

# Characteristics of Temperature and Precipitation Change on the Tibet Plateau under the Background of Global Warming

Xianru Li

School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan  
Email: [lixianrucuit@outlook.com](mailto:lixianrucuit@outlook.com)

Received: Oct. 22<sup>nd</sup>, 2019; accepted: Nov. 1<sup>st</sup>, 2019; published: Nov. 8<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

In this paper, the monthly reanalysis data of surface temperature and precipitation (resolution  $0.125^\circ \times 0.125^\circ$ ) of ECMWF from 1979 to 2018 were used to study the spatial distribution characteristics of air temperature and precipitation on the Qinghai-Tibet plateau and the trend characteristics of the change sensitive areas by using the least square method, regression analysis, significance test and other statistical methods. The results show that: 1) the overall temperature of the Qinghai-Tibet plateau is significantly lower than that of the surrounding areas, and the temperature on the plateau gradually increases from west to east, with a significant difference in the temperature of four seasons. There are two obvious low temperature centers on the plateau, namely the Kunlun mountain area and the Qilian mountain area, and the high temperature center is located in the Qaidam basin area. 2) There is a significant difference in annual precipitation between the north and south of the Qinghai-Tibet plateau. Precipitation gradually increases from the northwest to the southeast of the plateau. The main precipitation center is located in the Yarlung Zangbo river region, and the secondary precipitation center is located in the western Sichuan plateau region. There are a dry season and a rainy season on the plateau. Precipitation in most areas is concentrated in summer, while winter is the dry season of the year. 3) The plateau as a whole shows a trend of increasing temperature, and there are five areas with relatively sensitive temperature changes, and the sensitive areas in the middle of the plateau show a significant increase in temperature. 4) Precipitation in most areas of the Qinghai-Tibet plateau did not show an obvious change trend. The regions with significant decrease in precipitation were the eastern Tanggla Mountain and the Yarlung Zangbo Grand Canyon, while the regions with significant increase in precipitation were the south Tibet valley in the southwest of the plateau and the Xining region in the east of the plateau.

## Keywords

Qinghai-Tibet Plateau, Temperature, Precipitation, Spatial Distribution, Change Trend

---

# 全球变暖背景下青藏高原气温和降水的气候变化特征

李娴茹

成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都

Email: lixianrucuit@outlook.com

收稿日期: 2019年10月22日; 录用日期: 2019年11月1日; 发布日期: 2019年11月8日

## 摘要

本文使用1979~2018年欧洲中期数值预报中心地表气温和降水逐月再分析数据, 利用最小二乘法、回归分析、显著性检验等统计学方法研究了青藏高原气温和降水的空间分布特征以及变化敏感区域的趋势特征。结果表明: 1) 青藏高原整体气温明显低于周边地区的温度, 高原上的气温自西向东逐渐增长, 四季气温差异明显。高原上存在两个明显的气温低值中心, 分别是昆仑山地区和祁连山附近, 高值中心位于柴达木盆地地区。2) 青藏高原南北两地的年降水量差异明显, 从高原西北部到东南部, 降水逐渐增多, 主要降水中心位于雅鲁藏布江地区, 次降水中心位于川西高原地区。高原上有旱季和雨季之分, 大部分地区降水集中在夏季, 冬季则为一年中的旱季。3) 高原整体呈现出增温的趋势, 且存在五个气温变化较为敏感的区域, 中部的敏感区域增温明显。4) 青藏高原上大部分地区降水未呈现出明显的变化趋势, 降水显著减少的区域为唐古拉山东部和雅鲁藏布大峡谷地区, 降水显著增加的区域为高原西南部的藏南谷地和高原东部的西宁地区。

## 关键词

青藏高原, 气温, 降水, 空间分布, 变化趋势

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

全球气候变化是当今世界及今后长时期内, 人类共同面对的巨大挑战, 与人类的未来紧密相关[1]。近 100 年来, 由于人类生活生产的影响和自然气候的不断变化, 全球气候变暖的现象已被人们广泛地接受[2]。全球气候变暖使得极端事件出现的频率和强度均产生变化, 如: 高温和霜冻、洪涝和干旱、沙尘和雾霾等极端天气事件频繁发生[3] [4] [5]。我国是全球气候变化的敏感区和显著区之一[6], 对我国气候进行研究有利于进一步分析全球气候未来的发展变化。

青藏高原位于我国西南部, 平均海拔 4000 m, 是我国西南地区重要的生态安全屏障[7]。它是世界上海拔最高、地形最为复杂的高原, 属于全球气候系统中一个重要的组成部分, 其高大的地形对于我国乃至北半球大气环流及全球气候系统都有重要的影响[8]。此外, 青藏高原被誉为“亚洲水塔”, 其丰富的

水资源储备对于我国资源开发和利用具有重要的意义[9]。因青藏高原具有纬度低、海拔高, 太阳辐射强和植被类型齐全等独特的属性, 属于气候变化的敏感区和生态脆弱区[10], 又因其受人类活动影响小, 是中国气候变化的启动区[11]。2000 年以来, 气候变化越来越剧烈, 青藏高原是研究气候变化与生态变化的理想区域。

在全球气候变暖的背景下, 青藏高原作为气候变化的放大器[12] [13], 气温和降水等气候条件都将会发生不同程度的变化, 进而影响我国乃至全球的气候发展和变化[14]。对于全球变暖背景下高原气温和降水的时空变化敏感区域(即变化更加显著的地区)气候变化特征研究较少[15]。因此, 本文将针对青藏高原气候变化敏感区域气温和降水的波动特征和变化趋势, 这将有助于加深对青藏高原气候变化的了解, 同时可以为研究青藏高原气候变化敏感区的变化成因和预测提供参考。

## 2. 资料与方法

### 2.1. 资料

利用欧洲中期数值预报中心(ECMWF)气温和降水逐月再分析数据(分辨率  $0.125^{\circ} \times 0.125^{\circ}$ )来分析地面平均气温和降水的空间分布特征, 资料选取时间为 1979~2018 年, 运用了近 40 年来的最新数据进行研究。

### 2.2. 方法

为了探究全球变暖背景下青藏高原气温和降水的气候变化特征, 本文采用的主要方法有最小二乘法、回归分析、显著性检验等统计学方法。最小二乘法是一种数学优化技术。它通过最小化误差的平方和寻找数据的最佳函数匹配。利用最小二乘法可以简便地求得未知的数据, 并使得这些求得的数据与实际数据之间误差的平方和为最小。最小二乘法还可用于曲线拟合。其他一些优化问题也可通过最小化能量或最大化熵用最小二乘法来表达。本文利用最小二乘法求得函数模型后可用于计算未知的数据, 并使得这些求得的数据与实际数据间误差的平方和最小。一元线性回归是回归分析中仅涉及到两个变量的分析方法, 主要根据最小二乘法或其他方法, 从样本数据来确定一元线性回归模型中常数项与回归系数的值。回归方程的可靠性和误差的大小都应经过显著性检验和误差计算。在本文中, 采用  $t$  检验的方法对趋势的计算结果进行显著性检验。

## 3. 研究结果

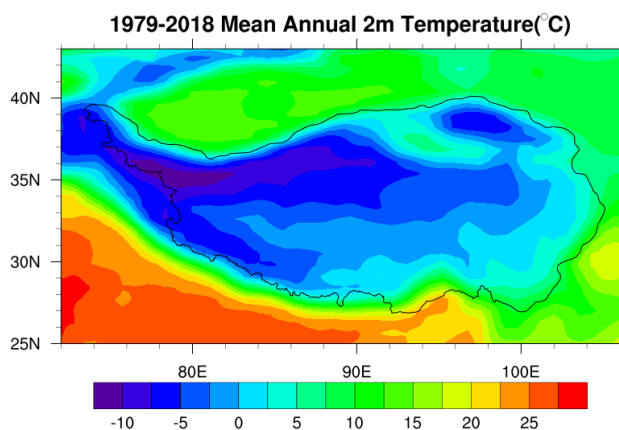
### 3.1. 气温的年平均空间分布特征

图 1 为 1979~2018 年青藏高原地面气温多年平均的空间分布。如图所示, 青藏高原气温随着纬度和海拔高度呈现出不同的变化特征, 随着纬度的减小, 气温逐渐增大, 在同一纬度上, 随着海拔高度的增加, 气温逐渐减小。高原上的气温呈现出东高西低的分布特征, 东部大部分地区年平均气温在  $0^{\circ}\text{C}$  以上, 而西部地区基本是在  $-5^{\circ}\text{C}$  以下。高原地表年平均气温分布在  $-10^{\circ}\text{C}$ ~ $10^{\circ}\text{C}$ , 整体气温明显低于周边地区的温度。高原上存在两个明显的气温低值中心, 其中一个位于高原西北部( $76^{\circ}$ ~ $82^{\circ}\text{E}$ ,  $34^{\circ}$ ~ $36^{\circ}\text{N}$ )的昆仑山地区, 最低气温为  $-12.5^{\circ}\text{C}$ , 另一个位于高原东北部的祁连山脉附近( $96^{\circ}$ ~ $100^{\circ}\text{E}$ ,  $38^{\circ}$ ~ $40^{\circ}\text{N}$ ), 最低气温为  $-5^{\circ}\text{C}$ , 温度高于昆仑山地区。气温高值中心位于高原东北部的柴达木盆地地区( $92^{\circ}$ ~ $98^{\circ}\text{E}$ ,  $36^{\circ}$ ~ $38^{\circ}\text{N}$ ), 年平均气温为  $5^{\circ}\text{C}$ ~ $15^{\circ}\text{C}$ 。此外, 在高原边坡位置, 气温变化率较大, 尤其是在高原南北两侧。高原南部的雅鲁藏布江地区海拔高度较低, 受印度洋暖湿气流北上的影响, 地表年平均气温在  $0^{\circ}\text{C}$  以上。

### 3.2. 气温的季节平均空间分布特征

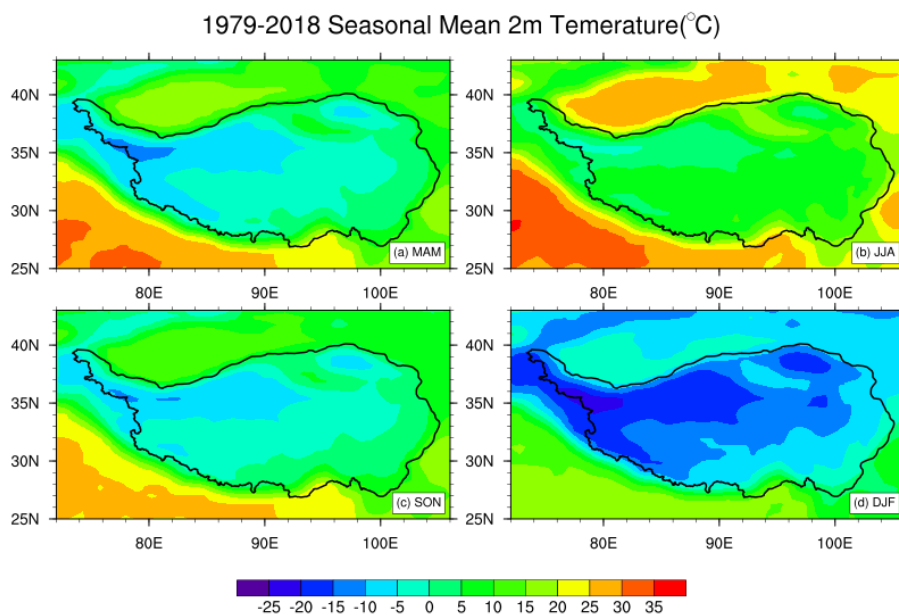
青藏高原地表春、夏、秋、冬四季气温的空间分布如图 2 所示, 四个季节中, 高原上气温整体呈现

出从西北部向东南部递增的趋势，高原南北两侧温度梯度较大，柴达木盆地地区和昆仑山地区在四季均分别表现为气温的高值中心和低值中心。春季，高原地表由于积雪的覆盖，大部分地区气温在  $0^{\circ}\text{C}$  以下，与周边地区相比，升温较慢。夏季，高原上的气温除西北小部分地区外，均在  $0^{\circ}\text{C}$  以上，温度梯度小，是一年中温度最高的时节，其中，柴达木盆地地区升温最为明显。秋季，分布特征与春季相似，高原南部的温度梯度较春季更小。冬季，高原整体气温在  $0^{\circ}\text{C}$  以下，东北部和西北部的气温低值中心显著，西北部气温可达  $-20^{\circ}\text{C}$  以下，温度梯度明显。



**Figure 1.** Multi-year average spatial distribution of surface air temperature on the Tibet Plateau from 1979 to 2018

**图 1.** 1979~2018 年青藏高原地面气温多年平均的空间分布



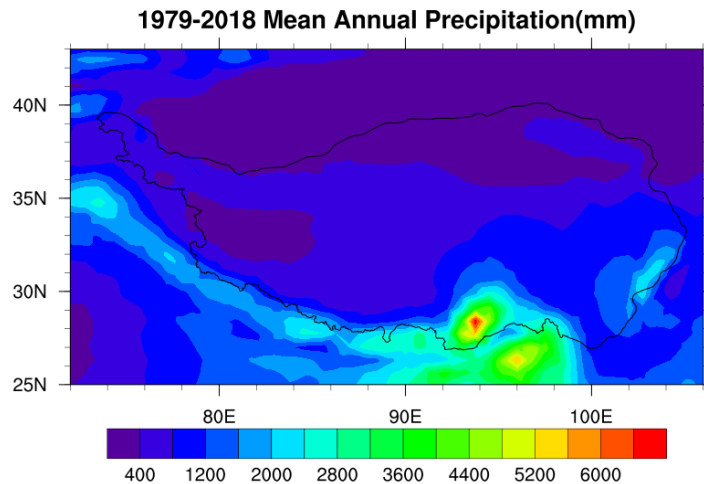
**Figure 2.** Multi-year average spatial distribution of surface temperature in four seasons over the Tibet Plateau from 1979 to 2018

**图 2.** 1979~2018 年青藏高原地面四季气温多年平均的空间分布

### 3.3. 降水的空间分布特征

进行降水空间分布特征分析时也是运用 ERA-Interim 逐月的再分析资料，对多年的累积降水进行平

均。图3是1979~2018年高原上逐年累积降水平均值的空间分布，可以看出：青藏高原年降水量在南北两地差异明显，自西北向东南，降水逐渐增多，大部分地区降水在800 mm以下。高原东南部的降水梯度大于西北部，主要的降水中心位于高原南部(27°~30°N, 92°~95°E)的雅鲁藏布江地区，年累积降水量可达6000 mm，降水梯度大，变化明显。高原东南部存在一个次降水中心，主要位于川西高原地区，年降水在2400~2800 mm。两个降水极小区域分别位于高原东北部的柴达木盆地和唐古拉山西部的藏北高原上，大部分地区年降水量小于400 mm，与川西、林芝等地的相比，降水稀少，可见高原上的降水存在明显的空间差异。



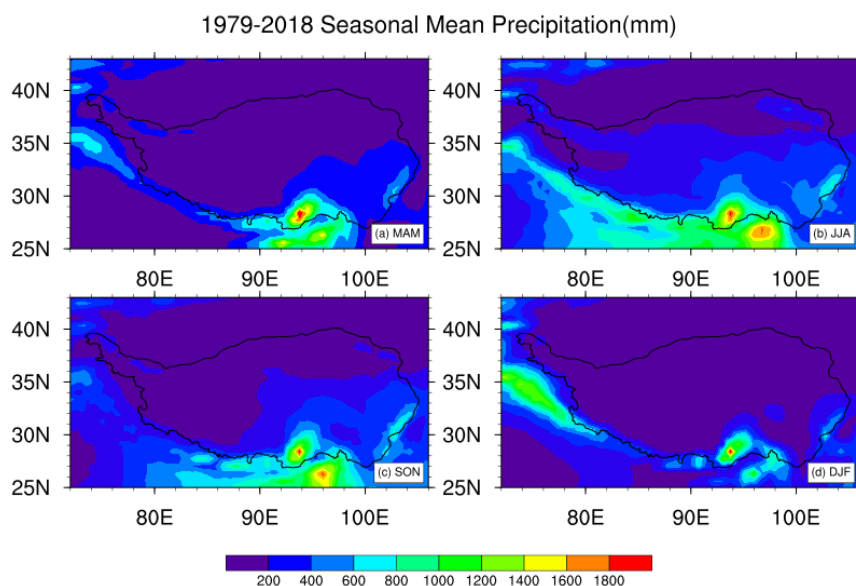
**Figure 3.** Perennial average spatial distribution of annual cumulative precipitation on the Tibet Plateau from 1979 to 2018

**图3.** 1979~2018年青藏高原年累积降水多年平均的空间分布

青藏高原各季节降水量存在差异，如图4所示，春、夏、秋、冬四个季节的降水均存在由西北至东南方向逐渐递增的分布特征，雅鲁藏布江流域和川西高原分别表现为主要的降水中心和次降水中心。夏季是高原主要的降水时节，除柴达木盆地和藏北高原两个降水极小值中心外，大部分地区累积降水均在200 mm以上，喜马拉雅山南麓累积降水量达1600 mm，向西北方向延伸，在昆仑山一带，降水较多。从秋季、春季到冬季，高原上的降水依次减小。冬季，高原南部的降水极值仍可达1600 mm，但影响范围缩小，东南部的次降水中心降水量为200~400 mm，除两个降水极值中心外，高原降水基本小于200 mm，为一年中的旱季。总体来说，高原存在明显的旱季和雨季，大部分地区降水主要集中在夏季，冬季为一年中降水最少的季节，为旱季。

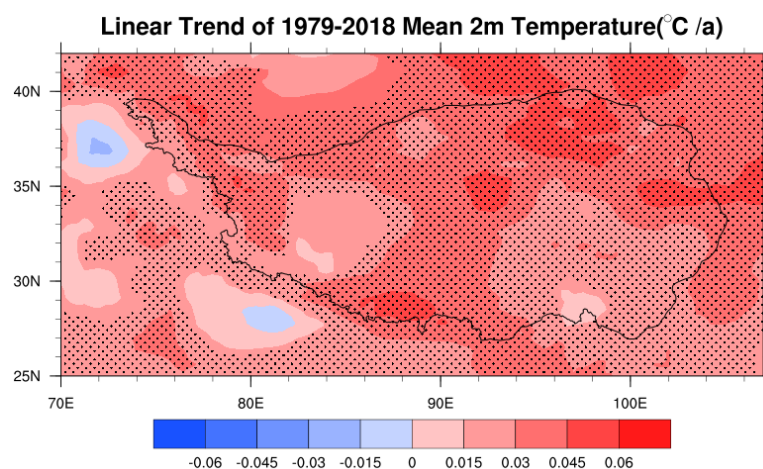
### 气温和降水的变化趋势

从气温年际变化趋势的空间分布图(图5)上可以看出，高原整体气温年际变率均为正值，说明高原整体呈现出增温的趋势，但温度增加的趋势大小存在地域性的差异。大部分地区年际变率在0.015~0.04℃。高原上存在五个气温变化较为敏感的区域，分别位于高原西南部(28°~31°N, 84°~92°E)的雅鲁藏布江流域、高原西部(34°~36°N, 79°~81°E)的昆仑山南部地区、高原中部(33°~36°N, 90°~94°E)的五道梁地区、高原东北部(35°~40°N, 91°~100°E)的柴达木盆地地区及高原东部(33°~36°N, 99°~104°E)的青海湖南部地区，气温变化均在0.04℃/a以上，东部、东北部及西南地区变化率可达0.05℃/a。除高原东南部和西部部分地区变化率小，在0.03℃以下，且未通过显著性检验外，其余地区均通过显著性水平为0.05的显著性检验，可信度较高。



**Figure 4.** Multi-year average spatial distribution of accumulated precipitation in different seasons on the Tibet Plateau from 1979 to 2018

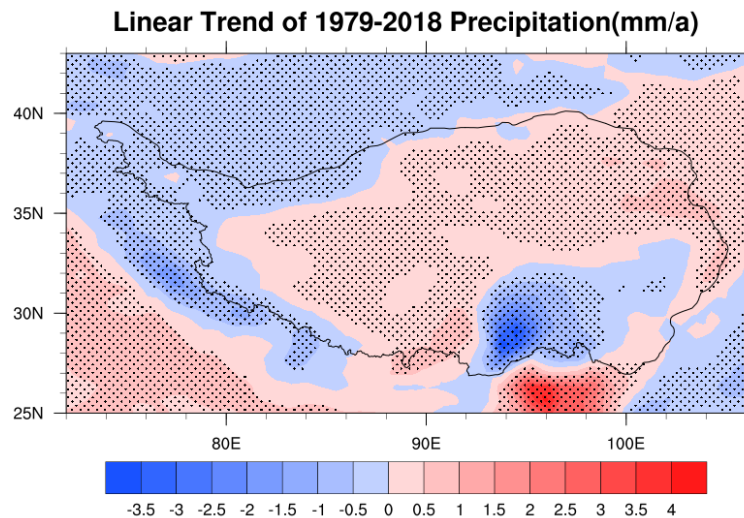
**图 4.** 1979~2018 年青藏高原各季累积降水多年平均的空间分布



**Figure 5.** The spatial distribution characteristics of the annual variation trend of air temperature on the Tibet Plateau from 1979 to 2018

**图 5.** 1979~2018 年青藏高原气温年际变化趋势的空间分布特征

从降水年际变化趋势的空间分布图(图 6)上可以看出,高原上降水年际变化趋势的分布同样存在空间上的差异。高原东部、北部、西部等大部分地区降水年际变率小,呈现出微弱的增多趋势,高原南部的藏南谷地地区( $27^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{N}$ ,  $88^{\circ}\sim 92^{\circ}\text{E}$ )和高原东部的西宁地区( $35^{\circ}\sim 37^{\circ}\text{N}$ ,  $100^{\circ}\sim 105^{\circ}\text{E}$ )降水增加趋势较为明显,变化率为  $0.5\sim 1\text{ mm/a}$ 。在高原的边坡位置,降水呈减小的趋势,以  $0\sim 0.5\text{ mm/a}$  的变化率减少。降水变化最显著的区域集中在高原东南部( $27^{\circ}\sim 32^{\circ}\text{N}$ ,  $93^{\circ}\sim 99^{\circ}\text{E}$ )的唐古拉山东部和雅鲁藏布大峡谷地区,位置较高原南部的气温变化敏感区域更加偏东,年累积降水呈现出明显的下降趋势,逐年累积降水减少量达  $1.5\text{ mm}$  以上,高原东南部的川西高原地区降水量也呈现出下降的变化趋势,变化率为  $0\text{ mm}\sim 1\text{ mm/a}$ 。而印度地区与高原南部敏感区域的变化情况相反,逐年累积降水量明显增加。图 6 中黑色散点填充的区域代表通过显著性检验的地区,高原西南部、东南部和东部三个降水变化区域均通过 95% 的显著性检验。



**Figure 6.** Spatial distribution characteristics of interannual variation trend of precipitation on the Tibet Plateau from 1979 to 2018

**图 6.** 1979~2018 年青藏高原降水年际变化趋势的空间分布特征

#### 4. 结论

1) 青藏高原地表年平均气温明显低于周边地区的温度, 自高原西部到东部, 气温逐渐增长。高原上四季气温差异明显。青藏高原年累积降水量南北存在明显的差异, 从高原西北部到东南部, 降水逐渐增多。高原上主要降水中心位于雅鲁藏布江地区, 次降水中心位于川西高原地区。

2) 高原整体气温年际变率均为正值, 整体呈现出增温的趋势。在高原东北部、中部、东部、西南部和西部分别存在气温变化较为敏感的区域, 且中部的敏感区域增温明显。敏感区域内, 气温年际变率高于我国平均气温的年际变率, 年平均最低气温的增幅明显高于年平均最高气温的增幅。

3) 青藏高原上大部分地区降水未呈现出明显的变化趋势, 降水减少的敏感区域位于高原东南部, 降水增加的敏感区域位于高原西南部和东部。

#### 基金项目

成都信息工程大学本科教学工程项目(BKJX2019007, BKJX2019013, BKJX2019042, BKJX2019056, BKJX2019062, BKJX2019081, BKJX2019089, BKJX2019120 和 JY2018012)支持。

#### 参考文献

- [1] 周天军, 陈晓龙, 何编, 等. 全球季风模式比较计划(GMMIP)概述[J]. 气候变化研究进展, 2019, 15(5): 493-497.
- [2] 李明, 胡炜霞, 王贵文, 等. 基于 Copula 函数的中国东部季风区干旱风险研究[J]. 地理科学, 2019, 39(3): 506-515.
- [3] 赵彦茜, 肖登攀, 唐建昭, 等. 气候变化对我国主要粮食作物产量的影响及适应措施[J]. 水土保持研究, 2019, 26(6): 317-326.
- [4] 萧凌波, 闫军辉. 基于地方志的 1736-1911 年华北秋粮丰歉指数序列重建及其与气候变化的关系[J]. 地理学报, 2019, 74(9): 1777-1788.
- [5] 徐雨晴, 於琨, 周波涛, 等. 气候变化背景下未来中国气候生产潜力时空动态格局[J]. 干旱区资源与环境, 2019, 33(9): 72-80.
- [6] 左冰洁, 孙玉军. 南方亚热带季风区将乐县森林植被动态变化及其对气候变化的响应[J]. 地球信息科学学报, 2019, 21(6): 958-968.

- 
- [7] 朴世龙, 张宪洲, 汪涛, 等. 青藏高原生态系统对气候变化的响应及其反馈[J]. 科学通报, 2019, 64(27): 2842-2855.
- [8] 张宇欣, 李育, 朱耿睿. 青藏高原海拔要素对温度、降水和气候型分布格局的影响[J]. 冰川冻土, 2019, 41(3): 505-515.
- [9] 李林, 李晓东, 校瑞香, 等. 青藏高原东北部气候变化的异质性及其成因[J]. 自然资源学报, 2019, 34(7): 1496-1505.
- [10] 王奕丹, 胡泽勇, 孙根厚, 等. 高原季风特征及其与东亚夏季风关系的研究[J]. 高原气象, 2019, 38(3): 518-527.
- [11] 周玉科. 青藏高原植被 NDVI 对气候因子响应的格兰杰效应分析[J]. 地理科学进展, 2019, 38(5): 718-730.
- [12] 杨柳, 阎建忠, 王盼, 等. 青藏高原气候变化对农牧民开垦的影响[J]. 生态学报, 2019, 39(10): 3655-3669.
- [13] 王玉琦, 鲍艳, 南素兰. 青藏高原未来气候变化的热动力成因分析[J]. 高原气象, 2019, 38(1): 29-41.
- [14] 郑海亮, 房世峰, 刘成程, 等. 青藏高原月 NDVI 时空动态变化及其对气候变化的响应[J]. 地球信息科学学报, 2019, 21(2): 201-214.
- [15] 王倩茹, 范广洲, 葛非, 等. 基于 CERA-20C 资料青藏高原边界层高度日变化气候特征分析[J]. 高原气象, 2018, 37(6): 1486-1498.