

三江源及其毗邻地区公里网格降水数据集 (2009–2013)

蒋育昊^{1,2}, 李宝林^{1,2*}, 袁焯城¹, 高锡章¹, 张涛^{1,2}, 刘岩^{1,2}, 李影^{1,2},
罗智勇³, 李红³, 马强³, 王晓敏³, 次仁多吉⁴

1. 中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 青海省黄南藏族自治州河南蒙古族自治县气象局, 黄南 811599;
4. 西藏自治区拉萨市气象局, 拉萨 850000

摘要: 三江源及其毗邻地区公里网格降水数据集(2009–2013)是对2009–2013年的TRMM 3B43 V7降水数据进行降尺度后生成的该区域降水数据及其相关对照或辅助数据。其中,降尺度后的TRMM数据是基于山地降水二次抛物型廓线(Quadratic Parabolic Profile, QPP)模型生成的。该方法包括两个步骤:(1)推算QPP模型参数。三江源及其毗邻地区的最大降水海拔和NDVI峰值海拔高度是对应的,因此,利用NDVI峰值所在空间位置来确定最大降水海拔,进而基于最大降水海拔推算该位置的降水量和降水抛物线方程的二次项系数。(2)模型参数空间外推。利用反距离权重(IDW)插值法对0.25°尺度参数进行空间外推,当从0.25°重采样到1 km分辨率时,则采用二次线性插值法获取各个像元降尺度模型的最终参数。结果表明,基于QPP模型降尺度后的TRMM 3B43数据精度相对常用统计降尺度方法得到的结果精度更高,2009–2013年生长季(5–9月)逐月以及累积降水量降尺度结果用国家站观测数据计算的平均均方根误差(Root Mean Square Error, RMSE)为14、18、19、13、16和62 mm,平均绝对百分误差(Mean Absolute Percent Error, MAPE)为14%、12%、12%、12%、17%和11%。数据集采用WGS84坐标系,矢量数据采用.shp格式存储,栅格数据采用.grid或.tif格式存储。与数据集相关的科学发现论文已发表在《Remote Sensing of Environment》2018年第215卷。

关键词: 降水; TRMM 卫星; 降尺度; 三江源区及其毗邻地区; Remote Sensing of Environment

DOI: 10.3974/geodp.2020.02.09.

数据可用性声明:

本文关联数据已出版,可获取:蒋育昊,李宝林,袁焯城等.三江源及其毗邻地区公里网格降水数据集(2009–2013) [J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2019. DOI: 10.3974/geodb.2019.05.17.V1.

1 前言

降水是重要的环境要素,在地表径流、大气运动、农业资源等方面都扮演着不可忽视的角色。然而,由于降水的随机性使其时空变化较为复杂,通过有限的地面站点观测数据进行插值外推难度较大,尤其是在一些站点相对较少的区域,所获得的降水数据在精度上

收稿日期: 2019-11-07; 修订日期: 2020-03-27; 出版日期: 2020-06-25

基金项目: 中华人民共和国科学技术部(2016YFC0500205, 2015CB954103)

*通讯作者: 李宝林 N-8884-2019, 中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室, libl@reis.ac.cn

数据引用方式: [1] 蒋育昊, 李宝林, 袁焯城等. 三江源及其毗邻地区公里网格降水数据集(2009–2013) [J]. 全球变化数据学报, 2020, 4(2): 163–169. DOI: 10.3974/geodp.2020.02.09.

[2] 蒋育昊, 李宝林, 袁焯城等. 三江源及其毗邻地区公里网格降水数据集(2009–2013) [J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2019. DOI: 10.3974/geodb.2019.05.17.V1.

很难得到保证。卫星遥感数据产品具有大面积、重复观测等特点，因而成为获取降水时空变化信息的重要方式。由于山区降水受地形等要素的影响具有显著的异质性，通过卫星观测获取的降水数据具有极大的不确定性，无法满足实际需要^[1-3]。因此，本数据集是以卫星遥感反演的降水数据为基础，通过空间降尺度的方法得到更精细的降水数据集。

《三江源及其毗邻地区公里网格降水数据集（2009–2013）》^[4]由中华人民共和国科学技术部项目资助完成。本产品是基于目前可以方便获取的 0.25°×0.25°分辨率 TRMM 3B43 V7 数据产品^[5-6]研发的。针对该数据产品在三江源及其毗邻地区精度较差的问题，假设降水是由宏观地理因素和局地海拔高度共同决定，而且在三江源及其毗邻地区 NDVI 和降水具有良好的相关关系，从而采用二次抛物型廓线（Quadratic Parabolic Profile, QPP）模型对 TRMM 数据进行降尺度，即基于高分辨率的 NDVI，获取 NDVI 和 DEM 的关系参数，进而计算 DEM 与降水的关系参数，然后利用高分辨率的 DEM 数据计算降尺度后的 TRMM 降水量^[3]。将降尺度后的产品与基于地面站点观测的结果进行对比，评价产品精度。

2 数据集元数据简介

《三江源及其毗邻地区公里网格降水数据集（2009–2013）》^[4]的名称、作者、地理区域、数据年代、时间分辨率、空间分辨率、数据集组成、数据出版与共享服务平台、数据共享政策等信息见表 1。

表 1 《三江源及其毗邻地区公里网格降水数据集（2009–2013）》元数据简表

| 条 目 | 描 述 |
|-------|---|
| 数据集名称 | 三江源及其毗邻地区公里网格降水数据集（2009–2013） |
| 数据集短名 | PrecipThreeRiverHeadwaters_2009-2013 |
| 作者信息 | 蒋育昊 N-8765-2019, 中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室, jiangyh@reis.ac.cn 李宝林 N-8884-2019, 中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室, libl@reis.ac.cn 袁焯城 N-9047-2019, 中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室, yuanyc@reis.ac.cn 高锡章 N-1655-2019, 中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室, gaoxz@reis.ac.cn 张涛 N-8690-2019, 中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室, zhangtao@reis.ac.cn 刘岩 N-8844-2019, 中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室, liuy.18b@igsnr.ac.cn 李影, Y-4384-2019, 中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室, liying9391@126.com 罗智勇, 青海省黄南藏族自治州河南蒙古族自治县气象局, 393352158@qq.com 李红, 青海省黄南藏族自治州河南蒙古族自治县气象局, lh691208@163.com 马强, 青海省黄南藏族自治州河南蒙古族自治县气象局, 107082968@qq.com 王晓敏, 青海省黄南藏族自治州河南蒙古族自治县气象局, 2444869807@qq.com 次仁多吉, 西藏自治区拉萨市气象局, LSNSE111@126.com |
| 地理区域 | 31.65°N–36.27°N, 89.40°E–102.38°E。包括青海中部和南部的 16 个县（兴海、泽库、河南、甘德、玛沁、班玛、玉树、称多、杂多、治多、玛多、曲麻莱、囊谦、达日、久治、同德）和唐古拉镇 |

续表

| 条 目 | 描 述 |
|-----------|--|
| 数据年代 | 2009–2013 |
| 时间分辨率 | 1 个月 |
| 空间分辨率 | 1 km |
| 数据格式 | .shp、.tif、.grid |
| 数据量 | 344 MB（压缩后） |
| 数据集组成 | 数据集由 4 个文件夹组成。 （1）文件夹“QPR_Precip”内包含 5 个 Grid 格式文件： QPR_2009、QPR_2010、QPR_2011、QPR_2012 和 QPR_2013 分别代表 2009–2013 年，每年 5–9 月和生长季时段内使用 QPP 模型降尺度后的 TRMM 3B43 累积降水量，其空间分辨率为 1 km，单位为 mm （2）文件夹“Control_Precip”内包含 15 个 Grid 格式文件： ① ER_2009、ER_2010、ER_2011、ER_2012 和 ER_2013 分别代表 2009–2013 年，每年 5–9 月和生长季时段内使用指数回归（Exponential Regression，ER）模型降尺度后的 TRMM 3B43 累积降水量，其空间分辨率为 1 km，单位为 mm ② MLR_2009、MLR_2010、MLR_2011、MLR_2012 和 MLR_2013 分别代表 2009–2013 年，每年 5–9 月和生长季时段内使用多元线性回归（Multiple Linear Regression，MLR）模型降尺度后的 TRMM 3B43 累积降水量，其空间分辨率为 1 km，单位为 mm ③ GWR_2009、GWR_2010、GWR_2011、GWR_2012 和 GWR_2013 分别代表 2009–2013 年，每年 5–9 月和生长季时段内使用地理加权回归模型（Geographically Weighted Regression，GWR）降尺度后的 TRMM 3B43 累积降水量，其空间分辨率为 1 km，单位为 mm （3）文件夹“DEM”内存储了一个 DEM 1 km 栅格文件，代表研究区的海拔变化，其空间分辨率为 1 km （4）文件夹“NDVI”内包含 5 个 Grid 格式文件：ndv1km_2009、ndv1km_2010、ndv1km_2011、ndv1km_2012 和 ndv1km_2013，分别代表：2009–2013 年生长期时段内植被生长情况，其空间分辨率为 1 km |
| 基金项目 | 中华人民共和国科学技术部（2016YFC0500205, 2015CB954103） |
| 数据计算环境 | Python 2.7 ArcGIS 中国科学院地理科学与资源研究所内计算平台 |
| 出版与共享服务平台 | 全球变化科学研究数据出版系统 http://www.geodoi.ac.cn |
| 地址 | 北京市朝阳区大屯路甲 11 号 100101，中国科学院地理科学与资源研究所 |
| 数据共享政策 | 全球变化科学研究数据出版系统的“数据”包括元数据（中英文）、通过《全球变化数据仓储电子杂志（中英文）》发表的实体数据和通过《全球变化数据学报（中英文）》发表的数据论文。其共享政策如下：（1）“数据”以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放，用户免费浏览、免费下载；（2）最终用户使用“数据”需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源；（3）增值服务用户或以任何形式散发和传播（包括通过计算机服务器）“数据”的用户需要与《全球变化数据学报》（中英文）编辑部签署书面协议，获得许可；（4）摘取“数据”中的部分记录创作新数据的作者需要遵循 10% 引用原则，即从本数据集中摘取的数据记录少于新数据集总记录量的 10%，同时需要对摘取的数据记录标注数据来源 ^[7] |
| 数据和论文检索系统 | DOI, DCI, CSCD, WDS/ISC, GEOSS, China GEOSS, Crossref |

3 数据研发方法

3.1 算法原理

根据傅抱璞提出的山区降水理论^[8]，山区降水可以由受宏观地理因素影响的降水量和由于局地海拔高度不同而产生的降水量变化所共同决定的，可以用抛物线方程的形式

进行表达和计算。三江源及其毗邻地区山峦起伏，海拔高差较大，且该区域的降水受地形影响较大，满足抛物线方程的使用条件。在年均降水不足 1,000 mm 的三江源及其毗邻地区，降水与 NDVI 之间在排除局部地形影响的情况下通常呈正相关关系，所以两者与海拔之间应满足相同的函数形式。由于在不考虑局部地形影响的条件下，半湿润、半干旱地区降水量与植被生长状况之间具有正相关关系，并可以用降水与 NDVI 之间的线性响应关系进行表达^[9-10]，因此数据生成算法的原理是假设降水和 NDVI 均与海拔满足二次抛物型曲线关系。计算过程是首先利用高分辨率的 NDVI 和 DEM 数据确定两者之间函数参数，进而推算海拔与降水之间的方程参数，最后将高分辨率的 DEM 数据代入方差得到降尺度后的 TRMM 降水量^[3]。

3.2 技术路线

2009–2013 共 5 年的 TRMM 降水产品使用考虑宏观地理因子与局部海拔的 TRMM 降尺度方法制作^[3]。该方法的主要步骤（图 1）包括：（1）推算 QPP 模型参数。根据算法原理中降水和 NDVI 与海拔之间具有相似的抛物线关系的假设，从而，最大降水量应位于 NDVI 峰值处^[9-10]，因此可以基于 NDVI 峰值所在空间位置来确定最大降水海拔的位置，进而推算最大降水海拔处的降水量和降水抛物线方程的二次项系数。（2）模型参数空间外推。利用反距离权重（IDW）插值法将 0.25° 尺度参数外推至整个研究区空间，进而采用二次线性插值法参数从 0.25° 重采样到 1 km 分辨率，得到各个像元降尺度模型的最终参数。

4 数据结果与验证

4.1 数据集组成

数据集由 4 个文件夹组成。具体见表 1。

4.2 数据结果

数据结果包含了三江源及其毗邻地区 DEM 数据（图 2）和 NDVI 数据（图 3）；2009 至 2013 年三江源及其毗邻地区，7 月以及生长季累积降水空间分布如图 4-5 所示。

从图 2 可知，三江源及其毗邻地区的地形从东南向西北方向具有逐渐增高的趋势；从图 3 可知，三江源及其毗邻地区生长季 NDVI 呈现出从东南向西北方向减少的趋势。

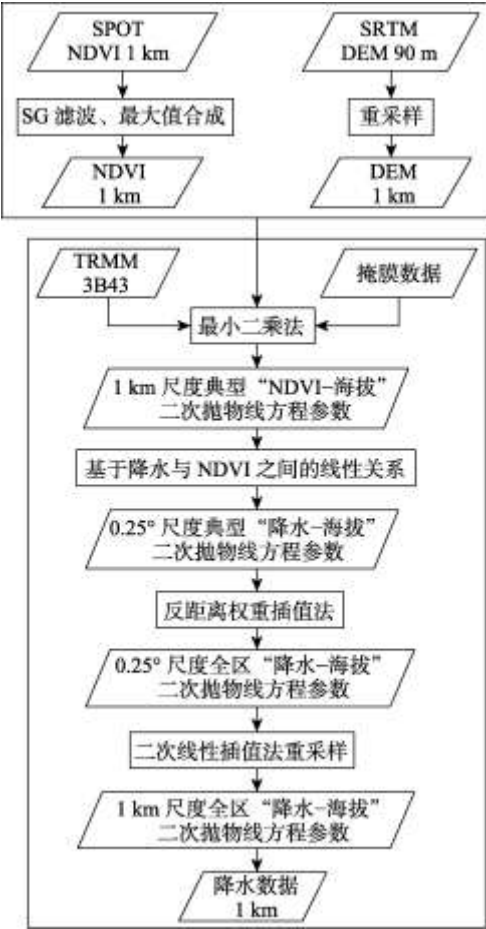


图 1 三江源及其毗邻地区公里网格降水数据集（2009–2013）研发技术路线图

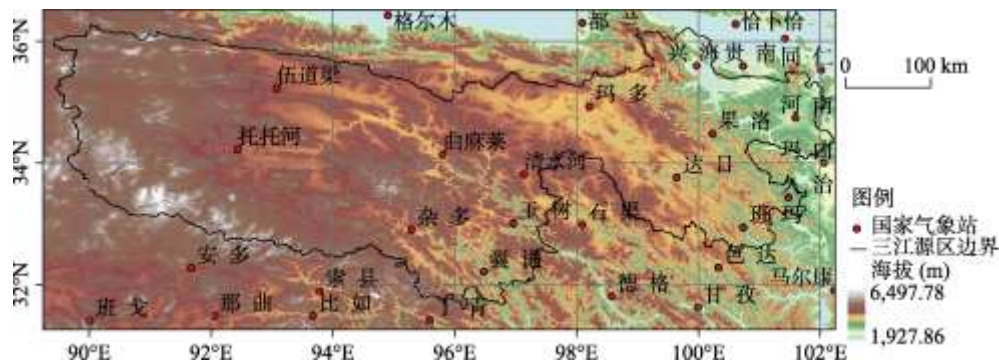


图 2 三江源及其毗邻地区 DEM 及国家气象站点空间分布图

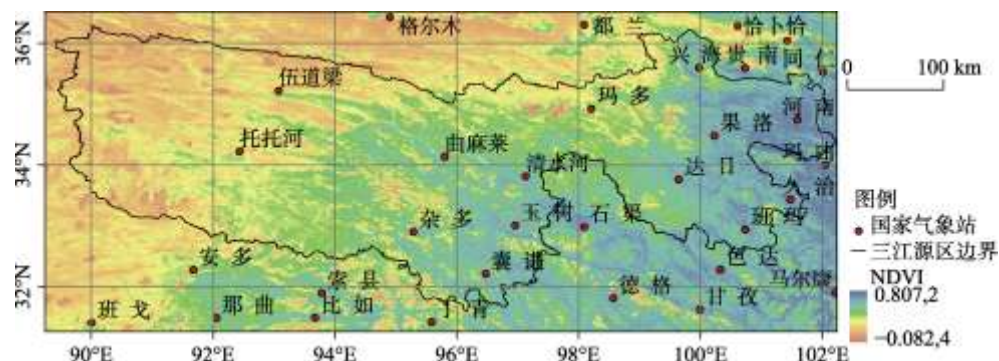


图 3 三江源及其毗邻地区 2012 年生长季 NDVI 空间分布图

从图 4 和图 5 可知，该区域 7 月和整个生长季的降水主要呈现出自东南向西北递减的趋势，与该区域的地形和水汽来源方向（东南季风）具有很好的对应关系。从局部来看，最大降水量往往出现在山坡而不是在沟谷处，与山区最大降水高度的理论相对应。

4.3 数据结果验证

TRMM 降水降尺度结果采用均方根误差和平均绝对百分误差作为精度评价指标，利用国家站地面观测数据验证 2009–2013 年生长季的逐月和累计降水量精度。表 2 表明，降尺度结果具有较高的精度，能够较好地满足该区域相关研究对降水时空分布特征的精度要求。

表 2 2009–2013 年生长季降尺度结果与国家站观测数据计算的平均 RMSE 与 MAPE 统计表^[3]

| 月份 | RMSE (mm) | MAPE (%) |
|----|-----------|----------|
| 五月 | 14 | 14 |
| 六月 | 18 | 12 |
| 七月 | 19 | 12 |
| 八月 | 13 | 12 |
| 九月 | 16 | 17 |
| 累计 | 62 | 11 |

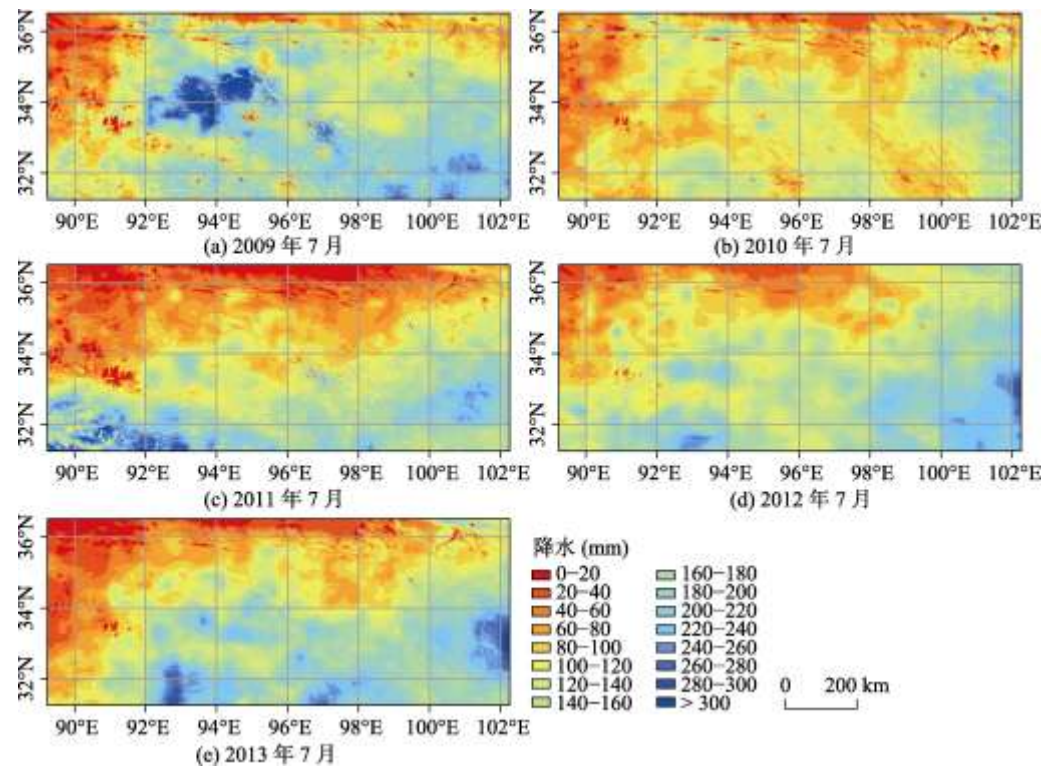


图 4 三江源及其毗邻地区 2009 至 2013 年 7 月降水空间分布图

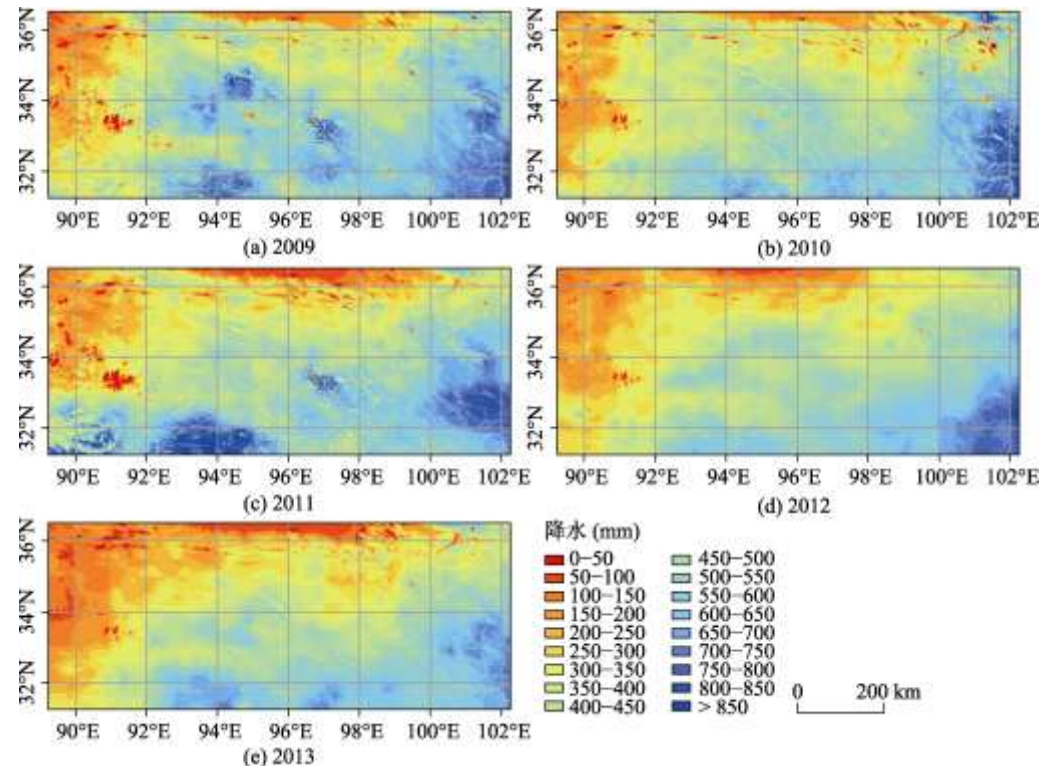


图 5 三江源及其毗邻地区 2009 至 2013 年生长季降水空间分布图

5 讨论和总结

本数据集的生成算法主要考虑了山区降水的形成机理^[8],基于最大降水高度理论和NDVI与降水的线性响应关系,在三江源及其毗邻地区对TRMM降水数据进行降尺度计算,从而提高了数据的精度,为该区域的降水时空分布特征分析提供了更为准确的数据产品。区域降水的模拟结果呈现出明显的自东南向西北递减的趋势,与该区域的地形和水汽来源方向(东南季风)具有很好的对应关系。从局部来看,最大降水量往往出现在山坡而不是沟谷处,与山区最大降水高度的理论相对应。降尺度结果的误差也在合理范围之内,可以满足区域水文研究的需求。

数据集生成算法的不足之处主要在于没有考虑该区域的地形地貌因素,固态降水问题暂时还未解决。其可能的影响包括:(1)忽略地形抬升作用对迎风坡和背风坡降水的不同影响;(2)目前该方法仅适用于生长季降水降尺度计算,没有考虑冬季固态降水,暂时无法生成全年的降水数据。此外,降尺度结果的精度受到原始产品精度的影响很大。如果降尺度前的降水数据误差很大,降尺度后生成的产品仍然不够准确。对于需要降水量绝对值精度较高的应用研究,将产生很大的不确定性。

作者分工:李宝林、蒋育昊对数据集的开发做了总体设计;刘岩、李影处理了TRMM降水估值数据;张涛、袁烨城设计了模型和算法;高锡章做了数据验证;李红、罗智勇、马强、王晓敏和次仁多吉提供了部分气象站点数据;蒋育昊、李宝林撰写了数据论文。

参考文献

- [1] 郝振纯,童凯,张磊磊等. TRMM降水资料在青藏高原的适用性分析[J]. 水文, 2011, 31(5): 18–23.
- [2] 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.
- [3] Zhang, T., Li, B. L., Yuan, Y. C., *et al.* Spatial downscaling of TRMM precipitation data considering the impacts of macro-geographical factors and local elevation in the Three-River Headwaters region [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2018, 215: 109–127.
- [4] 蒋育昊,李宝林,袁烨城等. 三江源及其毗邻地区公里网格降水数据集(2009–2013)[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2019. DOI: 10.3974/geodb.2019.05.17.V1.
- [5] Kummerow, C., Barnes, W. The tropical rainfall measuring mission (TRMM) sensor package [J]. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 1998, 15: 809–817.
- [6] Huffman, G. J., Bolvin, D. T., Nelkin, E. J., *et al.* The TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA): quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales [J]. *Journal of Hydrometeorology*, 2007, 8(1): 38–55.
- [7] 全球变化科学研究数据出版系统. 全球变化科学研究数据共享政策[OL]. DOI: 10.3974/dp.policy. 2014.05. (2017年更新)
- [8] 傅抱璞. 山地气候[M]. 北京: 科学出版社, 1983.
- [9] Groeneveld, D. P., Baugh, W. M. Correcting satellite data to detect vegetation signal for eco-hydrologic analyses [J]. *Journal of Hydrology*, 2007, 344(1/2): 135–145.
- [10] Chamaille-Jammes, S., Fritz, H., Murindagomo, F. Spatial patterns of the NDVI–rainfall relationship at the seasonal and interannual time scales in an African savanna [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2006, 27(23): 5185–5200.