

# 2011—2050 年贵州省极端气候指数时空变化特征

韩会庆<sup>1</sup>, 张娇艳<sup>2</sup>, 苏志华<sup>3</sup>, 陆 艺<sup>1</sup>

(1. 贵州理工学院 建筑与城市规划学院, 贵阳 550003;

2. 贵州省气候中心, 贵阳 550002; 3. 贵州财经大学 管理科学学院, 贵阳 550025)

**摘 要:**为探究未来贵州省极端气候变化发生趋势与空间格局,在利用中国天气发生器 NCC/GU-WG Version 2.0 模型对 2011—2050 年逐日降水量、日最高温和日最低温进行预测的基础上,运用 ArcGIS 软件和变化趋势分析法,分析了贵州省 2011—2050 年极端气候指数时空变化特征。结果表明:40 年间,日最高气温(TXx)、日最低气温(TNn)、暖日指数(TX90p)和持续暖期(WSDI)每 10 a 分别增加 0.1℃,0.03℃,0.23 d 和 0.4 d;冷日指数(TX10p)和持续冷期(CSDI)每 10 a 分别下降 0.1 d 和 0.26 d。最大日降水量(RX1day)、5 日最大降水量(R5D)、强降水量(R95T)、日降水量强度(SDII)和连续湿日(CDD)每 10 a 分别增加 1.02 mm,1.31 mm,5.63 mm,0.01 mm/d 和 0.05 d,连续干日(CWD)每 10 a 下降 0.11 d。极端气候指数及其变化趋势的空间格局异质性突出。气候变暖和地形是影响贵州省极端气候指数变化的主要因素。

**关键词:**极端气候指数;空间格局;变化趋势;贵州省

中图分类号:P467

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)02-0341-06

## Spatial and Temporal Variations of Extreme Climate Indices in Guizhou Province from 2011 to 2050

HAN Huiqing<sup>1</sup>, ZHANG Jiaoyan<sup>2</sup>, SU Zhihua<sup>3</sup>, LU Yi<sup>1</sup>

(1. College of Architecture and Urban Planning, Guizhou Institute of

Technology, Guiyang 550003, China; 2. Guizhou Climate Center, Guiyang 550002, China;

3. School of Management Science, Guizhou University of Finance and Economics, Guiyang 550025, China)

**Abstract:** In order to explore the future change trend and spatial pattern of extreme climate in Guizhou Province, this paper predicted daily precipitation, daily maximum temperature and daily minimum temperature from 2011 to 2050 by using the method of NCC/GU-WG Version 2.0 model of weather generator in China and analyzed spatial and temporal variations of extreme climate indices from 2011 to 2050 in Guizhou Province by the way of trend analysis and the software of ArcGIS. The results show that extreme climate indices including TXx, TNn, TX90p and WSDI will increase 0.1℃, 0.03℃, 0.23 d and 0.4 d per decade, respectively, while extreme climate indices including TX10p and CSDI will decrease 0.1 d and 0.26 d per decade, respectively, from 2011 to 2050; extreme climate indices including R5D, R95T, SDII and CDD will increase 1.02 mm, 1.31 mm, 5.63 mm, 0.01 mm/d and 0.05 d per decade, respectively, while extreme climate index including CWD will decrease 0.11 d per decade from 2011 to 2050. There were spatial heterogeneities for extreme climate indices and their change trends. Climate warming and terrain are dominant factors affecting variation of extreme climate indices in Guizhou Province.

**Keywords:** extreme climate indices; spatial pattern; change trend; Guizhou Province

全球及区域气候变化是当前气候学、生态学等相关学科研究的热点。在全球气候变暖影响下,世界各地极端气候事件发生频率和强度显著改变<sup>[1]</sup>,这深刻影响着人类社会、经济发展、自然生态系统、环境等各个方面<sup>[2]</sup>。因此,对极端气候研究越来越受到世界各

国学者的关注。目前,国内外对极端气候研究集中于极端气候事件变化特征、极端气候事件模拟与预测以及极端气候事件对生态环境影响等方面。如 Mutiibwa 等<sup>[3]</sup>对 1979—2012 年美国极端气温时空变化特征进行了分析。张磊磊等<sup>[4]</sup>对过去 50 a 黄河源区极端气

收稿日期:2016-01-22

修回日期:2017-03-16

资助项目:贵州省教育厅青年科技人才成长项目(黔教合 KY 字[2017]217);贵州理工学院高层次人才科研启动经费项目“气候变化对贵州省淡水生态系统服务的影响”

第一作者:韩会庆(1983—),男,山东济南人,副教授,主要从事土地资源利用开发与保护研究。E-mail:hhuiqing2006@126.com

通信作者:张娇艳(1986—),女,贵州贵阳人,工程师,主要从事气候变化与预估研究。E-mail:mylove813jiaojiao@163.com

候事件变化趋势进行了分析。Beniston 等<sup>[5]</sup>利用 HIRHAM4 区域气候模型模拟和预测了欧洲极端气候事件。Jiang 等<sup>[6]</sup>利用 IPCC-AR4 模型模拟和预测了中国极端气候事件。Jones 等<sup>[7]</sup>分析了极端气候事件对蜥蜴的影响。John 等<sup>[8]</sup>分析了蒙古高原极端气候事件对植被覆被的影响。总之,当前国内外学者已进行了过去时点全球和地区尺度极端气候变化及未来极端气候变化模拟的一系列研究工作,并取得了大量成果,然而这些研究多针对大尺度极端气候变化研究,较少关注小尺度地区,更鲜有针对我国西南地区未来极端气候变化研究<sup>[9]</sup>。贵州省属我国典型喀斯特山区,受地质条件和地形影响,坡耕地比例高,多属“雨养型”农业,

对气候极端变化的敏感性较高<sup>[10]</sup>,因此,本研究以贵州省为例,利用中国天气发生器 Version 2.0 模型分析了 2011—2050 年极端气候指数时空变化特征,以期为该区灾害防治、农业区划提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 极端气候指数选取

依据世界气象组织(WMO)、世界气候研究计划(WCRP)推荐的气候变化指标<sup>[11]</sup>以及相关研究文献<sup>[12-14]</sup>,结合贵州省气候特点,选取 6 个极端气温指数和 6 个极端降水指数分析贵州省极端气候变化特征(表 1)。利用 RClimDex(1.0)对极端气候指数进行统计。

表 1 极端气温和极端降水指数选取及定义

类别	气候指数	编号	定义	单位
极端气温指数	日最高气温	TXx	每年日最高气温	℃
	日最低气温	TNn	每年日最低气温	℃
	冷日指数	TX10p	日最高气温小于 10%分位数	d
	暖日指数	TX90p	日最高气温大于 90%分位数	d
	持续冷期	CSDI	至少连续 6 d 最低气温小于第 10 个百分点的日数	d
	持续暖期	WSDI	至少连续 6 d 最高气温大于第 90 个百分点的日数	d
极端降水指数	最大日降水量	RX1day	最大 1 日降水量	mm
	5 日最大降水量	R5D	连续 5 日最大降水量	mm
	强降水量	R95T	日降水量大于第 95%个百分点的总降水量	mm
	日降水量强度	SDII	降水量≥1 mm 的总量与降水日数之比	mm/d
	连续干日	CDD	日降水量连续<1 mm 的最长日数	d
	连续湿日	CWD	日降水量连续≥1 mm 的最长日数	d

1.2 研究方法

1.2.1 逐日气温及降水预测模型 本研究引入中国天气发生器 NCC/GU-WG Version 2.0 模型对贵州省 19 个一级气象站逐日最高温、日最低温和日降水量进行预测。中国天气发生器 NCC/GU-WG Version 2.0 模型是利用我国 671 个气象站点 1960—2007 年以来实测的逐日气候资料对未来日降水量、日最高气温、日最低气温、日照时数等气象要素进行预测。预测方法主要利用干湿两状态一阶马尔科夫链法<sup>[15]</sup>,廖要明等<sup>[16-17]</sup>学者已对该模型模拟精度进行了验证,发现该模型可以很好地模拟各种气象要素。

1.2.2 变化趋势计算方法 本研究引入一元线性回归方程分析气候要素变化趋势<sup>[18-19]</sup>,其计算公式为:

Y=at+b (1)

式中:Y 为气候要素值;t 为年份;a 为回归系数;b 为常数,a>0 表示气候要素呈增加趋势;a<0 表示气候要素呈下降趋势。根据相关文献,认为气候要素趋势系数 R 等于 a,用 10 a 表示。利用 SPSS 软件对该趋势系数进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 极端气候指数年际变化

日最高气温(TXx)、日最低气温(TNn)、暖日

指数(TX90p)和持续暖期(WSDI)均呈增加趋势,冷日指数(TX10p)和持续冷期(CSDI)均呈下降趋势,并均通过 0.05 显著性检验。其中日最高温气温、日最低气温、暖日指数和持续暖期每 10 a 分别增加 0.1℃,0.03℃,0.23 d 和 0.4 d;冷日指数和持续冷期每 10 a 分别下降 0.1 d 和 0.26 d(图 1)。

最大日降水量(RX1day)、5 日最大降水量(R5D)、强降水量(R95T)、日降水量强度(SDII)和连续湿日(CDD)均呈现增加趋势,连续干日(CWD)呈现下降趋势,并均通过 0.05 显著性检验。其中最大日降水量,5 日最大降水量、强降水量、日降水量强度和连续湿日每 10 a 分别增加 1.02 mm,1.31 mm,5.63 mm,0.01 mm/d 和 0.05 d,连续干日每 10 a 下降 0.11 d(图 2)。

2.2 极端气候指数空间分布

日最高气温、日最低气温、暖日指数和持续暖期均呈现由西向东逐渐增加趋势。除东部小部分地区外,冷日指数和持续冷期均呈现由南部、东部向西部增加趋势(图 3)。

最大日降水量、5 日最大降水量、强降水量和日降水量强度均呈现由西北部向东部、南部逐渐增加趋势。连续湿日由东北部向西南部逐渐增加。连续干日由东部向西部、南部逐渐增加(图 4)。

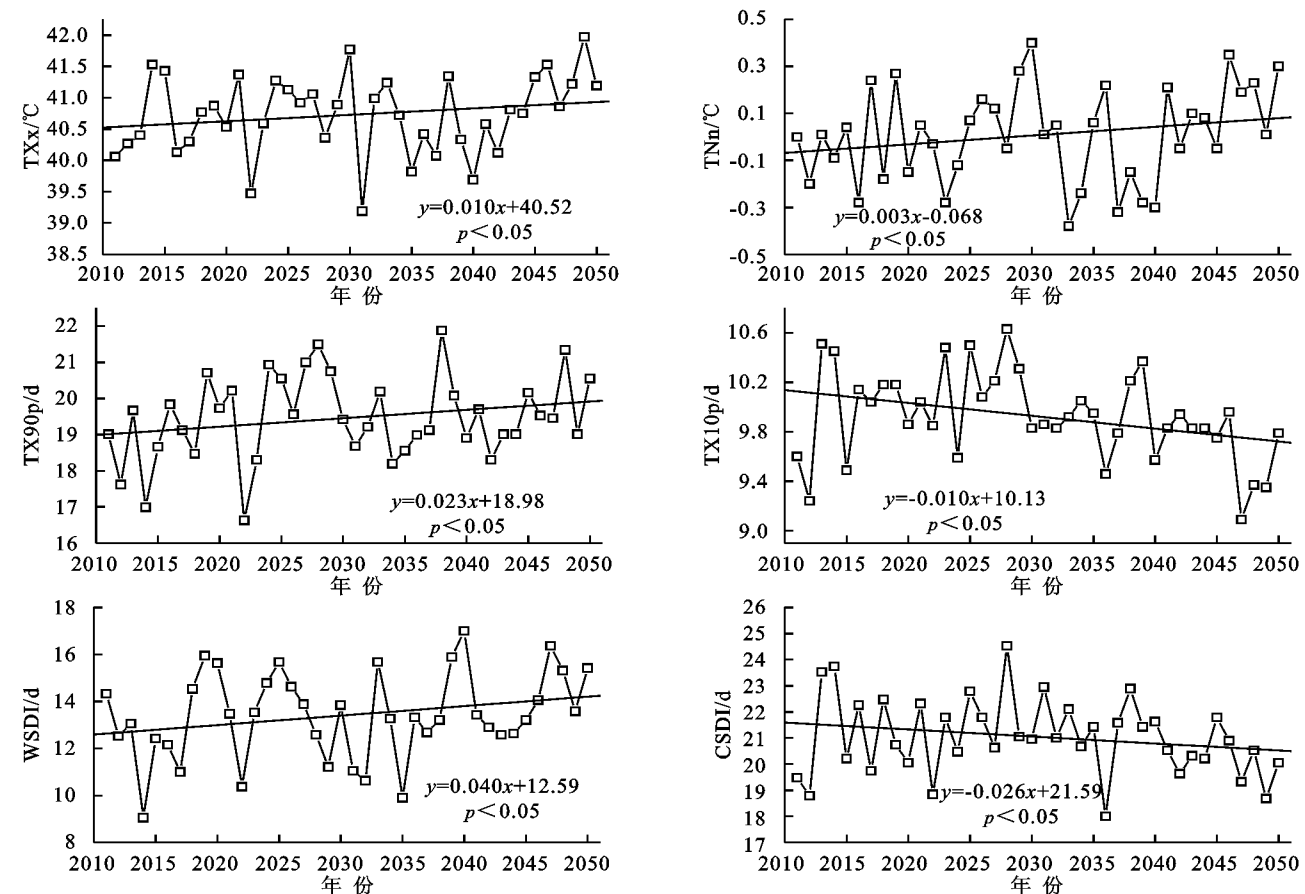


图 1 贵州省极端气温指数年际变化

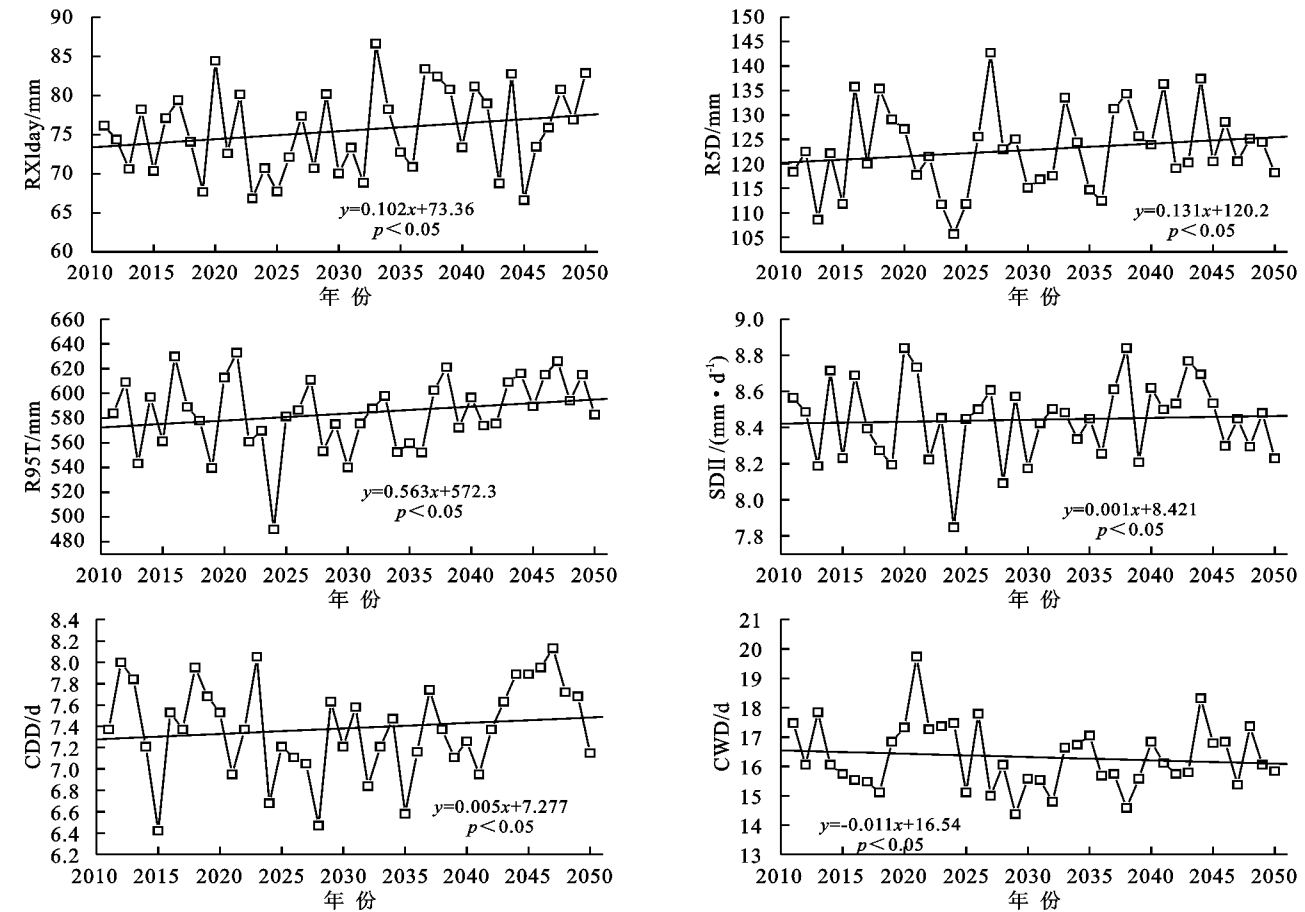


图 2 贵州省极端降水指数年际变化

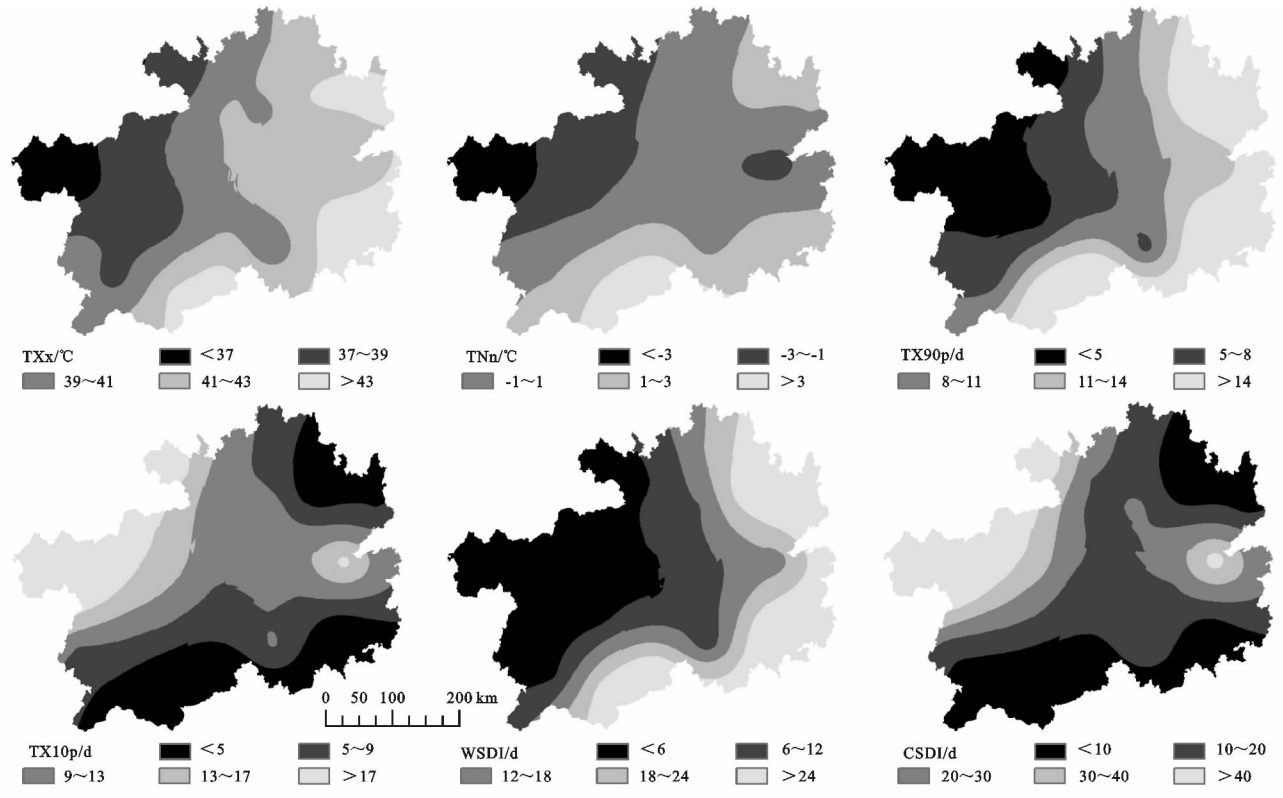


图 3 贵州省极端气温指数的空间分布

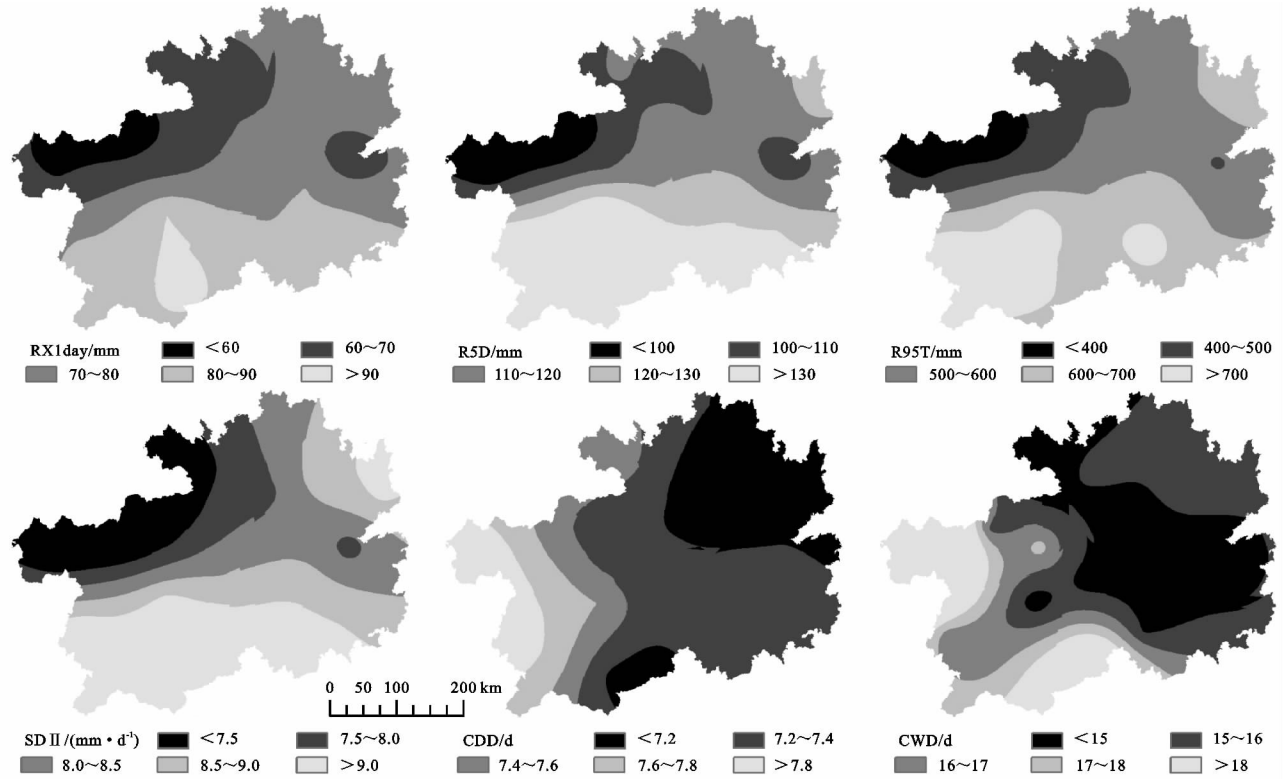


图 4 贵州省极端降水指数的空间分布

贵州省大部分地区日最高气温、日最低气温、暖日指数和持续暖期均呈现增加趋势。其中日最高气温增加幅度较高地区( $>0.2^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ )集中中南部和北部地区。日最低气温增加幅度较高地区( $>0.2^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ )主要分布西南部、东南部 and 西北部。暖日指数增加幅度较

高地区( $>0.2\text{ d}/10\text{ a}$ )集中中部、南部和西北部。持续暖期增加幅度较高地区( $>1\text{ d}/10\text{ a}$ )主要分布中东部和南部。研究区大部分地区冷日指数和持续冷期呈下降趋势。其下降幅度较高地区(分别为 $<-0.3\text{ d}/10\text{ a}$ 和 $<-2\text{ d}/10\text{ a}$ )均主要分布于东部和北部(图 5)。

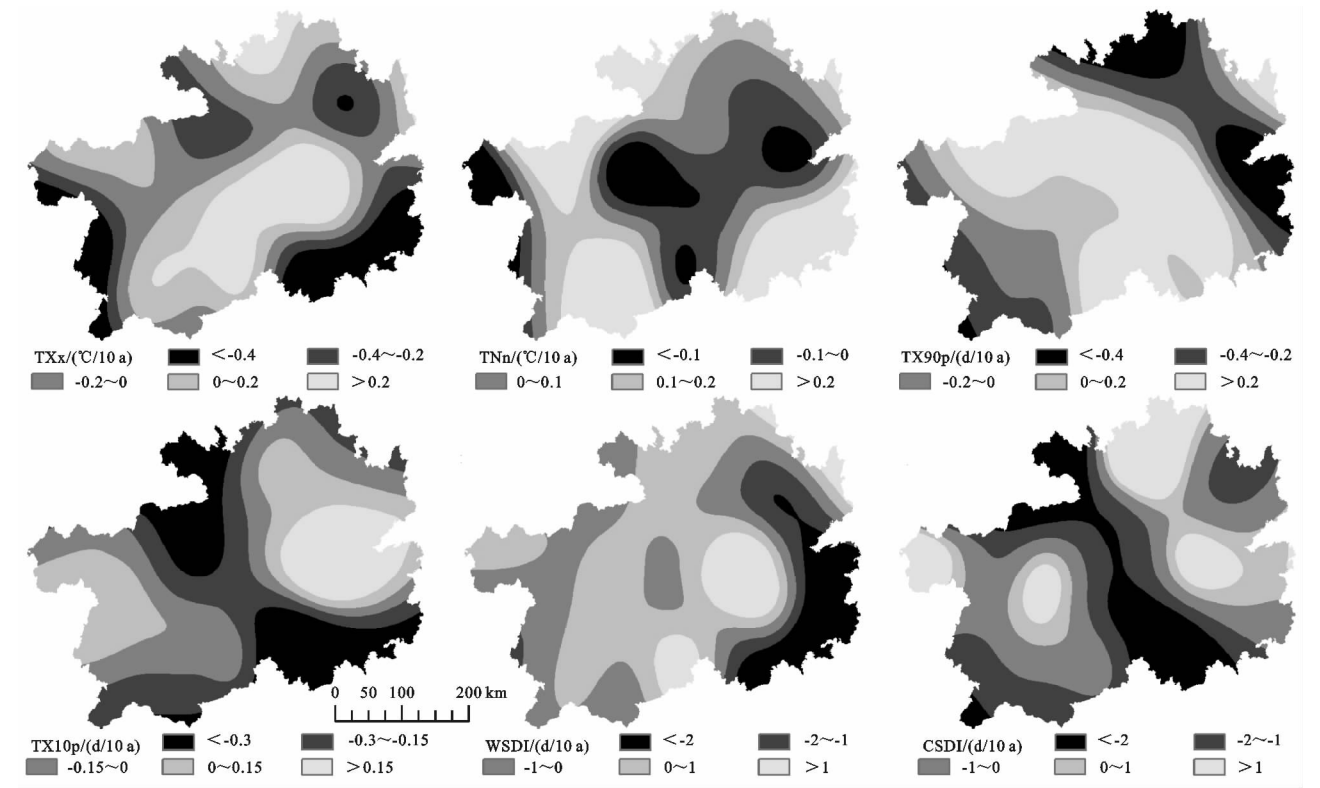


图 5 贵州省极端气温指数变化趋势的空间分布

贵州省大部分地区最大日降水量、5 日最大降水量、强降水量、日降水量强度和连续湿日均呈现增加趋势。其中最大日降水量增加幅度较高地区( $>2.5 \text{ mm}/10 \text{ a}$ )集中中西部和东北部。5 日最大降水量增加幅度较高地区( $>2.5 \text{ mm}/10 \text{ a}$ )主要分布西部和中东部。强降水量增加幅度较高地区( $>10 \text{ mm}/10 \text{ a}$ )集中中部、西部

和南部。日降水量强度增加幅度较高地区( $>0.1 \text{ mm}/(\text{d} \cdot 10 \text{ a})$ )主要分布西北部 and 东部。连续湿日增加幅度较高地区( $>0.2 \text{ d}/10 \text{ a}$ )集中西部和南部。

研究区大部分地区连续干日呈现下降趋势。其中下降幅度较大地区( $<-0.6 \text{ d}/10 \text{ a}$ )主要分布中东部和西南部(图 6)。

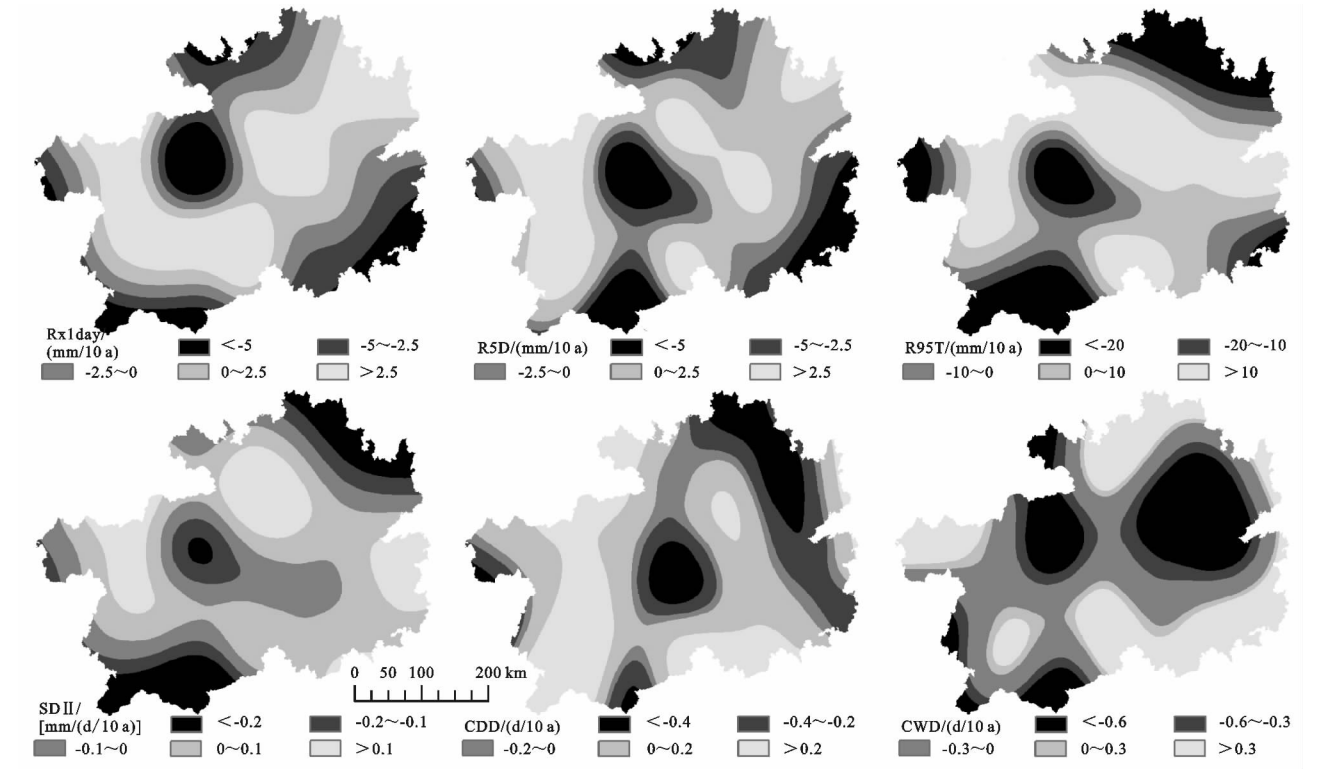


图 6 贵州省极端降水指数变化趋势的空间分布

### 3 讨论与结论

#### 3.1 讨论

在全球变暖大背景下,极端气候事件频繁发生,这可能引起严重气候灾害,也可能对农作物和植物生长提供有利气候条件<sup>[20]</sup>。本研究日最高气温、日最低气温、暖日指数、持续暖期增加以及冷日指数和持续冷期下降有利于生态退化区植被恢复和农作物越冬。但是最大日降水量、5日最大降水量、强降水量、日降水量强度、连续湿日增加及连续干日下降将增加该区洪涝发生风险,加剧水土流失。另外,极端高温和极端降水的增加有可能引起农作物高温热害和洪涝灾害,进而导致粮食产量下降。此外,极端高温和降水的增加还将对贵州省夏季人类生态环境宜居性产生负面影响。

本研究极端气温指数和极端降水指数变化趋势与刘琳等<sup>[9]</sup>对1951—2010年西南地区极端气候研究结果基本一致。但本研究与刘琳等<sup>[9]</sup>对极端气温和降水变化趋势幅度存在一定差异。此外,本研究结果与王冀<sup>[21]</sup>和陈晓晨<sup>[22]</sup>等对我国不同情景极端气候整体变化趋势较为接近。然而,由于地域环境的差异,本研究与我国不同地区相关研究结果存在较大差异<sup>[23-24]</sup>。另外,受全球变暖影响,大气环流异常,研究区大部分极端气候指数均呈增加趋势。贵州省地处我国西南部,同时受太平洋东南季风和印度洋西南季风影响,加之东低西高的地形特征<sup>[25]</sup>,这使得该区极端气候指数空间异质性突出。

#### 3.2 结论

(1) 日最高气温、日最低气温、暖日指数、持续暖期、最大日降水量、5日最大降水量、强降水量、日降水量强度和连续湿日呈现增加趋势。冷日指数、持续冷期和连续干日呈现下降趋势。

(2) 研究区极端气温指数东西差异突出,极端降水指数东西、南北差异均较大。各极端气候指数变化趋势之间空间格局差异较大,且空间异质性突出。

#### 参考文献:

- [1] 高妍,冯起,李宗省,等. 祁连山讨赖河流域1957—2012年极端气候变化[J]. 中国沙漠,2014,34(3):814-826.
- [2] 徐集云,石英,高学杰,等. RegCM3对中国21世纪极端气候事件变化的高分辨率模拟[J]. 科学通报,2013,58(8):724-733.
- [3] Mutibwa D, Vavrus S J, McAfee S A, et al. Recent spatiotemporal patterns in temperature extremes across conterminous United States [J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2015,120:7378-7392.
- [4] 张磊磊,康颖,张建业,等. 近50年来黄河源区极端气候事件趋势分析[J]. 水电能源科学,2015,33(2):6-9.
- [5] Beniston M, Stephenson D B, Christensen O B, et al. Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections [J]. Climatic

- Change, 2007,81:71-95.
- [6] Jiang Z L, Song J, Li L, et al. Extreme climate events in China: IPCC-AR4 model evaluation and projection [J]. Climatic Change, 2012,110:385-401.
- [7] Jones A R, Bull C M, Brook B W, et al. Tick exposure and extreme climate events impact survival and threaten the persistence of a long-lived lizard [J]. Journal of Animal Ecology, 2016,85(2):598-610.
- [8] John R, Chen J Q, OuYang Z T, et al. Vegetation response to extreme climate events on the Mongolian Plateau from 2000 to 2010 [J]. Environmental Research Letters, 2013,8:1-12.
- [9] 刘琳,徐宗学. 西南5省市极端气候指数时空分布规律研究[J]. 长江流域资源与环境,2014,23(2):294-301.
- [10] 陈学凯,雷宏军,徐建新,等. 气候变化背景下贵州省农作物生长期干旱时空变化规律[J]. 自然资源学报,2015,30(10):1735-1749.
- [11] Peterson T C, Folland C, Gruza G, et al. Report on the Activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs 1998—2001 [M]. Southampton, UK: International CLIVAR Project Office, 2001.
- [12] 曹祥会,龙怀玉,张继宗,等. 河北省主要极端气候指数的时空变化特征[J]. 中国农业气象,2015,36(3):245-253.
- [13] 杨艳娟,任雨,郭军. 1951—2009年天津市主要极端气候指数变化趋势[J]. 气象与环境学报,2011,27(5):21-26.
- [14] 张延伟,李红忠,魏文寿,等. 1961—2010年北疆地区极端气候事件变化[J]. 中国沙漠,2013,33(6):1891-1897.
- [15] Liao Y M, Zhang Q, Chen D. Stochastic modeling of daily precipitation in China [J]. Journal of Geographical Sciences, 2004,14(4):417-426.
- [16] 廖要明,张强,陈德亮. 中国天气发生器的降水模拟[J]. 地理学报,2004,59(5):689-698.
- [17] 廖要明,刘绿柳,陈德亮,等. 中国天气发生器模拟非降水变量的效果评估[J]. 气象学报,2011,69(2):310-319.
- [18] 李生辰,徐亮,郭英香,等. 近34a青藏高原年降水变化及其分区[J]. 中国沙漠,2007,27(2):307-314.
- [19] 覃卫坚,李栋梁. 近50a来广西各级降水气候变化特征分析[J]. 自然资源学报,2014,29(4):666-676.
- [20] 曹永旺,延军平. 1961—2013年山西省极端气候事件时空演变特征[J]. 资源科学,2015,37(10):2086-2098.
- [21] 王冀,江志红,丁裕国,等. 21世纪中国极端气温指数变化情况预估[J]. 资源科学,2008,30(7):1084-1092.
- [22] 陈晓晨,徐影,姚遥. 不同升温阈值下中国地区极端气候事件变化预估[J]. 大气科学,2015,39(6):1123-1135.
- [23] 陈威霖,江志红,黄强. 基于统计降尺度模型的江淮流域极端气候的模拟与预估[J]. 大气科学学报,2012,35(5):578-590.
- [24] 黄金龙,陶辉,苏布达,等. 塔里木河流域极端气候事件模拟与RCP4.5情景下的预估研究[J]. 干旱区地理,2014,37(3):490-498.
- [25] 王永超,焦树林,黄福卫. 西南喀斯特地区农业旱灾脆弱性评价研究[J]. 贵州师范大学学报:自然科学版,2016,34(3):13-17.