

doi: 10.6046/gtzyyg.2020166

引用格式: 晏红波, 韦晚秋, 卢献健, 等. 基于 TRMM 数据与 SPI 指数的广西地区旱涝演变分析[J]. 国土资源遥感, 2021, 33(1): 158-166. (Yan H B, Wei W Q, Lu X J, et al. A study of drought and flood evolution in Guangxi based on TRMM data and SPI drought index[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2021, 33(1): 158-166.)

# 基于 TRMM 数据与 SPI 指数的广西地区旱涝演变分析

晏红波<sup>1,2</sup>, 韦晚秋<sup>1</sup>, 卢献健<sup>1,2</sup>, 黄俞惠<sup>1</sup>

(1. 桂林理工大学测绘地理信息学院, 桂林 541004; 2. 广西空间信息与测绘重点实验室, 桂林 541004)

**摘要:** 干旱是一种影响大、受灾重且恢复周期长的自然灾害, 广西是农业大省, 对广西地区进行干旱情况分析 & 预测对该地防灾减灾具有重要意义。通过对广西地区 1998—2019 年的降雨情况进行分析, 并引入标准化降水指数 (standardized precipitation index, SPI), 验证了热带降雨测量卫星 (tropical rainfall measuring mission, TRMM) 数据在广西地区的适用性, 研究了广西地区 22 a 间旱涝演变情况, 并对未来广西地区旱涝变化趋势做出预测。结果表明: ① TRMM 3B43 降雨数据与地面台站实测数据具有高度相关性, 适用于广西地区的干旱监测; ② 广西地区旱涝灾害频繁, 平均每 6 a 就会有范围较大的洪涝事件发生; 每 2~3 a 就会有范围较大的严重的干旱事件发生; ③ 广西地区夏季降雨量最大, 冬季最小, 且降雨总体呈现“东多西少”的格局; ④ 根据结果可以预测, 2020 年广西地区整体没有较大的干旱和洪涝事件发生, 部分城市将会出现轻度洪涝和轻度干旱的情况。

**关键词:** TRMM 数据; SPI; 干旱分析; 广西

**中图分类号:** TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-070X(2021)01-0158-09

## 0 引言

干旱是一种随时间推移悄然发生、日益加剧的自然灾害。我国因地理环境原因, 干旱事件频繁发生。干旱的影响大、范围广、持续时间长、受灾后果重且恢复周期长<sup>[1]</sup>, 随着全球气候变暖, 近年来南方地区干旱现象显著突出<sup>[2]</sup>。广西位于我国南部, 是典型的岩溶喀斯特地貌, 土层浅薄持水能力差, 土壤水分易流失从而导致干旱, 且广西又是农业大省, 主要种植的农作物为水稻、甘蔗、柑橘等, 旱灾的发生会影响农作物的生长发育, 对民生经济造成巨大影响, 干旱问题长期困扰着该地区, 因此对广西地区的干旱研究对该地区防灾减灾具有重要的现实意义<sup>[3-5]</sup>。

国内外使用热带降雨测量卫星 (tropical rainfall measuring mission, TRMM) 数据在降水分析、干旱分析和区域降水资料验证等方面做了诸多相关研究。国内如李景刚等<sup>[6]</sup>利用 TRMM 3B43 降水数据产品, 验证了 TRMM 降水数据较地面气象站点观测具有较好的时空连续性, 在全国性及区域性宏观气象干旱监测中具有较好的应用前景; 李燕等<sup>[7]</sup>基于

TRMM 数据对广西西江流域降水进行了时空分布特征研究, 验证了 TRMM 3B43 降水数据与气象站点实测降水数据具有较好的一致性, 可以代表研究区实际降水情况; 陈诚等<sup>[8]</sup>将 0.25° 空间分辨率的 TRMM 3B43 数据降尺度处理成 0.05° 空间分辨率数据, 对黄淮海地区 2010—2011 年的干旱时空演化特征进行监测与分析, 并计算同期的标准化降水指数对监测结果进行验证, 证明降尺度 TRMM 数据具有较高可靠性; 熊俊楠等<sup>[9]</sup>对青藏高原地区的 TRMM 降水产品进行降尺度计算并与地面点实测数据对比, 降尺度后的数据精度提高, 并表现出较好的一致性和适用性。国外如 Gupta 等<sup>[10]</sup>利用 TRMM/TMI 数据确定土壤水分干湿条件, 得出 TRMM 卫星数据存在干旱监测的潜力; Naumann 等<sup>[11]</sup>指出 TRMM 数据进行干旱监测存在一定的不确定性, 因 TRMM 卫星降水数据集相对其他格网降水数据集的空间分辨率高, 干旱监测更为可靠。在进行干旱方面研究时, 干旱指标标准化降水指数 (standardized precipitation index, SPI) 也被广泛使用。白永清等<sup>[12]</sup>基于多尺度 SPI 对中国南方大旱进行了监测; 黄晚华等<sup>[12]</sup>利用 SPI 分析了中国南方季节性干旱近 58 a

收稿日期: 2020-06-11; 修订日期: 2020-09-03

基金项目: 广西空间信息与测绘重点实验室主任基金项目“喀斯特地表土壤水分定量遥感反演中的关键问题研究”(编号: 15-140-07-17)和“西南喀斯特地区地表关键要素定量遥感反演方法研究”(编号: 16-380-25-03)共同资助。

第一作者: 晏红波 (1983-) 女, 博士, 副教授, 主要从事遥感数据处理及其应用方面的研究。Email: 56403075@qq.com。

通信作者: 卢献健 (1982-) 男, 硕士, 副教授, 主要从事 3S 技术数据处理及应用。Email: 285922956@qq.com。

演变特征,研究和验证表明 SPI 指数能很好地体现季节性干旱的年际变化特征;邵进等<sup>[13]</sup>使用地面台站 1954—2010 年的降水月值数据,利用 SPI 模型分析了江汉平原的干旱和洪涝的分布及其变化的规律,得到的结果与实际情况相差不大;王俊霞等<sup>[14]</sup>构建了新的干旱指数监测模型并利用 SPI 对模型进行验证,对 2014 年河南省的干旱情况进行分析得到了较好的监测效果,这说明将 SPI 模型应用于旱涝分布及其变化规律的研究具有很好的实用性。

国内外对于 TRMM 数据的验证方面做了大量研究,且大多数研究都基于河流流域以及中高纬度地区进行开展,但针对地势复杂、山地覆盖较多的地区的研究相对较少<sup>[15]</sup>,而广西以山地丘陵居多,导致降雨分布不均,局部地区常有内涝及干旱事件发生,因此本文选取广西区作为研究区域,基于地理信息系统 (geographic information system, GIS) 技术,以 TRMM 数据和地面台站数据为主要数据源,验证 TRMM 数据在广西区内的适用性,并引入 SPI 指数,以此研究广西地区的历年干旱情况演变,并对广西地区干旱变化趋势做出预测,为决策部门进行灾害预警及灾后救援提供理论参考。

## 1 研究区概况及数据源

### 1.1 研究区概况

广西壮族自治区(下文简称广西)地处我国华南地区,地理位置为  $N20^{\circ}54' \sim 26^{\circ}24'$ ,  $E104^{\circ}26' \sim 112^{\circ}04'$ (图 1)。广西处于云贵高原的东南,两广丘陵的西部,南朝北部湾。地貌总体是山地丘陵性盆地地貌,盆地大小相杂,丘陵错综,喀斯特地貌广布。地势为中部及南部多平地,四周多山地与高原,整个地势自西北向东南倾斜。广西降水量丰富,是中国降水量最丰富的省份之一。截至 2017 年底,广西地区有降雨量监测站 3 403 处,站网密度为  $56.7 \text{ km}^2/\text{站}$ ,高于

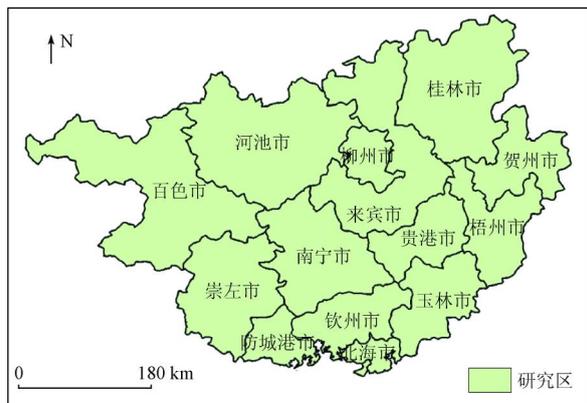


图 1 广西地理位置

Fig. 1 Geographical location of Guangxi

全国站网的平均密度。

### 1.2 数据源及其数据处理

#### 1.2.1 数据源

1) TRMM 数据。TRMM 相关产品共有 5 个层次、3 个等级,本研究使用的是 1998 年 1 月—2019 年 11 月的 TRMM 3B43 数据,为逐月降水数据,单位为  $\text{mm/h}$ ,空间分辨率为  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ ,范围为  $N50^{\circ} \sim S50^{\circ}$ 。TRMM 3B43 数据使用了所有可综合的卫星资料,具有精度较高、可探测空间广、时空分辨率较高等特点。本次使用的 TRMM 3B43 数据下载于美国航空航天局降水测量任务 (National Aeronautics and Space Administration Precipitation Measurement Missions, NASA PMM) 官网,下载地址为: <https://pmm.nasa.gov/>。

2) 地面台站数据。本研究共选取了位于广西的 19 个地面站点,使用其时间为 1998 年 1 月—2017 年 12 月共 20 a 的降水量月值数据。数据单位为 0.1 mm。下载于国家气象科学数据共享服务平台,下载地址为: <http://data.cma.cn/>。

3) 矢量数据。本研究使用的矢量数据主要包括中国国家行政线数据,类型为 shape 文件。数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心,下载地址为: <http://www.resdc.cn/Default.aspx/>。

#### 1.2.2 数据处理过程

本文通过检验 TRMM 数据在广西区的适用性,计算出该数据在不同时间尺度下的 SPI 值,结合线性趋势回归分析,反演得到广西干旱时空分布特征,从而对广西干旱时空格局变化进行分析。数据处理流程如图 2 所示。

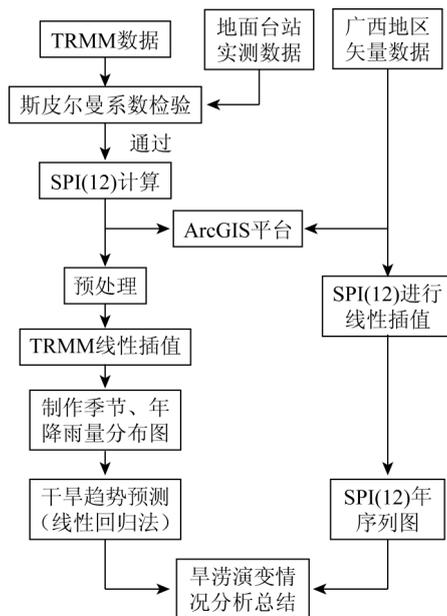


图 2 数据处理流程

Fig. 2 Flow chart of data processing

文中主要用到 TRMM 降雨数据、地面台站数据和广西地区矢量底图 3 类数据。为同时使用多要素进行干旱研究,需将不同来源的要素数据进行叠加分析。为此,以 ArcGIS 平台为基础进行了如下处理:

1) TRMM 数据、地面台站数据预处理。将 TRMM 3B43 数据进行转换、裁剪以及对应站点处理得到正确的数据图。

2) 一致性检验。利用斯皮尔曼等级相关系数将 1998—2017 年的 TRMM 数据和地面台站数据进行一致性检验,验证其在广西地区的适用性。

3) 统计季度、年平均降水量。通过栅格计算器计算出 1998—2019 年各季度、年降水总量和均值。

4) SPI(12) 计算处理。使用 SPI 程序计算出 1998—2019 年 SPI(12) 的值,对 1998—2019 年 SPI(12) 使用张力样条插样法进行插值并分析。

5) 降雨趋势预测。利用线性趋势分析法,对 2020 年广西地区降雨进行预测并分析其变化情况。

## 2 研究方法

### 2.1 斯皮尔曼等级相关系数

由于在使用 TRMM 数据进行区域干旱研究时,首先要确保 TRMM 数据与地面实测数据相关,达到能使用的要求。因此选用斯皮尔曼等级(Spearman Rank)相关系数进行 TRMM 数据与台站数据的一致性分析。

斯皮尔曼等级相关系数是一种非参数统计的方法。它的等级相关系数取值在  $[-1, 1]$  之间,可以反映两组变量之间相关程度与方向,1 或 -1 表示两个变量完全正相关或负相关。计算公式为:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^N (a_i - \bar{a})(b_i - \bar{b})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (a_i - \bar{a})^2 \sum_{i=1}^N (b_i - \bar{b})^2}}, \quad (1)$$

式中:  $\rho$  为斯皮尔曼相关系数;  $a, b$  为随机变量;  $i$  为变量个数,  $i = 1, 2, \dots, N$ ;  $\bar{a}, \bar{b}$  分别为  $N$  个随机变量  $a_i, b_i$  的均值。

### 2.2 SPI 指数

SPI 指数的原理是使用概率分布函数将降水量归一化,使得 SPI 值实际上被视为中间值的标准偏差。SPI 的计算过程如下<sup>[16]</sup>。

设  $x$  为降水量,  $\bar{x}$  为降水量的平均值,  $x_i$  为降水量总样本,则  $\Gamma$  分布概率密度函数为:

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)} x^{\gamma-1} e^{-\frac{x}{\beta}} x > 0, \quad (2)$$

式中:  $\beta, \gamma$  分别为尺度和形状参数。 $\beta$  和  $\gamma$  可用极大似然估计法求得,即

$$\hat{\gamma} = \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}}}{4A}, \quad (3)$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\gamma}}, \quad (4)$$

$$A = \lg \bar{x} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lg x_i, \quad (5)$$

式中  $n$  为时间序列长度。所以对某一时间尺度的降水量  $p, x < p$  的概率  $F$  为:

$$F(x < p) = \int_0^p f(x) dx. \quad (6)$$

若有  $m$  个降水量为 0 的样本,则概率值  $F$  为:

$$F(x = 0) = \frac{m}{x_i}. \quad (7)$$

求出概率值后,代入标准化正态分布函数,即

$$F(x < p) = \frac{1}{\sqrt{2\pi_0}} \int_0^p e^{-\frac{z^2}{2}} dz. \quad (8)$$

求得近似解:

$$Z = S \left[ t - \frac{(c_2 t + c_1)t + c_0}{[(d_3 t + d_2)t + d_1]t + 1.0} \right], \quad (9)$$

$$t = \sqrt{\ln \frac{1}{F^2}}, \quad (10)$$

式中:  $c_0 = 2.515 517$ ;  $c_1 = 0.802 853$ ;  $c_2 = 0.010 328$ ;  $d_1 = 1.432 788$ ;  $d_2 = 0.189 269$ ;  $d_3 = 0.001 308$ ; 并且  $F > 0.5$  时,  $F$  值取  $1.0 - F, S = 1$ ; 当  $F < = 0.5$  时,  $S = -1$ 。这时求出的  $Z$  值就是 SPI 值。

SPI 指数是一个多时间尺度的干旱指数,不同的时间尺度的 SPI 指数可以监测不同类型的干旱,干旱发生于当 SPI 值小于等于 -1.0 时,结束于 SPI 值为正值时。较长时间尺度(9~12 个月)的 SPI 对降水的敏感性不大,适用于研究长时间的降水造成的江河径流、水库水位、湖泊水位、地下水水位下降而出现水文干旱,12 个月的 SPI 对长时间尺度的干旱描述较好<sup>[16-17]</sup>,所以使用 SPI(12) 进行研究可以反映出旱涝灾害的持续性,对长期的或是较严重的旱涝情况有一个宏观的展示。SPI 指数值所表示的干旱或洪涝的强度如表 1<sup>[18]</sup> 所示。

表 1 SPI 值对应旱涝等级

Tab.1 Drought and flood grades corresponding to SPI values

SPI 范围	旱涝等级
$\geq 2.0$	重度洪涝
$1.5 \leq SPI < 2.0$	中度洪涝
$1.0 \leq SPI < 1.5$	轻度洪涝
$-1.0 \leq SPI < 1.0$	正常
$-1.5 \leq SPI < -1.0$	轻度干旱
$-2.0 \leq SPI < -1.5$	中度干旱
$< -2.0$	重度干旱

2.3 线性变化趋势分析法

在进行长时间序列的栅格数据分析时,需要知道每个格点的长期趋势。线性趋势分析法通过逐像元的迭代,可以得到每个格点的趋势及显著性栅格图像,分析得到的栅格图像即可预测其未来变化的发展趋势。采用线性趋势线即最小二乘拟合直线来模拟降雨的年际变化,其斜率计算公式为:

$$\theta_{\text{slope}} = \frac{n \sum_{i=1}^n i TRMM_i - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n TRMM_i}{n \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2}, \quad (11)$$

式中:  $\theta_{\text{slope}}$  为斜率;  $TRMM_i$  为第  $i$  年的年均  $TRMM$  值; 自变量  $i$  为 1 ~ 22 的年序号;  $n$  为研究的时间序列长度。 $\theta_{\text{slope}} > 0$  说明降雨在 22 a 间的变化趋势是增加的,反之则是减少, $\theta_{\text{slope}} = 0$  表示无变化。

3 结果分析

3.1 斯皮尔曼相关系数一致性检验

根据式(1),利用斯皮尔曼等级相关系数方法

计算,得到相关性分析结果(表 2)。由表 2 可知  $TRMM$  数据和地面台站数据之间的显著性水平都小于 0.001,显著性极高,表明这 2 种数据的相关性很强,综上所述, $TRMM$  数据与台站数据有较好的一致性,说明这种数据适用于研究区降水监测。

表 2 TRMM 数据与地面台站数据相关性分析

Tab.2 Correlation analysis of TRMM data and station data

月份	斯皮尔曼相关系数	显著性水平
1 月	0.944	<0.001
2 月	0.918	<0.001
3 月	0.892	<0.001
4 月	0.888	<0.001
5 月	0.821	<0.001
6 月	0.852	<0.001
7 月	0.894	<0.001
8 月	0.864	<0.001
9 月	0.889	<0.001
10 月	0.931	<0.001
11 月	0.936	<0.001
12 月	0.919	<0.001

3.2 TRMM 数据计算的 SPI 指数分析

由  $TRMM$  数据根据式(2)—(10)计算得到广西地区 1998—2019 年  $SPI(12)$  旱涝空间等级分布图,由于  $TRMM$  数据分辨率为  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ ,在对数据进行裁剪后,右上角的部分小于一个像元所覆盖的范围,因而对下载的数据进行裁剪后就产生了一定的缺失。如图 3 所示。

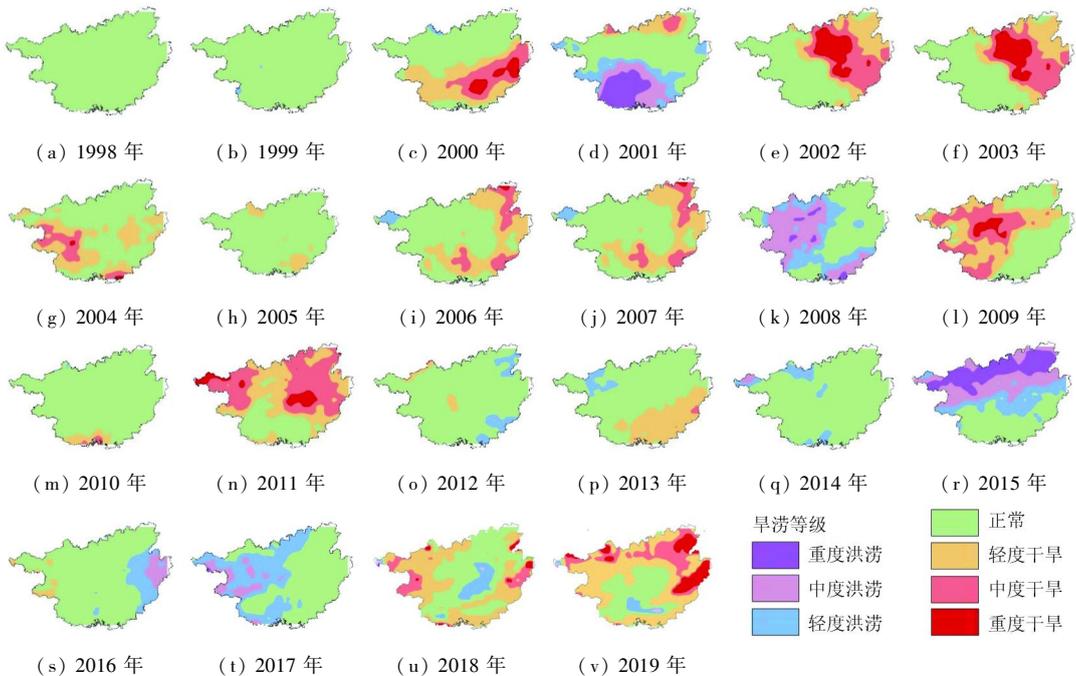


图 3 由  $TRMM$  数据计算的 1998—2019 年  $SPI(12)$  分布

Fig.3 SPI (12) map 1998—2019 calculated from  $TRMM$  data

由图3 SPI(12)可以看出广西地区自1998年以来旱涝灾害时常交替发生,几乎每年都有大大小小的旱涝事件,不同旱涝类型的空间分布差异较为明显。其中,可看出广西区平均每6 a就会发生重度洪涝的现象,在2001年、2008年、2015年、2017年有范围较大的洪涝事件发生,据广西气象局<sup>[19]</sup>资料显示,广西在2001年、2008年确实发生了特大洪涝灾害。据广西水利厅<sup>[20]</sup>水资源公报记录,2008年广西年平均降水量为1798.7 mm,比多年均值偏多17.1%,自4月开始先后发生了10次严重的洪涝灾害,同时受到强台风的影响,沿海地区受灾也十分严重,这与图3(k)反映出来的情况一致。

全区大范围的干旱约每2~3 a一遇,据广西气象网<sup>[21]</sup>统计,广西特大干旱灾害有:2003—2004年夏秋冬春连旱、2004—2005年秋冬春连旱、2009年春夏秋连旱。这与由SPI(12)计算分析得到的图3(f)、(g)、(l)反映出的在2003年、2004年、2009年有范围较大的干旱事件发生情况一致。其中2009年桂西北地区旱情较为严重,据广西水利厅<sup>[20]</sup>记录,当年广西最大流域西江梧州水文站出现实测水位2.06 m,为设站有记录以来的最低水位,且桂西北一带又属于典型的喀斯特峰丛地貌的集中分布区,植被覆盖率较其他地区低,地表土壤稀薄,储水能力较差,加上该区域当年降水较少,因此旱情相较于其他年份严重,这与图3(l)反映的情况吻合。

对于2011年、2018年与2019年广西只是季节性发生干旱,2015年与2017年全年广西未出现严重洪涝灾害,只是部分区域出现中小山洪或内涝等灾害<sup>[20-21]</sup>的现象,图3由SPI(12)计算反演得到的结果存在略微高估于实际的现象,是因为SPI(12)的计算反演的是持续的、长时间的降水造成的江河径流、水库水位、湖泊水位、地下水位下降而出现水文干旱情况,是对年内的整个降雨量情况进行了反映,且广西地区年内主要的旱涝大多发生在汛期(4—9月),汛期期间不同降雨量的多少对于全年的

影响是最大的,又因为广西地区复杂的地形地貌和独特的气候环境导致区域内降水变化速率较快,季节分配不均,降水差异较大,因此在某些年份表现出高估于实际的情况也是正常的,与实际情况也是一致的。可见应用TRMM数据并结合SPI指数来分析旱涝情况效果较好,相对于地面台站只能对小范围地区的降水进行观测,二者的结合可以更快速地对长时间序列、范围较大的区域进行降水干旱监测,具有更好的时效性、连续性和空间覆盖性,在长时间序列的降水干旱监测及预警中有一定的优势性。

根据图3,对1998—2019年的旱涝频率情况进行了统计,如图4所示。从图4看出广西地区整体干旱频率比洪涝频率大,发生的次数更多,轻度干旱和轻度洪涝发生的频率较高,都超过0.5,重旱和重涝发生频率较低,都小于0.3,总体上,广西地区年尺度的洪涝发生率低于干旱频率,但仍以轻度洪涝和轻度干旱为主。

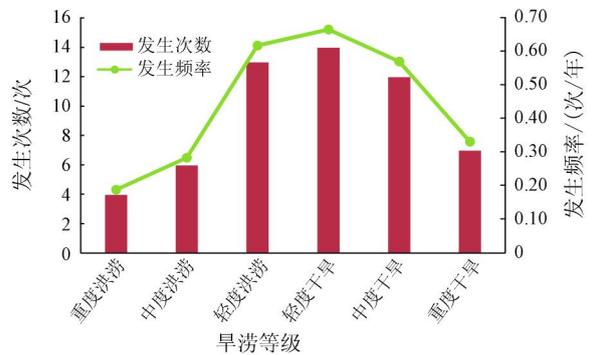


图4 1998—2019年旱涝发生频率统计  
Fig. 4 Frequency statistics of drought and flood in 1998—2019

### 3.3 TRMM 降雨时空特征分析

#### 3.3.1 季节特征分析

对广西1998—2019年TRMM累月降雨量数据进行统计,将3—5月划分为春季,6—8月为夏季,9—11月为秋季,12月—次年2月为冬季,分别统计1998—2019年广西四季平均降水量分布(图5)。

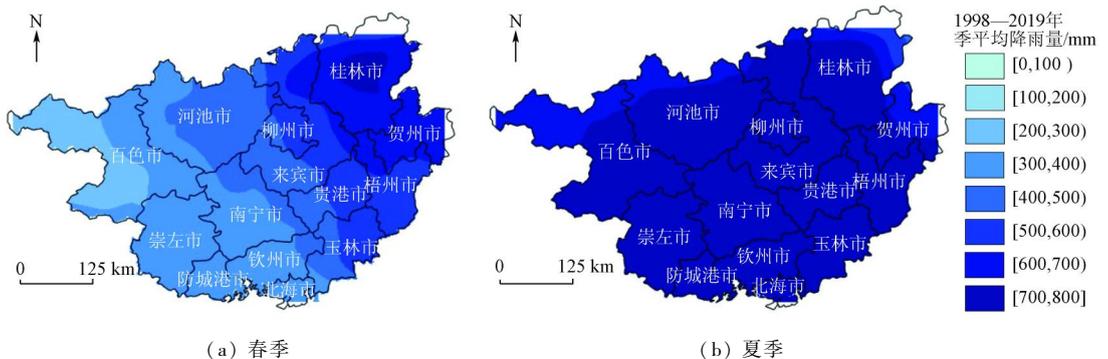


图5-1 由TRMM数据反演的广西1998—2019年四季平均降水量分布

Fig. 5-1 Seasonal average precipitation distribution in Guangxi from 1998 to 2019 retrieved from TRMM data

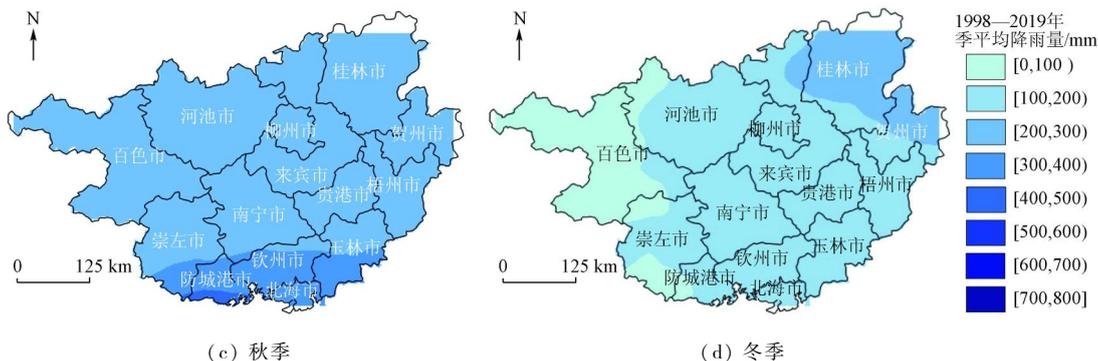


图 5-2 由 TRMM 数据反演的广西 1998—2019 年四季平均降水量分布

Fig. 5-2 Seasonal average precipitation distribution in Guangxi from 1998 to 2019 retrieved from TRMM data

从图 5 看出,广西降水量季节分配不均,干湿季分明。图 5(a) 显示春季桂东北地区降雨量大于桂西北地区,雨水量自东向西呈逐步递减的趋势,这是由于处于偏西位置的强烈的副热带高压阻挡了水汽向西输送,导致桂西北区域的降雨量减少。图 5(b) 可明显看出广西地区夏季降水较多,降雨量普遍超过 700 mm,夏季广西受热带气流影响,近地面空气不断受热上升,冷空气下沉,形成对流,且气流在移动过程中遇到山脉阻挡,会引起气流抬升,加强对流,造成降雨,因此在夏季广西地区降水量明显增多。每到夏季降雨增多之时,处于东北部的桂林地区总会容易发生大大小小的洪涝灾害,严重影响居民的生活。图 5 (c)和(d)可看出秋、冬季受大陆副热带高压增强及气温影响,广西地区降雨量明显减少。

3.3.2 年时空特征分析

图 6 为广西地区 1998—2019 年年均降水量空间分布。总体来看,广西地区年均降水量都处于 1 000 mm 以上,雨水量相对充沛,虽然降雨十分丰富,但相较之下仍呈现“东多西少”的格局。东部降雨主要集中在东北部的桂林地区并向四周辐射,桂林地区年降水量均超过 1 600 mm,而处于桂西北地

区的河池、百色市,桂中地区的南宁市,桂西南地区的崇左市年降水量相对桂东北地区少了许多,年降雨量均低于 1 300 mm,主要由于广西地区汛期集中在 3—8 月,随着雨带南移,桂东北地区的桂林地区最先进入雨季,因而降雨量比其他地区多。

3.4 干旱演变趋势分析

利用式(1)对广西地区 2020 年的降水情况进行预测,根据降雨变化并结合广西区自身实际状况,按照专家打分法,把降雨变化导致的旱涝趋势分为重度洪涝、轻度洪涝、正常、轻度干旱、重度干旱 5 种类型(表 3)。由表 3 可知,重度干旱面积占全区面积的 0.3%,主要分布在广西中部,即南宁地区;全区约 5%的地区会受到轻度干旱的影响,旱区主要分布在南宁市中部地区、防城港市和钦州市北部地区,以及柳州市东北部与来宾市的交界处;无旱涝发生的地区面积占比为 64.5%,超过全区一半的面积;30%的地区会发生轻度洪涝,主要分布在桂林,贺州、梧州、玉林、北海等市;相比于轻微洪涝区域,发生重度洪涝的地区面积明显减少了许多,只占全区面积的 0.2%,仅玉林市东部地区出现重度洪涝。

表 3 回归分析法广西降雨旱涝变化趋势

Tab. 3 Change trend of rainfall drought and flood in Guangxi by regression analysis

分级标准	变化程度	面积百分比/%
$\theta_{Slope} \leq -0.01$	重度干旱	0.3
$-0.01 < \theta_{Slope} \leq 0$	轻度干旱	5.0
$0 < \theta_{Slope} \leq 0.005$	正常	64.5
$0.005 \leq \theta_{Slope} \leq 0.01$	轻度洪涝	30.0
$\theta_{Slope} > 0.01$	重度洪涝	0.2

图 7 为广西喀斯特地区分布图,由图 7 可看出广西喀斯特区域主要分布在桂西北和桂东北地区的河池、百色、柳州和桂林等地,喀斯特地区由于地表土壤稀薄,储水能力较差,极易发生旱涝灾害,对民生经济影响极大。而结合图 7 和图 8 看来,2020 年广西喀斯特地区整体呈现正常趋势,仅存在局部轻度干旱和洪涝现象,预测 2020 年该地区发生严重旱

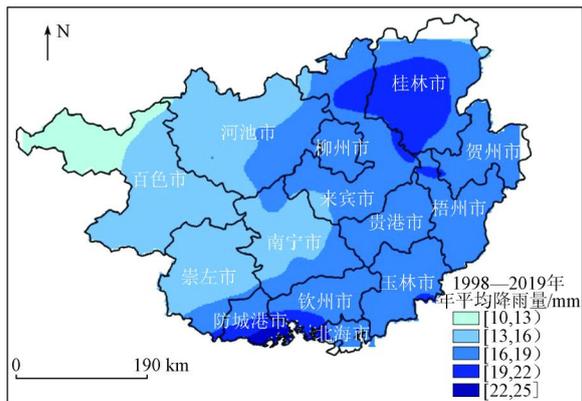


图 6 由 TRMM 数据反演的广西 1998—2019 年平均降水量分布图

Fig. 6 Annual average precipitation distribution in Guangxi from 1998 to 2019 retrieved from TRMM data

涝灾害的可能性相对较小,民生经济不会受到很大的影响。由图 8 的预测结果来看,可以推测桂林市、贺州市、梧州市、玉林市、北海市有较大可能在 2020 年夏季汛期期间(即 3—8 月)会有轻度洪涝情况发生,南宁市、防城港市有可能在 2020 年会有轻度干旱情况发生。其余地区降水基本都处于正常范围内,可知除了上述洪涝情况外,2020 年广西地区虽然降水量存在短期的波动,但广西区没有长时的旱涝事件发生。而此次预测也得到了部分验证,据广西气象网(<http://gx.weather.cn/>)数据统计,广西自 2020 年 5 月底开始出现持续强降雨天气,并在 6 月初达到顶峰,导致广西桂林、梧州、贺州、柳州、河池等地出现了轻度甚至重度的洪涝灾害,与预测的结果相符,也证明了本文预测结果的准确性和价值性,对广西地区的防灾减灾工作具有一定的指导意义。

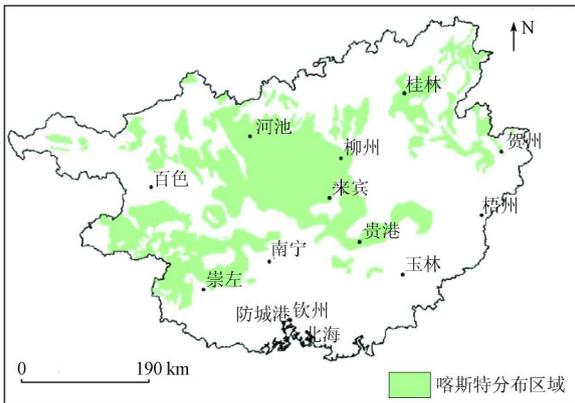


图 7 广西喀斯特区域分布

Fig. 7 Regional distribution map of karst in Guangxi

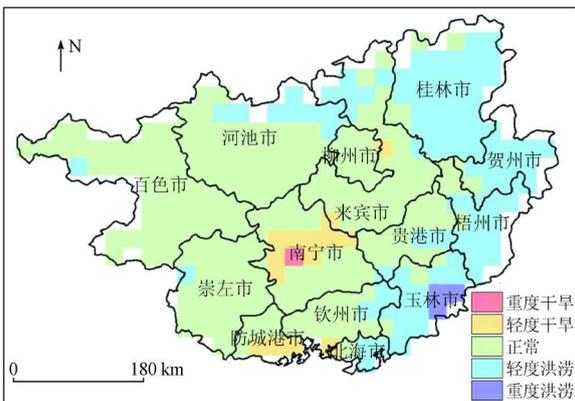


图 8 2020 年广西旱涝趋势预测

Fig. 8 Forecast of drought and flood in Guangxi in 2020

### 4 结论

将广西 TRMM 数据引入 SPI 指数,分析了 20 a 广西地区的旱涝演变情况,得到以下结论:

1) TRMM 数据均通过了显著性检验,显著性极

高,相关系数均大于 0.8,具有高度相关性,说明 TRMM 数据与地面台站数据有较好的一致性,适用于广西区的降水监测。

2) 根据 TRMM 数据计算的 SPI(12) 对应的色彩分级图,可以看出广西地区涝旱灾害频繁,洪涝灾害和干旱灾害常常交替发生。广西区在 2001—2002 年、2008 年、2015 年、2017 年有范围较大的严重的洪涝事件发生;2003 年、2009 年、2011 年有范围较大的严重的水文干旱事件发生。

3) 广西地区夏季降雨量最多,冬季最少,降雨量呈现“东多西少”的格局,降雨主要集中在桂东北地区,以桂林市为中心,降雨量呈递减趋势。

4) 根据预测,广西桂林市、贺州市、梧州市、玉林市、北海市有较大可能在 2020 年夏季(即 6—8 月)会有轻度洪涝情况发生,南宁市、防城港市有可能在 2020 年会有轻度干旱的情况发生。

5) 应用 TRMM 3B43 结合 SPI 对广西地区的进行了长时间序列的旱涝演变分析,评估得到广西地区的旱涝总体趋势与实际情况相符,对广西地区的旱涝预警以及防灾减灾工作具有一定的指导意义。

### 参考文献 (References):

[1] 袁文平,周广胜. 干旱指标的理论分析与研究展望[J]. 地球科学进展,2004,19(6):982-991.  
Yuan W P, Zhou G S. Theoretical analysis and research prospect of drought index[J]. Progress in Geoscience, 2004, 19(6): 982-991.

[2] 李维京,左金清,宋艳玲,等. 气候变暖背景下我国南方旱涝灾害时空格局变化[J]. 气象,2015,41(3):261-271.  
Li W J, Zuo J Q, Song Y L, et al. Temporal and spatial pattern changes of drought and flood disasters in South China under the background of climate warming [J]. Meteorology, 2015, 41(3): 261-271.

[3] 韩海涛,胡文超,陈学君,等. 三种气象干旱指标的应用比较研究[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(1):237-241,247.  
Han H T, Hu W C, Chen X J. Comparative study on the application of three meteorological drought indexes [J]. Agricultural Research in Arid Areas, 2009, 27(1): 237-241, 247.

[4] 李锐,傅云飞. GPCP 和 TRMM PR 热带月平均降水的差异分析[J]. 气象学报,2005,63(2):146-160.  
Li R, Fu Y F. Analysis of the difference between GPCP and TRMM PR monthly mean precipitation in the tropics [J]. Journal of Meteorology, 2005, 63(2): 146-160.

[5] 自勇,许吟隆,傅云飞. GPCP 与中国台站观测降水的气候特征比较[J]. 气象学报,2007,65(1):63-74.  
Zi Y, Xu Y L, Fu Y F. Comparison of climatic characteristics of precipitation observed by GPCP and China stations [J]. Journal of Meteorology, 2007, 65(1): 63-74.

[6] 李景刚,阮宏勋,李纪人,等. TRMM 降水数据在气象干旱监测中的应用研究[J]. 水文,2010,30(4):43-46.  
Li J G, Ruan H X, Li J R, et al. Application of TRMM precipitation

- data in meteorological drought monitoring[J]. *Hydrology*, 2010, 30(4): 43–46.
- [7] 李燕,周游游,胡宝清,等. 基于 TRMM 数据的广西西江流域降水时空分布特征[J]. *亚热带资源与环境学报*, 2017, 12(1): 75–82.  
Li Y, Zhou Y Y, Hu B Q, et al. Temporal and spatial distribution characteristics of precipitation in Xijiang River basin of Guangxi based on TRMM data[J]. *Journal of Subtropical Resources and Environment*, 2017, 12(1): 75–82
- [8] 陈诚,赵书河. 基于 TRMM 降雨数据的中国黄淮海地区干旱监测分析[J]. *国土资源遥感*, 2016, 28(1): 122–129. doi:10.6046/gtzyyg. 2016. 01. 18.  
Chen C, Zhao S H. Drought monitoring and analysis of Huanghuai Hai plain based on TRMM precipitation data[J]. *Remote Sensing for Land and Resources*, 2016, 28(1): 122–129. doi:10.6046/gtzyyg. 2016. 01. 18.
- [9] 熊俊楠,李伟,刘志奇,等. 基于 GWR 模型的青藏高原地区 TRMM 数据降尺度研究[J]. *国土资源遥感*, 2019, 31(4): 88–95. doi:10.6046/gtzyyg. 2019. 04. 12.  
Xiong J N, Li W, Liu Z Q, et al. Research on downscaling of TRMM data in the Tibetan Plateau based on GWR model[J]. *Remote Sensing for Land and Resources*, 2019, 31(4): 88–95. doi:10.6046/gtzyyg. 2019. 04. 12.
- [10] Gupta A, Thapliyal P K, Pal P K. Identification of dry and wet soil conditions using TRMM/TMI brightness temperatures and potential for drought monitoring[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2007, 28(6): 1425–1431.
- [11] Naumann G, Barbosa P, Carrao H, et al. Monitoring drought conditions and their uncertainties in Africa using TRMM data[J]. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 2012, 51(10): 1867–1874.
- [12] 白永清,智协飞,祁海霞,等. 基于多尺度 SPI 的中国南方大旱监测[J]. *气象科学*, 2010, 30(3): 292–300.  
Bai Y Q, Zhi X F, Qi H X, et al. Drought monitoring in southern China based on multi-scale SPI[J]. *Meteorological Science*, 2010, 30(3): 292–300.
- [13] 邵进,李毅,宋松柏. 基于 SPI 模型的江汉平原旱涝分布及其变化规律的研究[J]. *水文*, 2012, 32(2): 34–39.  
Shao J, Li Y, Song S B. Study on the distribution of drought and flood in Jianghan Plain based on SPI model[J]. *Hydrology*, 2012, 32(2): 34–39
- [14] 王俊霞,朱秀芳,刘宪锋,等. 基于多源遥感数据的旱情评价研究——以河南省为例[J]. *国土资源遥感*, 2018, 30(1): 180–186. doi:10.6046/gtzyyg. 2018. 01. 25.  
Wang J X, Zhu X F, Liu X F, et al. Research on agriculture drought monitoring method of Henan Province with multi-sources data[J]. *Remote Sensing for Land and Resources*, 2018, 30(1): 180–186. doi:10.6046/gtzyyg. 2018. 01. 25.
- [15] 黄晚华,杨晓光,李茂松,等. 基于标准化降水指数的中国南方季节性干旱近 58 a 演变特征[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(7): 50–59.  
Huang W H, Yang X G, Li M S, et al. Evolution characteristics of seasonal drought in South China in recent 58 years based on standardized precipitation index[J]. *Journal of Agricultural Engineering*, 2010, 26(7): 50–59.
- [16] 吴健,周秋文,韦小茶,等. TRMM 降水产品在喀斯特地区的空间降尺度研究——以贵州省为例[J]. *人民珠江*, 2019, 40(6): 20–26.  
Wu J, Zhou Q W, Wei X C, et al. Study on the spatial downscaling of TRMM precipitation products in karst area: A case study of Guizhou Province[J]. *Pearl River*, 2019, 40(6): 20–26.
- [17] 赵耀军. 时间序列分析[J]. *山西冶金*, 2012, 35(6): 56–58.  
Zhao Y J. Time series analysis[J]. *Shanxi Metallurgy*, 2012, 35(6): 56–58.
- [18] 高桂霞,许明丽,唐继业. 干旱指标及等级划分方法研究[J]. *安徽农业科学*, 2011, 39(9): 5301–5305.  
Gao G X, Xu M L, Tang J Y. Study on drought index and classification method[J]. *Anhui Agricultural Science*, 2011, 39(9): 5301–5305.
- [19] 广西壮族自治区气象局. 广西气候公报 2013–2019[EB/OL]. [2020–06–11]. <http://gx.cma.gov.cn/qxfw/qxgb/>.  
Guangxi Zhuang Autonomous Region Meteorological Bureau. Guangxi climate bulletin 2013–2019[EB/OL]. [2020–06–11]. <http://gx.cma.gov.cn/qxfw/qxgb/>.
- [20] 广西壮族自治区水利厅. 广西水资源公报 2008–2018[EB/OL]. [2020–06–11]. <http://slt.gxzf.gov.cn/zwgk/jbgb/gx-szygb/>.  
Department of Water Resources of Guangxi Zhuang Autonomous Region. Guangxi water resources bulletin[EB/OL]. [2020–06–11]. <http://slt.gxzf.gov.cn/zwgk/jbgb/gx-szygb/>.
- [21] 广西气象信息服务站. 广西气候概况[EB/OL]. (2006–11) [http://www.gx121.com/gx\\_climate\\_info.asp](http://www.gx121.com/gx_climate_info.asp).  
Guangxi Meteorological Information Service Station. General situation of climate in Guangxi[EB/OL]. (2006–11) [http://www.gx121.com/gx\\_climate\\_info.asp](http://www.gx121.com/gx_climate_info.asp).
- [22] 覃志年,唐炳莉. 2003 年夏—2004 年冬广西的旱灾及其防御对策[J]. *灾害学*, 2004, 19(9): 29–33.  
Qin Z N, Tang B L. Drought in Guangxi from summer 2003 to winter 2004 and its countermeasures[J]. *Disaster Science*, 2004, 19(9): 29–33.

## A study of drought and flood evolution in Guangxi based on TRMM data and SPI drought index

YAN Hongbo<sup>1,2</sup>, WEI Wanqiu<sup>1</sup>, LU Xianjian<sup>1,2</sup>, HUANG Yuhui<sup>1</sup>

(1. College of Geomatics and Geoinformation, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China;

2. Guangxi Laboratory of Spatial Information and Mapping, Guilin 541004, China)

**Abstract:** Drought is a kind of natural disaster with great influence, heavy disaster and long recovery period. As

Guangxi is a large agricultural region , it is of great significance to analyze and forecast the drought situation in Guangxi for disaster prevention and mitigation . In this study , the authors analyzed the rainfall in Guangxi from 1998 to 2019 , and introduced the standardized precipitation index (SPI) SPI drought index to verify the applicability of tropical rainfall measurement mission (TRMM) data in Guangxi . In addition , the evolution of drought in Guangxi in the past 22 years was studied , and the trend of drought change in Guangxi was predicted . The results are as follows : ① TRMM 3B43 rainfall data have a high correlation with the measured data of ground stations , which proves that TRMM3b43 rainfall data are suitable for drought monitoring in Guangxi . ② Drought and flood disasters occur frequently in Guangxi , with a large range of flood events every 6 years and serious drought events every 2 ~ 3 years . ③ The rainfall in Guangxi is the largest in summer and the smallest in winter , and the overall rainfall pattern is “more in the east and less in the west” . ④ It is estimated that there would be no major drought and flood events in Guangxi in 2020 ; nevertheless , some cities would have mild floods and mild droughts .

**Keywords:** TRMM data; SPI; drought analysis; Guangxi

(责任编辑: 张 仙)