUO Yuhan^{1,2}, WANG Zhonggen^{1*}, WU Yuliang³

(1. Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Jinan University, Jinan 250000, China)

Abstract: Hydrological simulation in ungauged basins is a challenging topic in hydrology and water resource fields internationally. With the fast development of remote sensing technology, it is possible to utilize remote sensing derived precipitation data in hydrological fields to accelerate the progress of research in the PUB (predictions in ungauged basins) plan. This study compared the applications of different reanalyzed precipitation data—the grid and forcing precipitation data—in hydrological simulation in the Lhasa River Basin. The study built a distributed hydrological model using the HIMS model for the basin. The process started with inputting the daily precipitation data from the National Meteorological Center, then based on the measured flow in the Lhasa hydrological control station to calibrate and verify the hydrological model. After this, two types of remote sensing reanalyzed precipitation data in HIMS model were imported for runoff simulation, and the results were compared with simulation results of the measured weather station daily precipitation data. Subsequently, the applicability of the two types of remote sensing reanalyzed precipitation data in the Lhasa River Basin was analyzed. On the whole, the Nash-Sutcliffe efficiency coefficient of the runoff simulation based on daily precipitation data is 0.86 (daily process) and 0.93 (monthly process), and the correlation coefficient is above 0.9. The Nash-Sutcliffe efficiency coefficient of the rainfall-runoff simulations based on the two reanalyzed precipitation datasets are both above 0.7 in the daily scale process and over 0.8 in the monthly scale process, and the correlation coefficient are both around 0.9. The results show that the measured weather station daily precipitation data resulted in the best simulation outcomes and both the grid precipitation data and forcing precipitation data generate satisfactory runoff simulation results in the Lhasa River Basin. This indicates that daily precipitation data are useful although the number of rainfall stations in this area is limited. The remote sensing reanalyzed precipitation datasets can be well used in ungauged areas such as the Lhasa River Basin and it may become a reliable source when analyzing the relationship between rainfall and runoff in ungauged basins. Using rainfall-runoff model to examine the impact of multi-sources reanalyzed precipitation datasets on the accuracy of runoff simulation is essential for evaluating the quality of such datasets.

Key words: distributed hydrological model; multi-source reanalyzed precipitation data; runoff simulation; comparative analysis; Lhasa River Basin