

文章编号:1672-3031(2020)01-0040-08

基于卫星降雨的辽宁省气象干旱实时监测研究

张学君^{1,2}, 马苗苗^{1,2}, 苏志诚^{1,2}, 吕娟^{1,2}, 邢子康³

(1. 中国水利水电科学研究院 防洪抗旱减灾研究所, 北京 100038;

2. 水利部防洪抗旱减灾工程技术研究中心, 北京 100038; 3. 河海大学 水文水资源学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 卫星实时降雨产品的出现为开展大范围干旱监测提供了可能。然而, 卫星遥感降雨通常存在误差大、数据序列短等问题, 限制了卫星降雨自身在干旱监测诊断方面的应用。本文通过误差校正, 将TMPA-RT卫星降雨数据无缝“拼接”具有长期历史序列(1961—2016年)的地面观测产品(CN05.1), 以弥补卫星遥感数据序列短的不足。借助上述“拼接”的实时降雨序列, 通过估算不同时间尺度下的标准化降雨指数(SPI)来实现干旱的实时监测诊断。以干旱频发的辽宁省为研究区, 对比评估了校正前后TMPA-RT产品在干旱识别方面的表现。结果表明, 在辽宁省近半数地区, TMPA-RT原始数据与CN05.1地面观测两者存在明显的降雨误差(>10 mm/月); 经过误差校正, TMPA-RT数据能够重现同期地面观测的降雨量及年际变化。基于3个典型干旱月的评估结果表明, 基于TMPA-RT校正数据与CN05.1“拼接”得到的序列能够重现观测的干/湿空间分布, 准确监测辽西地区的干旱状况; 而原始的TMPA-RT数据难以提供准确可靠的干旱信息。将上述框架实际应用于2011—2016年干旱监测, 评估发现该框架不仅能合理地重现辽宁省干旱情况, 还能提供不同等级干旱的面积分布信息。

关键词: 降雨; 卫星遥感; 地面观测; 误差校正; 气象干旱; 实时监测

中图分类号: P332.1

文献标识码: A

doi: 10.13244/j.cnki.jiwhr.2020.01.005

1 研究背景

干旱是指某一时段内的降水量明显少于多年平均量而引发一系列水循环要素的水分相对短缺, 大体可分为气象干旱(与正常年份同期相比降水量明显减少)、水文干旱(由于降水量长期不足导致地表、地下水较多年平均短缺现象)、农业干旱(土壤含水量不足导致作物生长需水量得不到满足的现象)及社会经济干旱(供水不足导致供需矛盾突出的现象)^[1]。由此可见, 上述4类干旱均与降雨量持续亏缺有关。在已有的干旱诊断指标中, 标准化降雨指数(SPI)常用于度量当前降雨量较历史同期的偏离特征, 定量表征不同时间尺度下(1个月、3个月、6个月及12个月)的降雨亏缺程度^[2]。在中国, 国家气象局(CMA)提供了全国756个地面站点的历史降雨观测序列, 用于支持过去近半个世纪的干旱特征及时空变化分析^[3-7]。然而, 上述地面降雨观测产品通常需要花费数月进行数据质量控制, 难以实时发布, 不适用于干旱实时监测。卫星遥感技术的出现为开展大范围实时监测提供了数据支撑。当前, 以TMPA^[8]、PERSIANN^[9]、GPM^[10]等为代表的遥感降水产品已广泛用于全球水文模拟研究, 并取得较为不错的效果^[11]。然而, 基于卫星遥感的实时降雨产品通常存在以下问题: (1)由于缺少地面质量控制而存在大量的误差; (2)观测序列相对较短(通常不足20年), 难以提供干旱识别/诊断所需历史长期气候态。以上两方面的问题限制了卫星降雨产品在干旱实时监测诊断方面的应用^[12-13]。

大量研究尝试将卫星实时降水产品与具有长序列的历史地面观测产品进行“拼接”, 以解决卫星降水产品误差大、序列短的问题, 同时弥补地面观测在实时更新方面的不足。例如, 文献[12]通过将卫星实时降雨无缝接入历史长期观测序列, 生成了一套空间分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 的全球干旱实时监测数据集; 以同期地面观测为基准, 文献[14-15]分别修正了TMPA实时降雨产品, 进一步利用校正的TMPA实时降雨发展了全球及区域尺度的干旱实时信息系统; 文献[16]利用贝叶斯方法消除卫星降

收稿日期: 2019-06-03

基金项目: 中国水科院基本科研业务费项目(JZ0145B582017); 国家自然科学基金项目(51609257)

作者简介: 张学君(1987-), 博士, 高级工程师, 主要从事干旱监测预报研究。E-mail: zhangxj@iwhr.com

雨与地面观测之间的一致性，发展了一套具有较长时间序列的实时降水产品，用于东非气候分析研究。与之类似，国内部分研究尝试融合基于地面自动气象站的实时观测与卫星降雨产品，生成全国 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 的高分辨率实时降雨分析数据集^[17-18]。然而，上述研究主要集中在自动气象站数据易获取的暖季月份(5—9月)。更为重要的，国内研究多集中在如何制作高精度的实时降雨分析产品，对借助卫星降雨进行干旱实时监测的关注仍相对较少^[19]。

为此，本研究拟借助卫星实时降雨产品和具有长历史序列的高质量地面气象观测产品，获取历史长期一致的实时降雨序列，进而通过 *SPI* 实时估算实现对干旱的实时监测。文章选取干旱易发区辽宁省作为研究区。据统计，辽宁西部和南部地区在过去近 20 年间平均每 1.5 年发生一次干旱，平均每 10 年发生一次大旱；干旱造成的粮食损失累计达 4003 万 t、经济损失 230 亿元，因旱饮水困难人口累计接近 450 万^[20]。在此背景下，开展此研究将有助于实时追踪辽宁省干旱的发生、发展及消退过程，为及时应对防范干旱灾害、缓解旱灾对辽宁省的影响提供科学的决策支持。

2 数据与方法

本文拟选取基于 TRMM 卫星的最新 TMPA-RT 准降雨产品 3B42RTv7(9 h 的延迟性)作为实时降雨数据源^[13]。该产品覆盖了全球 $50^\circ\text{N}—50^\circ\text{S}$ 的全部地区，空间分辨率为 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ ，时间分辨率为 3 h，支持使用者免费下载自 2000 年 3 月至当前的实时降雨数据。当前，TMPA-RT 已广泛应用于全球不同尺度的干旱/洪水等极端水文事件的监测、诊断研究^[16]。文章进一步选取中国气象局气候研究开放实验室开发的一套过去近 60 年(1961—2016)，空间分辨率为 0.25° 的高质量历史逐日降雨数据产品(CN05.1；后文简称为观测)，用于构建干旱诊断/评估所需的历史气候态。该产品是基于全国 2400 多个地面气象台站的观测资料，通过插值、质量控制等处理，得到的格点化数据集^[21]。由于考虑更多的地面观测信息，CN05.1 产品的质量远远优于先前基于 700 多个气象站开发的网格化降雨产品^[22-24]。

引入基于统计校正的等百分位转换法^[25](CDF-to-CDF)，将 TMPA-RT 卫星数据无缝接入 CN05.1 观测序列。该方法旨在调整卫星实时降雨的分布，使其与同时段的观测降雨分布相吻合，其大体步骤如下：(1)在同一时段分别拟合得到卫星日降雨累积分布(*FS*)和观测日降雨的累积分布(*FO*)；(2)基于卫星降雨分布(*FS*)，确定实时降雨在分布曲线上的位置，用百分位数(*Prob*)表示；(3)基于观测降雨分布(*FO*)，估算得到上述百分位数对应的观测降雨，进而替换掉原有的卫星实时降雨。这样，消除掉卫星实时产品与历史观测间的不一致性，进而实现两者的无缝“拼接”。

基于 TMPA-RT 与 CN05.1 两者近 16 年的重合期(2000 年 3 月—2016 年 12 月)，本研究选取前 10 年(2000 年 3 月—2010 年 12 月；后文称之为“训练期”)数据，构建两者在每个月(1 月—12 月)的日降雨量间的统计矫正关系。利用上述统计关系，矫正逐年第 *i* 月($i = 1, 2, \dots, 12$)第 *j* 天的卫星日降雨量($SP_{i,j}$)的具体步骤如下：

(1)基于 TMPA-RT 卫星实时降雨产品和 CN05.1 观测产品在“训练期”的同期数据，利用 Gamma 分布分别拟合出 TMPA-RT($SCDF_i$)和 CN05.1($OCDF_i$)在第 *i* 月的日降雨累积频率分布。

(2)利用式(1)确定卫星日降雨 $SP_{i,j}$ 在累积频率分布($SCDF_i$)中的位置：

$$Prob_{i,j} = SCDF_i(SP_{i,j}) \quad (1)$$

(3)利用式(2)将卫星日降雨 $SP_{i,j}$ 的值替换为 $SP'_{i,j}$ ，实现对卫星实时降雨的矫正：

$$SP'_{i,j} = OCDF_i(Prob_{i,j}) \quad (2)$$

利用以上步骤，对每个 0.25° 网格的 TMPA-RT 卫星降雨序列进行了矫正，消除了 TMPA-RT 与 CN05.1 观测产品间的不一致性，将两者进行了无缝“拼接”，形成了一套具有较长历史序列且能够自动实时更新的降雨数据产品。基于上述“拼接”产品，我们通过自动估算不同时间尺度下的 *SPI* 值，实现对干旱的实时监测。

以易旱的辽宁省作为研究区(图 1)，选取 TMPA-RT 与 CN05.1 重合期内后 5 年(2011—2016 年；

独立于“训练期”)的典型干旱月,文章分别利用纳西效率系数(E_f)和相对误差(E_r ; %)等指标对上述干旱监测的范围、强度和面积进行定量评估、验证^[24]。其中,参考美国干旱研究中心的干旱等级标准^[26],干旱面积是通过统计区域内 $SPI < -0.8$ 的网格面积计算得到的。

3 结果分析

图2展示了基于TMPA-RT卫星实时降水产品与CN05.1观测产品估算的辽宁省多年平均月降雨量的空间分布。基于观测数据的结果显示,辽宁省多数地区的月降雨量均超过50 mm,其中东部地区较为丰富,月降雨达到70~80 mm。与观测数据相比,TMPA-RT产品具有与之相似的空间分布,即东部地区较为丰富,中西部地区降雨量相对较少;然而,在大部分地区TMPA-RT存在明显的降雨量误差,呈现出东南部高估、西北部低估的空间分布。具体地,在全省近半数(约46%)地区,两者间月降雨误差超过10 mm;其中,误差超过20 mm的地区在全省的面积占比达到1/5,并主要集中在东南部、西北部等海拔相对较高的地区。上述对比结果表明,卫星实时降雨与观测降雨间存在着系统性误差,难以直接用于干旱实时监测。

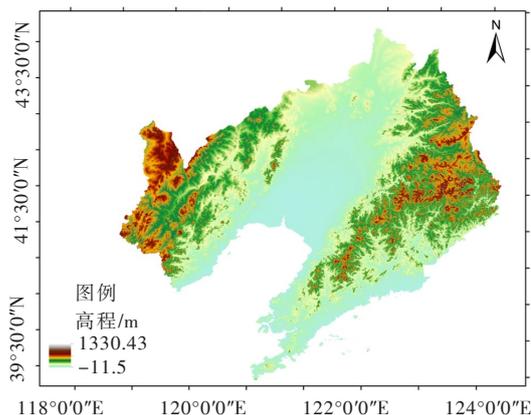


图1 辽宁省DEM地形图

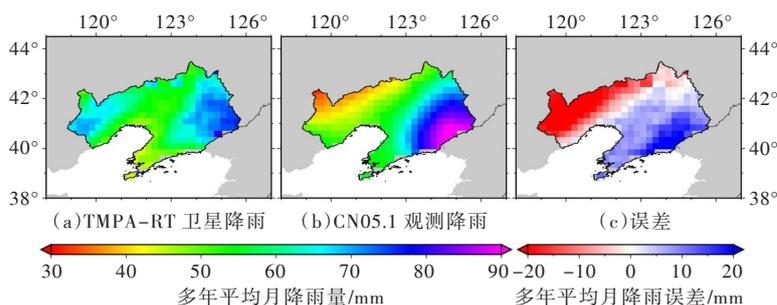
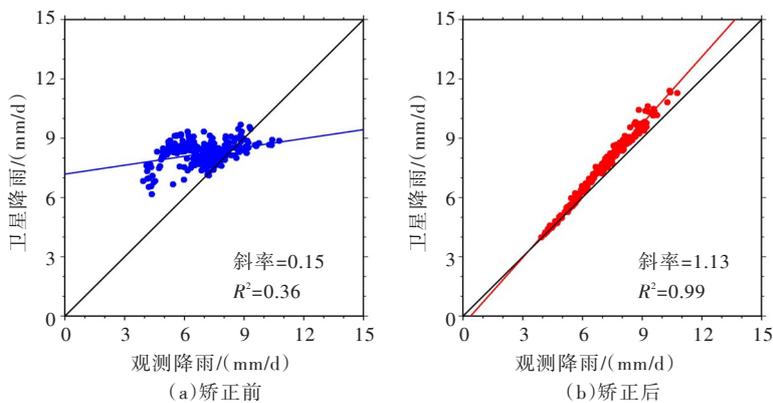


图2 辽宁省2001—2016年多年平均月降雨量空间分布

图3展示了矫正前后TMPA-RT卫星降雨与CN05.1观测值在所有网格点的对比结果。由图3(a)可知,近90%以上的格点分布在对角线($y=x$)之上,线性拟合斜率仅为0.15。这表明,与同期地面观测相比,TMPA-RT产品在全省几乎所有地区均呈现明显的日降雨量高估。相对而言,图3(b)中所有点的分布更加紧凑且均集中在对角线附近,卫星-观测两者的线性拟合斜率维持在1左右且相关系数接近1,表明TMPA-RT矫正结果能够较好地重现地面观测。以上对比研究表明,TMPA-RT原始数据产



注:图中散点表示研究区每个0.25°格点的多年平均日降雨量

图3 矫正前后TMPA-RT卫星降水与CN05.1观测降水对比图

品与地面观测直接存在明显的非一致性；而基于等百分位转换的偏差矫正能有效去除上述非一致性，实现两者的无缝“拼接”。

图4分别选取位于辽宁省东部与西部的两个典型网格，对比了TMPA-RT原始数据、矫正数据与观测数据多年月降雨序列(图4(a)(c))。结果显示，TMPA-RT原始产品与观测数据在上述两个网格均存在明显的月降雨误差，误差绝对值接近甚至超出30%；而矫正产品的误差基本维持在0左右。为探究上述误差对干旱识别的影响，进一步对比评估基于上述3个降雨数据序列的SPI-12估算值(图4(b)(d))。与预期结果相同，基于TMPA-RT原始数据“拼接”观测数据估算的SPI显著偏离参考观测值(基于观测序列估算而得)且纳西效率系数(E_f)均低于0，表明TMPA-RT与观测产品间的非一致性(系统性误差)很大程度上影响干旱指标(SPI)的估算，影响干旱识别的准确性。相比而言，将TMPA-RT矫正数据与观测数据“拼接”得到的SPI序列总体上能合理地重现参考观测序列($E_f \geq 0.65$)，用于提供准确可靠的干旱监测诊断信息。

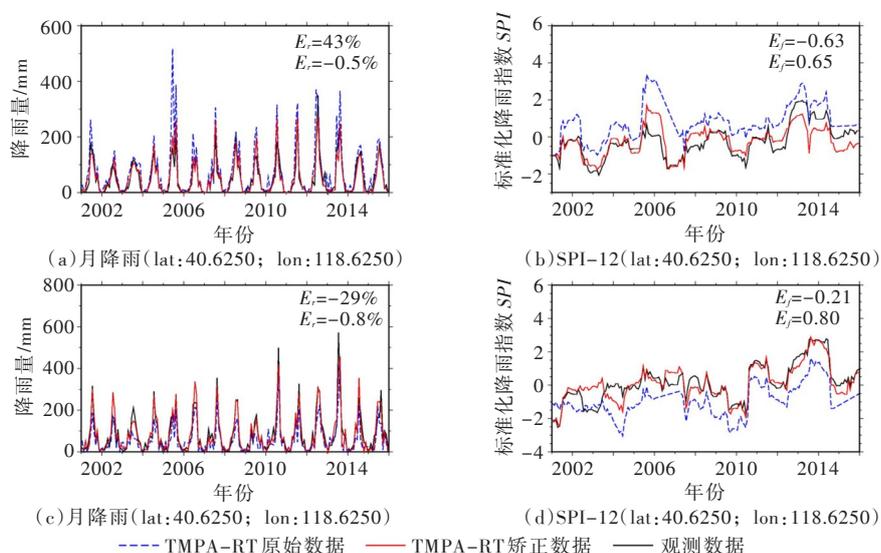


图4 典型网格内多年月降雨及对应SPI-12估算值的对比

图5展示了基于CN05.1观测数据、CN05.1与TMPA-RT原始数据“拼接”(CN05.1+TMPA-RT)及与TMPA-RT矫正数据“拼接”(CN05.1+TMPA-RT矫正)估算的辽宁省SPI-6的空间分布。由图可见，在所有3个典型月份中，CN05.1+TMPA-RT矫正总体上能够重现观测估算的SPI分布，而CN05.1+TMPA-RT在某些地区(如辽西地区)难以准确识别出干旱事件。其中2013年5月与2015年11月的对比结果均较为典型。在2013年5月，CN05.1+TMPA-RT的估算结果显示全省不存在干旱现象，反之均处于较为湿润状态($SPI > 0.5$)，而基于CN05.1+TMPA-RT矫正数据准确监测到辽西地区当月存在明显的干旱现象。与之类似，CN05.1+TMPA-RT矫正在2015年11月的SPI-6监测结果与观测基本吻合，即辽西、辽西北地区处于受旱状态，而东部地区相对湿润；而基于原始TMPA-RT数据的干旱监测结果存在明显的偏差。从干旱面积统计($SPI < -0.8$)来看，CN05.1+TMPA-RT矫正数据在2011年10月，2013年5月和2015年11月监测的干旱面积占比依次为26%、23%和31%，与观测估算值(22%、19%和33%)基本吻合。

进一步以参考观测为基准，对比评估了基于CN05.1+TMPA-RT与CN05.1+TMPA-RT矫正的SPI-12估算分布(图6)。结果显示，对于所选的3个典型干旱月，基于CN05.1的长序列降雨观测估算结果显示，辽西地区均出现了降水异常短缺的干旱现象。与上述参考观测相比，CN05.1+TMPA-RT的“拼接”数据的监测结果不仅难以监测到辽西地区的干旱现象，相反还会提供其他地区存在干旱的“虚假”信息，影响决策判断；而基于CN05.1+TMPA-RT矫正数据“拼接”序列不仅能准确地监测识别出辽西地区的干旱范围及强度，还能提供与参考观测基本吻合的干/湿空间分布。上述基于6个月和12个月尺度SPI(SPI-6和SPI-12)的对比评估均表明，“拼接”矫正的TMPA-RT卫星实时降雨与

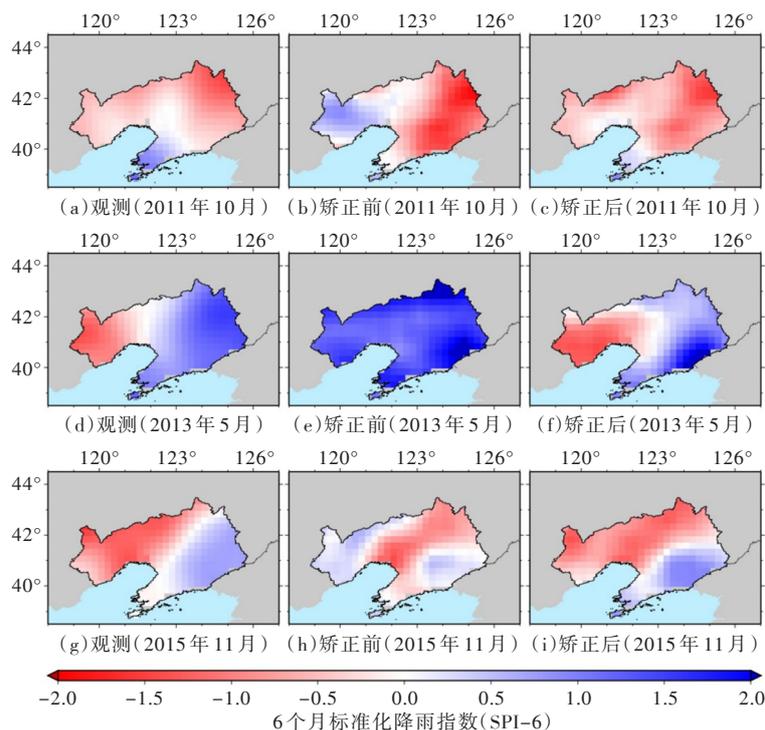


图5 基于观测降雨、矫正前与矫正后TMPA-RT卫星降雨在典型干旱月估算的SPI-6分布

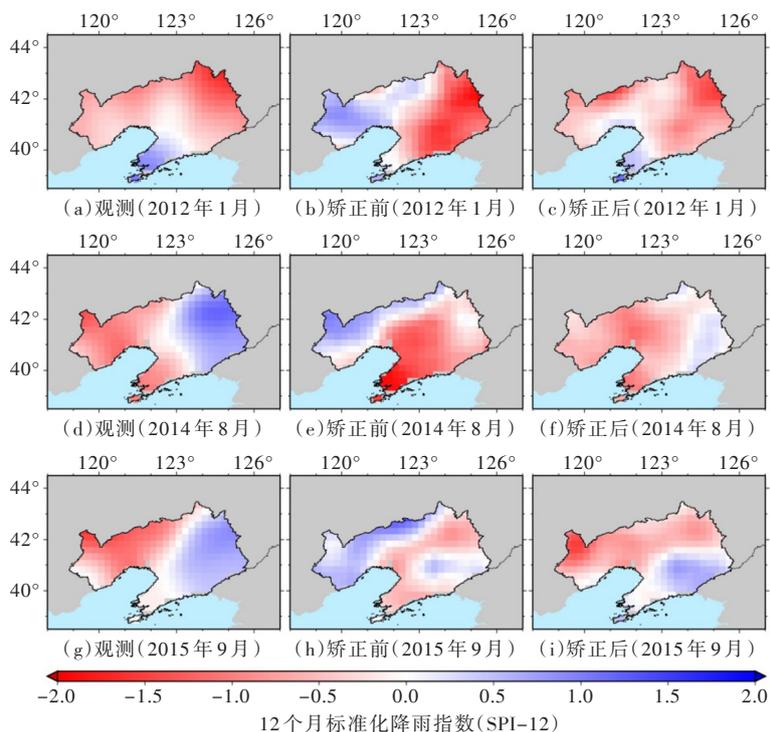
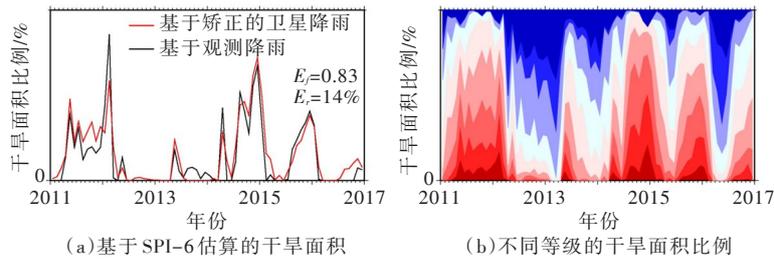


图6 基于观测降雨、矫正前与矫正后TMPA-RT卫星降雨在典型干旱月估算的SPI-12分布

CN05.1 历史观测降雨能够用于准确可靠的干旱实时监测诊断。

图7(a)评估了基于矫正的TMPA-RT卫星实时降雨数据在2011—2016年逐月监测的干旱面积比例(即 $SPI < -0.8$ 的网格面积占全省总面积的比例)。由图可知,基于矫正的卫星降雨数据所识别的干旱面积与对应观测序列的纳西效率系数均超过0.6,表明经过误差矫正,基于TMPA-RT卫星降雨的干旱监测能够合理地反映实际的干旱面积情况。具体的监测结果表明,辽宁省在2011—2012年、2014—2015年及2016年初均出现大面积($>40%$)的冬春连旱,尤其在2012年春季及2014年后半年的



注：图中的SPI等级颜色参考图5或图6。

图7 2011—2016年辽宁省逐月干旱面积($SPI < -0.8$)及不同等级的面积占比(%)

干旱面积超过60%。图7(b)进一步展示了基于矫正的TMPA-RT卫星监测的不同强度干旱的面积比例。基于SPI的干旱等级阈值判定标准，SPI在-1.5与-2之间为重旱、低于-2为特旱级别^[27]。参照上述标准，在2011/12年干旱事件中，重旱面积一度接近20%，特旱面积比例在5%左右，时间主要集中在2011年秋至2012年春；与之相比，2014/15年的干旱虽然持续时间不如上述2011/12年事件，但强度和范围却更大，即遭受重旱的地区面积接近40%，而特旱区域面积接近10%。以上结果表明，基于矫正的卫星遥感降雨的实时监测不仅能准确识别干旱范围及面积，还能提供不同等级干旱的分布等更为详细的信息，对实现干旱的精准化防范与管理提供科学决策支撑。

4 结论

以易旱的辽宁省为研究区，借助TMPA-RT卫星实时降雨数据产品和高质量长序列的地面气象观测数据CN05.1，并以CN05.1观测数据为基准，利用等百分位数映射的方法矫正TMPA-RT，消除两类产品间的不一致，实现两者的无缝“拼接”，获取一套时段为过去近50年、序列一致且能实时自动更新的降雨数据产品；以上述“拼接”的降雨序列为基础，实时估算不同时间尺度下的SPI值，实现对干旱等极端水文事件的实时监测。以TMPA-RT与CN05.1的数据重合时段，对比评估了矫正前后卫星产品在降雨、干旱监测方面的效果。

结果表明，与CN05.1观测数据相比，TMPA-RT卫星数据在辽宁省近半数的地区存在较大(>10 mm/月)的降雨误差，且呈现东南部高估、西北部低估的空间分布，表明TMPA-RT与地面观测数据两者序列不一致。基于典型网格点估算SPI值表明，TMPA-RT与CN05.1间的序列不一致很大程度上影响SPI等干旱指标的估算，进而难以提供准确可靠的干旱诊断信息。经过误差矫正，TMPA-RT多年日降雨量与同期地面观测值基本吻合，两者的相关系数接近1。在选取的两个典型网格内，利用CN05.1与TMPA-RT矫正数据的“拼接”序列估算的SPI序列的纳西效率系数超过0.65，表明矫正的卫星降雨总体上能够重现基于地面观测的干旱诊断信息。进一步选取3个干旱典型月，分别评估矫正前后TMPA-RT数据在重现干旱范围的表现。结果表明，CN05.1与TMPA-RT矫正数据的“拼接”序列能够重现基于观测的干/湿空间分布，尤其是准确监测到辽西地区的不同程度干旱及范围；相反，利用TMPA-RT原始数据的监测结果难以提供合理地干旱范围及强度分布，特别是难以识别诊断出实际的干旱状况。利用CN05.1与TMPA-RT矫正数据的“拼接”序列进行了2011—2016年的干旱监测诊断，结果显示辽宁省在2011—2012年、2014—2015年及2016年初均出现大面积干旱，与实际情况基本相符；此外，参照基于SPI的干旱等级判定标准，监测结果还能提供不同等级干旱的面积分布状况，为实现精准化的干旱防范与管理提供科学指导。

需要指出的是，目前GPM降雨产品^[10]已开始用于替代TRMM数据产品。然而，GPM数据只能提供2014年3月份以后的实时降雨序列，使得卫星产品与历史地面观测产品的重合期不足5年，进而影响两者的融合效果。随着GPM产品序列的不断增长，未来可尝试选用GPM产品作为卫星实时降雨的数据源。

参 考 文 献:

- [1] DAI A G . Drought under global warming: A review[J] . Wiley Interdiscip . Rev . : Climate Change, 2011(2): 45-65 .
- [2] BELOW R, GROVER-KOPEC E, DILLEY M . Documenting drought-related disasters: A global reassessment [J] . J . Environ . Dev . , 2007(16): 328-344 .
- [3] MISHRA A K, SINGH V P . A review of drought concepts[J] . J . Hydrol . , 2010, 391: 202-216 .
- [4] 屈艳萍, 吕娟, 苏志诚, 等 . 抗旱减灾研究综述及展望[J] . 水利学报, 2018, 49(1): 115-215 .
- [5] 屈艳萍, 吕娟, 程晓陶, 等 . 干旱相关概念辨析[J] . 中国水利水电科学研究院学报, 2016, 14(4): 241-247 .
- [6] ZHANG X J, TANG Q H, LIU X C, et al . Soil moisture drought monitoring and forecasting using satellite and climate model data over southwestern China[J] . J . Hydrometeorol . , 2017(18): 5-23 .
- [7] MCKEE T, DOESKEN N, KLEIST J . The relationship of drought frequency and duration to time scale[A]//Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology . American Meteorological Society: Boston, MA, USA, 1993 . 179-184 .
- [8] ZHAI J, SU B, KRYSANOVA V, et al . Spatial variation and trends in PDSI and SPI indices and their relation to streamflow in 10 large regions of China[J] . J . Clim . , 2010(23): 649-663 .
- [9] XU K, YANG D W, YANG H B, et al . Spatio-temporal variation of drought in China during 1961-2012: A climatic perspective[J] . J . Hydrol . , 2015(526): 253-264 .
- [10] 王亚许, 孙洪泉, 吕娟, 等 . 典型气象干旱指标在东北地区的适用性分析[J] . 中国水利水电科学研究院学报, 2016, 14(6): 425-430 .
- [11] 豆晓军, 吕娟, 孙洪泉, 等 . 基于标准化降水指数的 1959—2014 年中国季节干旱时空特征分析[J] . 中国水利水电科学研究院学报, 2018, 16(2): 149-155 .
- [12] 方国华, 涂玉虹, 闻昕, 等 . 1961—2015 年淮河流域气象干旱发展过程和演变特征研究[J] . 水利学报, 2019, 50(5): 598-611 .
- [13] 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] . J . Hydrometeorol . , 2007 (8): 38-55 .
- [14] SOROOSHIAN S, HSU K L, GAO X, et al . Evaluation of PERSIANN system satellite-based estimates of tropical rainfall[J] . Bull . Am . Meteorol . Soc . , 2000(81): 2035-2046 .
- [15] HOU A Y, KAKAR R K, NEECK S, et al . The global precipitation measurement mission[J] . Bull . Am . Meteorol . Soc . , 2014(95): 701-722 .
- [16] YONG B, HONG Y, REN L L, et al . Assessment of evolving TRMM-based multisatellite real-time precipitation estimation methods and their impacts on hydrologic prediction in a high latitude basin[J] . J . Geophys . Res . , 2012(117): D09108 .
- [17] AGHAKOUCHAK A, NAKHJIRI N . A near real-time satellite-based global drought climate data record[J] . Environ . Res . Lett . , 2012(7): 044037 .
- [18] ZHANG X, TANG Q . Combining satellite precipitation and long-term ground observations for hydrological monitoring in China[J] . J . Geophys . Res . Atmos . , 2015(120): 6426-6443 .
- [19] NIJSSEN B, SHUKLA S, LIN C, et al . A prototype global drought information system based on multiple land surface models[J] . J . Hydrometeorol . , 2014(15): 1661-1676 .
- [20] SHEFFIELD J, WOOD E F, CHANEY N, et al . A drought monitoring and forecasting system for sub-Saharan African water resources and food security[J] . Bull . Am . Meteorol . Soc . , 2014(95): 861-882 .
- [21] KIMANI M W, HOEDJES J C B, SU Z . Bayesian bias correction of satellite rainfall estimates for climate studies [J] . Remote Sens . , 2018(10): 1074 .
- [22] XIE P, XIONG A Y . A conceptual model for constructing high-resolution gauge-satellite merged precipitation analyses[J] . J . Geophys . Res . , 2011(116): D21106 .

- [23] SHEN Y, ZHAO P, PAN Y, et al . A high spatiotemporal gauge–satellite merged precipitation analysis over China[J] . J . Geophys . Res. Atmos . , 2014(119): 3063–3075 .
- [24] ZHANG X J, SU Z C, LV J, et al . A set of satellite–based near real–time meteorological drought monitoring data over China[J] . Remote Sens . , 2019(11): 453 .
- [25] 屈艳萍, 吕娟, 苏志诚, 等 . 基于干旱事件过程的农业旱灾风险评估研究[J] . 中国水利水电科学研究院学报, 2017, 15(5): 329–337 .
- [26] 吴佳, 高学杰 . 一套格点化的中国区域逐日观测资料及与其它资料的对比[J] . 地球物理学报, 2013, 56(4): 1102–1111 .
- [27] XIE P, CHEN M, YANG S, et al . A gauge–based analysis of daily precipitation over East Asia[J] . J . Hydrometeorol . , 2007(8): 607–626 .
- [28] YATAGAI A, ARAKAWA O, KAMIGUCHI K, et al . A 44–year daily gridded precipitation dataset for Asia based on a dense network of rain gauges[J] . Sola, 2009(5): 137–140 .
- [29] ZHANG X, TANG Q, PAN M, et al . A long–term land surface hydrologic fluxes and states dataset for China[J] . J . Hydrometeorol . , 2014(15): 2067–2084 .
- [30] WOOD A W, LETTENMAIER D P . A test bed for new seasonal hydrologic forecasting approaches in the western United States[J] . Bull . Am . Meteorol . Soc . , 2006(87): 1699–1712 .
- [31] SVOBODA M, LECOMTE D, HAYES M, et al . The drought monitor[J] . Bull . Am . Meteorol . Soc . , 2002(83): 1181–1190 .
- [32] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会 . 气象干旱等级: GB/T 20481–2017[S] . 北京: 中国标准出版社, 2017 .

Satellite–based real–time meteorological drought monitoring in Liaoning Province

ZHANG Xuejun^{1, 2}, MA Miaomiao^{1, 2}, SU Zhicheng^{1, 2}, LÜ Juan^{1, 2}, XING Zikang³

(1. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China;

2. Center of Flood and Drought Disaster Reduction of Ministry of Water Resources, Beijing 100038, China;

3. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Satellite remote sensing makes it possible to conduct the large–scale drought monitoring. However, satellite–based precipitation product always suffers from considerable retrieve errors and short data length, hampering its effective application in drought diagnosis and detection. To solve this issue, this paper attempts to correct the TRMM satellite precipitation (TMPA–RT) relative to the multi–decadal ground observations (CN05.1) through a quantile–mapping (QM) bias correction approach, and thus derives a set of real–time precipitation data conjunction with a long–term consistent climatology. Using the satellite–gauge integrated real–time data record, this paper enables an operational drought monitoring through the real–time estimation of standardized precipitation index (SPI) in the drought–prone Liaoning Province, and its performance in drought diagnosis is assessed against with that implied from the observation data in the same period. Results show that an obvious precipitation bias (10mm/month) is found in the raw (uncorrected) TMPA–RT data across a large portion of Liaoning region. With the QM bias correction, the TMPA–RT data is found to well reproduce the observations, in terms of daily precipitation intensity and the interannual variability of monthly precipitation. Further evaluation analyses in three typical drought months show that the integrated satellite–gauge data product, after bias correction, can successfully reproduce the observational SPI patterns and thus provides accurate drought monitoring information in the western Liaoning. The real–time drought monitoring application during 2011–2016 shows that this approach is not only able to reasonably capture the drought conditions, but also can provide detailed area information affected by varying drought intensity. This study provides an additional framework for the existing drought monitoring approaches, which will greatly benefit the regional drought management and risk mitigation.

Keywords: Precipitation; remote sensing; ground observation; bias correction; meteorological drought; real–time monitoring

(责任编辑: 王学风)