

第六届  
区域气候变化监测与检测学术研讨会  
(2021年10月20-22日)

论文集

中国气象局气候研究开放实验室  
中国地质大学(武汉)  
中国气象学会气候变化与低碳发展委员会  
贵州省气象局



# 前言

一场突如其来且旷日持久的全球新冠（COVID-19）疫情，完全打破了正常的学术交流节奏。第六届“区域气候变化监测与检测学术研讨会”本应于2020年夏季召开，由于国内疫情防控的要求，历经多次推延，最终确定在今年10月20-22日举行。本届研讨会由中国气象局气候研究开放实验室、中国地质大学（武汉）、中国气象学会气候变化与低碳发展委员会和贵州省气象局联合主办，得到国家重点研发计划专项“全球变化及应对”项目“小冰期以来东亚季风区极端气候变化及机制研究”（2018YFA0605603）支持。会议共收到论文近130篇，参会代表近230余人。感谢全体与会代表，自始至终对本届会议的召开保持充足的信心，并克服重重困难，从全国各地奔赴现场，参加交流。

气候变化是全球变化和地球系统科学领域的核心问题，应对气候变化，包括“碳达峰”和“碳中和”行动计划，受到社会各界广泛关注。气候变化科学研究已经取得巨大进步，为国际和国内应对气候变化计划和行动提供了重要决策依据。但是，气候变化科学研究仍然存在大量的不确定性。作为气候变化科学基础性和前沿性领域，全球和区域气候变化的监测与检测，同样存在大量科学和技术问题，有待深入研究。探索和解决气候变化监测与检测领域中的关键科学技术问题，是气候变化研究者的历史责任。

本届研讨会围绕以下议题开展交流：1）早期气候资料拯救、数字化及应用；2）地面气候资料系统偏差评价与订正；3）极端天气气候指标体系及其应用；4）东亚季风区器测时期极端气候变化；5）东亚季风区历史时期极端气候变化；6）亚洲干燥区气候与极端气候变化；7）青藏高原气候与极端气候变化；8）城市气候与极端气候变化；9）全球气候系统的反馈及敏感性；10）气候变化影响检测与归因；11）气候变化与中国水循环和水资源；12）气候变化监测、评估和服务。希望通过会间和会后的交流，增进对当前气候变化监测、检测和归因领域若干关键科学、技术问题的认识，推进我国区域气候变化监测与检测研究工作。

感谢夏军院士、翟盘茂研究员、赵平研究员、张强研究员、邵雪梅研究员、方修琦教授、张华研究员做大会邀请报告；感谢贵州省气象局李昌兴局长、刘曙光副局长，中国气象学会王金星秘书长、胡绍萍女士、王金凤女士，中国气象局科技与气候变化司袁佳副司长、顾宗伟处长，中国气象局国家气候中心宋连春主任、巢清尘副主任，气候研究开放实验室李清泉常务副主任，中国地质大学（武汉）环境学院大气科学系李双林主任等的大力支持；陈百炼、韩荣青、何超、贺新光、李超、李清泉、刘博、吕俊梅、牛振国、钱诚、史学丽、宋燕、汪卫平、晏红明、杨元建、游庆龙、余锦华、袁嘉灿、章新平等分别做主题邀请报告；李双林、刘敏、孙颖、张仲石、李金豹、高路、严小冬、张存杰、张瑞波、赵春雷、刘曙光、于秀晶、张秀芝、王革丽、胡国玲等主持分会场；感谢贵州省气候中心主任严小冬研究员及其他多位同事，中国气象局气候研究开放实验室农丽娟女士，中国地质大学（武汉）环境学院研究生郑翔、李如媛、龙艺文、杨国威、张思齐、索南看卓、薛晓颖、任晨晨、张永强、何佳骏、车金凝、王泠力及中国气象科学研究院（复旦大学）研究生张晋韬、苏峻、黄思琦等同学，在会议筹备和举办过程中所做出的无私奉献。

本届研讨会论文集由张晋韬、车金凝、王泠力编辑。

任国玉

2021年10月20日



# 目录

前言 .....	任国玉
<b>S0 邀请报告 .....</b>	<b>(1)</b>
<b>S1 气候资料拯救、质控与偏差订正 .....</b>	<b>(2)</b>
中国近 50 年地面风速变化研究选站及订正规则探讨 .....	张秀芝 (3)
黑龙江省人工观测与自动观测气象数据均一性检验 .....	郑红 (4)
西北太平洋历史台风风场重建模型参数试验 .....	孔莉莎 (5)
中国动植物自然物候资料数字化整编与应用 .....	罗岚心 (6)
1893-2020 年厦门地区日降水变化初步研究 .....	吴伟杰 (7)
资料均一化对气温变化趋势及其城市化偏差估计的影响：以北京地区为例 .....	何佳骏 (8)
An imputation method for the climatic data with strong seasonality and spatial correlation .....	Yun Qin (9)
全国 60 个重点城市近百年极端降水数据分析 .....	战云健 (10)
Extreme temperature of the mid-18th century as compared to today's in Beijing .....	Yuyu Ren (12)
再分析与中国高空温度和湿度资料对比研究 .....	张思齐 (13)
多种再分析气温降水资料在青藏高原的适用性评价 .....	赵彤 (14)
网格化日降水量产品在极端降水及降雨侵蚀力估算中的表现 .....	王茂青 (15)
<b>S2 现代气候变化观测研究 .....</b>	<b>(16)</b>
印度夏季风与大西洋年代际振荡联系的不稳定：基于 CESM LE 的结果分析 .....	Ayesha Ahmad (17)
气候变暖背景下青藏高原夏季热源和水汽的长期变化 .....	李清泉 (18)
东北地区不同等级降水气候变化特征及小雨雨量减少成因分析 .....	陈东辉 (19)
基于关联性分析的近 50a 烟台北部沿海气温与 ENSO 关系 .....	翟少婧 (20)
贵州省近 60 年温度气候变化趋势及其时空分布特征 .....	陈百炼 (21)
福建沿海海雾分类及其形成机理 .....	张苏平 (22)
基于 CAM5.1-1degree 模式分析人类活动对黄淮海流域降水变化的可能影响 .....	沙祎 (23)
基于 TRMM、CMORPH、PERSIANN 3 种卫星资料的三峡库区局地降水变化分析 .....	张天宇 (24)
东北冷涡强度定义及特征分析 .....	胡鹏宇 (25)
基于转移熵分析法研究 ENSO 与亚洲地区气温间因果关系 .....	吴昕悦 (26)
初夏西北太平洋副高东西变动对中国南部降水东西差异的影响 .....	晏红明 (27)
The process of high-frequency intraseasonal oscillation associated with a persistent rainfall event over South China .....	Bin Zheng (28)
基于微波辐射计资料的平潭岛空中水汽资源特征分析 .....	余永江 (29)
长程记忆性对全球变暖的影响 .....	李林芝 (31)
福建省 1979-2018 年蒸发皿蒸发量时空演变及其影响因子分析 .....	彭莹 (32)
比较 NOAA20C 和 ERA20C 资料对越赤道气流的模拟 .....	李麟慧 (33)
气候变暖背景下吉林省降水及变率的变化特征 .....	于秀晶 (34)
东中国海海温在增暖停滞期的变化特征及成因分析 .....	张琪 (35)
中国北方冬季气温的年际变化对北太平洋东部海温异常的响应 .....	刘炜 (36)

气温季节性变化及其人类活动信号检测.....	段建平 (37)
近 40 年夏季东北移高原低涡统计特征.....	孙芳 (38)
全球 500hPa 大气环流对两种类型厄尔尼诺事件的响应.....	张雪梅 (39)
基于互补蒸散理论的青藏高原冻土区点尺度地表实际蒸散发的估算研究.....	尚程鹏 (41)
利用 COSMIC 掩星资料研究青藏高原地区大气边界层高度.....	周文 (42)
南海夏季风变化特征及爆发机制研究.....	殷美祥 (43)
气温的天气和气候记忆性特征分析——以济南和青岛为例.....	刘思宇 (44)
近 47 年山东不同区域的气候变化及气候突变前兆信号分析.....	秦瑜蓬 (45)
Moisture Sources and Paths Associated with Warm-Season Precipitation over the Sichuan Basin in Southwestern China: Climatology and Interannual Variability.....	Sihan Zhang (46)
Not spatial change pattern but dryland expansion attributed to anthropogenic climate change.....	Shuyun Feng (48)
<b>S3 极端气候变化观测研究.....</b>	<b>(49)</b>
气候变化使 2020 年“超级暴力梅”发生概率增加近五倍.....	叶洋波 (50)
地理因子在北疆极端气温趋势变化中的作用.....	赵焯 (51)
基于 MCI 指数的安溪茶区干旱气候特征分析.....	陈立 (52)
2021 年春季华北地区一次典型沙尘重污染天气过程研究.....	刘志远 (53)
云南冬半年极端低温事件及与大气环流的关系.....	金燕 (54)
1967-2019 年西南地区高温的时空特征分析.....	字冉 (55)
山东夏季极端热事件变化特征.....	周强 (56)
山西极端暴雨基本特征研究.....	周晋红 (57)
Human influence on frequency of temperature extremes.....	Ting Hu (59)
贵州省短时强降水时空分布特征分析.....	肖蕾 (60)
20 世纪初中期登陆或影响中国台风的频数变化特征.....	李欣欣 (61)
近 60 年吉林省区域高温事件时空特征分析.....	胡轶鑫 (62)
全球及大洲区域极端降水长期变化归因.....	董思言 (63)
Changes in extreme precipitation accumulations during the warm season over continental China.....	Meiyu Chang (64)
全球变暖背景下长江上游极端降水变化特征.....	方思达 (66)
1960-2019 年内蒙古极端高温事件变化特征分析.....	冯晓晶 (67)
基于 MCI 的我国华北地区干旱时空变化特征分析.....	蔡秀华 (68)
三江源区 60a 不同气候态极端气温事件时空分布特征.....	赵梦凡 (70)
Identification of winter long-lasting regional extreme low-temperature events in Eurasia and their variation during 1948-2017.....	Yinxian Zhang (71)
北上东北台风的气候成因分析.....	韩荣青 (72)
洞庭湖流域季节性气象干旱的时空变化及影响因素分析.....	刘仲藜 (73)
Understanding future increases in precipitation extremes in global land monsoon regions.....	Meiyu Chang (74)
2020 年贵州特重级秋绵雨天气特征分析.....	段荣 (76)
厄尔尼诺事件背景下忻州酷夏极端降水事件频次分析.....	郝小平 (77)
内蒙古地区夏季旱涝急转异常特征研究.....	赵艳丽 (78)
2017 年咸阳夏季高温成因浅析.....	胡国玲 (79)
大连地区冰雹的气候特征分析.....	隋玉秀 (80)

一次冰雹过程的成因分析.....	周霞 (81)
1971-2016 年黄河流域暖季极端降雨侵蚀力时空变化趋势分析.....	王文婷 (82)
Spatial and temporal characteristics of abrupt heavy rainfall events over Southwest China during 1981–2017.....	Yangruixue Chen (83)
2011-2018 年安徽暖季短时强降水及其环流背景统计特征.....	吴照宪 (84)
2015 年冬季北极极端气旋影响中国寒潮天气的初步研究.....	张琳 (85)
WRF-based dynamical downscaling simulation of precipitation and temperature extremes over Eastern China with dynamic blending technique.....	Neng Luo (86)
Analysis of moisture sources and transport abnormalities of super-drought events in the middle and lower reaches of the Yangtze River.....	Yansong Guan (87)
西北干旱区极端降水发生期时空变化及环流成因研究.....	孙雯璇 (88)
<b>S4 城市气候变化观测与模拟研究.....</b>	<b>(90)</b>
城市气候对极端气候及农业气象灾害指标的影响.....	孔德胤 (91)
基于均一化资料的广州近百年气温变化特征研究.....	潘蔚娟 (92)
山西省空气污染扩散条件分析.....	周雅清 (93)
Impact of cropland degradation in the rural-urban fringe on urban heat island in Yangtze River Delta.....	Hongyun Ma (94)
Urbanization Significantly Affects Pan-Evaporation Trends in Large River Basins of China Mainland.....	Chenchen Ren (96)
Urbanization effect on estimation of regional light precipitation trend in China mainland.....	Suonam Kealdrup Tysa (97)
PM2.5 influence on Urban Heat Island (UHI) effect in Beijing and the possible mechanisms.....	Guowei Yang (98)
城市化对全球陆地极端和平均气温变化趋势的影响.....	张盼峰 (99)
天气和气候记忆性特征分析——以济南和青岛为例.....	刘思宇 (100)
厦门 1981~2020 年两个 30 年气候平均值的对比分析.....	郑美秀 (101)
大连极端气温指数变化趋势研究.....	金磊 (102)
2021 年上半年忻州市气候评估.....	马子平 (103)
2018/2019 年冬季哈尔滨市异常高温少雪成因.....	袁典 (104)
石家庄市夏季高温天气及人体舒适度研究.....	甄晓菊 (106)
气候变化对上海城市防洪除涝的影响与适应.....	杨涵洧 (108)
山西太原大气 CO <sub>2</sub> 浓度数据筛分及特征分析.....	王淑敏 (110)
Asymmetrical shift toward less light and more heavy precipitation in an urban agglomeration of East China: Intensification by urbanization.....	Xiaojie Yu (112)
Dual effects of synoptic weather patterns and urbanization on summer diurnal temperature range in an urban agglomeration of East China.....	Min Guo (113)
Synergistic Influence of Local Climate Zones and Wind Speeds on the Urban Heat Island and Heat Waves in the Megacity of Beijing, China.....	Lian Zong (114)
<b>S5 气候变化趋势预估与影响研究.....</b>	<b>(115)</b>
气候变化趋势模型模拟和短期天气预报数值试验研究.....	陈友民 (116)
不同情景模式下大连地区极端高温预评估.....	赵华睿 (117)
基于 CMIP6 多模式的气候变化对亚洲水塔的影响评估.....	刘柱 (118)

东亚地区云对四倍 CO <sub>2</sub> 强迫的快慢响应分解研究 .....	周喜讯 (119)
多站点日尺度天气发生器的模拟与对比 .....	范聪慧 (120)
北半球夏季风对全球变暖的纬向非均匀响应 .....	何超 (121)
RCP 情景下内蒙古黄河流域径流预估及其对水资源的影响 .....	孟玉婧 (122)
气候变化对长江上游径流和水库运行的影响预估 .....	秦鹏程 (124)
基于信息熵的中国 21 世纪气温世纪气温变异性研究 .....	孙美平 (125)
基于 CMIP6 模式中国降水量未来年内变幅预估 .....	邢巧凤 (126)
未来情景下长江上游旱涝时空变化分析 .....	温泉沛 (127)
Tibetan Plateau warming response to transient and stabilized 2.0/1.5°C global warming targets .....	Jintao Zhang (128)
内蒙古地区典型草原下垫面 CO <sub>2</sub> 通量变化特征及影响因素 .....	白美兰 (129)
气候变暖背景下东北地区采暖期变化特征研究 .....	孙爽 (130)
中国北方遥感物候特征及其气候变化响应 .....	李鹏程 (131)
ENSO 和 IOBM 对现代亚洲降水氧同位素变化的影响 .....	谢小训 (132)
全球变暖下温湿复合型热浪的变化和人口暴露度预估 .....	袁嘉灿 (133)
Diurnal temperature range (DTR) in CMIP6 .....	Xiubao Sun (134)
基于 CMIP6 多模式的中国未来降水变化概率预估 .....	赵子辉 (135)
<b>S6 区域气候变化监测、评估和服务 .....</b>	<b>(136)</b>
次季节—季节 (S2S) 预测数据与服务 .....	胡星 (137)
人工智能技术在气候监测预测业务中的应用 .....	杨琴 (139)
中国西南地区农业干旱灾害的风险研究 .....	冯爱青 (140)
基于 GIS 的云南早熟鲜食葡萄气候适宜性区划 .....	徐梦莹 (141)
贵州省区域性凝冻过程的指标确定及应用 .....	李忠燕 (142)
安庆地区 2019 年伏秋连旱气象服务探讨 .....	蔡冬梅 (143)
秦岭主峰太白山气候季节划分探讨 .....	雷向杰 (144)
丹江口水库及周边水资源监测评估 .....	薛龙琴 (146)
渤海海峡客运航线影响预报研究 .....	邬晓冬 (147)
基于卫星反演产品的贵州降雹识别指标研究 .....	彭宇翔 (149)
影响飞行的航空气象要素特征研究 .....	李新芳 (150)
武汉地区气温变化对支气管炎发病的影响研究 .....	赵小芳 (151)
武平县负氧离子浓度预报模型的建立及检验分析 .....	朱冬梅 (152)
黄河源土壤冻融过程中陆-气间的水热交换特征分析 .....	武月月 (153)
气候变化背景下清远森林火险指数变化规律研究 .....	罗瑞婷 (154)
中国东部区域极端降水事件特征—两种方法监测对比 .....	余锦华 (155)
气候条件对崂山茶的影响研究 .....	宋春燕 (156)
≤-40°C 极寒天气气候特征及其变化与预报指标研究 .....	赵玉洁 (157)
未来气候变化背景下贵州省夏季旅游气候资源的变化预估 .....	张娇艳 (158)
贵州气候服务手册 .....	陈娟 (159)

# S0 邀请报告

## 气候变化与长江大保护

夏军，武汉大学/中国科学院

## IPCC AR6 关于区域气候变化方面的新进展

翟盘茂，中国气象科学研究院

## 青藏高原气象科学试验与研究进展

赵平，中国气象科学研究院

## 基于高精度降水资料的干旱监测技术研究与应用

张强，国家气候中心

## 树轮资料在区域气候变化研究中的应用

邵雪梅，中国科学院地理科学与资源研究所

## 中国历史气候变化适应中的弹性增损

方修琦，北京师范大学

## 地球系统能量收支和气候反馈研究进展

张华，中国气象科学研究院/中国地质大学（武汉）

## **S1 气候资料拯救、质控与偏差订正**

# 中国近 50 年地面风速变化研究选站及订正规则探讨

张秀芝\*

(国家气候中心, 北京 100081)

## 摘要

2020 年 9 月 22 日, 我国在联合国大会上提出, 要“提高国家自主贡献力度、采取更有力的政策和措施, 二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值, 努力争取 2060 年前实现碳中和”。为实现该目标, 2020 北京风能宣言: 到 2030 年至少达到 8 亿千瓦, 到 2060 年至少达到 30 亿千瓦。与此同时, 风速的长期变化引起了风电界的广泛关注。为此, 本文从分析 2400 多个地面气象站的风速变化、观测场周边环境、城市变化等方面入手, 甄别自然变化和人为影响因素, 探讨地面风速长期变化研究选站规则, 尝试挑选接近自然变化的测站, 给出我国地面风速的真实变化状况。

数据初选: 1970 年前后我国测风仪集中更换, 因此数据分析从 1970 年开始。风电开发基本在风速较大的区域, 因此挑选大部分年份年平均风速大于 2m/s 的测站, 2400 多站初选出 1812 站的风速进行分析。

在所选站点中发现的主要问题有:

1、风速持续缓慢减小。由于城市经济迅速发展, 城市范围不断扩大, 建筑物越来越高越密, 城市下垫面缓慢改变, 导致气象站地面风速持续减小, 如 50775 站 1983-2013 年风速一直在减少, 而位于其以东约 175 公里的 50758 站和其以西约 420 公里的 50834 站风速均没有一直减少的趋势, 表明 50775 站 1983-2013 年风速变化为城市变化所致, 而且这种变化状况很普遍。因此将这种风速持续减小的站剔除。

2、迁站。城市发展使得气象站周边建筑增高, 观测场不符合相关规定, 只得迁站 (见 50758 站, 有的曾 4-5 次迁站, 查到迁站的同期对比观测数据, 可根据对比观测结果进行风速订正。

3、测风仪高度变化。测风仪高度变化比较复杂, 观测场整体垫高, 测风杆移到房顶, 测风杆移到塔架上, 风速出现突然增大或减少, 需要进行高度订正。54776 测风杆由海边的一侧移到另一边, 风速都会产生变化, 需要进行订正。

4、观测方式改变。2005 年全国统一由人工观测改为自动站观测, 按规定 2003-2004 年要进行同步观测, 分析各要素的误差, 可依据风速误差进行订正。

**关键词:** 地面风速; 均一化; 城市化; 长期变化

---

\* E-mail: zxz@cma.gov.cn

# 黑龙江省人工观测与自动观测气象数据均一性检验

郑红\*

(黑龙江省气候中心, 哈尔滨 150030)

## 摘要

截止到 2006 年, 我国共有 1904 个自动气象站已经运行, 由于人工观测与自动观测在仪器原理及观测方法上均有很大的不同, 如何对两种观测结果进行检验具有重要的现实意义。本文从检验原理及检验方法上进行了论述, 并随机选取黑龙江省 8 个观测站的 2005 年的 1~12 月每日 02、08、14、20 时的平行观测资料, 对所有观测要素的人工观测站和自动站观测结果进行了检验。结果表明: 人工观测结果和自动观测结果所有要素的无显著差异率接近 96%, 均一化水平较好。总体来看黑龙江省人工观测结果和自动观测结果在冬季、夏季均一性较差, 要素间存在差异现象较明显; 春季、秋季均一性较好, 差异性较小。其中差异性要素集中在水汽压 E、相对湿度 U、浅层地温 D、深层地温 K、风速 F。冬季表现明显的为相对湿度、浅层地温, 夏季表现明显的为风速和地温。原因主要体现在高纬度环境对观测仪器的影响、观测仪器与方法、人工观测误差与人工维护、观测时间与仪器工作原理等方面。如果要进一步完善自动站观测效果, 需要针对本省气候特点和影响差异性的原因做出调整和修订。

**关键词:** 人工观测; 自动观测; 均一性检验; 黑龙江省

---

\* E-mail: zhenghong0214@sohu.com

# 西北太平洋历史台风风场重建模型参数试验

孔莉莎\*, 张秀芝

(国家气候中心, 北京 100081)

## 摘要

西北太平洋是世界上发生热带气旋最多的海区, 约占全球热带气旋的 1/3 (以下将热带气旋统称为台风)。我国地处西北太平洋西岸, 海岸线较长, 因此受台风影响严重。台风大风是台风引发的主要灾害之一, 给人民群众生命财产安全等造成了重大损失。然而, 台风影响期间船舶避航, 海上台风大风实测资料非常匮乏, 卫星测风结果也达不到实际台风强度。因此重建西北太平洋历史台风风场, 可为风暴潮、海浪等其他台风灾害致灾因子风险评估、海上能源开发、海上军事活动等提供基础数据。在此基础上建立 1951-2020 年中国近海  $0.25^\circ$  网格点台风大风序列, 计算西北太平洋 50 年一遇最大风速, 可为海洋工程设计提供科学依据。

台风风场计算通常需借助于风场模型。相对于台风数值模式, 一些半经验半数值风场模型以及参数化风场模型计算历史台风风场较为简便、效率较高, 也可以取得较为精确的模拟效果, 如 Shapiro 风场、CE 风场、Yan Meng 风场等。其中, Yan Meng 风场是 Meng 等人于 1995 年建立的一种考虑边界层摩擦力修正的压力梯度平衡方程, 一些学者已使用 Yan Meng 风场模型模拟台风风场, 证实了该模型的可行性。

在 Yan Meng 风场模型中, 台风最大风速半径、压力分布常数  $B$ 、粗糙度  $z_0$  三个关键参数对台风风场模拟效果影响很大。其中, 台风最大风速半径是衡量台风水平尺度的主要标准之一, 然而目前含最大风速半径的资料非常有限。压力分布常数  $B$  也称 Holland  $B$  参数, 国外关于  $B$  的研究多为针对不同海域, 建立  $B$  与其他参数的经验计算方程, 但针对西北太平洋  $B$  的取值研究还不多。粗糙度  $z_0$  与地形有关, 各国规范和不同学者的研究略有不同。因此, 模拟历史台风风场之前, 有必要对这三个参数的适配取值进行试验并结合西北太平洋台风期间浮标站实测数据进行合理优化。

首先, 基于美国联合台风警报中心数据集, 讨论了台风最大风速半径的影响因子与其之间的关系, 提出了 4 种台风最大风速半径影响因子组合方案, 并通过实测数据选取了最佳的组合方案。然后, 利用 Yan Meng 模型和中央气象台台风网的台风参数等数据计算不同台风影响期间的浮标站模拟风速, 并结合浮标站观测风速对  $B$ 、 $z_0$  取值进行了估算试验, 最后以 19 个台风过程进行海上台风风场模拟效果检验。

结果表明, 台风中心最大风速(简称  $V_{max}$ )和台风所处纬度组合的方案对应的最大风速半径更合理; 参数取值试验中, 通过计算 6 个台风过程中 10 站次浮标站模拟最大风速与实测最大风速的偏差绝对值, 得到海面(浮标站)在  $z_0=0.005\text{ m}$ 、 $B=1.0$  时风速模拟效果较好; 选取参数取值试验之外的登陆闽北浙江、北上东海、西进南海、穿台湾进入台湾海峡共 19 个台风过程进行模拟效果检验, 说明中央气象台发布的  $V_{max}$  在  $40\text{ m/s}$  以下时,  $B=1.0$ 、 $z_0=0.005\text{ m}$  模拟的  $V_{max}$  接近于发布的  $V_{max}$ , 非最强风速区的模拟风速与浮标站观测风速拟合较好, 发布的  $V_{max}$  大于或等于  $40\text{ m/s}$  时,  $B=1.4$ 、 $z_0=0.005\text{ m}$  模拟的  $V_{max}$  接近于发布的  $V_{max}$ , 非最强风速区的模拟风速在  $B=1.0$ ,  $z_0=0.005\text{ m}$  时更合理, 因此验证了该模型及三个参数估算方案的适用性。

**关键词:** 风场模型; 台风; 重建

---

\* E-mail: 190574663@qq.com

# 中国动植物自然物候资料数字化整编与应用

罗岚心\*, 陈东辉, 任芝花

(国家气象信息中心, 北京 100081)

## 摘要

自然物候是农、林、牧业安排生产的指示物之一,也是研究气候变化的重要基础支撑,动植物的物候期在气候变化与气候适应研究中具有重要价值。中国气象局农业气象观测站自上世纪八十年代起就开始大规模的自然物候专业观测,相同站点的观测植株相对固定,观测持续时间长,是国内难得的空间覆盖率高、持续时间长、质量稳定的自然物候历史观测资料。早期的数据服务以抄录为主,因格式复杂、物种名不规范等问题,该资料没有得到有效的利用,资料价值体现不明显。2010年起,中国气象局开展了一系列档案保护和数字化工作项目,农业气象报表陆续在多个项目中完成数字化工作。以数字化资料为基础,经要素提取、正确性检查、完整性检查、格式检查、人工核对、数据清洗、数据整编及二级质量控制后,结合农气电子年报表研制出中国动植物自然物候历史数据集(1981-2018)。数据集分为木本、草本、候鸟昆虫三个子集,其中木本植物物候期 18 项,包含叶芽、展叶、开花、果实成熟、叶变色和落叶等关键物候期,草本植物物候 12 项,候鸟昆虫类动物的初鸣(初见)、终鸣(终见)期。数据集具备完整的站点元数据说明,标注了数据质量控制码,可作为卫星遥感数据矫正的验证数据,也可为全球气候变化研究、动植物生态学研究提供基础数据支撑。气温是影响我国木本植物物候的主要气象因子。20 世纪 80 年代以后,华北地区春季物候期提前,北京地区秋季物候有推迟趋势。本节应用北京地区农气站(40.38°N, 116.83°E)(39.93°N, 116.63°E)的玉兰、旱柳、杨树三种先开花后展叶的木本植物数据和榆树、枣树、槐树三种先展叶后开花的木本植物物候期统计当地木本植物物候期变化趋势,再利用日平均气温数据统计当地年积温变化趋势,分析植物对气候变化的响应程度。结果指出,从上世纪 80 年代中期为界,北京地区年积温先有降低趋势,后持续呈现波动增高趋势。积温始日从上世纪 80 年代中期起表现出提前趋势,与木本植物的展叶期、开花期变化趋势一致;积温终日则表现出波动延迟趋势,与秋叶变色、落叶期趋势一致,皮尔逊积矩相关系数分别为 0.67 和 0.73,年积温序列与木本植物生长期呈正相关。近三十八年北京地区的年积温增长趋势明显,先开花组的资料时间为 1981-2018 年。展叶期、秋叶变色和落叶期都有延后趋势,延迟率分别为 2.9d/10a, 5.1d/10a 和 4.5d/10a。而开花期表现出微弱提前趋势,约 10 年提前 1.9d,与趋势变化与积温始日相同。先展叶组资料时间为 1981-2002 年,展叶期、开花期都表现显著的提前趋势,提前率分别为 19d/10a 和 26d/10a,秋叶变色和落叶期有轻微延后趋势,延后率分别为 5.1d/10a 和 4.5d/10a,与积温终日波动延迟趋势相当。对比两组木本植物物候期可以得知,北京地区木本植物在过去三十余年的生长期都延长,对应当地年积温的增加趋势,是木本植物对环境平均温度升高的响应表现。

**关键词:** 动植物自然物候; 气候资料拯救

---

\* E-mail: llx@cma.gov.cn

# 1893-2020 年厦门地区日降水变化初步研究

吴伟杰<sup>1\*</sup>, 郑伟鹏<sup>2,3</sup>, 郑秀云<sup>4</sup>

(1. 厦门市气象服务中心, 厦门 361012; 2. 中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029; 3. 中国科学院大学地球与行星科学学院, 北京 100049; 4. 厦门市气象台, 厦门 361012)

## 摘要

厦门作为最早的通商口岸之一, 1890 年开始就成立有气象观测站, 从那个时候开始气象观测数据就被记录在香港天文台的中国海岸气象记录本 (China Coast Meteorological Register)。1892 年开始, 有组织的日降水观测数据就一直被记录在案。由于战争原因, 在 1944 年到 1946 年期间观测中断, 资料出现欠缺。19 世纪 70 年代, 福建省气象局对原有日降水数据进行了整理, 刊印形成了 1892-1975 年的日降水资料纸质数据集。由于年代较久和当时较差的印刷质量, 2019 年该纸质资料通过 OCR 软件进行数字化的时候, 出现大量的识别问题, 通过有经验的气象人员对数据进行人工校准, 最终完成了这部分数据的数字化工作。结合现有的数字化日降水数据, 截止 2020 年厦门地区的日降水数据已经延长至 124 年, 并且还在延长中。

厦门地区观测站点, 自从建站开始经历过 8 次的迁移。1892 年开始, 先是经历了一段稳定的观测期, 一直到 1944 年才进行首次搬迁。1946-1957 年期间经历了较为频繁的变动, 一共经历了 4 次搬迁, 1958-1979 年间是较为稳定的时期, 只搬迁过 1 次。最后一次搬迁是在 1980 年, 当时从鼓浪屿岛搬迁到现在厦门岛内的狐尾山。每次搬迁的地理位置和上一次观测的地理位置的直线距离在 3-12 公里不等, 第一次搬迁距离 3 公里左右, 最后一次搬迁距离 4 公里左右。所有的观测地址是在 36 平方公里的范围内。

2016 年以后, 随着自动站的增多, 多个迁移地点的日降水数据的获取变为可能。通过对这些自动站的日降水数据和现有狐尾山观测站点的对比, 80% 的观测日数表明这些地点的降雨情况是一致的, 即同时有雨或者同时无雨。同时, 现有观测站的平均日降水量和其他站点的平均日降水量接近, 降水日数要略多于其余自动站的降水日数。结合之前讨论的地理位置的变化情况, 考虑到厦门岛的面积大小, 基本上可以认为多个时期结合的降水数据是一致的, 可以代表整个厦门岛长达一个多世纪的降水变化情况。

通过对一个世纪多的降水数据的恢复和研究, 有机会探究长期受东亚季风和台风影响的特定地区的降水气候变化情况。初步研究表明, 在全球变暖的大气候背景下厦门地区的降水量和降水日数年变化存在增长的趋势。在漫长的时间里, 存在两个降水日数显著增长的时期, 分别是 19 世纪 20 年代和 1950-2000 年期间, 其中第二个时期更为明显。春夏两季的降水量贡献了年降水量的大部分, 这主要和台风和季风相关。但年降水趋势的增长主要来源于夏季和秋季, 这主要归功于台风的活跃, 尤其是秋季的台风。四季当中, 除了春季, 降水量都存在增长趋势, 其中夏季的增长最快。但降水日数的变化趋势都是一致的, 其中春季的降水日数增长最快。

**关键词:** 早期资料拯救; 降水; 长期趋势; 厦门

---

\* E-mail: 3322014@qq.com

# 资料均一化对气温变化趋势及其城市化偏差估计的影响： 以北京地区为例

何佳骏<sup>1\*</sup>, 任国玉<sup>1,2</sup>, 张盼峰<sup>1,3</sup>

(1. 中国地质大学(武汉)大气科学系, 武汉 430070; 2. 国家气候中心 中国气象局气候研究开放实验室, 北京 100081; 3. 吉林师范大学旅游与地理科学学院, 四平 136000)

## 摘要

当前的地面气候观测资料普遍存在非气候性因素导致的非均一性,对气候变化监测和研究结论可靠性造成重要影响。从中国气象局国家气象信息中心研发的“中国国家级地面气象站基本气象要素日值数据集(V3.0)”(任芝花等,2012)中挑选出北京地区20个台站均一化前的气温序列,使用ACMANT(Domonkos等,2011)和Pairwise Comparisons(Menne等,2008)方法以及RHtest V4(Wang等,2013)软件对其进行非均一性检验和订正,当至少两种方法在两年的时间窗口内检测出同一个或相近的断点时,则认为该断点为可订正的显著断点,并采用分位数匹配QM方法(Vincent等,2012)对断点进行订正。订正过程结合了观测台站的历史沿革数据,数据记录了每个台站因迁站造成的经纬度变动和海拔变化等详细信息。

订正结果显示,在20个台站气温序列中,有4条为均一的序列,分别是佛爷顶站、密云站、昌平站和石景山站,其余16个台站的断点的订正值(断点之前的序列片段的整体变化幅度)以负值偏多,-0.5°C附近为断点数量的高值区。订正前后的气温变化趋势,乡村站差异更为明显,订正前乡村站的增温趋势仅为0.04°C/(10 a),而订正之后的增温趋势明显增大,达到0.10°C/(10 a),并且通过了0.01的显著性检验;而城市台站订正后的序列较订正前仅上升了0.02°C/(10 a)。

使用本文订正后的数据与Cao等(2016)订正的均一化数据进行对比,发现本文订正的城市序列与均一化资料的订正结果类似,两组订正结果的城市站部分总体无明显差异;但乡村序列的订正结果与均一化资料的订正结果差异较为明显,特别是在2008年后,本文订正后的乡村站序列均呈现出显著的增温趋势。

最后评估了均一化对北京地区气温序列变化趋势及其城市化偏差估算的影响。结果表明:经过订正,1958—2018年整个北京地区、乡村站以及城市站增温趋势分别为0.27°C/(10 a)、0.10°C/(10 a)和0.32°C/(10 a),较订正前分别上升了0.03°C/(10 a)、0.06°C/(10 a)和0.02°C/(10 a);利用均一化资料估算,1958—2018年北京观象台的城市化影响为0.24°C/(10 a),城市化贡献率为70.2%。1961—2000年和1977—2006年北京观象台城市化贡献率分别为81.8%和62.7%,估计值与初子莹等(2005)的早期评估结果(1961—2000年,81.3%)几乎一致,但仍明显高于Yan等(2010)的分析结果(1977—2006年,38.6%)。

可见,在现有的北京地区气温资料序列中,仍可能存在较明显的非均一性和未被记录的断点,对区域平均气温趋势估算具有显著影响。但受限于本文使用的元数据的完整性,2005年之后的元数据资料并未得到更新,因此难以对元数据覆盖时期外的断点一一进行核对,这在一定程度上增加了部分断点订正的不确定性。

**关键词:** 均一化; 气温; 气候变化; 趋势; 城市化影响; 北京

\* E-mail: jiajun.he@cug.edu.cn

# An imputation method for the climatic data with strong seasonality and spatial correlation

Yun Qin<sup>1\*</sup>, Guoyu Ren<sup>1,2</sup>, Panfeng Zhang<sup>1</sup>, Lixiu Wu<sup>3,4</sup>, Kangmin Wen<sup>1</sup>

(1. Department of Atmospheric Science, School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan, China; 2. Laboratory for Climate Studies, National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing, China; 3. Department of Applied Statistics, School of Science, Guangxi University of Science and Technology, Liuzhou, China; 4. Department of Statistics, School of Mathematics and Statistics, Northeast Normal University, Changchun, China)

## ABSTRACT

Missing data were frequently found in the instrumental climatic records, which hindered the statistical analyses on climate change. A novel imputation method, called Imputation Based on Decomposition of Time Series (IBDTS), was developed in this article for the climatic data with strong seasonality and spatial correlation. It was to decompose the time series into three components first, and then to predict the missing values in each component. The trend component was predicted by regression analysis, the seasonal component was predicted by spectral analysis, and the remainder component was predicted by spatial interpolation. The IBDTS imputation method showed relatively small errors in performance, and kept the real attributes of climatic series, including the amplitude and phase with the cycle period of 12 months, and the linear trend. The sensibility to station distance for the IBDTS method was relatively small. In addition, the IBDTS method had the ability to deal with the data with none of or only a few of complete series, and it was possible to be applied not only in the field of climatology but also in other fields as long as the data had the intrinsic properties of strong seasonality and spatial correlation.

**Keywords:** Imputation; Missing data; Climatic data; Seasonality; Spatial correlation

注：本文已在《Theoretical and Applied Climatology》发表。

Qin, Y., Ren, G., Zhang, P. et al. An imputation method for the climatic data with strong seasonality and spatial correlation. *Theor Appl Climatol* 144, 203–213 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03537-9>

---

\* E-mail: qiny@cma.gov.cn

# 全国 60 个重点城市近百年极端降水数据分析

战云健\*

(国家气象信息中心, 北京 100081)

## 摘要

近百年来, 中国地区的平均气温显著增加, 使蒸发量和冰雪消融量增加, 大气可降水量增加, 增大了出现极端降水事件的可能性。已有较多研究指出中国大陆 20 世纪后半叶的降水整体趋向于极端化, 但其有无可能为百年尺度周期性波动中半个周期的表现? 如果该猜想为真, 未来降水的极端化趋势可能出现逆转。由于 20 世纪前半叶降水日值资料的缺失, 目前还不清楚中国区域百年尺度的极端降水变化特征规律。因此, 基于长期气候变化研究和应对的需求, 迫切需要认识百年尺度的极端降水变化情况。

本项目旨在构建中国大陆 20 世纪前半叶完整准确的逐日降水数据, 结合 1951 年以来的现代降水日值资料, 建立近百年的器测逐日降水数据集, 分析 1901 年来的极端降水变化特征规律。

我们分别采用中国气象局 2002 年完成的全国 60 个重点城市解放前和解放初期的一般月总簿、一般月报表、海关月总簿、逐日降水统计表等多种纸质档案之中降水资料的数字化资料、国家气象信息中心提供的《中国国家级地面气象站基本气象要素日值数据集(V3.0)》作为 1950 年前以及 1951 年以来的基础数据源, 其中, 全国 60 个重点城市解放前和解放初期数字化资料存在多种问题, 如多数城市的元数据信息缺失、无降水和缺测数据均缺失、降水量单位不一致、录入数据质量差、观测地点和观测时段不连贯等问题, 本项目分别对其进行了处理。

60 个城市的元数据信息记录有 200 个台站(观测机构), 其中有 37 个台站的观测地点经历过变更, 总共 237 个观测地点, 但先前的记录之中有 90 处观测地址不明, 29 处经纬度不明, 48 处海拔高度不明, 观测地址和经纬度都不明的有 20 处。经翻阅原始档案图像, 补充了大部分缺失的经纬度以及海拔高度, 另发现 6 个观测地点有两种不同经纬度或海拔高度信息, 即总共 243 个观测地点, 其中 15 处仍未能找到经纬度信息, 33 处未能找到海拔高度信息,

纸质档案之中只记录了有降水或微量降水存在情况下的降水量, 大多数档案没有对降水量“0”进行记录, 档案之中无记录时均未录入, 导致无法确认录入数据之中没有记录的部分是“无降水”还是“缺测”, 本项目制定了技术方案, 通过月内、年内是否有其他降水记录存在以及原数据记录信息等条件, 补充了 1901-1950 年 60 城市逐日降水资料之中的全部“无降水”与“缺测”记录。形成了整齐的 60 城市全部台站的 1901-1950 年逐日降水资料。

1951 年以来的逐日降水资料的单位只有毫米(mm)一种, 精确到 0.1mm, 大部分历史纸质气象档案之中的降水量单位和精度与其相同, 但海关观测等部分档案的单位是英寸(in), 精确到 0.01in。为形成统一的单位和精度, 本项目将全部逐日降水记录均使用两位小数表示。以 mm 为单位的记录小数点后二位补 0, 以 in 为单位的换算成 mm 之后, 四舍五入到小数点后二位。完成处理之后, 全部逐日降水资料的单位已统一。

1951 年之前的数字化逐日降水资料的质量问题有两类来源: 数字化过程错误以及档案数据本身错误。第一类错误的主要是因为解放前逐日降水记录记载于年代久远的纸质气象档案之上, 纸张多存在发黄老化、破损等现象, 并且多数档案为人工手抄记载, 人眼识别和手

---

\* E-mail: zhanyj@cma.gov.cn

动录入困难，显著影响了录入数据的完整性和正确性；第二类错误的形成原因是早期的观测和统计人员记录数据缺少规范，无法保证原始档案之中记载的数据为真实观测数据。本项目通过以下三个步骤完成了质量控制过程：a 依据给定质量控制方案进行初次质量控制，检出“可疑”与“错误”数据。b 翻阅原始气象档案，检查检出的全部“可疑”与“错误”数据是否与档案记载相同。若相同，证实可疑或错误的数据来源与档案本身，质量控制码（QC码）标为 QC=1（可疑数据）或 QC=2（错误数据），不再进行下一个步骤；若不相同，表明先前的数字化过程错误，进行下一步的补充录入。c 基于原始档案图像修正检出的可疑与错误数据，质控码改为 QC=0（正确数据）之后进行二次质量控制，再次检出的可疑与错误数据的质控码直接标为 QC=1 或 QC=2。其中质量控制方案包含三个过程：气候学界限值检验、内部一致性检验、时间一致性检验。通过质控过程，检出了 584 个站月存在可疑或错误数据，完成了其中属于数字化过程错误的 402 站月以及可找到其它数据源的 1 个站月的错误数据的修正，其余的 181 个站月之中的可疑或错误数据通过质控码标出，如此形成了可靠的解放前逐日降水资料。

为构建百年尺度的逐日降水资料序列，本项目将多来源的解放前逐日降水资料与 1951 年以来的现代降水逐日观测资料整合以及拼接，处理形成单一台站的序列。本项目在整合拼接之前，预先将解放前数据之中与 60 城市现代国家级地面气象观测站水平距离和海拔高度差异太大或经纬度与海拔高度任意一项不明的质控码改为 QC=3，代表台站地址与现代有显著差异的数据，以数据完整性好、位置接近现代国家站、序列长等指标作为依据，将 1951 年之前的数据与 1951 年以来的现代国家站逐日降水资料拼接，建立了完整的 1901-2019 年 60 个城市站逐日降水数据集。

本项目主要依据数据的完整性、正确性和均一性等指标，对中国 60 个重点城市 1901-2019 年逐日降水数据集进行评估。评估结果显示：

完整性方面，在中国东部，台站密集且空间分布较为均匀，数据实有率高，但中国西部台站较为稀疏且实有率偏低。台站数量及数据实有率均在 20 世纪早期以及 1945 年左右较少，20 世纪 30 年代较多，1951 年之后的数据完整性很好。

正确性方面，1951 年之前数据集的正确性稍低，主要原因是站址差异数据和估测为整月为 0 的数据占比较高。整个数据集之中的错误数据只有一组，可疑数据虽然在 20 世纪 10 年代稍多，但占总数据量的比例不高。

均一性方面，数据集虽然使用多来源地降水资料进行了拼接，但 60 个台站的 1901 年以来的降水量、1mm 以上降水日数和降水强度序列断点较少，尤其是序列接续的 1951 年左右绝大多数台站均未出现断点，1950 年之前降水量、1mm 以上降水日数和降水强度序列同时出现过仅有 1912 年的九江站，但其观测位置和观测方式并未发现有明显的变化。因此，认为数据集的总体均一性好，适用于极端降水的长期变化研究工作。

**关键词：**降水；均一化；百年器测资料

# Extreme temperature of the mid-18th century as compared to today's in Beijing

Yuyu Ren<sup>1,2\*</sup>, Guoyu Ren<sup>1,2</sup>, Rob Allan<sup>3</sup>, Siqi Zhang<sup>1,2</sup>

(1. China University of Geoscience (CUG), School of Environment Studies, Department of Atmospheric Science, Wuhan 430074; 2. China Meteorological Administration (CMA), National Climate Center (NCC), Beijing 100081; 3. Met Off Hadley Center, Climate Monitoring & Attribution Group, Exeter EX1 3PB, Devon, England)

## ABSTRACT

The extreme temperature events of the mid-18th century can help understand the background climate conditions of the pre-industrial revolution period. However, studies are lacking mainly due to the scarceness of instrumental observations. Based on the observations made by the French Missionary Amiot in Beijing, a daily maximum and minimum temperature dataset during 1757-1762 was established using relationships developed with reference to modern observations of nearby stations. The first result of a comparison between the extreme temperature change of the mid-18th century and the present situation (2014-2019) in central Beijing city shows: 1) There were mean annual summer days (the counts of days with daily maximum temperature  $>25^{\circ}\text{C}$ ) exceeding 130 d, and tropical nights (the counts of days with daily minimum temperature  $>20^{\circ}\text{C}$ ) of more than 52 d, as compared to more than 150 d and 80 d respectively at present; 2) The mean annual frost days (daily minimum temperature  $<0^{\circ}\text{C}$ ) and ice days (daily maximum temperature  $<0^{\circ}\text{C}$ ) were 126 d and 31 d respectively in 1757-1762, but only 110 d and 10 d respectively during 2014-2019; 3) The mean annual warm days (Days when maximum temperature  $>90$ th percentile) and warm nights (Days when minimum temperature  $>90$ th percentile) were 63 d and 30 d respectively in comparison to the present values of more than 65 d and 55 d respectively; 4) The annual mean cool days (Days when maximum temperature  $<10$ th percentile) and cold nights (Days when minimum temperature  $<10$ th percentile) were around 52 d and 48 d respectively in 1757-1762, but they are less than 40 d and 30 d respectively today. Therefore, the occurrences of most warm events in the mid-18th century were slightly lower than modern time, and the occurrences of most cold events were more frequent compared with those in modern time, with the decrease of cold events from 260 years ago to today more obvious than the increase of warm events. The rapid warming at Beijing in recent decades, especially in the urban center, has exerted a great influence

**Keywords:** extreme temperature events; mid-eighteenth century; pre-industrial revolution; climate change; Beijing

注：本文已在《Climatic Change》发表：<https://doi.org/10.1007/s10584-021-03063-7>

---

\* E-mail: renyuyu@126.com

# 再分析与中国高空温度和湿度资料对比研究

张思齐\*

(国家气候中心, 北京 100081)

## 摘要

利用 NCEPv1、NCEPv2、ERA20C、ERA-interim、JRA55、20CR、MERRA 和 CFSR 等八套全球再分析地表逐月气温和高空温度、湿度数据, 以及中国高空 118 站 1979 年以来原始、均一化大气温度、比湿和相对湿度资料, 对各套再分析数据描述中国地区温度和湿度及其变化特征的能力进行了系统评估。通过比较时间序列、小波功率、相关系数、标准差和线性趋势等, 分析评价了 1979—2015 年再分析资料在多年平均值、周期特征、年际变率、离散度及长期变化趋势等方面与各类实际观测资料之间的差异, 得到如下结果: 多数再分析数据与探空观测数据比较在对流层偏冷、偏湿, 平流层偏暖; 再分析与均一化后探空温度资料比较, JRA55、ERA-interim 和 MERRA 年际变率更为一致, 湿度年际变率和离散度在对流层低层较为一致, ERA20C 更为接近观测; 多数再分析高空温度与均一化的探空观测温度在对流层中低层/平流层下层一致呈上升/下降趋势, 比湿在对流层低层呈上升趋势, 对流层中层为下降趋势, 相对湿度多数为下降趋势, 第三代再分析高空温度趋势以及 ERA20C 和 20CR 高空比湿趋势与观测较为接近。

**关键词:** 再分析资料; 观测资料; 中国; 高空温度; 高空湿度; 对比

---

\* E-mail: zhangsq@cug.edu.cn

# 多种再分析气温降水资料在青藏高原的适用性评价

赵彤\*

(青海省气象科学研究所, 西宁 810012)

## 摘要

基于青藏高原 61 个区域级气象站 2016 年 12 月至 2017 年 11 月的气温降水地面观测数据, 对中国区域地面气象要素数据集 (CMFD)、全球大气和陆面再分析资料 (CRA) 以及 MERRA-2 (The second Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications) 再分析资料的月尺度气温、降水数据三套资料通过变量拆分、投影转化和空间插值等方法, 采用 5 个精度评估指标和站点观测数据进行精度对比, 进而评估三套数据的准确性以及在青藏高原的适用性。

年尺度上, MERRA-2 在整体上空间差值最小, 最接近气温观测数据, CMFD 和 CRA 在青藏高原西北部和中西部地区均对年平均气温存在较大低估。CMFD 在站点尺度上离散程度最小、拟合优度最高, MERRA-2 和 CRA 拟合精度依次降低, 且三者均在不同程度上低估了年平均气温; 降水方面, CMFD 年降水量整体上空间差值最小, CRA 在高原南部存在小面积较大量级的高估, MERRA-2 则低估了高原中部的年降水量。站点尺度上, CMFD 和 CRA 拟合精度较高, 且均表现出小降水量高估、大降水量低估的量级波动特征, MERRA-2 年降水量整体偏低程度较大。季节尺度上, 三套数据对气温信息的捕捉整体上要优于降水, 四个季节的季节平均气温与站点观测值的相关系数均大于 0.5, 有较好的准确性和稳定度。综合误差分析结果, 除 MERRA-2 在秋季季节平均气温上综合精度较高外, CMFD 在春、夏、冬三个季节与观测数据最为相近, 相关系数均高于 0.7。季节平均气温在整体上均表现为秋季高估, 其他三个季节低估; 由于青藏高原雨热同期, 降水时段基本集中在 5~9 月的汛期, 因此三套数据集和观测数据在不同季节之间差距较大, 其中 CMFD 和 CRA 在春、夏、秋三季和观测数据的相关系数均在 0.5 以上且误差较小, 在降水较少的冬季仅有 CMFD 表现较好, CRA 和 MERRA-2 分别在相关性和数量级上存在较大误差。除 MERRA-2 低估了青藏高原夏季降水外, 不同数据集与观测数据在不同季节上的正差值占比均显著高于负差值, 表明三套数据整体上更多的高估了季节降水。而在月尺度上, 不同数据集对不同海拔高度、坡度坡向的气温降水拟合精度各有不同。低、高海拔的 CMFD 和中海拔的 CRA 月平均气温最接近观测数据的实际值, 且 CMFD 在不同月份的波动趋势与实际值拟合结果最好。三套数据在小、中坡度的月平均气温上均表现较好, 但在  $>10^\circ$  的坡度上则表现出明显的低估, 在一定程度上反映出数据集对存在较大高度差的气温信息捕捉能力欠缺。不同坡向的月平均气温观测值与三套数据在不同月份的波动性体现出一致性, 拟合结果上, N-E 方向拟合精度相对较差; 月降水量的拟合结果相对气温表现较差, 尤其是 MERRA-2 对实际降水较多月份严重低估, 且较大程度减弱了月降水的波动性, 在趋势上不能很好体现实际情况。针对不同海拔、坡度的月降水, CMFD 和 CRA 拟合精度均较高, 而不同坡向的拟合结果与月平均气温相似, 在 N-E 方向上三套数据表现较差, 可能是忽略了夏季西南季风的扰动作用。

综上所述, 三套数据在不同程度上均表现出低值高估, 高值低估, 整体上波动性减弱的趋势。综合考虑不同时间尺度和地形特征的数据拟合结果、波动趋势, CMFD 与站点观测数据最为接近, 适用性最强。

**关键词:** 再分析资料; 青藏高原; 气温; 降水

---

\* E-mail: taytaycma@163.com

# 网格化日降水量产品在极端降水及降雨侵蚀力估算中的表现

王茂青<sup>1\*</sup>, 殷水清<sup>1</sup>, 岳天雨<sup>1</sup>, Bofu Yu<sup>2</sup>, 王文婷<sup>3,1</sup>

(1. 北京师范大学地理科学学部地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875; 2. Australian Rivers Institute, School of Engineering and Built Environment, Griffith University, Nathan, Qld 4111, Australia; 3. 北京师范大学珠海校区地表过程与资源生态国家重点实验室, 珠海 519087)

## 摘要

可靠的降水数据集是研究气候变化下的极端降水变化及其对地表过程影响的基础。为了提高降水观测的时空覆盖率, 大量网格化降水产品被开发出来, 用于全球和区域气候变化研究、气候模型评估, 也可以作为水文、作物和土壤侵蚀模型等各种陆面过程模型的气象输入。然而, 由于网格化降水产品往往代表一个网格内的面降水, 而站点降水数据代表一个点上的降水, 两者存在尺度上的内在差异, 使得两者的日降水量概率分布函数也有所不同。在应用网格化降水产品时, 若不考虑这些差别, 会导致极端降水分析结果、气候模式评估结果和地表过程模型的输出结果存在偏差。本文分别基于 1982—2014 年中国 2000 余个气象站日降水量观测数据与三种网格化日降水量数据集:  $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$  全球陆地日降水量数据集 CPC、 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  全球陆地日降水量数据集 GPCC 和国家气象信息中心制作的  $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$  中国日降水量数据集 CGDPA, 首先从降水量概率分布对比了网格化日降水量产品与站点数据的差别, 评估了在使用站点数据通过空间插值生成网格化面降水时的平滑效果; 选取了四个国际常用的一般和极端降水指数: 年降水量 (PRCPTOT)、年湿日数 (WD)、年强降水总量 (R95pTOT) 和 1 日最大降水量 ( $R \times 1\text{day}$ ), 对比网格日降水量产品与站点数据在极端降水评估中的表现; 分别用网格日降水量产品和站点日降水数据生成土壤侵蚀模型 USLE 和 RUSLE 中的降雨侵蚀力因子地图, 量化网格化日降水产品估算的降雨侵蚀力的偏差大小, 以评估在基于站点数据建立的地表过程模型中直接将网格化降水产品作为输入数据, 给结果带来的影响。主要结论如下: (1) 网格化面降水量的生成过程平滑了站点观测的降水量。网格产品的年平均降水量与站点数据非常相似, 但湿日数高估了 16.7-25.9%; CGDPA 的日降水量概率分布与站点观测数据最相似; (2) 网格化日降水量产品系统低估了极端降水事件的频率和数量。在中国东部地区, 三种网格产品 CPC、GPCC、CGDPA 与站点数据计算的 R95pTOT 的比值的的中位数分别为 0.85、0.93 和 0.97,  $R \times 1\text{day}$  的比值的的中位数分别为 0.69、0.78、0.85; (3) 降雨侵蚀力与日降水量的指数关系放大了网格数据对极端降水的低估程度。在中国东部地区, CPC、GPCC、CGDPA 与站点数据估算的多年平均降雨侵蚀力的比值的的中位数分别为 0.63、0.77 和 0.85, 十年一遇次降雨侵蚀力的比值的的中位数分别为 0.49、0.62 和 0.71。在中国西部地区, 由于站点稀疏, 网格产品生成过程中的插值误差较大, 导致网格产品和站点数据生成的降雨侵蚀力地图之间的关系具有明显的不确定性和空间变异性。研究表明, 由于网格化的降水产品通常无法捕捉极端降水量, 在使用网格产品时需要注意避免系统偏差。当在基于站点数据建立的地表过程模型中将网格化降水产品作为输入数据时, 需要对模型的结果进行偏差校正, 否则需要在与网格数据相匹配的面尺度上重新校准模型。

**关键词:** 极端降水; 日降水量; 网格化数据; 概率分布; 降雨侵蚀力

\* E-mail: 201921051015@mail.bnu.edu.cn

## **S2 现代气候变化观测研究**

# 印度夏季风与大西洋多年代际振荡联系的不稳定：基于 CESM LE 的结果分析

Ayesha Ahmad<sup>1</sup>, 李双林<sup>1,2\*</sup>, 罗菲菲<sup>1</sup>, 郜永祺<sup>1,3</sup>

(1. 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029; 2. 中国地质大学(武汉)大气科学系; 3. Nansen Environmental and Remote Sensing Center and Bjerknes Centre for Climate Research, Bergen, Norway)

## 摘要

大西洋多年代际振荡 (AMO) 是主要的气候系统内部年代际海温模态, 是北大西洋地区具有海盆尺度、时间上具有数十年尺度的海表温度准周期性冷暖异常变化。过去观测和模式研究均表明, 在 50-60 年年代际尺度上, AMO 可以调制印度夏季风 (ISM): 正 (负) 位相 AMO 引起 ISM 的增强 (减弱)。但是, 上世纪 90 年代中期之后, AMO 和 ISM 表现出负相关 (图 1), 与之前的认识相矛盾。为解决这一问题, 利用 CESM 的 1800 年工业革命前模拟试验和 42 个成员组成的大样本集合历史试验结果, 对比分析了 AMO-ISM 显著正相关时段和显著负相关时段的海气特征, 发现: AMO 与 ISM 的联系受到气候内在变率—副热带西太平洋海温梯度—的调制。当海温梯度减小时, 根据热成风原理, 将导致副热带西太平洋局地形成高压和东风异常, 使得南亚地区辐合增强, 降水增多, AMO 与 ISM 之间形成正相关; 反之, 当海温梯度增加时, AMO 与 ISM 联系减弱 (图 2a-b)。这一海温梯度的变化独立于 AMO (图 2c)。这项研究为 AMO 与 ISM 之间的联系提供了新认知。

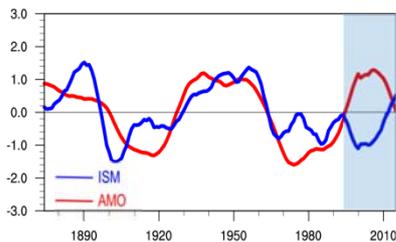


图 1. 观测 AMO 和 ISM 指数的时间序列

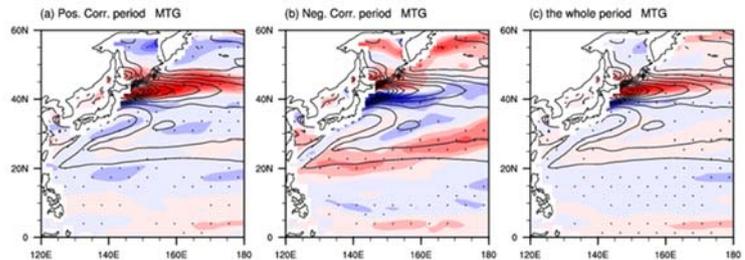


图 2. 夏季海温梯度对 AMO 指数的回归系数 (阴影区, 单位:  $^{\circ}\text{C}/100\text{km}$ ): (a) AMO-ISM 显著正相关时期, (b) AMO-ISM 显著负相关时期, (c) 整个时段。

**关键词:** 年代际变化; 大西洋多年代际振荡 (AMO); CESM; 大型集合试验

论文引用: Ayesha Ahmad, Shuanglin Li, Feifei Luo, Yongqi Gao, 2021: The unstable connection between Atlantic Multidecadal Oscillation and Indian Summer Monsoon in CESM-LE. *Clim. Dyn.*, doi: 10.1007/s00382-021-05976-6

\* E-mail: shuanglin.li@mail.iap.ac.cn

# 气候变暖背景下青藏高原夏季热源和水汽的长期变化

李清泉<sup>1\*</sup>, 丁一汇<sup>1</sup>, 孙小婷<sup>1,2</sup>, 俞静雯<sup>1,2</sup>, 吴清源<sup>1,2</sup>, 沈新勇<sup>2</sup>

(1. 国家气候中心 气候研究开放实验室, 北京 100081; 2. 南京信息工程大学 气象灾害预报预警与评估协同创新中心/气象灾害教育部重点实验室/气候与环境变化国际合作联合实验室, 南京 210044)

## 摘要

水汽输送是“亚洲水塔”水资源分布特征及变化趋势的决定性因素之一. 研究高原水汽变化不仅对理解高原及其周边地区作为“亚洲水塔”的特征及其变化有重要意义, 还对其下游地区天气气候的预报有重要意义. 本文使用观测和再分析资料, 分析了青藏高原(以下简称高原)热源和水汽输送的长期变化特征, 评估了国际耦合模式比较计划第六阶段(CMIP6)的 19 个气候模式历史试验对高原夏季水汽输送的模拟效果, 并对高原水汽在四种排放情景下的未来变化趋势进行了预估. 结果表明, 由亚洲季风区热源驱动的大规模环流特征主要表现为对流层低层(较高)辐合(辐散)或低(高)势函数中心. 这个由亚洲夏季风热源驱动的全球环流圈具有年代际尺度变化. 作为对亚洲季风区—青藏高原热源不同年代际尺度的响应, 上述全球尺度的热力环流系统的强度也具有相应的年代际变化. 高原夏季水汽含量和水汽净收支都呈现显著的增加趋势, 其水汽收支的变化趋势主要表现为水汽净收入的显著增加和东边界水汽支出的显著减少. 导致高原夏季东边界水汽支出显著减少的原因是贝加尔湖到蒙古高原上空的异常高压反气旋. CMIP6 多模式集合可以较好地模拟出高原水汽净收支的变化特征. 预估结果显示, 到 21 世纪末, 高原整体水汽含量、水汽净收支以及降水量都呈现增加的趋势; 在 SSP5-8.5 情景下, 这三个变量在未来远期(2081-2100 年)相对于当前时期(1991-2014 年)分别增加 47.99%、59.77%和 18.59%. 高原北侧经向水汽输送的显著增强可能是导致高原增湿的主要原因. 本文为更深入认识亚洲季风区-青藏高原夏季的热力作用和水汽变化提供了基础, 为气候预测提供参考依据.

**关键词:** CMIP6; 预估; 评估; 青藏高原; 热源; 水汽

---

\* E-mail: liqq@cma.gov.cn

# 东北地区不同等级降水气候变化特征及小雨雨量减少成因分析

陈东辉\*, 赵悦, 董欢欢, 郭刚

(中国人民解放军 31440 部队, 沈阳 110027)

## 摘要

降水是连接天气、气候、水循环等方面的关键物理过程,也是支持生态系统和人类生存的清洁水的最终来源,研究降水的变化对于气象和气候来说极为重要。本文利用 1961~2017 年历史资料,分析了我国东北地区夏季小雨、中雨、大雨、暴雨的气候变化特征,并对东北地区小雨量减少进行了成因分析。

我国东北地区包含辽宁、吉林、黑龙江三省及内蒙古自治区东部四盟,属于温带大陆性季风气候区,当地夏季降水受副高脊线、东北冷涡活动和北极偶极子异常等影响,呈现出显著的年代际变化特征,众多研究表明,探讨区域降水对全球气候变化响应具有重要意义。而关于不同等级降水气候变化特征的研究多是全国范围的论述,较为粗略,对区域降水特征进行细致研究的也多是针对我国华北、华东和西北等热点地区,对东北地区不同等级降水气候变化特征的研究还较为欠缺。因而当前亟需探讨我国东北地区各量级降水变化的气候特征及其未来发展演变趋势,深入剖析全球增暖和气溶胶浓度增加对该地区不同量级降水的作用。

本文在充分借鉴前人研究成果的基础上,详细的分析了东北地区不同等级降水的气候变化特征,得出主要结论如下:东北地区夏季总降水量与各量级降水频率和贡献率均呈显著的正相关,总降水量的多寡受大雨频率及贡献率的影响最为显著。小雨量和中雨量的减少是导致东北地区夏季总降水量减少的主要原因,暴雨量受暴雨贡献率增加影响呈增加趋势。小雨量和小雨贡献率在 1993 年前后出现了年代际突变,小雨贡献率的突变是造成小雨量年代际突变的内在因素。东北地区总降水量呈减少趋势的站点有 72 个;小雨量呈减少趋势的站点有 85 个,显著减少的站点数达到 25 个;中雨量呈减少趋势的站点有 70 个,显著减少的站点只有 9 个;大雨量呈增加与减少趋势的站点数相当;而暴雨量呈增加趋势的站点数大于减少的站点数。

在有关降水变化的众多研究中,针对易导致洪涝灾害的极端降水关注较多,而对小雨变化的关注较少。尽管小雨的降水强度较小,但累计起来仍然占据了年降水的相当比例,小雨量和小雨频次变化已成为我国气候变化的重要指标之一。而东北地区小雨量和小雨频次都出现了显著的减少,小雨量的减少已经对总降水量产生了显著影响,因而对东北地区小雨量减少的成因进行细致分析是必要的。本文从云形成机制角度出发,讨论了水汽、温度、气溶胶对小雨变化的影响,首先排除了大气水汽变化对小雨量减少的影响。东北地区区域气温与小雨量的年代际突变时间一致,说明区域气温的增加,是东北地区小雨量减少的原因之一。通过分区域的趋势对比分析和相关性分析,发现能见度显著下降(气溶胶浓度升高)的污染地区与非污染地区相比,污染地区小雨量呈显著减少趋势;污染地区小雨量减少趋势显著的站点,雨量与能见度呈显著的正相关关系,即能见度减小对应雨量减少。说明气溶胶浓度增加也是东北地区小雨量显著减少的原因之一。

**关键词:** 小雨; 降水强度; 观测; 东北地区

---

\* E-mail: Chendh13@lzu.edu.cn

# 基于关联性分析的近 50a 烟台北部沿海气温与 ENSO 关系

翟少婧\*

(山东省龙口市气象局, 烟台 265799)

## 摘要

厄尔尼诺事件是中东太平洋赤道附近海水表面温度持续异常偏暖的现象,而拉尼娜是厄尔尼诺事件的反位相,南方涛动则主要指该海域大气的大尺度振荡起伏,厄尔尼诺和南方涛动统称为 ENSO,其中拉尼娜事件与厄尔尼诺事件分别代表 ENSO 循环中的冷暖不同事件。在海气相互作用的大背景下,海水温度变化与大气环流形势密切相关,区域气候变化必定受其影响,因此在局地气候异常的研究中,ENSO 事件往往作为重要考虑因素。作为近几十年的研究热点,国内外学者已经做了大量关于 ENSO 事件的相关研究,形成了 ENSO 事件是天气系统发生变化的风向标的共识,并进而影响整个生态环境。如 Adolfo Quesada-Román 等 [3]研究了中美洲高山帕拉莫生态系统中最主要的灌木物种对 ENSO 事件及其影响的气温、降水的变化,发现拉尼娜事件中物种对降水和温度敏感性提升。So Won Park 等研究了 ENSO 在全球碳循环年际变化中的作用,认为 ENSO 事件通过大气遥相关影响陆地生态系统,进而调节大气中的二氧化碳数量,并产生土地碳通量的年代际变化。Peter J Glynn 等模拟了东太平洋珊瑚礁的海胆和雀鲷在 ENSO 事件发生后的相互作用,认为强烈的厄尔尼诺事件可能会影响大部分珊瑚礁构建。林锦冰等分析了揭阳市降水量、暴雨日数与 ENSO 事件的关系,认为 ENSO 事件发生时,春秋降水数量呈反相位变化。陈威等综合利用多种资料分析了中国区域陆地水储量年际变化和与 ENSO 的关系,发现长江流域中、下游地区和东南诸河流域与 ENSO 存在较高的相关性并均有滞后出现。郭爱等分析了不同强度 ENSO 冷暖事件下鲈鱼栖息地适宜性的变化规律,认为中国近海鲈鱼栖息地适宜性与 ENSO 事件显著相关。张晓玉等研究发现了 ENSO 冷暖事件在火天气指数变化中的作用。可见,ENSO 事件通过气象要素的变化直接或间接影响着生态环境。近年来,随着全球气候的暖化,山东半岛夏季高温和暖冬的日数有所增加,但关于 ENSO 与其气温的相关研究不多,且结论不一,如郭飞燕等研究认为,拉尼娜事件对山东气温年际变化的影响要比厄尔尼诺事件的影响强且广。而王慧研究发现,ENSO 事件对环渤海地区气温的影响在滞后 1-4 个月时达到相对较大,拉尼娜事件对环渤海不同地区气温的滞后作用显著。显然上述研究结论并不相同。

文章利用近 50a (1970—2019 年)位于烟台北部沿海的蓬莱、长岛和龙口国家气象观测站逐日气温观测资料和历年 ENSO 信息,利用关联度分析了该地区的气温与 ENSO 事件的持续时长、峰值和强度等的关系。研究发现:近 50a 烟台北部沿海气温与拉尼娜事件和厄尔尼诺事件关联性均较好。相较于拉尼娜事件,厄尔尼诺事件关联性更显著;近 50a 该地区气温与厄尔尼诺事件的峰值强度和拉尼娜事件的持续时长关联性更显著;总体上,近 50a 烟台北部沿海地区气温变化与厄尔尼诺事件关联性显著。相关结论可为制定更符合当地实际的气象防灾减灾救灾措施提供理论参考。

**关键词:** 胶东半岛; 极端气温; ENSO 事件; 相关性

---

\* E-mail: 664912762@qq.com

# 贵州省近 60 年温度气候变化趋势及其时空分布特征

陈百炼<sup>1,2\*</sup>, 杨富燕<sup>1,2</sup>, 白慧<sup>1,2</sup>, 毛倩<sup>3</sup>

(1. 贵州省山地环境气候研究所, 贵阳 550002; 2. 贵州省山地气候与资源重点实验室, 贵阳 550002; 3. 贵州省黔东南州气象局, 凯里 556002)

## 摘要

贵州省是位于我国西南部的高原山区省份, 总体上属亚热带高原湿润季风气候, 但地形环境复杂造成局地气候差异大, 气象要素的空间分布极不均匀。由于地理位置和地形环境的特殊性, 贵州省气候变化具有一定的区域性地方性特色, 而以往关于贵州气候变化的研究存在资料和方法上的一些不足。例如区域气候代表站的合理选取问题, 很多研究对区域气候代表站的选取比较随意, 一开始就直接使用了多少个代表站资料, 既没有对区域气候代表站的选取方法作必要的说明, 也没有对所用代表站的代表性作必要的验证。而对于区域气候变化研究来说, 气候代表站的合理选取是十分重要的, 如果气候代表站选取不好, 最后得到的结果可能会与实际情况存在较大偏差。尤其在贵州这种地形复杂的山区, 其气候代表站的合理选取具有一定的难度。本文利用贵州省 1961~2020 最近 60 年详实的气象观测资料, 通过考察站点历史沿革、地形环境 GIS 分析及气象要素空间分布特征分析, 提出了地形复杂地区合理选取气候代表站的方法, 确定了贵州省 48 个近地面温度气候代表站并进行了必要的验证, 经资料序列均一性检验和订正生成了可靠的基础数据集, 为区域气候变化研究打下了坚实的基础。这是本文一个主要的创新点。另外在研究方法上, 本文综合应用时间序列分析、气候突变检测和先进的小波多时间尺度分析方法, 较为全面地研究揭示了 1961-2020 近 60 年贵州省温度气候变化的趋势及其时空分布特征, 通过小波分析得到了近 60 年贵州省温度变化的周期振荡特征, 并根据其周期变化特征对其未来变化趋势作出了预估。本文得到的主要结论包括: 1) 近 60 年来贵州省温度变化总体上呈上升趋势, 特征表现为以上世纪 80 年代中期为转折点的先下降后上升的形态, 1985 年至今增温速率为  $0.26^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ , 增暖趋势十分显著, 而日最低温度的上升更为明显, 温度日较差有减小趋势, 对应冬季的增温最为显著; 2) 气候突变检测分析表明, 贵州省温度变化在 1987 年和 1998 年存在显著的升温突变现象, 1987 年的大幅升温改变了此前的持续降温趋势, 而 1998 年之后的升温速率显著增大; 3) 在空间分布上近 60 年贵州全省均为一致的增温, 大部分地区升温速率在  $0.1\sim 0.2^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ , 省的西部地区升温高于东部地区, 增温的局地性差异明显, 但整体升温过程中并不存在明显的局地降温区域; 4) 多时间尺度分析结果表明, 近 60 年来贵州省温度变化存在 20 年时间尺度的主振荡周期, 且进入 21 世纪以来该周期信号开始变强, 目前处于 2012 年以来的升温半周期末期, 未来即将进入下一个降温半周期, 因此预计未来 10 年内贵州省总体温度将会有所下降。

**关键词:** 气候代表站; 温度变化; 气候变化; 时空分布特征; 多时间尺度分析

---

\* E-mail: cbc99@163.com

# 福建沿海海雾分类及其形成机理

张苏平<sup>1\*</sup>, 霍志丽<sup>1</sup>, 潘宁<sup>2</sup>, 韩美<sup>2</sup>

(1. 中国海洋大学, 青岛 266100; 2. 福建省气象台, 福州 350025)

## 摘要

海雾因影响大气能见度, 对海上社会经济活动有严重影响。福建沿海是我国近海 5 个海雾相对多发区之一, 也是海上交通、港口作业繁忙海域。过去对该海区海雾研究甚少, 对海雾的基本类型及其形成过程不清楚, 从而影响预报质量。本文利用福建沿海 5 个自动气象站 2 年逐小时多气象要素观测资料, 结合 L 波段雷达探空和再分析资料, 依据海雾形成基本原理, 客观地将福建沿海海雾进行分类, 讨论其环流形势、边界层结构、和海雾生成的物理机制。利用个例分析进一步讨论不同类型海雾形成的物理过程, 并对统计结果进行佐证。主要结论如下:

1、揭示了该海区海雾主要分为冷季混合雾、暖季混合雾、平流冷却雾/辐射雾三类, 与以平流冷却雾为主的黄海海雾有明显不同。

2、统计分析 with 个例分析结果表明, 三类海雾在环流特征、大气边界层垂直结构、海-气界面热力学差异等方面有明显不同。揭示了福建沿海不同类型海雾发生发展机理。

3、得到了三类海雾发生时地面气象因子和改进的大气稳定性指数 (FSI) 阈值, 可以为福建沿海海雾预报提供重要参考。

**关键词:** 福建沿海; 海雾分类; 形成机理; 预报阈值

---

\* E-mail: zsping@ouc.edu.cn

# 基于 CAM5.1-1degree 模式分析人类活动对黄淮海流域降水变化的可能影响

沙祎<sup>1\*</sup>, 徐影<sup>2</sup>, 石英<sup>2</sup>

(1. 北京市气象服务中心, 北京市气象局, 北京 100089; 2. 国家气候中心, 北京 100081)

## 摘要

全球气候变化带来的影响已成为当下自然科学领域关注的热点问题,降水作为大气循环和水循环重要组成也受到了深远的影响。在区域尺度上,加剧的气候变化会引发水资源时空再分配,导致区域水资源分布不均,严重影响社会用水的开发和水资源的规划和管理。另外,流域水资源变化不仅与气候变化相关,人类活动的影响也日渐显著。因此探究流域人类活动对流域尺度降水变化的影响存在重要研究意义。本文利用高分辨率格点化降水观测资料 CN05.1, 基于二十世纪气候检测归因计划(C20C+ D&A Project)中 CAM5.1-1degree 模式多集合平均结果,分析了 1959—2016 年人类活动对黄淮海流域平均降水和极端降水时空变化的可能影响,研究得出:(1)人类活动对黄淮海流域平均降水的影响呈减少变化。在空间分布上,减少趋势明显的地区位于黄河刘家峡地区、淮河流域南部及海河流域北部,平均降水的局地最大变率达到-11.6%;在时间分布上,年平均降水减少最显著的时段为 1960—1969 年,对年平均降水量减少贡献最大的季节为夏季,1960—1969 年夏季降水的变率最大,达到-6.69%;(2)黄淮海流域的极端降水受人类活动的影响也主要呈减少变化,影响程度存在时间上的差异,在 1960—1969 年、2000—2009 年极端降水减少变化较明显,而在空间分布上,减少显著的地区与平均降水减少地区基本一致;(3)在黄河中南部、黄河入海口与淮海流域交界地区三种极端降水指数在人类活动的影响下呈现小幅度增多,其中黄河流域的中北部及淮海两流域交界区域的五日最大降水量(RX5day)在人类活动的影响下始终增多,在 1970—1979 年变化百分率达到最大值——6.9%;(4)对比三种极端降水指数受人类活动影响的变化,降水极端程度越强,受人类活动的影响程度越强,时空分布的差异也越显著。综合来看,人类活动对平均降水的影响主要呈减少变化,可能会加剧黄淮海流域水危机状况,可以在黄淮海流域继续坚持贯彻执行低碳减排政策。人类活动对极端降水的影响趋势存在时间和空间上的差异,对于(3)中提及的极端强降水呈增多变化的地区应给予特别关注,该区域内可能存在发生极端降水事件及水文灾害的风险,需要加强水利设施建设,做好洪涝预防工作。

**关键词:** 平均降水; 极端降水; 检测归因; 黄淮海流域

---

\* E-mail: shayi218@sina.com

# 基于 TRMM、CMORPH、PERSIANN 3 种卫星资料的三峡库区局地降水变化分析

张天宇<sup>1\*</sup>, 杨若文<sup>2</sup>, 桂术<sup>2</sup>, 王勇<sup>1</sup>, 李永华<sup>1</sup>

(1. 重庆市气候中心, 重庆 401147; 2. 云南大学大气科学系, 昆明 650091)

## 摘要

利用 1998—2016 年 TRMM、CMORPH 和 PERSIANN 三种遥感卫星降水和同期三峡库区气象观测站数据,通过比较干、支流和远、近库区气象站点的降水变化和蓄水前后降水量、雨日、降水强度变化特征,分析评估了基于 3 种卫星遥感降水和测站降水的三峡库区局地降水变化。结果表明:TRMM 和 CMORPH 的降水年际变化特征总体上与测站资料相符,时空上反演测站降水较为理想。PERSIANN 卫星资料总体上降水反演偏少,其年际变化特征与测站资料的差别较大。测站、TRMM、CMORPH、PERSIANN 资料都表明,1998—2016 年三峡库区干流和支流站点的降水变化总体上是一致的,各站点的降水量均具有较强的年际变化;蓄水后三峡库区远、近库区年降水量的比值呈平稳波动状态,表明三峡水库蓄水后附近地区降水没有明显变化。测站资料表明蓄水前库区小雨和中雨的降水强度在中下游地区有明显的上升趋势,而在上游地区呈现出下降趋势。大雨量级的降水强度在中上游地区有所增加,但在下游地区又有所减小。暴雨量级的降水强度在上游和下游地区都有所增加,但在中游地区有所减弱。蓄水前库区小雨和中雨日数对降水量的贡献比较明显,大雨和暴雨的降水日数对降水量的贡献则没有中小雨显著。蓄水后库区上游地区的降水日数贡献有明显增加(中雨量级到暴雨以上),且降水日数的贡献分布较为均匀。3 种卫星资料的降水强度和雨日贡献与测站都有一定的误差,CMORPH 分布最接近测站,TRMM 略逊之,而 PERSIANN 容易低估雨强变化,其雨日贡献分布与测站差异较大。蓄水前后对比,无论是季节降水频率还是总量,CMORPH 反演效果最佳,TRMM 略逊之,PERSIANN 容易低估降水量,降水频率也偏低,反演相对最差。3 种卫星资料的降水频率和降水量分布与测站对比都有一定的误差,但这种误差在蓄水前后变化都不明显。

**关键词:** 三峡库区; CMORPH; TRMM; PERSIANN; 局地降水

---

\* E-mail: 4587245@qq.com

# 东北冷涡强度定义及特征分析

胡鹏宇<sup>1\*</sup>, 陈传雷<sup>1</sup>, 林海峰<sup>2</sup>, 徐爽<sup>3</sup>

(1. 辽宁省气象灾害监测预警中心, 沈阳 110166; 2. 辽宁省气象台, 沈阳 110168; 3. 沈阳市气象局, 辽宁沈阳 110168)

## 摘要

本文根据东北冷涡温度场有冷中心及高度场是闭合环状环流的特征, 选取冷涡最外围闭合等高线与冷涡中心的位势高度值差、冷涡最外围闭合等温线与冷涡中心的温度差两个指标, 制定了东北冷涡逐日强度定义。按照孙力等关于东北冷涡的定义, 利用 1951—2015 年 NCEP/NCAR  $1.0^{\circ} \times 1.0^{\circ}$  08 和 20 时次的再分析格点资料, 挑选出符合条件的 8611 个东北冷涡个例, 计算逐个个例的位势高度差和温度差, 将东北冷涡强度划分为弱、中等、强、特强四个等级, 分析按此定义划分的不同强度东北冷涡的变化特征。

针对 1951 年 1 月 1 日至 2015 年 12 月 31 日期间符合定义条件的 8611 个东北冷涡个例逐日样本, 按照公式计算得到 8611 个冷涡个例日的强度综合指标  $D$ 。根据强度综合指标  $D$  的距平 ( $\Delta HT$ ) 与标准差 ( $\sigma$ ) 的比值, 确定强度划分的阈值区间, 将强度划分为弱、中等、强、特强四个等级, 其分别对应的强度阈值区间作为强度等级划分指标。

结果显示, 中等强度冷涡的出现频次最多, 每年中等强度冷涡出现的日数占全部的 50% 以上, 弱冷涡出现的日数占全部的 30% 左右, 强冷涡出现的日数仅占 10% 左右, 超强冷涡出现的日数最少; 1951—2015 年弱冷涡活动所占比例呈现下降趋势, 而强冷涡和超强冷涡活动所占比例呈现较明显的上升趋势, 据此推测近年来随着气候的不断变化冷涡强度整体增强。

在此基础上, 分别统计了不同强度等级的东北冷涡各个季节的频次分布, 可以发现弱的东北冷涡更集中出现在春季和夏季, 四季的差别并不明显; 中等强度冷涡四季活动较为频繁, 其中冬季最为活跃, 春季次之; 其余两个强度的东北冷涡集中出现在冬季, 其次是春季和秋季, 夏季出现频次最少; 这一结果与前文得出的结论一致。

此外, 本文分析了不同强度等级的东北冷涡活动特征。不难发现, 弱冷涡的平均生命史为 3 d 左右, 超强冷涡的平均生命史约为 6d, 可见冷涡强度越强, 其生命史也越长; 通过分析冷涡活动的中心位移变化可以发现, 随着冷涡强度增强, 冷涡的中心变化范围也相对增大。本文进一步描绘了持续时间超过 10 d 的不同强度冷涡中心的位移变化, 结果显示, 弱冷涡活动其生命史通常不超过 10 d, 超强冷涡中心轨迹分布最为集中, 中等强度冷涡中心的运动轨迹相对较为稀疏, 结合表 2 可以推断随着冷涡强度增强, 冷涡生命史越长, 对其覆盖区域会带来更大的持续性影响。

**关键词:** 东北冷涡; 强度; 生命史; 轨迹

---

\* E-mail: hu471064185@163.com

# 基于转移熵分析法研究 ENSO 与亚洲地区气温间因果关系

吴昕悦\*, 乔娜, 张晨昕, 戴晨, 孙翠梅

(镇江市气象局, 镇江 212008)

## 摘要

气象系统是一个非线性的复杂系统,复杂系统的常见研究方法是对复杂系统进行特征提取,忽略次要因素,得到一个较简单且有可能做出工程性解决方案的系统,从而发掘出系统各要素间的因果关系。传统因果关系分析方法主要是假设其具有分布预设的概率模型,但现实系统往往存在反馈的非线性过程,不适合采用概率方法进行分析。本文将对较新的转移熵分析法进行介绍,并用此方法对 ENSO 与亚洲地区气温间的因果关系进行分析,针对信息传输这个核心问题,基于亚洲地区温度与 ENSO 时间序列,探讨系统信息传输的空间模态,建立起信息传输的全局图像,并讨论 ENSO 对亚洲地区气温的信息传输的季节和区域变化特征。结果表明:转移熵分析法相比较传统的数值分析方法,更简单易于分析。ENSO 在不同地区对气温产生的影响强度不同,中高纬地区较强,赤道地区较弱,对于亚洲而言,ENSO 对东亚地区的气温影响最强。ENSO 对亚洲地区气温的影响存在季节性变化,春秋两季大于冬夏两季。

**关键词:** 因果关系; 转移熵; 亚洲气温; ENSO

---

\* E-mail: 41071424@qq.com

# 初夏西北太平洋副高东西变动对中国南部降水东西差异的影响

晏红明\*

(云南省气候中心, 昆明 650034)

## 摘要

西北太平洋副热带高压(简称副高,下同)是东亚季风环流系统的重要成员,由于其活动的特定位置,对链接中高纬度和低纬度地区的环流系统起着非常重要纽带作用,对中国天气气候有十分重要的制约作用。就气候平均而言,5~8月副高南北位置的季节变化最为强烈,脊线平均北移 $11.5^{\circ}$ 。6月副高发生第一次北跳,脊线越过 $20^{\circ}\text{N}$ ,徘徊于 $20^{\circ}\text{N}$ - $25^{\circ}\text{N}$ 之间,副高北界刚好位于中国南部,其位置的东摆使得中国南部地区交替出现西南气流和东南气流,此时,西南地区雨季开始,华南前汛期结束,长江流域梅雨开始,夏季形势基本建立,副高位置的东摆对亚洲季风环流,以及西南和华南地区降水异常的影响尤其显著。作者最近分析发现6月副高的东摆对中国南部地区的降水影响尤其明显,并初步发现副高东摆与初夏中国南部降水的东摆有一定联系。我们知道,每年4~6月华南经历第一个多雨期,即华南前汛期,该时期的降水主要受副高北侧西风带的影响,副高东摆对其西北侧水汽输送路径以及西风带冷空气的影响十分重要。而对于西南地区而言,6月大部分地区的雨季已经开始,由于西南地区刚好位于副高西侧,副高东摆对影响西南地区的东亚季风和南亚季风的交替变化十分显著,天气气候对副高的东摆变化也相当敏感。迄今为止的大部分工作主要分别集中在副高活动对华南和西南地区的天气气候影响展开研究,得到了一些有意义的结论,但还没有工作将西南和华南地区的降水变化与副高东摆的影响结合在一起进行讨论。

为了进一步了解副高对中国气候的影响,本文利用站点观测降水资料和大气环流再分析资料,通过资料诊断分析和数值模拟方法,探讨了6月副高东摆对中国南部降水的影响,以及影响副高东摆的前期海洋因子。结果表明副高东摆对中国西南和华南地区降水的影响明显不同:副高偏东有利于降水西南偏多而华南偏少,偏西则降水变化刚好相反。其原因与副高东摆变化引起的环流差异有关,华南降水与副高东(西)摆时西太平洋地区副高西北侧的东北(西南)风异常以及东亚中低纬度地区异常经向波列的变化直接有关,而西南降水异常不仅与副高东摆变化在东南亚地区引起的纬向风异常有关,与青藏高原大地形动力作用对副高北侧异常纬向风的变化也有十分密切的联系。此外,副高东摆异常摆时影响西南和华南地区的水汽来源不同,影响西南的水汽主要来源于赤道印度洋 $80^{\circ}\text{E}$ 附近越赤道气流,而影响华南的水汽主要来源于副高南侧偏东气流从西北太平洋地区输送的水汽。进一步分析发现前期冬春季热带西北太平洋和赤道西太平洋海温变化的偶极差异对后期初夏副高东摆有非常重要的指示意义,前期西北太平洋暖海温和赤道西太平洋冷海温变化有利于后期副高位置偏西,相反则有利于副高偏东,数值模拟结果在一定程度上证实了资料诊断分析结果。

**关键词:** 太平洋副高; 降水; 季风

---

\* E-mail: yanhongming2013@163.com

# The process of high-frequency intraseasonal oscillation associated with a persistent rainfall event over South China

Bin Zheng\*, Yanyan Huang, Ailan Lin

(Institute of Tropical and Marine Meteorology (ITMM), China Meteorological Administration (CMA), and Guangdong Provincial Key Laboratory of Regional Numerical Weather Prediction, Guangzhou, China)

## ABSTRACT

In the present study, the moist static energy (MSE) budget associated with a persistent rainfall (PR) event over South China (SC) in late August 2018 (PR1808) was analyzed using ERA-Interim reanalysis data. The results revealed that the PR1808 event was closely related to 12–30-day intraseasonal oscillation (ISO), with a significant westward-propagating mode. The recharge of MSE occurred before ISO deep convection, and MSE was discharged during and after the peak precipitation. This indicates that the recharge-discharge cycle of MSE played an important role in regulating the high-frequency ISO (HF-ISO) process during the PR1808 event. However, the mid-level MSE tendency, rather than the low-level one, controlled the column-integrated MSE change in this case, which is different from previous studies. The recharge of MSE related to the mid-level MSE change mode was mainly attributed to the zonal advection, while the forcing related to radiative heating (longwave and shortwave radiation) and heat fluxes (latent and sensible heat fluxes) contributed little to the change in MSE. Furthermore, for the zonal advection of MSE, the main contribution came from the advection by the low-frequency zonal flow across the low-frequency MSE gradient, and interactions between high- (low-) frequency zonal flow and low- (high-) frequency MSE. In addition, in spite of the important effect of the eddy term in the tropical ISO, its role in the PR1808 event could be ignored. By contrast, the disturbances from the higher latitude enhanced the PR of this case over SC through the southward shift of baroclinic vorticity.

**Keywords:** persistent rainfall; moist static energy (MSE); intraseasonal oscillation (ISO)

---

\* E-mail: zbin@gd121.cn

# 基于微波辐射计资料的平潭岛空中水汽资源特征分析

余永江\*

(福建省气象科学研究所, 福州 350025)

## 摘要

水汽作为全球水循环过程中最活跃的因子,在各种时空尺度的大气过程中扮演者非常重要的角色,大气水汽的变化深刻影响着全球气候系统和水资源系统的结构和演变,也影响着人类社会的发展和生产活动。平潭位于福建东部沿海,处于福建沿海干旱区,受季风和台风系统影响降水主要发生在春夏两季,时空分布极不均匀,常发生秋冬连旱,严重影响经济发展和人民群众的生产生活,常年需要开展以水库蓄水为目的的人工增雨作业。空中水汽含量和云液态水含量是人工增雨作业可播性的先决条件和选择作业时机的重要指标,因此分析平潭地区积分水汽含量和云液态水含量的分布特征对于研究福建沿海水循环、合理开发空中云水资源具有重要意义。本文选取平潭地区 2019 年 1-12 月 MWP967KV 型微波辐射计观测资料和地面常规观测资料,分析了该地区不同季节大气水汽含量和云液态水含量的日变化特征,结果表明:

(1) 平潭地区大气水汽含量有明显的月变化,呈现单峰型分布。冬季平潭岛受东北气流影响,天气以晴冷为主,大气中水汽含量较低;3 月以后受西南暖湿气流影响,大气水汽含量开始逐渐增大,月平均积分水汽含量一般大于 40mm,其中 7 月最大,为 58.95mm,加之受到西南低涡和台风系统影响,平潭地区的降水也主要发生在 6-7 月份。10 月后,随着夏季风与冬季风的交替,风向逐渐由偏南风转为偏北风为主,大气水汽含量也随之下降。

(2) 平潭地区大气积分液态水含量的月变化较为剧烈,呈现多峰型分布,峰值区出现在 3 月和 6 月,分别为 0.4529mm 和 0.4798mm,且大气积分液态水含量的逐月变化和月降水量的相关性较好,相关系数为 0.6914,积分液态水的峰值区也对应着月降水的高值区,可见相对于大气积分水汽含量,液态水含量更能反映当年降水量的变化。

(3) 利用 2019 年 1-12 月平潭大气水汽含量及月降水量,计算出水汽循环天数,可见 2-9 月份平潭地区的水汽循环天数大约在 10 天左右,大气水汽对降水的转化率较高,而 1、10 和 11 月份水汽循环天数为 200-300 天,大气水汽对降水的转化率很低。

(4) 把整年的微波辐射计数据按照季节分为四组(3-6 月为春季、7-9 月为夏季、10-11 月为秋季、12-2 月为冬季),并将同一季节中所有同时刻的平均大气水汽含量再次取平均得到该季节在此时刻的平均大气水汽含量,从而得到该季节大气水汽含量的日变化。平潭地区大气柱内水汽含量季节平均值大小依次为夏季(52.47mm) > 春季(45.13mm) > 秋季(34.32mm) > 冬季(27.46mm)。春季,大气水汽含量在 14:00 出现日变化最小值,此后逐渐上升,在晚上 21:00 点达到峰值,之后震荡下降,平均日较差为 1.85mm;夏季,大气水汽含量在 14:00 出现日变化最小值,此后震荡上升,19:00 至凌晨 2:00 大气水汽含量处于高位,基本不变维持在 53mm 左右,随后又缓慢下降,平均日较差为 2.27mm;秋季,大气水汽含量在 15:00 出现日变化最小值,之后迅速上升,呈现明显的单峰型分布,峰值出现在 4:00,之后逐渐下降,平均日较差为 2.59mm;冬季,大气水汽含量在 13:00 出现日变化最小值,此后迅速上升,19:00-3:00 大气水汽含量基本不变,随后又缓慢下降,平均日较差为 1.56mm。总的来看平潭地区四个季节的大气积分水汽含量日分布变化特征较为类似,低值一般出现在午后 13:00-15:00 时,之后开始上升,凌晨 3:00 左右积分水汽含量保持在高位,

\* E-mail: 498966811@qq.com

6:00 之后开始下降，四个季节的平均日较差都不大，在 2mm 左右。

(5) 云和降水天气系统是一个生成、发展、成熟和消亡的生命过程，不同种类、厚度和高度的云，其液态水含量也有较大的差异，在云的整个生命史不同阶段云中液态水含量也在不断地发生变化。云液态水含量季节平均值大小依次为春季 (0.3684mm) > 冬季 (0.2985mm) > 夏季 (0.1990mm) > 秋季 (0.1179mm)。四个季节中云液态水含量均有明显的日变化。春季云液态水含量日变化峰值特征明显，在 19:00 和 4:00 出现峰值，分别为 0.4948mm 和 0.4393mm，夜间云液态水含量较高，白天含量较低；夏季云液态水含量的日变化较为剧烈，一天之中出现多个峰值，凌晨至中午这段时间的液态水含量相对较高；秋季云液态水含量的单峰特征明显，峰值出现在凌晨 5:00，为 0.1699mm，低值区出现在 15:00，为 0.0688mm；冬季云液态水含量在 23:00 达到峰值为 0.4009mm，之后逐步下降，在 13:00 达到最小值，随后开始上升。总的来说平潭地区云液态水含量在春、秋和冬季的日变化特征类似，中午时刻云液态水含量处于低值区，一直持续到傍晚，随后云液态水含量开始增加，在夜间处于高值区。夏季云液态水含量震荡变化，日变化特征不明显。

**关键词：**云水资源；微波辐射计；云液态水含量；大气水汽含量

# 长程记忆性对全球变暖的影响

李林芝\*

(中国地质大学(武汉), 武汉 430074)

## 摘要

当前,全球地表气温升高已是公认的事实。从气候系统的能量平衡出发,通过辐射强迫的变化,我们可以估计全球范围的升温趋势并进行归因分析。但由于区域能量收支不平衡,对相关动力热力机制解释不完全,局地趋势的模拟仍然有很大的误差。气候变率的长程记忆性是气候系统不同尺度相互作用的体现,在气温序列中有显著表现。本文从这一角度出发,借助一个可以模拟并分解出序列中长程记忆性的模型,揭示了其在全球变暖过程中的影响,以探索其在区域趋势预测中的可能。

我们使用 HadCRUT4 的集合数据,采用 Giorgi 和 Francisco 的方法将除南极洲以外的全球地表划分为 21 个区域。然后,利用一个新的改进后的随机气候模型——FISM(分数阶随机气候模型),将这 21 个区域的地表气温序列分解为来自历史累积影响的气候记忆项和当前时刻所受到的随机强迫项两个部分。于是,我们定量解析出全球 21 个区域在近一百年的升温中历史累积和随机强迫带来的具体贡献。

平均来说,这 21 个区域历史累积的升温贡献为 17%~97%。这意味着来自历史的累积影响是全球快速升温的重要组成。它对不同区域的贡献差异与气候系统的长程相关性或者气候系统的惯性有关。所以,在长程相关性较强的赤道附近,记忆项的贡献占 50%以上;而在远离赤道更内陆的区域,记忆项比重较小但实际数值仍不容小觑。大体上看,由赤道向南北,记忆项的比重逐渐减小,但到北半球高纬地区比重再次增大,且由于该区域整体升温显著,从数值上看该范围记忆项所带来的升温为全球最大。

我们将气温距平序列分解为气候系统受到的所有随机强迫(人类活动的影响为主)和气候状态的历史累积影响两部分,而后者又由气候系统的长程记忆性和所有历史强迫决定。因此,对于一个区域的升温,一方面受到该地区气候记忆性强度的影响,一方面受到其历史强迫自身趋势的影响。我们借助蒙特卡洛模拟方法,利用人工生成的赋予了不同长程记忆性强度和不同随机强迫升温趋势的气候序列,计算其记忆项和强迫项的升温贡献。分析发现,随着施加给强迫项的升温趋势的增加和序列长程记忆性的增强,气候系统的增温显著增加,且后者带来的升温增长更快。在实际的气候系统中,长程相关性越强的地区,由于大尺度慢变子系统的影响更强,强迫项的升温趋势会相对更弱,因此其实际升温情况并不会异常显著,但历史气候的累积影响依旧是全球变暖过程中不能忽视的组成。

这种气候的记忆性在 FISM 模型中表现为历史随机强迫的分数阶积分,这也意味着当前时刻的随机强迫也会持续影响着未来的气候状态,这对全球升温的控制有重要影响。我们选择包含大部分中国大陆的东亚区域,利用实际计算的该地区长程记忆性结果和人工生成的升温趋势为零且平均值也为零的随机强迫序列,模拟了最理想状态下该地区未来的气温变化情况。分析发现,从平均来看,随机强迫的“突然消失”,并不能使得气温在短时间内回到基准时期的水平。

**关键词:** 检测; 归因; 全球变暖

---

\* E-mail: linzhi\_li@qq.com

# 福建省 1979-2018 年蒸发皿蒸发量时空演变及其影响因子分析

彭莹\*, 王文

(河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 南京 210098)

## 摘要

水文站和气象站均承担蒸发观测任务, 本文同时利用福建省 1979~2018 年两类观测站的 E601 型蒸发皿, 进行预处理后, 对于气象站数据借助 D20 型蒸发皿对 E601 型蒸发皿的折算系数插补缺失值, 对无任何观测数据的日期, 选用多元线性回归的方法借助邻近气象站点进行插补; 对于水文站数据, 仅有武夷山站的缺失数据可由 20cm 口径蒸发器对 E601 型蒸发皿的折算系数进行插补, 其他站的缺失值均借助于邻近气象站和水文站进行多元线性回归一一插补; 借助 GLDAS 提供的 3h 潜在蒸散发产品对气象站的观测数据时间偏差进行校正, 使其记录时段与水文站相一致, 通过薄板样条 (TPS) 空间插值方式获得空间分辨率  $0.1^\circ$  的福建省逐日蒸发皿蒸发量数据集, 采用交叉检验的方式对其进行精度检验, 并以此为基础分析蒸发皿蒸发量 (Epan) 的时空分布特征。结果表明: 福建省多年平均 (1979~2018 年) Epan 为 993mm, 春季 208mm、夏季 338mm、秋季 284mm、冬季 163mm; 在空间上, 年均 Epan 总体上自西北内陆向东南沿海递增, 内陆山区在 800-1000mm 之间, 沿海地区在 1000mm 以上; 对 50 个站点的逐日 Epan 进行 Mann-Kendall 趋势检验, 17 个站呈显著上升趋势, 21 个站呈显著下降趋势; 就福建省平均而言, 年 Epan 下降趋势不显著, 变化速率为 -8.9mm/10a, 四季的 Epan 变化速率分别为 7.7mm/10a, -7.3mm/10a, -7.7mm/10a 和 -2.8mm/10a。Epan 变化主要受太阳净辐射、水汽压差、气温、风速的影响。Epan 与净辐射的偏相关系数最大为 0.84, 与水汽压差、气温和风速的相关系数为 0.26、-0.22 和 0.12。基于 PenPan 模型 Epan 估算, 利用 Sobol' 全局敏感性分析方法, 蒸发皿蒸发量的主要敏感因子为水汽压差, 次要敏感因子为风速。福建省年平均水汽压差和气温呈显著上升趋势, 净辐射和风速呈下降趋势。水汽压差和气温的上升会促进蒸发, 而净辐射和风速的下降会抑制蒸发, 净辐射和风速的下降导致的 Epan 下降占主导地位, 弥补了水汽压差和气温的变化导致的 Epan 的上升, 因此整体上 Epan 呈现下降趋势。中国科学院地理科学与资源研究所基于 PenPan-V3 模型, 以均一化校正后的实测气象数据 (日照时数、2m 风速、相对湿度、最高最低气温), 计算并制作中国 1960~2014 年 E601 型蒸发皿蒸发量逐月再分析数据集, 将其与本文所得的逐日数据累加得到的逐月数据进行对比, 可看出 2006 年以前前者整体低于后者, 两套数据的逐月分布趋势基本一致, 2006 年后, 前者与后者相比夏季偏高, 而冬季偏低。由于 2000 年左右中国对相对湿度观测仪器进行了更替, 因此该数据集制作中, 对 2003 年后相对湿度数据进行了较大幅度的校正, 许多研究表明相对湿度的观测值的均一性校正的精度对模型估算结果的影响较大, 这是否是导致该数据集中福建省区域的 Epan 与本文所得的 Epan 的趋势一致性发生改变的原因, 还需深入研究。

**关键词:** 蒸发皿蒸发量; 气候变化; PenPan 模型

\* E-mail: 191301010035@hhu.edu.cn

# 比较 NOAA20C 和 ERA20C 资料对越赤道气流的模拟

李麟慧\*

(中国地质大学(武汉), 武汉 430074)

## 摘要

整合模式结果与观测资料的全球大气再分析数据是气候系统研究的重要资源。得益于气象卫星的观测,近年来已发展了多套包括 ERA5、MERRA2、CFSR、JRA55 等可靠的数据产品,但其时段基本位于 1950 年后。而随着全球变暖现象与年代际变率问题之间引发更多的争论,相关气候研究对数据时长的需求也越来越大,于是催生了四套 20 世纪百年再分析数据,分别为 NOAA 的 20CR 和欧洲中心的 ERA20CM、ERA20C 以及 CERA20C。早期对这四套数据进行评估时,发现在太平洋和大西洋风场、北半球风暴轴、季风降水以及极地海平面气压等方面上都存在较大差异,且与实际相比存在一定的误差,比如 ERA20C 在北极海平面气压上存在虚假减弱趋势,影响研究结果的准确性,使得数据质量的评估是很有必要。另一方面,夏季亚澳季风存在的索马里越赤道气流和澳大利亚越赤道气流是南北半球间水汽、能量、动量输送的重要通道,它们对亚洲季风气候乃至全球气候平衡状态的调节有着重要的影响。因此分析几套数据在这两支越赤道气流上的差异并判断哪一套更为可靠是很有意义的。由于欧洲中心的三套数据所表现的结果大体相似,于是本文选择其中的 ERA20C 与 20CR 的最新版 20CRv3 进行比较分析。

研究发现两套数据在越赤道气流的夏季平均气候态和标准差上基本一致,但在区域强度以及各个时间尺度的变率上存在差异。对于年际变率,两套数据在每支气流的总体上都显著相关,但在 1925 年前和 1940s 存在明显,其中索马里气流上表现出相反的气候异常,澳大利亚气流上为振幅相差很大;对于年代际变率,两套数据在两支气流上都表现出了显著差异。其中,索马里气流上 ERA20C 表现出 40-90 年的周期而 20CRv3 中存在 15-30 年和 60-100 年两个周期,导致两者的气候异常演变在整个世纪都不一致。澳大利亚越气流上 ERA20C 在 1935 年前和 1960s 分别表现出负异常和正异常,而 20CRv3 与之相反。对于长期趋势,两者虽然在索马里气流上均为上升趋势,但 20CRv3 中的增长幅度更大,在澳大利亚越赤道上均为下降趋势,但 ERA20C 中的减弱幅度更大。

为了判断哪一套数据更适用于越赤道气流的研究,我们对其存在明显争议的年代际变率展开准确性检验。由于没有足够长的风场观测数据进行直接验证,于是挑选 1980-2004 年这一数据可靠时段,利用 ERA5、ERA-interim、JRA55、MERRA2、CFSR 这五套数据的集合平均得到越赤道气流指数,寻找其他具有长时间观测的变量中与其存在稳定关系的因子,发现越赤道气压梯度与越赤道气流存在显著正相关关系,并且索马里越赤道气流与印度季风核心区的降水也存在稳定正相关关系,因此借助 HadSLP2 数据以及印度降水格点数据分别定义越赤道气压梯度指数以及印度降水指数,以它们的时间演变为参考,对两支越赤道气流的年代际变化进行检验,最终发现 ERA20C 的越赤道气流的变化相较于 20CRv3 更可靠。

**关键词:** 索马里越赤道气流; 澳大利亚越赤道气流; ERA20C; NOAA20C

---

\* E-mail: linhui.li@cug.edu.cn

# 气候变暖背景下吉林省降水及变率的变化特征

于秀晶\*

(吉林省气候中心, 长春 130062)

## 摘要

本文选择吉林省 50 个县市 1961-2020 年的逐日降水资料, 采用气候统计方法分析了降水及变率的变化特征, 结果表明:

1) 降水量及变率的空间分布特征: 全省多年平均(1981-2010 年)降水量为 616.3mm。中西部地区大部 and 延边州中东部年降水少, 为 388~584mm; 通化市南部和白山市西南部降水多, 为 817~928mm; 其他地方为 616~772mm。降水量的空间差异大, 呈现明显的西少东多, 北少南多的分布特征。吉林省多年平均月降水量均呈一波型年变化, 降水集中在 6-8 月, 占全年降水的 63%, 其他月份明显偏少, 冬季最少仅占 3.2%。年内降水相对变率的空间分布与降水量相对应, 降水相对多的东南部地区降水变率相对小, 而中西部地区大部降水少, 月降水量的相对变率大, 年内降水相对更集中, 发生干旱灾害的几率大。

2) 降水量的变化特征: 1961-2020 年吉林省平均年降水量呈增多倾向, 全省 82% 的县市年降水量呈增多倾向, 未通过显著性检验。年降水量呈多-少-多-少-多的年代际变化特征。2010-2020 年降水量为近 60 年来最多, 且年际波动频繁, 波动幅度大, 极端降水的年份偏多(2010 年、2011 年 2016 年、2019 年和 2020 年)。年降水量最大值为 811.3mm, 出现在 2010 年, 最小值为 477.4mm, 出现在 2011 年。近 60 年吉林省夏季降水呈减少倾向, 秋季呈增加倾向, 未通过显著性检验。春、冬季降水变化趋势为 5.6mm/10a( $p<0.01$ )和 1.9mm/10a( $p<0.05$ ), 呈显著增加趋势。2 月、3 月和 5 月全省月降水呈显著增多趋势 ( $p<0.05$ ), 是春、冬季降水显著增加的主要原因; 7 月中西部地区大部降水呈显著减少趋势 ( $p<0.05$ ), 当地出现夏旱的风险增加。

3) 降水变率的变化特征: 1961-2020 年, 吉林省平均年降水变率呈明显增大趋势, 变化速率为 1.99%/10a ( $p<0.05$ ), 且年代际变化特征明显。1961-1975 年、1976-2009 年、2010-2020 年降水相对变率逐年代增加, 2010-2020 年达 60 年来最大, 年降水相对变率最大值出现在 2010 年。全省 92% 的县市年降水相对变率呈增加倾向, 中西部地区大部变率增加显著, 平均每十年增加 1.7%~4.1% ( $p<0.05$ )。

4) 年降水变率客观的反映了降水量的年(代)际变化特征, 二者有很好的对应关系。近 60 年来, 随着气候变暖, 降水略增多, 年(代)际波动幅度加大, 降水变率明显增大, 极端降水事件频繁出现。21 世纪出现 1960 年以来极端少降水年(2011 年、2001 年)和强降水年(2010 年、2016 年、2019 年和 2020 年), 出现旱涝灾害风险的几率加大。

**关键词:** 年代际变化; 降水变率; 降水变化趋势

---

\* E-mail: 85783150@qq.com

# 东中国海海温在增暖停滞期的变化特征及成因分析

张琪<sup>1</sup>, 龙景超<sup>2\*</sup>

(1. 国家海洋局天津海洋环境监测中心站/天津市海洋环境监测预报中心, 天津 300457; 2. 广东海洋大学海洋与气象学院/南海海洋气象研究院, 湛江 524088)

## 摘要

通过 HadSST3 原始观测数据和 HadISST1 重组数据, 分析了东中国海海温 (Sea Surface Temperature, SST) 在增暖停滞期 (1998-2014) 的变化特征, 研究表明: 两组数据的海温变化特征和程度相似, 在增暖停滞期, 渤海、黄海、东海海温线性趋势主要表现为负, 降温最多的集中在长江口附近, 约-1 °C。在渤海及东海的部分区域净热通量对海温降低的变化起正作用, 而在东海的黑潮区海洋的净热通量对海温降低起副作用, 黑潮入侵的减弱可能是东海海表温度下降的主要原因。在增暖停滞期, 海温变化趋势具有较显著的区域性季节特征。春季海温几乎呈现一个全海盆的下降趋势, 尤以长江口附近下降最多, 最多可达-1.4 °C; 夏季海温下降趋势较春季减弱, 下降最多的地区主要集中在渤海; 秋季在渤海海温下降较明显; 冬季海温变化主要在长江口沿岸, 在渤海海温的变化并不明显。

**关键词:** 中国近海; 海表温度; 增暖停滞期; 净热通量; 黑潮

注: 本文已在《海洋预报》发表

张琪, 龙景超\*. 东中国海海温在增暖停滞期的变化特征及成因分析[J]. 海洋预报, 2021, 38(38): 80-86.

---

\* E-mail: longjc@gdou.edu.cn

# 中国北方冬季气温的年际变化对北太平洋东部海温异常的 响应

刘炜\*

(内蒙古自治区气候中心, 呼和浩特 010051)

## 摘要

利用地面气温观测资料及 NCEP/NCAR 逐月再分析资料, 分析了中纬度北太平洋东部海温异常变化对中国北方地区冬季气温的可能影响。(1) 通过计算 1981—2014 年北方冬季气温与前期 3 月至次年 2 月逐月全球海温的相关, 发现从前期 6 月至 11 月在中纬度太平洋东部均存在一个显著的正相关区, 即前期夏、秋季中纬度北太平洋东部海温与北方冬季气温存在持续稳定的正相关关系, 且秋季相关更显著。两个季节在年代际尺度上与气温的相关性均较年际时间尺度更为显著。年代际尺度上, 关键区海温与气温同位相变化的特征更清楚, 80 年代后期二者均由负位相转为正位相, 00 年代后期转为较弱的负位相后近两年又再次转为较强的正位相。(2) 关键区海温在对流层中低层可激发出一种类似北美—大西洋—欧亚型遥相关波列。当前期关键区海温偏高(低)时, 其激发的波列使得乌拉尔山阻塞高压偏弱(强), 西伯利亚高压偏弱(强), 贝加尔湖以南我国北方大部地区受正(负)高度距平控制, 亚洲中高纬地区以纬(经)向环流为主, 有利于北方大部气温偏高(低)。其中, 北大西洋海温在整个波列当中起到了桥梁和纽带的作用, 使得前期秋季的异常信号得以储存, 之后继续以波列的形式影响下游气候。关键区海温通过其激发的遥相关波列改变乌拉尔山阻塞高压和西伯利亚高压强度, 使得亚洲地区环流形势发生变化, 进而影响我国北方冬季气温。由于近 30 多年来乌拉尔山阻塞高压与西伯利亚高压正相关关系的加强, 关键区海温对我国北方冬季气温的这种间接影响在 80 年代以来也更为显著(3) 前期关键区海温不仅在本地区具有较好的持续性, 在一定程度上也可以指示厄尔尼诺(拉尼娜)的信号, 通过改变冬季风的强弱影响我国冬季气温。

**关键词:** 海温; 遥相关; 冬季气温

---

\* E-mail: liuwei.05@163.com

# 气温季节性变化及其人类活动信号检测

段建平\*

(中国科学院大气物理研究所东亚区域气候-环境重点实验室, 北京 100029)

## 摘要

厘清器测时段之前人类活动对气候变化的影响不仅受到器测资料不可利用的限制,而且面临着早期时段人类活动信号弱而难以被检测的难题。针对该问题,申请人以冬-夏温差变化为视角,通过融合器测资料、气候代用资料和数值模拟,利用交叉学科的研究手段开展了长时间尺度的气候变化检测归因研究。通过对北半球中高纬和多个典型区域的冬-夏温差变化观测和重建资料的分析发现,19世纪70年代以来的冬-夏温差减小广泛地发生在了北半球中高纬区域,而在之前的150-300时段则相对稳定(青藏高原和欧洲代用资料证据)。基于气候模拟的定量检测归因分析表明,人类活动(温室气体和人类气溶胶)是北半球中高纬区域19世纪70年代以来冬-夏温差持续减小的主要驱动因子,不可归因于自然强迫。不同强迫因子的气候模拟敏感性试验分析表明:温室气体和人类硫酸盐气溶胶分别是驱动北半球高纬度和中纬度区域19世纪70年代以来冬-夏温差减小的关键因子,而自然强迫因子(岁差/轨道变化、太阳和火山活动)对19世纪70年代以来的冬-夏温差持续减小的贡献较为微弱。

**关键词:** 夏-冬温差; 人类活动; 检测归因

---

\* E-mail: duanjp@tea.ac.cn

# 近 40 年夏季东北移高原低涡统计特征

孙芳\*, 周顺武, 王美蓉, 马旭林, 周庶, 黄雨婧

(南京信息工程大学气象灾害教育部重点实验室/气象灾害预报预警与评估协同创新中心/气候与环境变化国际合作联合实验室/资料同化研究与应用中心, 南京 210044)

## 摘要

高原低涡不仅是高原上主要的降水系统, 其一旦移出高原, 往往会在高原以东地区造成大到暴雨甚至大暴雨。不同路径的低涡影响区域存在较大差别, 依据低涡移出高原后的移动路径, 通常可将其分为东移低涡、东北移低涡等。以往的研究大多以东移低涡为主, 涵盖低涡源地、强度、结构等多个方面, 且对低涡降水个例的研究多集中在西南地区及长江流域。本文基于 1979–2018 年高原低涡数据库, 主要对夏季东北移低涡进行统计分析, 依据其移出位置, 将其细分为偏西的低涡 (从北边缘移出, 记为 I 类低涡), 以及偏东的低涡 (从东边缘移出, 记为 II 类低涡), 分析了两类东北移高原低涡在源地、结构、环流、生命史及降水等方面的特征, 并将其与东移低涡进行对比, 以揭示两类东北移低涡活动特征及二者之间的异同。结果表明: (1) 在低涡分布频率方面, 发现年均均有 4 个低涡在夏季移出高原, 其中东移低涡最多 (60%), 东北移次之 (29%); 在东北移低涡中, I 类低涡与 II 类低涡个数比接近 1:2, 二者同样多发生于 6 月。此外, 发现 I 类东北移低涡在高原上以东北移为主, 而 II 类东北移低涡在高原上以东移为主, 移出后转为东北移。(2) 对于低涡源地, 发现 I 类低涡主要生成于高原西北部, 而 II 类低涡及东移低涡在整个高原上都有生成; 涡源主要有西、中、东三个中心, 不同路径低涡的东部涡源在南北位置和集中程度上差异较大, I 类低涡东部涡源偏北且集中, 东移低涡偏南且较分散, II 类低涡介于前二者之间。(3) 在低涡移出前后强度及上升运动差异方面, 发现 II 类低涡在初生及之后在高原上活动的阶段, 强度均较 I 类低涡更强, 二者上升运动均位于涡心附近; 而移出后, 二者强度均有明显减弱, 且 I 类低涡最大上升运动移至低涡东北侧, 而 II 类低涡同东移低涡一样, 上升区位于低涡东南侧。

(4) 分析低涡环流场发现, 高原低涡移出前的移向及移出位置主要受到 200 hPa 环流的影响, 而移出后的移向主要受 500 hPa 系统的影响, 其中 6 月河套高压脊对东北移高原低涡的阻挡作用尤为重要, I 类低涡移出时河套高压脊明显偏西且偏强。(5) 对于低涡降水, 由于 II 类低涡及东移低涡较 I 类低涡具有更长的平均生命史, 致使其移出后引发降水的范围更广且引发暴雨的比例更高 (45%以上)。I 类低涡降水主要位于河西走廊, 其中 6 月降水占比最大, 以大到暴雨为主, 而 8 月降水强度最小, 以小雨为主; II 类低涡降水主要位于西北地区东部, 其同东移低涡一样, 在 7 月引发暴雨的比例更高。

**关键词:** 东北移低涡; 东移低涡; 移动路径; 低涡结构

---

\* E-mail: sf96824@qq.com

# 全球 500hPa 大气环流对两种类型厄尔尼诺事件的响应

张雪梅<sup>1\*</sup>, 宋燕<sup>2</sup>, 娄德君<sup>3</sup>, 兰博文<sup>4</sup>, 王冀<sup>5</sup>

(1. 哈尔滨市气象台, 哈尔滨 150028; 2. 中国气象局气象干部培训学院, 北京 100081; 3. 齐齐哈尔市气象局, 齐齐哈尔 161006; 4. 哈尔滨市气象局, 哈尔滨 150028; 5. 北京市气候中心, 北京 100089)

## 摘要

利用 1951-2018 年 NCEP/NCAR 再分析逐月平均高度场资料, 按照《厄尔尼诺/拉尼娜事件判别方法》国家标准, 计算超强和强等级东部型和中等等级中部型厄尔尼诺背景下, 冬季和季内各月全球 500hPa 大气环流合成场、距平场和差值场, 分析其异同点。研究发现, 同样在厄尔尼诺背景下, 东部型和中部型的全球 500hPa 环流有相似之处, 但差别更明显。

(1) 冬季合成场相同点有: 北半球中高纬呈三槽三脊分布, 有西太平洋副高; 南半球有大西洋副高, 中高纬环流较平直, 南极有极涡。冬季合成场不同点为: 东部型时, 北半球三个槽/低涡较深厚、位置偏东、西太平洋副高面积大、脊点西伸至 85-90°E 附近、埃塞俄比亚高原北部有副高, 南半球大西洋副高面积大、脊点西伸至南美洲中部、澳大利亚西北部至印度洋面有副高、南太平洋有高脊、极涡面积小; 中部型时, 北半球三个槽/低涡较浅薄、位置偏西、西太平洋副高面积小、脊点西界位于 110°E 附近、加勒比海东北部有高中心, 南半球大西洋副高面积小、脊点西界未达到南美洲、澳大利亚西北部至印度洋面无高中心、极涡面积大。季内每个月两种类型的差别也不尽相同。

(2) 合成场冬季各月又有较大变化, 总体来看, 1 月的形势最接近冬季。

(3) 冬季距平场两种类型的形势完全不同: 东部型, 北半球中高纬呈三正三负型分布, 最明显的负距平中心位于东北太平洋、最明显的正距平中心位于加拿大东南部, 东北太平洋负距平中心更加偏东; 热带至南北半球副热带均为弱的正距平区; 南半球中高纬以负距平为主、高纬以正距平为主, 其中南太平洋高纬正距平区向北伸至中高纬、中心位于 60°S 附近。中部型, 北半球高纬度以正距平为主、有一弱的负距平中心, 最明显的正距平中心位于北大西洋并且西至加拿大东至格陵兰; 北半球中高纬以负距平为主, 两个较明显的中心分别位于东北太平洋和北大西洋至西欧, 出现较为典型的 PNA 遥相关型, 东北太平洋负距平中心更加偏西; 南北半球副热带和热带弱的正负距平交替; 南半球中高纬至南极有两个弱的正距平中心, 分别位于澳大利亚东南角至新西兰的洋面上、南大西洋至南极洲区域, 其它区域以负距平为主。季内逐月演变也是 1 月形势大体与冬季类似, 2 月次之。

(4) 两种类型厄尔尼诺冬季差值场的特点为: 北半球高纬度差值相对较小; 中高纬度有两个正负中心, 其中东北亚和加拿大西部的负值区、西北大西洋至美国东部的正值区通过显著性检验; 中纬度的明显正值区位于西太平洋, 且通过了 95% 的显著性检验; 南半球南太平洋中高纬度为负值区、高纬度为正值区, 南大西洋为负值区, 均通过了显著性检验。

(5) 冬季季内逐月的差值状况虽然大体上都与冬季类似, 但又各有差别: 12 月北半球的正负中心较冬季偏强偏北, 致使北极以负值为主; 西北太平洋为通过显著性检验的正值区; 南半球南太平洋的正负中心较冬季偏强偏西、南大西洋的负中心较冬季偏强偏东, 南印度洋出现负值区。1 月北极附近以正值为主, 与 12 月相反; 中高纬呈三正三负形势分布, 西北太平洋和西北大西洋通过显著性检验的正值区均较 12 月减弱南压, 位置接近冬季平均态; 南半球南太平洋的正负中心较 12 月加强东移、南大西洋的负中心较 12 月减弱西移, 位置与冬季接近、强度强于冬季; 南印度洋正值加强, 转为一负一正分布形势。2 月北半球高纬度

\* E-mail: linxiaoyv@163.com

与冬季类似，差值不明显；中高纬的两个正负中心均强于冬季；西太平洋正值区较 1 月位置略南压、强度略加强，总体仍与冬季和 1 月接近；南半球南太平洋的负值区西收、正值区减弱；南大西洋转为一负一正；而南印度洋较 1 月反位向，转为一正一负。

**关键词：**厄尔尼诺；东部型；中部型；500hPa 高度场

# 基于互补蒸散理论的青藏高原冻土区点尺度地表实际蒸散发的估算研究

尚程鹏\*, 吴通华

(中国科学院西北生态环境资源研究院, 兰州 730000)

## 摘要

蒸散发是地气水热交换的重要环节, 其变化对水资源管理和生态环境具有重要的影响。由于下垫面的多样性以及蒸散发过程的复杂性, 不同方法估算的蒸散发量结果存在很大的不确定性, 其不确定性的来源主要有三个方面, 分别是: 驱动数据、模型参数和模型结构。本研究以青藏高原冻土区作为研究区域, 该区域对气候变化极为敏感, 由于恶劣的气候条件, 观测资料匮乏, 以往缺少对该区域地表实际蒸散发的估算和模拟验证研究。另外, 本研究选择互补蒸散理论作为研究方法, 该方法的优点是考虑了大气平流对蒸散发的影响, 不需要下垫面参数信息, 仅需常规气象数据即可估算地表实际蒸散发。

本研究利用位于青藏高原多年冻土区(唐古拉 TGL、西大滩 XDT)和季节冻土区(那曲 BJ、纳木错 NAMORS)的实测涡动通量数据和气象以及土壤水热数据, 选取基于 Bouchet (1963) 互补蒸散理论发展而来的 5 种主流的互补模型, 分别是: AA 模型 (Brutsaert, 1979&1998)、GNAA 模型 (Brutsaert, 2015)、GNAA\_C2016 模型 (Crago, 2016&2018)、GNAA\_S2017 模型 (Szilagyi, 2017) 和 SGCF 模型 (Han, 2018), 将各模型模拟得到的实际蒸散发和涡动实测数据进行对比, 评估了不同互补蒸散模型在站点日尺度模拟地表实际蒸散发的能力。研究和验证结果表明: (1) 除 AA 模型外, 其余模型均能较好地模拟出年内实际蒸散发的季节变化和日变化, 各模型的模拟结果均在暖季(5-9月)表现较好, 冷季(10-次年4月)表现差; (2) 整体而言, 各模型在暖季模拟精度接近, 其中 GNAA、GNAA\_C2016 和 SGCF 在各站点模拟实际蒸散发的 NSE 值在 0.5 左右, 个别站点模拟精度 NSE 值能达 0.9 以上, 模拟精度稍优于 GNAA\_S2017 和 AA 模型; (3) 模型中率定的参数  $\alpha$  值具有区域差异性,  $\alpha$  值在季节冻土区大于多年冻土区, 可能反映了季节冻土区实际蒸散发在气候态上受到更强的大气平流影响; (4) 各站点的模拟精度从高到低为: TGL>XDT>BJ>NAMORS, 模拟精度与观测站点的地表能量闭合率存在一定的正相关关系, 即能量闭合率越高的地点, 互补模型模拟的实际蒸散发精度整体越高。

该研究工作较为全面地评估了互补蒸散模型在青藏高原冻土区的适用性, 可以提升对互补理论在高寒地区应用的认识, 同时也能为大尺度高时空分辨率的蒸散发量估算提供良好的理论基础。

**关键词:** 青藏高原; 冻土区; 互补理论; 蒸散发; 模拟评估

---

\* E-mail: cpshang@lzb.ac.cn

# 利用 COSMIC 掩星资料研究青藏高原地区大气边界层高度

周文<sup>1\*</sup>, 杨胜朋<sup>2</sup>, 蒋熹<sup>2</sup>, 郭启云<sup>3</sup>

(1. 中国气象局武汉暴雨研究所, 武汉 430205; 2. 南京信息工程大学大气科学学院, 南京 210044; 3. 中国气象局气象探测中心, 北京 100081)

## 摘要

以往关于青藏高原边界层的研究都是基于个别站点的常规观测,对青藏高原边界层的整体性认识受限。GPS 掩星资料具有测量精度高和垂直分辨率高的特性,其廓线中含有大量有价值的边界层信息。利用 2007-2013 年 COSMIC 掩星资料,通过计算大气折射率最小梯度来确定边界层高度,分析了青藏高原地区边界层高度的气候特征及其形成机制,比较了 COSMIC 掩星确定的边界层高度和 ERA-Int 的差别,讨论了最小梯度法用于边界层研究的不确定性。结果表明:青藏高原上边界层高度呈现西高东低的分布特征,高原中西部边界层高度主要为 1.8-2.3km,而高原东部边界层为 1.4-1.8km,最大值在高原西南部。高原边界层高度季节差异明显。冬季高原上大部分地区边界层高度超过 2.0km;春季大部分地区降低,但在受季风影响的高原西南部明显升高,最大值可超过 3.0km;夏季高原上边界层高度开始增大,大部分地区超过 1.8km;秋季又开始回落。高原以北塔克拉玛干沙漠和高原以南季风活动区是两个高值区,北部的沙漠地区边界层高度在夏季最强,南部季风活动区在季风爆发前(4 月份)达到全年最大值。高原中西部地区有水平风辐合以及广泛的上升运动,为边界层的发展提供了动力条件,而东部的下沉运动对边界层的发展有抑制作用。青藏高原边界层各个季节的空间分布与地表感热通量分布一致。COSMIC 掩星资料确定的边界层高度和 ERA-Int 相比,空间分布基本一致但 ERA-Int 边界层高度明显偏低。GPS 掩星资料可以较好地检测青藏高原地区边界层高度。但是,当有系统性强逆温存在的时候,或者云中液态水或冰水含量较大时,用最小梯度法检测的边界层高度不确定性增加。发展更完善的边界层检测方法,是 GPS 掩星气象学的一个重要的研究方向。

**关键词:** GPS 掩星; 边界层高度; 青藏高原; 无线电探空

---

\* E-mail: zhouwen\_zhou@163.com

# 南海夏季风变化特征及爆发机制研究

殷美祥<sup>1\*</sup>, 罗瑞婷<sup>2</sup>, 曾钦文<sup>3</sup>

(1. 广东省气象公共服务中心, 广州 510640; 2. 广东省突发事件预警信息发布中心, 广州 510640; 3. 龙川县气象局, 河源 517300)

## 摘要

南海夏季风既是东亚夏季风的组成部分,又在亚洲夏季风活动乃至全球气候变化中起着重要作用。随着气候的变暖,南海夏季风爆发机制及其对我国天气气候的影响愈趋复杂。为进一步认识夏季风的爆发机制,以2012年为例,利用NCEP再分析资料及永兴岛的探空资料,分析南海夏季风爆发前后的环流形势、对流场、水平风场等变化特征,研究南海夏季风爆发机制及物理机理。结果表明,2012年南海夏季风于5月4候在南海爆发,时间较常年(5月4候)正常。南海夏季风爆发前,南海海域底层盛行东北风,高层盛行偏南风;爆发后,南海底层盛行西南风,高层盛行偏北风。南海夏季风先在南部爆发,再向北部拓展;先在底层爆发,再向高层发展。南海夏季风爆发前后北部垂直运动普遍比南部强;夏季风爆发后,永兴岛的垂直速度出现极大值。影响南海夏季风最大的全球性环流是索马里越赤道气流;索马里越赤道气流自西向东,跨过中南半岛后开始影响南海季风。具体结论如下:

(1) 夏季风爆发前后,高低层大气的盛行风方向都发生转变,并且风向相反;同时,夏季风爆发后高低层风速都加大。2012年南海夏季风于5月第4候爆发。南海北部夏季风爆发前一个月,低层盛行偏东风,频率超过70%,风速较小,不超过10m/s;高层最大风速是东北偏东风,其中大于6m/s小于10m/s的约占这个月的1.7%。爆发后一个月,低层偏西风频率加大,超过70%,风力明显加强,风力大于10m/s的样本都是偏西风,约占8%;高层盛行东北风,超过80%,风速普遍加强,大于6m/s小于10m/s风频率大于50%,而且超过10m/s的风约占2%。

(2) 针对南海夏季风爆发前后时空变化分析发现,于2012年5月4候前后,夏季风先在南海南部建立,然后向北部发展,直至整个南海夏季风全面爆发。850hPa以下高空的风向首先转为西南风,然后再向上拓展,同时,1000hPa-400hPa之间高空的风速几乎同时加大,说明南海夏季风首先在大气低层形成,再向高层发展。而垂直运动场,南海北部普遍比南部强。在南海夏季风爆发前上升运动较弱,南海夏季风的爆发后,永兴岛上空垂直速度持续加强,在5月4候,中心值达到-0.15 Pa/s。

(3) 针对南海夏季风爆发前后大气环流分析发现,影响南海夏季风爆发的三个重要要素分别是:西太平洋副热带高压、索马里越赤道气流、105°E越赤道气流。在南海夏季风爆发前,太平洋副热带高压控制着南海的高空。在5月第3候,南海越赤道气流缓慢加强,与索马里急流右转跨过孟加拉湾地区的西风汇合,推动了副高的北上,进而促使南海夏季风的发展。而两支越赤道气流强度减弱后,南海夏季风也随之减弱或者中断。综上,索马里越赤道气流、105°E越赤道气流是南海夏季风爆发的重要原因。

**关键词:** 南海夏季风; 爆发; 监测; 机理

\* E-mail: 646343261@qq.com

# 气温的天气和气候记忆性特征分析——以济南和青岛为例

刘思宇<sup>1\*</sup>, 董旭光<sup>2</sup>, 周雪松<sup>1</sup>

(1. 山东省气象信息中心, 济南 250031; 2. 山东省气候中心, 济南 250031)

## 摘要

天气和气候时间序列记忆性特征的研究对提高天气和气候极值的预测水平有积极作用。利用济南和青岛 1961—2020 年逐日、月和年平均气温资料, 运用自相关性分析和分形系统理论, 得到不同时间尺度时间序列的记忆性特征, 并分析了气候时间序列归一化概率密度分布的长尾特征。分析结果表明: 1) 济南和青岛的日平均气温距平时间序列呈现出白噪声特征, 青岛月和年平均气温距平时间序列的记忆性大于济南。2) 济南和青岛的月、年平均气温距平时间序列与日平均气温距平时间序列之间存在分数阶导数关系, 济南相应的阶数分别为 0.529 和 0.665, 青岛分别为 0.553 和 0.791, 两地的月尺度阶数相近, 青岛的年尺度阶数大于济南。3) 年平均气温距平时间序列的归一化概率分布函数具有明显的长尾特征。

**关键词:** 济南和青岛; 气温; 气候记忆性; 分数阶导数

---

\* E-mail: 631705496@qq.com

# 近 47 年山东不同区域的气候变化及气候突变前兆信号分析

秦瑜蓬\*

(山东省潍坊市气象局, 潍坊 261011)

## 摘要

本文按照地形、海拔高度、行政区域、经纬度以及海陆分布等特征, 将近 47 年山东 116 个观测数据保存较为完整的站点分为 8 个区域和 1 个高山站点, 对各个区域的地面气温观测资料进行处理, 研究不同区域的气候变化及气候突变的前兆信号。首先利用多种气候趋势分析及气候突变的计算方法, 分析山东及不同区域的气候趋势变化及准确找出各个区域的气候突变年份, 然后计算表征临界慢化现象的方差系数, 以此寻找气候突变的前兆信号年份, 并研究了不同噪声对于气候突变前兆信号的影响。结果表明: 山东及不同区域近 47 年的年平均气温总体呈上升趋势, 20 世纪 80 年代到 21 世纪初、21 世纪 10 年代至今呈显著增暖趋势, 最近 6 年气候增暖达到最强, 年平均最暖年出现在 2017 年; 就年平均气温而言, 在 20 世纪 90 年代前后, 气温有显著升温的趋势, 山东沿海地区较内陆地区升温更加明显, 且均高于山东全省的增温速率; 近 47 年山东省年平均气温的突变时间在 1993 年前后, 山东不同区域近 47 年年平均气温的突变时间存在明显差异, 大部分沿海地区年平均气温的突变时间早于内陆地区, 泰山站年平均气温的突变时间最晚为 1997 年, 半岛北部年平均气温的突变时间最早为 1990 年, 鲁西北西部的年平均气温突变时间和山东省年平均气温突变时间一致, 均为 1993 年; 针对不同信噪比、不同区域的气温资料在气候突变发生前 2-7 年均出现了方差增大的临界慢化现象即气候突变的前兆信号, 大部分地区的前兆信号年较突变年份提前 4-5 年左右, 山东半岛南部的前兆信号年较突变年份提前时间最短为 2 年, 鲁西南地区的前兆信号年较突变年份提前时间最长为 7 年, 以上结论说明临界慢化现象可能是气候突变发生前的一个前兆信号; 对于信噪比不同的山东各区域来说, 噪声对于气候突变前兆信号的检测结果影响较小, 临界慢化现象中的方差信号增大对检验气候突变的前兆信号具有普遍适用性, 将临界慢化现象引入气候突变分析对提高前兆观测资料的认识, 判断异常是否趋于临界阶段, 以及提高气候灾害预测水平提供了可能。

**关键词:** 观测; 气候变化; 气候突变; 山东

---

\* E-mail: 1099458967@qq.com

# Moisture Sources and Paths Associated with Warm-Season Precipitation over the Sichuan Basin in Southwestern China: Climatology and Interannual Variability

Sihan Zhang\*

(Department of Atmospheric Science, School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan, China)

## ABSTRACT

This study used the Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory (HYSPLIT) model to examine the moisture sources and pathways associated with warm-season precipitation over the Sichuan Basin (SCB), southwestern China, with emphasis on the long-term mean state and interannual variability. Four groups of moisture pathways were identified over the period 1981–2017; i.e., the southwesterly, northeasterly, northwesterly, and westerly paths. With respect to the long-term mean state, the southwesterly path from the Bay of Bengal was the most important moisture transport pathway, accounting for 36.0% of the total moisture and 34.9% of the total trajectories. This group of pathways is ocean-originated and during the early period of the simulation (–240 to –96 hr; “–” indicates the “backward” simulation) it had the highest specific humidity. As it moved to the target region, the altitude (specific humidity) increased (decreased) until about –24 hr, indicating a large amount of moisture loss due to the influence of the topography along the pathways, such as the Indochina Peninsula and the Yunnan–Guizhou Plateau. Furthermore, it experienced moisture uptake over the SCB during the last day before arriving at the target region. The northeasterly path ranked second in both trajectory contribution (34.2%) and moisture contribution (26.5%). However, the importance of this group of pathways has rarely been stressed in previous studies. Along this path, the air parcels maintained a high specific humidity (over 9 g kg<sup>–1</sup>) and a low altitude (below 2000 m), with no large variability until the last 12 hr before reaching the target region. The remaining two groups of pathways; i.e., the northwesterly and westerly paths, together contributed less than a third (~29.8%) of the total moisture. The altitude (specific humidity) was among the highest (lowest) of the four paths almost throughout the pathway, especially the trajectories in Group 4, for which the specific humidity was always <5 g kg<sup>–1</sup>. The moisture uptake for both of these groups occurred mainly near the Qinghai–Tibet Plateau and the SCB within the last 4 days (–96 to –6 hr). The Indian Ocean (B) is the most important moisture source, accounting for 36.3% of the total moisture contribution. High moisture contributions occur in the Bay of Bengal and Indochina Peninsula over the Indian Ocean region. Eastern China (E) and Eurasia (A) make important moisture contributions to the target region, supplying 21.2% and 15.7%, respectively. For Eurasia, high values are found over the Qinghai–Tibet Plateau, especially to its south. In addition, the Sichuan Basin (D) contributes 13.3% of the moisture, indicating that evaporation over the SCB contributes to warm-season precipitation within the region itself. The South China Sea (C) and western North Pacific (F) contribute the least moisture to rainfall over the SCB, and account for

---

\* E-mail: zhangsihan0116@qq.com

only 8.6% and 3.9%, respectively, of the moisture contribution to the target region. In terms of interannual variability, compared with dry years, the wet years show a significant increase in the frequency of southwesterly trajectories across the Bay of Bengal and Indochina Peninsula, whereas there is a decrease in the frequency of northeasterly trajectories across eastern and northern China. For the southwesterly path from the Bay of Bengal, in wet years, the corresponding moisture contribution and trajectory frequency increase by 18.6% (38.3% vs. 32.3%) and 19.5% (36.8% vs. 30.8%), respectively, over the dry years. In contrast, the moisture contributions (trajectory frequencies) of the westerly path, the northwesterly path, and the northeasterly path decreased by 16.4% (16.2%), 10.4% (7.7%), and 5.5% (4.1%), respectively. However, in contrast to the long-term mean state, during the dry years the northeasterly path, instead of the southwesterly path, becomes the most important path in terms of moisture contribution (34.6%), which indicates the potential impacts of the northeasterly path on regulating warm-season precipitation over the SCB. Compared with dry years, during the wet years, moisture contribution from the Indian Ocean (B) increases by 20.71% (38.38% vs 31.80%), and especially significantly from the Bay of Bengal and Indochina Peninsula. Consistent with the composite analysis, there is a significant positive correlation ( $R = 0.53$ ,  $p < 0.01$ ) between the time series of total warm-season precipitation and the moisture contribution from the Indian Ocean (B). In contrast, the moisture contributions from eastern China (E), Eurasia (A), and the Sichuan Basin (D) decrease by 12.95% (20.38% vs. 23.41%), 14.40% (14.17% vs. 16.56%), and 8.42% (12.87% vs. 14.05%), respectively. In addition, compared with the above sources, the changes in moisture contributions from the South China Sea (C) and western North Pacific (F) are almost negligible. Furthermore, the interannual variability of runoff across the SCB can be linked to changes in the moisture contributions from the various sources. For example, variations in runoff from the Jialing River ( $R = 0.51$ ,  $p < 0.05$ ) and the Tuo River ( $R = 0.44$ ,  $p < 0.05$ ) are closely correlated with moisture contribution from the Indian Ocean. This is because when moisture contributions from the Indian Ocean are higher than normal, excess warm-season precipitation is observed over the central and northern SCB, where the Jialing and Tuo basins are located. In contrast, variations in runoff from the Jialing are significantly negatively correlated ( $R = -0.53$ ,  $p < 0.05$ ) with the moisture contribution from the SCB because when the moisture contribution from the SCB increases, negative precipitation anomalies occur over the Jialing Basin. However, variations in moisture contributions from the other four sources are poorly correlated with runoff across the SCB. In years with an above-normal moisture contribution from the Indian Ocean, significant moisture convergence anomalies occur over central and northern parts of the SCB associated with the increase in moisture transport from the Indian Ocean. This leads to an increase in local precipitation and increased runoff from the rivers Jialing and Tuo. In contrast, in years with an above-normal moisture contribution from the Sichuan Basin, there are significant moisture divergence anomalies over central and northern parts of the SCB. This leads to a reduction in moisture transport from the Indian Ocean, which significantly suppresses precipitation and reduces runoff from the Jialing River.

**Keywords:** Warm-season precipitation; Sichuan Basin; Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory (HYSPLIT) model; Internal variability

# **Not spatial change pattern but dryland expansion attributed to anthropogenic climate change**

Shuyun Feng\*

(Department of Atmospheric Science, School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

## **ABSTRACT**

Previous studies showed that the global dryland area has shown a significant expansion trend under global warming since the 1950s. While there is not enough evidence to prove that the dryland expansion is caused by anthropogenic climate change and lack of quantitative studies on the causes of dryland expansion. This study used the latest observational data and multimodel simulation of Coupled Model Intercomparison Project 6 (CMIP6) to quantitatively detect and attribute the spatial-temporal variation of global dryland areas. Firstly, compared the Spearman correlation between observed data and simulated data in drought-wet change and dryland areas. The effects of greenhouse gases and anthropogenic climate change on dryland and drought-wet change were identified by comparing the observational data with the spatial and temporal pattern under historical radiative forcing (ALL), greenhouse gases forcing (GHG), natural radiative forcing (NAT). Furthermore, the optimal fingerprint method was used to quantitatively detect and attribute the change of global dryland area. Finally, the contribution of population and dryland areas change to population exposure to drought was quantitatively under the future dryland expansion. The results showed that GHG could better simulate the observed change characteristics of dryland, and ALL was consistent with the observed trend but underestimated. Anthropogenic climate change and greenhouse gases signals in dryland area change can be successfully detected. With global warming, both the dryland area and population exposure are increasing. Under high emission paths, population exposure in drylands may reach a tipping point where irreversible changes occur. Lower emission and slower temperature rise could slow the expansion of dryland. Dryland expansion has an important impact on the ecological environment, social and economic development, and human living environment. Dryland detection and attribution research can provide a reference for global climate change response.

**Keywords:** Dryland; Detection; Attribution; Population exposure

---

\* E-mail: fengsy@cug.edu.cn

## S3 极端气候变化观测研究

# 气候变化使 2020 年“超级暴力梅”发生概率增加近 5 倍

叶洋波<sup>1,2</sup>, 钱诚<sup>1,2\*</sup>

(1. 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029; 2. 中国科学院大学, 北京 100089)

## 摘要

在 2020 年梅雨期(6-7 月), 中国长江中下游流域遭遇了 1960 年以来最强的降水, 引发了严重的洪涝灾害, 使得我国直接经济损失达 1789.6 亿元, 并造成死亡失踪 219 人。与此同时, 华南遭受了持续时间长且强度大的极端高温事件, 引发了大范围干旱; 在 7 月中旬, 重度干旱以上面积达到了 75.8 万平方公里。以往研究较多分析大气环流的作用, 那么大气环流对这两次事件贡献了多少? 能完全解释吗? 此外, 气候变化已使得一些类型的极端天气气候事件变得更加频发, 严重影响了居民生活并给国家的经济与救灾工作带来了严峻的挑战, 那么对于这两次发生在我国人口密集区的极端事件, 气候变化又起到了怎样的作用? 本研究基于中国站点观测数据与再分析数据, 发展了同时估算大气环流对极端天气气候事件贡献和气候变化对极端天气气候事件贡献的方法。研究结果表明, 大气环流解释了“超级暴力梅”事件的 70.73%、极端高温事件的 43.61%。在相似环流下, 和过去气候相比, 现在长江中下游流域达到以及超过“超级暴力梅”强度的极端降水事件的发生风险提升了 5.1 倍, 其中 80%可归因为气候变化的作用; 在过去气候下, 华南地区不会发生类似于 2020 年的极端高温事件, 而超过 1 个标准差的高温事件发生概率从过去气候下的 0.58%提升至现在的 68.83%, 其中 99%可归因为气候变化的作用。

**关键词:** 事件归因; 超级梅雨; 环流相似; 极端降水; 极端气温

**注:** 本文已在《Environmental Research Letters》发表

Ye, Y., and C. Qian, 2021: Conditional attribution of climate change and atmospheric circulation contributing to the record-breaking precipitation and temperature event of summer 2020 in southern China. *Environ. Res. Lett.*, 16, 044058.

---

\* E-mail: qianch@tea.ac.cn

# 地理因子在北疆极端气温趋势变化中的作用

赵焯<sup>1,2</sup>, 卞韬<sup>1,2,3\*</sup>, 任国玉<sup>3,4</sup>, 张艳品<sup>1,2</sup>, 韩子霏<sup>5</sup>

(1. 中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所, 乌鲁木齐 830001; 2. 河北省石家庄市气象局, 石家庄 050081; 3. 中国地质大学(武汉)环境学院大气科学系, 武汉 4300743; 4. 中国气象局气候研究开放实验室, 国家气候中心, 北京 100081; 5. 兰州大学大气科学学院, 兰州 730000)

## 摘要

利用 1961-2017 年北疆地区 37 个观测站的逐日气温资料以及高程数据, 选取了 3 类(冷指数、暖指数和极值指数) 15 项极端气温指数, 采用相关分析和灰色关联度统计分析方法, 研究了地理因子在北疆极端气温趋势变化中的作用。结果表明:(1)北疆地区气候变暖显著, 极端气温冷指数呈非常显著的下降趋势, 暖指数及极值指数呈显著或非常显著的上升趋势; 气候变暖主要体现为极端冷事件频次降低、夜间温度以及极端低温升高, 具有白天和夜间变化的不对称性以及低温和高温变化的不平衡性特征。(2)极端气温指数在北疆中部盆地地区上升(下降)趋势最强, 在北疆北部及南部山区地带, 上升(下降)趋势相对较小。地形分布对气候趋势的影响程度暖指数大于冷指数, 海拔高度对极端气温事件的出现频次有较大影响。(3)极端气温指数趋势的经向分布是其空间分布的主导模态。北疆地区极端气温指数趋势性变化北部大于南部、西部大于东部, 南北差异主要集中于北疆中部地区。极端气温指数趋势性变化的南北差异与海拔高度呈负相关, 表明在山地地区, 纬度对于极端气温指数的气候趋势影响较小, 而在盆地地区, 纬度为影响极端气温指数气候趋势的重要因子。经向上, 除炎热夜数增加趋势与海拔高度的相关性较低外, 北疆东部极端气温指数的趋势性变化与海拔高度相关性高于北疆西部。(4)地理因子对极端气温指数的趋势变化具有显著的影响(灰色关联度均大于 0.6, 为高度关联), 影响程度暖指数大于冷指数。地理因子对冷指数的影响在山地、丘陵地区较强, 而对暖指数的影响主要位于地势较为平缓的丘陵和盆地地区。

**关键词:** 北疆; 极端气温指数; 变化趋势; 地理因子

注: 本文已在《地理科学进展》2021 年第 4 期发表

---

\* E-mail: Biantao0107@163.com

# 基于 MCI 指数的安溪茶区干旱气候特征分析

陈立\*, 杨丽慧, 潘航, 白龙

(福建省气候中心, 福州 350001)

## 摘要

福建是中国产茶量最高的省份,盛产铁观音的安溪县是福建产茶的大区,独特的气候条件为铁观音的产量提供了优质的环境,同时安溪县每年频发的气象灾害对铁观音产量及品质又会产生巨大的影响。干旱是影响茶树品质下降的重要因子,它对茶树的生长发育、叶片的生理生化特性均会产生不同程度的影响,福建省干旱事件较为频发,主要发生在夏、秋、冬三季。本文从夏、秋、冬三季气象干旱影响因子出发,采用 MCI 指数作为气象干旱等级指标分析安溪茶区的干旱变化特征。因安溪茶区气象站资料时间长度较短,其统计结果在气候时间尺度上不具有代表性。再加上各茶区自动气象站观测期间均出现不同程度的缺测,导致资料存在不同程度的不完整性。综合以上因素,安溪气象站长年代统计得到的 MCI 指数是否能够代表安溪各茶区的干旱气候变化特征需进行评估。将安溪各茶区气象站与 MCI 指数有关的日平均气温和日降水量与安溪气象站进行相关分析,结果表明,各茶区气象站与安溪站日平均气温和日降水量相关系数较高(日平均气温相关系数达 0.96 以上,日降水量相关系数达 0.67 以上),均通过了  $\alpha=0.01$  的显著性检验,拟合程度较好,因此安溪站长年代得到的 MCI 指数能够符合安溪 6 个茶区的干旱气候变化特征。利用安溪国家气象观测站 1961-2020 年夏、秋、冬三季 MCI 指数日值资料对干旱事件进行气候统计分析,从年代际变化特征来看,安溪干旱日数呈缓慢递增趋势,干旱日数在 1995 年 6 月至 1996 年 2 月最多,达 181 天。季节和月分布特征结果表明,安溪冬季旱灾的占比最高(12 月至次年 2 月),占比 41.1%,其次是秋季,12 月旱灾的占比最高,占比达 17.2%,其次为 11 月的 16.7%和 1 月的 14.1%,夏季干旱日数相对偏少。从连旱事件(持续 30 天及以上)发生次数来看,安溪连旱事件主要发生在秋季和冬季,其中秋冬连旱占比最高,发生频率达 37.0%,其次为冬季连旱的 25.9%,夏季连旱较秋季连旱多,夏秋连旱发生频率最小。从 MCI 指数等级分布来看,特旱均出现在 20 世纪 80 年代后,季节上主要发生在夏季,其中 7 月最高,发生频率达 40.8%,冬季特旱日数较少,秋季的 9 月、11 月和冬季的 1 月均未发生特旱;重旱 1981-1990 年间出现最多,平均 16.7 天,其次为 2001-2010 年,平均 13.1 天,季节上以秋冬季发生的频率较高,冬季(12 月、1 月和 2 月)发生重旱的频率达 36.35%;中旱和轻旱在 10 月至次年的 2 月这四个月间发生频率较高,中旱在 20 世纪 80 年代出现日数最多,平均 35.2 天;轻旱在 20 世纪 90 年代出现日数最多,平均 42.8 天。结合以上统计结果表明,需重点关注夏季极端干旱(特旱)和秋冬季持续性干旱对安溪铁观音的影响。

**关键词:** 干旱; 安溪铁观音; 相关性分析; MCI 指数; 气候特征

---

\* E-mail: 848170268@qq.com

# 2021年春季华北地区一次典型沙尘重污染天气过程研究

刘志远<sup>1,2\*</sup>, 刘属灵<sup>1</sup>, 张爱国<sup>1</sup>, 邵景安<sup>1,2</sup>

(1. 重庆师范大学地理与旅游学院, 重庆 401331; 2. 重庆师范大学三峡库区地表过程与环境遥感重庆市重点实验室, 重庆 401331; )

## 摘要

沙尘天气能够造成空气中颗粒物浓度升高和能见度水平明显减少, 进而严重影响城市空气质量、经济社会发展和人民身体健康。因此对沙尘天气进行研究分析可在一定程度上减少其危害, 为治理和改善提供参考。2021年春季我国北方地区沙尘天气频发, 且是近几年来影响范围最大、持续时间最长的沙尘型重污染天气, 近20余省(市)受到影响, 影响面积超200万 $\text{km}^2$ 。本研究以2021年3月华北地区出现的1次大范围沙尘导致的空气重污染特征与路径来源为研究对象, 结合华北地区9个城市地面气象小时监测数据、主要污染物浓度和空气质量指数(AQI)数据, 利用空间插值、非参数相关、地理探测器和后向轨迹模型等方法分析大气污染过程并揭示主要污染物、主要污染物(PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>)浓度变化时空特征、与常规气象因子的关系以及找到本次污染来源和传输路径。结果表明: ①华北地区重污染天气为大范围沙尘天气造成, 强烈气旋的发展致使蒙古等地的沙尘抽到空中, 并在西北风和冷锋的作用下输送至华北地区沉降, 造成大范围污染。沙尘前期天气以多云和晴为主, 中期在冷高压和冷锋作用下, 并通过西北风输送至华北地区沉降, 造成大范围污染, 本次沙尘属于冷锋型沙尘。②此次污染的形成和消散过程时间上总体呈现形成迅速、消散急促的特征, 华北地区受到此次沙尘污染影响共计约32h, 直接导致华北大部城市这两日空气质量达到严重污染, 首要污染物为PM<sub>10</sub>, 污染过程中平均浓度一直保持在511-6450 $\mu\text{m}/\text{m}^3$ 区间, 其浓度显著增高。③空间上整体呈现西南高东北低的特征, 沙尘天气移动路径是自区域西北至东南方向传输, 沙尘来源于蒙古国和中国内蒙古中西部。城市污染物的传输存在时间先后性与趋势一致性, 城市空气质量波动明显受沙尘作用影响, 华北地区自西向东空气质量不断恶化, PM<sub>10</sub>和PM<sub>2.5</sub>浓度均突增, 沿着传输路线城市之间传输间隔约2-3小时, 这也对以后春季沙尘过程的预防工作提供借鉴。④气象要素对此次沙尘天气的影响显著, 由气象要素判断华北地区大范围沙尘发生前降水量、相对湿度偏低和下垫面疏松干燥提供条件, 加之西北和北方向的主导风带来大量粗颗粒物, 风速、风力和天气对区域污染具有较强影响, 其中风速和天气叠加对PM<sub>10</sub>污染交互作用越强。为探索气象要素和污染物变化对沙尘过程的影响提供理论支持, 以期为实现区域性沙尘天气治理与城市可持续发展的协调提供参考。

**关键词:** 沙尘天气; 时空分布; 地理探测器; 后向轨迹; 华北地区

---

\* E-mail: zhiyuanliuzy@163.com

# 云南冬半年极端低温事件及与大气环流的关系

金燕<sup>1\*</sup>, 晏红明<sup>1</sup>, 张茂松<sup>1</sup>, 马思源<sup>1</sup>, 况雪源<sup>2</sup>

(1. 云南省气候中心, 云南 昆明 650034; 2. 南京大学大气科学学院, 江苏 南京 210046)

## 摘要

本文使用云南 125 个观测台站 1961 年 1 月至 2020 年 5 月逐日的最低气温与平均气温资料, 通过一种简化的识别方法, 对 1961-2019 年云南冬半年(定义上一年的 11 月至次年的 4 月为冬半年, 即 1961 年冬半年为 1961 年 11 月-1962 年的 4 月)区域性极端低温事件进行了判别和分析, 结果表明: 近 59 年来, 云南区域性极端低温事件发生频次、累积强度和累积影响站次均呈现下降趋势, 但近 10 年中, 极端低温事件的发生频次、累积影响的站点数有所增长。云南区域性极端低温事件持续天数集中在 1~4d 之间, 冬半年的 11 月和 3 月发生概率较高; 云南东部地区发生频率高, 怒江以西的狭窄区域发生频率较低; 进入 1980 年代中以后, 云南无三个季节均发生极端低温事件的年份; 深秋时段极端低温事件出现的频率减少较快, 近 10 年中没有发生。在分析云南区域性极端低温事件发生规律基础上, 基于由美国国家环境预报中心/国家大气研究中心(NCEP/NCAR)提供的月平均和逐日再分析大气资料, 包括等压面的位势高度、水平风场和温度, 水平分辨率为  $2.5^\circ$ (经度)  $\times$   $2.5^\circ$ (纬度), 垂直方向从 1000hPa 到 10hPa 共 17 层, 通过一元回归、合成分析、相关性分析, F 检验、T 检验等方法对可能引起云南冬半年极端低温事件的大气环流进行诊断, 资料为了突出年际变化特征均已做了去除线性趋势处理。由于 T-N 波作用通量能较好地反映中高纬地区环流异常状况激发的 Rossby 群波能量的频散方向, 所以本文计算 T-N 波作用通量来考察 Rossby 波的传播。从环流特征分析来看, 不同季节影响云南北极极端低温事件的大气环流有所不同: 深秋高层 300hPa 在北美大陆有 Rossby 波东传, 500hPa 东亚地区气压场“西高东低”, 850hPa 东北风引导冷平流南下引起云南深秋极端低温事件活跃; 冬季的极端低温事件是由 300hPa 北大西洋亚速尔群岛上空 Rossby 波东传, 500hPa 东亚地区气压场“北高南低”, 850hPa 中纬度东风引导冷平流东进影响; 初春, 300hPa 东北太平洋 Rossby 波东传经由斯堪的纳维亚半岛上空至东亚, 500hPa 东亚地区气压场“北高南低”, 850hPa 东风与北风共同引导冷平流南下与南支槽在云南相遇, 造成春季极寒天气。

**关键词:** 云南; 冬半年; 极端低温事件; 冷平流; Rossby 波

---

\* E-mail: apple\_jjyy25@163.com

# 1967-2019 年西南地区高温的时空特征分析

字冉\*, 孔震, 王利, 高婷婷

(西双版纳傣族自治州气象局, 景洪 666100)

## 摘要

利用 1967-2019 年中国西南地区 305 个气象观测站逐日观测资料, 分析了近 53 年以来西南地区整体高温初日、终日和高温最长连续日数及其年际变化和空间趋势分布特征。结果表明: (1) 西南地区出现高温频次表现为东多西少, 四川东部、重庆、贵州东部和云南中南部为高温发生主要区域, 平均每年出现高温频次在 5 天以上, 其中四川东部、重庆大部地区、云南中部和南部平均每年出现高温频次在 20 天以上, 在云南元江、元阳, 重庆开县、云阳超过 40 天。从 53 年的气候平均来看, 云南元江 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 高温日数最长达 91 天。除重庆外, 其余三省均有高温日数小于 1 天的站点, 主要分布在川西、川南、滇西北、滇中以东及黔南等地较高海拔地区。(2) 近 53 年西南地区高温初日、终日逐年推后、最长连续日数有增强趋势, 这与以往的研究不同。20 世纪 60-90 年代高温出现和结束偏早, 最长连续日数也较短, 平均 3.6d/a; 90 年代至 21 世纪初, 高温初日和最长连续日数围绕其平均状态浮动, 高温终日推迟; 2010 年之后高温出现和结束均有推迟的趋势, 每年最长连续日数也增长明显。值得注意的是 2018-2019 年并未因同高温出现的早而提早结束, 分别在 8 月中旬和下旬才高温才结束。2006 年和 2011 年虽高温开始日期接近平均值, 但高温结束晚, 高温日数分别长达为 33.3 和 29 天, 最长持续日数达 10.8 和 8.2 天, 属极端高温年和次极端年份, 查看当年极端最高气温, 西南地区多地高温事件频发。1974 年创下近 53 年西南地区各站点平均高温日数最少的记录, 近 4.1 天, 比气候平均值少 9.1 天, 高温虽然出现早, 但在 5 月上旬就结束, 高温日数短且最长持续时间最少, 亦是全球气候极端事件的另一种表象。(3) 高温初日、终日、最长连续日数的存在年际变化趋势: 西南地区的高温初日有提前一推后一提前一推后的变化, 在 20 世纪 80 年代前平均出现在五月上旬末; 80 年代中期出现在 4 月下旬初; 1997 年推后至 5 月下旬末; 21 世纪起至 2010 年, 高温提前 13 天左右, 而后又推后 18 天, 为 6 月上旬。历年高温日数、最长连续高温日数的年际变化趋势与高温终日相似, 20 世纪 80 年代中期以前, 高温终日较 60 年代提前了 26 天左右, 为 5 月下旬中期, 高温日数减少 5.5 天左右, 最长连续高温日数减少 1.5 天; 80 年代后高温终日急剧推后, 到 2012 年高温终日推后 84 天, 出现 8 月中旬, 高温日数增加至 21.3 天左右, 最长连续高温日数增加到了约 6.6 天。高温初日总体呈现推迟趋势, 平均每年推迟 0.69 天。(4) 高温空间变化趋势存在强的地区差异, 四川盆地中部是高温开始和结束时间推后最显著地区; 连续高温日数增多最明显地区出现在四川东南部, 而云南南部每年出现高温日数增多趋势显著。重庆大部分地区呈现初日弱的提前, 0.3/10a; 其余大部分出现高温初日的地区均呈现推后趋势, 四川盆地中部形成南北带状高值中心。最长高温连续日数空间变化趋势为全区增加, 在滇东北至贵州西部形成一条带状低值区; 四川盆地东南部地区为高值区, 内江、自贡、宜宾、泸州增加速率 $>0.9 \text{ d}/10\text{a}$ 。滇南地区为高温日数增加变化最明显地区, 元江超过 5.5 d/10a; 四川宜宾、自贡、泸州和重庆东北部变化速率次之, 但也超过 2.5 d/10a。

**关键词:** 高温日数; 高温初日和终日; 西南地区

---

\* E-mail: 153407821@qq.com

# 山东夏季极端热事件变化特征

周强\*

(山东省气象服务中心, 济南 250031)

## 摘要

通过气温数据的气候极值检验、时间一致性和空间一致性检验, 保证历年夏季逐日最高、最低气温总数据量达 95% 以上。剔除了观测站迁移超过 20 km 的站点和夏季日最高气温 97 分位阈值低于 29.0 °C 的站点, 同时考虑到气象站气温观测数据的时间序列长度和完整性, 最终确定山东 88 个气象站 1961—2019 年夏季 6—8 月逐日最高、最低气温观测数据作为研究对象。

利用百分位法定义极端阈值, 当某日最高气温或最低气温超过该极端阈值时, 即该日出现了极端热事件。设定三个极端热事件进行分析, 分别为极端热昼、极端热夜、极端高温日, 极端热昼定义为日最高气温超过设定的日最高气温极端阈值, 而日最低气温低于设定的日最低气温极端阈值; 极端热夜定义为日最高气温低于其极端阈值, 而日最低气温超过其极端阈值; 极端高温日定义为日最高气温和日最低气温均超过各自的极端阈值。采用极端热事件出现次数(d)、强度(°C)、占比(%)三个分析指标进行各极端热事件的时空变化特征研究, 分析了山东各地极端热昼、极端热夜、极端高温日三个极端热事件的时空演变规律和突变特征。结果表明:

1) 山东夜间出现极端热事件及白天和夜间同时出现极端热事件的天数增多、强度增强、占比增加。山东历年平均极端热昼、极端热夜、极端高温日出现次数、强度、占比变化趋势类似, 均表现为极端热昼出现次数和占比减少、强度减小的变化趋势, 但仅占比指标减少趋势通过了 0.05 的显著性水平检验; 极端热夜、极端高温日出现次数和占比增加、强度增强变化趋势, 其中极端热夜出现次数、强度及极端高温日出现次数、强度、占比变化趋势均通过了 0.05 的显著性水平检验。

2) 山东内陆和沿海地区各极端热事件指数变化差异明显。内陆地区极端热昼出现次数和占比减少、强度减小趋势更显著, 半岛南部和东部部分区域则有增加趋势; 中西部地区极端热夜出现次数和占比增加、强度增强趋势更显著; 中东部区域尤其是半岛地区极端高温日出现次数和占比增加、强度增强趋势更显著。

3) 山东区域的各极端热事件不同指标的突变情况迥异。极端热昼历年出现次数没有发生突变, 平均强度在 1970 年前后发生突变, 突变发生后, 平均强度减小了 0.4 °C; 极端热夜出现次数和平均强度均在 1994 年前后发生突变, 突变发生后, 出现次数增加了 4.2 d, 气候倾向率由减少(-1.04 d · (10 a)<sup>-1</sup>) 转为明显增加(0.55 d · (10 a)<sup>-1</sup>), 平均强度增强了 0.2 °C, 但气候倾向率变化不大; 极端高温日出现次数和强度分别在 1994 年、1973 年前后发生突变, 突变发生后, 出现次数增加了 5.1 d, 由 5.6 d 增加为 10.7 d, 气候倾向率由显著减少(-1.56 d · (10 a)<sup>-1</sup>) 转为显著增加(2.55 d · (10 a)<sup>-1</sup>), 变化趋势均通过了 0.05 显著性水平检验, 平均强度的气候倾向率增强趋势通过了 0.05 显著性水平检验。

**关键词:** 高温; 极端温度; 山东; 年代际变化

---

\* E-mail: Mars-zq@163.com

# 山西极端暴雨基本特征研究

周晋红<sup>1\*</sup>, 王秀明<sup>2</sup>, 田晓婷<sup>1</sup>, 张泽秀<sup>1</sup>, 蔡晓芳<sup>1</sup>

(1. 太原市气象局, 太原 030082; 2. 中国气象局气象干部培训学院, 北京 100081)

## 摘要

利用 1981-2018 年 6-9 月山西 108 个国家气象站逐日逐时降水资料, 将满足以下条件之一的降水过程定义为极端暴雨: 1) 1 站或以上 24 小时降水量 (08-08 时, 或 20-20 时。下同)  $\geq 200\text{mm}$ , 且有 10 站或以上相同 24 小时降水量  $\geq 50\text{mm}$ ; 2) 5 站或以上 24 小时降水量  $\geq 100\text{mm}$ , 且有 10 站或以上相同 24 小时降水量  $\geq 50\text{mm}$ 。当同一个过程 08-08 时和 20-20 时均满足极端暴雨条件时, 以暴雨中心降水量最大时段统计。应用实况观测资料和 ECMWF-ERA5 再分析资料, 对极端暴雨气候特征、环流背景、水汽来源进行分析, 并将暴雨中心要素距平与常年标准差的比值作为异常度对极端暴雨中心水汽异常特征进行研究, 并讨论稳定度特征。主要结论如下:

(1) 近 38 年来山西出现 17 次极端暴雨过程, 其中 16 次在 7、8 月, 1 次在 9 月; 7 月出现最多, 占全部过程的 59%。76% 的极端暴雨出现在持续性暴雨过程 (持续 48 小时及以上) 中, 且均出现在过程开始后 48 小时内、以 12~36 小时出现最多。极端暴雨落区主要在山西中南部, 并具有明显夜雨特征, 暴雨中心主要出现在  $38^\circ\text{N}$  以南太行山、吕梁山地势偏低处。2010 年以来, 极端暴雨明显偏多。

(2) 山西极端暴雨主要出现在“700hPa 低涡”和“西风槽与台风远距离相互作用”两种环流背景下。700hPa 低涡型常有西北涡移入河套到山西区域, 或直接在河套到山西区域形成低涡, 并伴有西南急流; 该环流型下极端暴雨发生前 12 小时和过程中副高以稳定或西伸北抬为主, 使得西风槽移动缓慢, 并持续为暴雨区提供水汽。西风槽与台风远距离作用时, 台风位于福建、广东沿海或台湾附近, 距离西风槽 1000km 以上, 台风的作用主要是偏东气流的水汽输送, 台风北部和东部偏东气流与副高西南侧东南气流合并加强北上直抵山西。此型在极端暴雨过程中副高也以稳定或西伸北抬为主。

(3) 700hPa 低涡型水汽来源主要是孟加拉湾、南海和西太平洋。西风槽与台风远距离作用型水汽主要来源于黄海和东海, 有时也有从孟加拉湾到南海折向北的西南水汽输送, 在湖北到河南与台风外围从黄海和东海的东南水汽合并进入山西, 为暴雨区提供充足水汽。

(4) 17 次过程, 极端暴雨开始时刻暴雨中心 850hPa 比湿中位值为  $14.7\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 异常度中位值为 1.3; 14、12 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  可分别作为 7 月到 8 月中旬、8 月下旬到 9 月极端暴雨所需 850hPa 比湿阈值。比湿异常在 700hPa 更明显, 17 次过程暴雨中心降水开始时刻、过程最大比湿中位值分别为 10、11.5 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 异常度中位值分别达 1.5、2.2。暴雨中心降水开始时刻、过程最大大气整层可降水量中位值分别为 46、49mm, 异常度中位值分别达 1.7、2.1。

(5) 极端暴雨出现时, 850hPa 是最强水汽通量散度辐合的主要层次, 其次是 700、800hPa, 有 9 次过程最强水汽通量辐合超过  $200\times 10^{-8}\text{g}\cdot(\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1})$ 。虽然各次过程水汽强辐合中心高度和强度有差别, 但最强水汽辐合异常度 88% 都在 -3.0 以下、6 次超过 -5.0, 2012 年 7.21、2016 年 7.19 暴雨最强水汽通量散度异常度都  $< -7.5$ 。极端暴雨一般在降水前 3 小时出现低空水汽通量辐合, 且几乎持续整个强降水时段, 低空强水汽通量辐合且长时间持续是造成极端暴雨的重要因素。

(6) 17 次过程极端降水开始时刻, 暴雨中心 T850-500 平均值为  $23^\circ\text{C}$ , 西风槽与台风

\* E-mail: 13466834528@163.com

远距离作用型 80%达到或超过 23°C，因此具有更强的对流潜势，17 次过程中 5 次过程暴雨中心最大雨强 $\geq 50\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ ，其中 3 次出现在西风槽与台风远距离作用型中。

**关键词：**山西；极端暴雨；环流特征；水汽异常

# Human influence on frequency of temperature extremes

Ting Hu<sup>1\*</sup>, Ying Sun<sup>1,2</sup>, Xuebin Zhang<sup>3</sup>, Seung-Ki Min<sup>4</sup>, Yeon-Hee Kim<sup>4</sup>

(1. National Climate Center, Laboratory for Climate Studies, China Meteorological Administration, Beijing, 100081, People's Republic of China; 2. Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing, 210044, People's Republic of China; 3. Climate Research Division, Environment and Climate Change Canada, Toronto, ON M3H 5T4, Canada; 4. Division of Environmental Science and Engineering, Pohang University of Science and Technology, Pohang, South Korea)

## ABSTRACT

We investigate the influence of external forcings on the frequency of temperature extremes over land at the global and continental scales by comparing HadEX3 observations and simulations from the Coupled Model Intercomparison Programme Phase 6 (CMIP6) project. We consider four metrics including warm days and nights (TX90p and TN90p) and cold days and nights (TX10p and TN10p). The observational dataset during 1951–2018 shows continued increases in the warm days and nights and decreases in the cold days and nights in most land areas in the years after 2010. The area of the so-called “warming hole” in North America is much reduced in 1951–2018 compared with that in 1951–2010. The comparison between observation and simulations based on an optimal fingerprinting method shows that the anthropogenic forcing, dominated by greenhouse gases, plays the most important role in the changes of the frequency indices. Changes in CMIP6 multi-model mean response to all forcing need to be scaled down to best match the observations, indicating that the multi-model ensemble mean may have overestimated the observed changes. Analyses that involve signals from anthropogenic and natural external forcings confirm that the anthropogenic signal can be detected over global land as a whole and for most continents in all temperature indices. Analyses that include signals from greenhouse gas (GHG), anthropogenic aerosol (AA) and natural external (NAT) forcings show that the GHG signal is detected in all indices over the globe and most continents while the AA signal can be detected mainly in the warm extremes but not the cold extremes over the globe and most continents. The effect of NAT is negligible in most land areas. GHG's warming effect is offset partially by AA's cooling effect. The combined effects from both explain most of the observed changes over the globe and continents.

**Keywords:** temperature extremes; detection and attribution; anthropogenic forcing; natural forcing; CMIP6 models; HadEX3 dataset

注：本文已在《Environmental Research Letters》上发表：<https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab8497>

---

\* E-mail: [huting@cma.gov.cn](mailto:huting@cma.gov.cn)

# 贵州省短时强降水时空分布特征分析

肖蕾<sup>1\*</sup>, 杜小玲<sup>2</sup>, 武正敏<sup>1</sup>, 郭晓超<sup>3</sup>, 田端<sup>1</sup>, 刘红双<sup>1</sup>

(1. 遵义市气象局, 遵义 563000; 2. 贵州省气象台, 贵阳 550000; 3. 贵州省播州区气象局, 遵义 563100)

## 摘要

利用 2005-2018 年贵州省 84 个国家气象站逐小时降水量资料, 采用统计诊断分析方法, 在区分量级前提下, 结合地形特征, 研究贵州 1h 短时强降水和逐 3h 降水的时空分布特征。结果表明: (1) 14 年中短时强降水共出现 5981 站次, 年均 427.2 站次, 其空间分布与地形特征密切相关, 整体呈现南多北少、东多西少的特征, 贵州西南部“喇叭口”地形和东南部雷公山南侧双峡谷交界地形内为短时强降水高发区, 东北部铜仁梵净山东侧和东部天柱附近为次高发区, 西部和北部的毕节、遵义为低发区。四个等级站次数的空间分布表明, 99% 的站次数集中在前两个等级, 而  $R_{1h} \geq 80 \text{ mm}$  的短时强降水 14 年间只出现在石阡、福泉、贞丰、罗甸、平坝 5 个站点各 1 次。短时强降水最大雨强分布与总站次数分布趋势较为一致, 一般南部大于北部、中东部大于西部, 局部存在差异。平均雨强整体呈现南强北弱的特征。(2) 年变化曲线显示, 2005-2013 年强降水站次大多处于年均值 (427.2) 之下, 2011 年达到最低值 275, 2014 年站次数骤然增加至 564, 2015 年继续增加到最大值 662, 其后迅速回落到比年均值略高的位置小幅变化。短时强降水各站点年际变化在高发区离散度较大, 在贵州西北部低发区离散度较小; 月际变化曲线呈单峰型, 5-8 月份是降水高发时段, 6 月达到峰值。短时强降水主要以单个县站出现的局地性降水为主, 同时有 3 站以上出现的情况非常少, 以 6 月最多; 短时强降水最早出现旬数全省呈南早北晚、东早西晚的特征, 结束旬数呈现西早东晚, 北早南晚的特征, 概率最大旬大多出现在 6 月; 短时强降水日变化曲线呈单峰型, 21 时至次日 07 时为高发时段, 中午 12 时前后出现较少。日变化的空间分布特征为傍晚到前半夜主要集中在贵州西部, 而后半夜多出现在东部和南部地区, 中午前后全省均较少出现。(3) 逐 3h 降水时空分布与 1h 短时强降水特征大体一致, 局部存在一些差异。

**关键词:** 短时强降水; 时空分布; 分级统计; 贵州

---

\* E-mail: 414919975@qq.com

# 20 世纪初中期登陆或影响中国台风的频数变化特征

李欣欣<sup>1\*</sup>, 廖廓<sup>2</sup>, 郑潮宇<sup>1</sup>, 潘航<sup>1</sup>

(1. 福建省气候中心 福州 350001; 2. 福建省气象科学研究所 福州 350001)

## 摘要

采用历史天气图判别法,以台风路径、台风是否登陆或影响中国为分类依据,将 1901—1955 年台风划分为八种不同类型。通过对 1901—1955 年登陆或影响中国台风的频数进行分析得出以下结果:

1. 不同类型的台风频数,在登陆中国的台风中,不转向类最多,其次是西行类,转向类最少;不登陆中国但对中国有影响的台风中,西行类最多,其次是转向类,再次是不转向类;对中国无影响的台风中,转向类多于西行类。各类台风中,转向路径(40%)与西行路径(38%)的台风频数相当,不转向路径的台风占 22%。

2. 登陆中国的台风主要出现在夏秋季(7—9月),其中转向类和西行类都是 8 月最多,不转向类 7 月最多。不登陆中国但对中国有明显影响的台风中,不转向路径和转向路径均是 7—8 月最多,西行路径 9—10 月最多。近 70%不影响中国的台风为不转向路径,集中在夏秋季(8—11 月),30%不影响中国的西行台风大多出现在秋季(9—11 月)。总体而言,20 世纪初中期,台风在 8—9 月最多,7 月次之,10—11 月晚台风也较多,春季早台风较少。

3. 不同月份的主导台风类型存在差异。仅考虑影响中国的台风时,6 月和 7 月以不转向登陆中国的台风(T2)为主,8 月西行和不转向登陆中国的台风(T6 和 T2)最多,9 月多受西行台风(T6 和 T7)影响,10 月易受西行不登陆中国的台风(T7)影响。4 月、5 月和 11 月台风对中国影响较弱。

4. 20 世纪初中期台风频数并没有明显的增减趋势,主要以年际变率为主,其中 2—4a 周期最为显著。台风频数可能存在年代以上周期,20 世纪 00 年代初—10 年代中期台风偏多,20 世纪 10 年代中期—30 年代初台风偏少。由于 1941—1945 年战时资料缺失,20 世纪 30 年代中期以来台风频数年代变化不明显。不同类型的台风频数逐年代演变特征有所不同,主要表现为 T3、T4、T5 和 T8 类台风先减少后增加,其中 T5 类台风最为显著,它在 1921—1930 年最少。T2 和 T6 类台风则是先增加后减少,这两类台风在 1921—1930 年最多。

**关键词:** 20 世纪初中期; 台风频数; 台风类型; 时间分布; 变化特征

---

\* E-mail: 493379687@qq.com

# 近 60 年吉林省区域高温事件时空特征分析

胡轶鑫\*, 邱译萱, 刘宁

(吉林省气候中心, 长春 130062)

## 摘要

本文基于 1961-2020 年吉林省 46 个气象台站日最高温度资料, 定义了区域高温事件判别方法和相关指标体系, 主要选取区域高温频次、强度、持续时间、影响范围作为评价指标, 并建立综合强度指数指标体系, 对吉林省区域高温的时空变化特征进行了系统的研究, 得出以下结论:

1) 近 60 年来, 吉林省累计出现区域高温事件 124 次, 年出现概率为 76%, 出现频次为 2.7 次/年。近 60 年来, 吉林省区域高温事件呈增加趋势, 增加率为 0.2 次/10a。吉林省区域高温天气事件最早出现在 4 月 26 日 (2015 年), 最晚出现在 8 月 20 日 (1975 年), 其中 6 月和 7 月偏多, 分别占总次数的 36% 和 34%。

2) 吉林省区域高温事件具有明显的时间变化特征: 近 60 年来, 吉林省区域高温事件年发生频次、年累计出现天数和年累计影响范围均呈明显增加趋势, 增加速率为 0.2 次/10a、0.5 天/10a 和 6.0 站日/10a。从年代际变化来看, 吉林省区域高温事件呈现高一低一高的变化趋势: 二十世纪 60、70 年代吉林省累计出现区域高温事件较多, 80 年代到 90 年代中期高温事件少发期, 进入 90 年代后期, 吉林省区域高温事件发生频次、强度和影响范围等均显著增加, 特别是 2000 年以后为区域高温时间频发期。

3) 吉林省区域高温事件具有明显的空间分布特征, 发生强度和出现天数空间分布具有较好的一致性。吉林省区域高温事件主要出现在中西部平原地区, 其次是延边州盆地, 白城市是区域高温事件的中心, 中东部地区区域高温事件日数较少, 强度较弱。

4) 根据 1981-2010 年吉林省区域高温事件综合强度指数, 利用百分位法, 将区域高温事件分为特强、强、较强和一般 4 个等级。近 60 年来吉林省出现特强区域高温事件 5 次, 占比 4.0%, 强区域高温事件 20 次, 占比 16.1%, 较强区域高温事件 32 次, 占比 25.8%, 一般高温事件 67 次, 占比 54.1%。吉林省特强区域高温事件均出现在 2000 年以后, 其中 2000 年 7 月 8-11 日的区域高温天气事件范围最广、强度最大, 出现 69 站日高温 ( $\geq 35^{\circ}\text{C}$ ) 天气, 2000、2001 和 2010 年区域高温天气事件持续时间较长, 均达到 4 天。

5) 采用 Mann-Kendall 法, 对近 60 年来吉林省区域高温事件各指标年值历史序列进行趋势变化和突变检验, 区域高温事件发生频次、强度和影响范围在 20 世纪 90 年代初略有减少趋势, 但 90 年代后期以来随着全球变暖趋势的增加, 区域高温事件呈现显著增加趋势, 各指标在 90 年代中后期发生突变, 高温事件增加趋势更为显著。

**关键词:** 极端高温; 热浪; 年代际变化; 吉林

---

\* E-mail: huyixin0506@163.com

# 全球及大洲区域极端降水长期变化归因

董思言<sup>1\*</sup>, 孙颖<sup>1</sup>, 李超<sup>2</sup>, Xuebin Zhang<sup>3</sup>

(1. 国家气候中心, 北京 100081; 2. 华东师范大学, 上海 200062; 3 加拿大环境部)

## 摘要

由于极端降水对人类生活、社会经济、农业和生态系统造成灾难性影响, 极端降水的变化正在引起人们的关注。在大陆到全球范围内观测到极端降水的频率和强度增加。在全球范围内, 降水极端事件增加的地区多于减少的地区。在大陆尺度上, 欧洲、亚洲、北美洲和南美洲的强降水强度和频率总体上有所增加。虽然 IPCC 第五次评估第一工作组报告根据绝对和基于百分位的极端指数评估了观测的极端降水变化, 但很少用基于百分位的极端指数评估人类对极端降水的影响。温室气体和气溶胶对极端降水的影响可能与对平均降水的影响不同。气候模型模拟中气溶胶对东亚和澳大利亚西北部的极端降水有重大影响。然而, 尚未使用正式的检测和归因框架研究温室气体和人为气溶胶在观测到的极端降水变化中的单个强迫作用。

在这里, 我们对基于百分位的四个降水极端指数的变化进行了检测和归因分析。这些指数包括 1961-1990 年降雨量超过湿日降水量的第 99 和 95 百分位数的年降水总量的强降水量和极强降水量 (R99p 和 R95p) 及这两个指数对年总降水量的贡献 (R99pTOT 和 R95pTOT)。研究人类在全球和大陆尺度上对这些基于百分位数的降水指数可能产生的影响, 并特别注意将人为温室气体的影响与其他强迫 (如气溶胶) 的影响分开的可能性。这是因为在计算大区域的平均值时, 跨空间的极端降水的异质性以及可用站点数据在时间和空间上的不均匀分布是一个独特的挑战, 使用分位数指数可以在一定程度上减少这种困难。

研究将 1951-2014 年期间一套新编制的观测值中这些指数与参与耦合模型比较计划第六阶段 (CMIP6) 的模型的模拟值进行比较。研究表明, 在 1951-2014 年的历史时期, 随着全球变暖, 大多数有观测的陆地区域都经历了这些极端指数的增加。新的 CMIP6 模型能够重现这些总体增长, 尽管在某些地区存在相当大的高估或低估。最佳指纹分析揭示了在全球和大多数大陆平均这些指数的观测中可检测到的人为信号。此外, 在这些指数中, 同时考虑其他强迫, 在全球和亚洲, 除了 R95p 之外, 可以单独检测温室气体信号。相比之下, 在全球或大陆尺度的任何这些指数中都无法检测到人为气溶胶和自然强迫的信号。

该研究可靠地证明了人为作用对全球及大洲区域极端降水变化的影响。更重要的是研究发现在北半球亚洲区域的中仍可检测到温室气体单强迫信号影响。研究成果增强了对人类活动作用与极端降水变化之间联系的认识, 对全球和大洲区域极端降水长期变化归因研究具有重要意义, 对获得人类活动作用与不同尺度极端降水变化之间的联系客观信息具有重要价值。

**关键词:** 极端降水; CMIP6; 检测; 归因; HadEX2

注: 本文已在《Journal of Climate》发表: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-1017.1>

---

\* E-mail: [dongsy@cma.gov.cn](mailto:dongsy@cma.gov.cn)

# Changes in extreme precipitation accumulations during the warm season over continental China

Meiyu Chang<sup>1\*</sup>, Bo Liu<sup>1</sup>, Cristian Martinez-Villalobos<sup>2</sup>, Guoyu Ren<sup>1,3</sup>, Shangfeng Li<sup>4</sup>,  
Tianjun Zhou<sup>5</sup>

(1. Department of Atmospheric Science, School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan, China; 2. Department of Atmospheric and Oceanic Sciences, University of California, Los Angeles, Los Angeles, CA, U.S.A; 3. Laboratory for Climate Studies, National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing, China; 4. Jilin Provincial Key Laboratory of Changbai Mountain Meteorology & Climate Change, Laboratory of Research for Middle-High Latitude Circulation Systems and East Asian Monsoon, Institute of Meteorological Sciences of Jilin Province, Changchun, China; 5. LASG, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Science, Beijing, China)

## ABSTRACT

Precipitation accumulations, integrated over rainfall events, are investigated using hourly data across continental China during the warm season (May-October) from 1980 to 2015. Physically, the probability of precipitation accumulations drops slowly with event size up to an approximately exponential cutoff scale where probability drops much faster. Hence can be used as the indicator of the high accumulation percentiles, i.e., the extreme precipitation accumulations. In this study, by employing the cutoff scale, we investigated the climatology and recent changes of precipitation accumulation distributions over continental China during the warm season. To examine the regional features of accumulation distributions and their changes, all stations are grouped into eight different climate regions based on the China's National Assessment Report on Climate Change: Northeast China (NEC), North China (NC), Northwest China (NWC), East China (EC), Central China (CC), Qinghai-Tibet Plateau (SWC1), Southwest China (SWC2), and South China (SC). Due to the uneven station density, we have excluded the western parts of NWC and SWC1 and renamed SWC1 and SWC2 to northern Southwest China (nSWC) and southern Southwest China (sSWC).

Overall, the climatological cutoff of precipitation accumulation distributions is about 54 mm over China. At the station level, we find the cutoff scale in each station to be positively correlated with extreme accumulation percentiles, indicating that the cutoff scale can be used to study extreme precipitation over China. Similar positive correlation occurs for daily precipitation. Moreover, the cutoff scales of precipitation accumulations and daily precipitation are highly correlated, implying the results derived from precipitation accumulations can be used to explain extreme precipitation indices derived from daily precipitation data. On a regional scale, the distribution of cutoff is roughly like that of mean warm season total precipitation, with the maximal values mainly located over East, Central and South China.

We divided the whole period into two equal periods to investigate changes of precipitation accumulation in the context of current warming climate. In general, the number of stations with increased accounts for about 58.5% of the total and the overall cutoff scale increases about 5.6% over continental China in 1998-2015. However, changes of cutoff exhibit distinct regional features.

---

\* E-mail: changmy@cug.edu.cn

On regional scale, increases were found over East China ( $10.9\% \pm 1.5\%$ ), Northwest China ( $9.7\% \pm 2.5\%$ ), South China ( $9.4\% \pm 1.4\%$ ), southern Southwest China ( $5.6\% \pm 1.2\%$ ) and Central China ( $5.3\% \pm 1.0\%$ ). And three out of eight subregions witnessed the decrease of cutoff scale, namely, North China ( $-10.3\% \pm 1.3\%$ ), Northeast China ( $-4.9\% \pm 1.5\%$ ) and northern Southwest China ( $-3.9\% \pm 1.8\%$ ). Changes derived from daily precipitation resemble those of precipitation accumulations but with smaller magnitude. Furthermore, we found that the changes of the PDFs of accumulation and daily precipitation in the right tails can be well represented by rescaling the cutoff scales, demonstrating that the cutoff scale is physically linked to the shape of probability distribution of precipitation accumulations. That is, the changes of can be regarded as an indicator of changes of the full extreme tails of PDFs.

When the five regions with increased cutoff are regarded as a whole, the risk ratio has an increasing trend and exceeds 1.2 for the accumulation size greater than  $s_{99,9}$ , meaning that the risk of extreme accumulation increases as the cutoff scale is extended. Consistently, the conditional risk ratios for five subregions with increased cutoff are all greater than 1.0 and gradually increase, also implying an increased risk of large precipitation accumulations. For accumulations larger than  $s_{99}$ , the risk ratios in these regions can reach above 1.2 except for South China (SC). These results indicate that, with the extension of the cutoff scale in the PDF of precipitation accumulations, large accumulations exhibit significant increase in 1998-2015 compared to the former period. Similarly, the risk of extreme accumulation decreases for the three subregions with decreased cutoff. An advantage of the accumulation framework is that we can attribute changes to changes in event duration and event intensity. To separate the effects of event duration (hour) and event-mean intensity ( $\text{mm h}^{-1}$ ) on extreme accumulation, we have calculated the changes in the number of events, mean duration, mean intensity (averaged over event) and size of accumulation extremes (mean accumulation of extreme accumulation events).

When taking the regions (EC, CC, SC, NWC and sSWC) with extended cutoff as a whole, the number of extreme events and the size of accumulation extremes exhibit consistent positive trends. Moreover, for accumulations larger than  $s_{99}$ , it can be clearly seen that positive trends of extreme accumulations result from the increased durations, rather than intensity. Similarly, the decrease of extreme accumulations is also mainly due to the decrease of duration. Regionally, similar trends in event number and size of accumulation extremes are also found for the five regions with increased cutoff, except for sSWC where the change of accumulations is not significant. Meanwhile, regional results also suggest that at least for 'extreme' extreme precipitation larger than  $s_{99}$ , the positive trend is mostly from the elongated duration, which are in line with the results obtained by taking the regions with increased cutoff as a whole. Furthermore, for three subregions with decreased cutoff, the number of extreme events and size of extreme accumulations show negative trends. Indeed, negative trends of extreme accumulations also result from the shortened duration, rather than the reduced intensity. In conclusion, the changes of extreme events and accumulations are largely consistent with the changes of cutoff scale and the changes of size of accumulation extremes are mostly affected by the mean duration. That is, the increased size of extreme accumulations can be largely accounted for by an extension of the mean duration of these extreme events, especially for 'extreme' extreme precipitation greater than approximately  $s_{99}$ .

**Keywords:** Atmosphere; Asia; Extreme events; Precipitation; Trends

注: 本文已发表于《Journal of Climate》: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0616.1>

# 全球变暖背景下长江上游极端降水变化特征

方思达\*, 刘敏, 王凯

(武汉区域气候中心, 武汉 430074)

## 摘要

全球气候变暖加剧了极端天气、气候事件的发生,特别是极端降水的时空格局在不同地区体现出不同的变化特征。本文基于1961-2017年长江监利以上流域气象观测站逐日降水资料,使用站点平均及泰森多边形方法计算了8个子流域的面雨量,基于百分位方法定义极端降水阈值,采用MTM-SVD等方法分析了该地区极端降水的周期及时空变化,并对比了变暖前后流域极端降水的演变规律。

研究表明:长江上游大部地区极端日降水量阈值10.2~46.1毫米,由西向东逐渐增大,其中金沙江下游、嘉陵江南部及上游干流区间日降水量阈值在35毫米以上。近57年来流域平均每年发生极端降水7.5天,平均极端降水总量353mm,极端降水量占总降水量比例为35.9%,基于泰森多边形方法计算的结果与站点平均总体趋势接近,但逐年变化更为离散。长江上游的8个子流域中,乌江、宜宾到重庆区间为最易出现极端日面雨量事件的流域,年均出现8次以上。夏季(6-8月)是长江监利以上流域出现极端面雨量事件最主要的季节,占全年的78.0%;秋季占13.8%左右,除1970年外,均发生在9、10月;其他时段仅占8.2%,1961年以来有近一半的年份在该时段未出现过极端面雨量事件。夏季极端面雨量存在一定的年代际和年际变化特征,上世纪80年代、90年代中后期及2007年后为相对较多时期,但年际变率较大。使用MTM-SVD方法对1961-2017年长江流域的极端面雨量进行周期分析,结果表明在上世纪60~70年代,极端降水表现出明显的准4年周期,80~90年代呈现一个调整状态,之后准4年周期又开始显著,但是振幅相对于上世纪60-70年代明显变小。

流域自1980年开始进入显著变暖时期,1980年以后极端降水平均强度较1980年以前有所增强,由46.5mm/d至47.2mm/d,极端降水量占总降水的比重也体现出相同的特征,这说明降水结构可能随着变暖发生改变;选取流域最暖的10年和最冷的10年分对比分析发现,极端降水占总降水比例的差异较年代际差异更为显著,暖年的极端降水比重较冷年增加了4.8%。此外,通过分析rx3d和rx7d的空间变化特征发现,相邻流域(岷沱江流域和嘉陵江流域)体现出相反的变化趋势,说明流域内部的极端降水变化规律较为复杂,变暖背景可能只是其中原因之一,值得进一步探讨。

**关键词:** 极端降水; MTM-SVD方法; 年代际变化; 长江上游

---

\* E-mail: 421208920@qq.com

# 1960-2019 年内蒙古极端高温事件变化特征分析

冯晓晶\*

(内蒙古自治区气候中心, 呼和浩特 010051)

## 摘要

利用内蒙古自治区 105 个国家气象站 1960-2019 年逐日最高气温数据, 采用气候倾向率、均方差、Mann-Kendall 突变检验方法分析了内蒙古地区近 60 年来高温事件时空变化特征。研究表明, 内蒙古高温事件频次呈显著增加趋势, 每 10 年增加 40 站日; 21 世纪前 10 年是高温事件频发期, 其次是 10 年代; 20 世纪 90 年代以来, 高温事件增加趋势显著, 高温事件频发。从月际分布来看, 7 月份高温事件最多, 20 世纪 90 年代以来 6、7 月份高温事件呈增多趋势, 且 4 月份出现高温事件的频率增大。从区域分布上来看, 除内蒙古西部外, 内蒙古中部偏北、东部的大部地区高温事件增多、强度增强, 高温灾害的风险加大。内蒙古高温事件突变点在 2000 年, 比全国的突变时间略早。

内蒙古 95% 的代表站点的高温日数呈线性增加趋势, 且有 60% 的代表站点通过 0.10 信度以上的显著性检验。特别是呼伦贝尔市南部、兴安盟中部、通辽市北部、赤峰市西北部、锡林郭勒盟北部、巴彦淖尔市偏南部、阿拉善盟北部通过 0.01 信度以上的显著性检验。内蒙古东部、西部高温日数的变化趋势与我国东北地区、西北地区具有一致性。

内蒙古高温事件频次呈明显的线性增加趋势 (通过 0.001 信度的显著性检验), 倾向率为 40 站日/10a。高温频次最多出现在 2000 年和 2017 年, 其次是 2010 年。

从年代际变化来看, 内蒙古高温事件 20 世纪 80 年代最少, 60、70 年代较 80 年代略多, 但均位于平均值线以下。从 90 年代开始高温事件频次明显增多, 2000-2009 年的十年间高温频次最多, 特别是 1999-2001 年、2010 年、2016-2017 年, 高温事件频发。

内蒙古 35℃ 以上高温天气在 4-9 月均有出现, 但主要出现在 6-8 月, 高温事件频次占到全年的 90%, 其中 7 月份最多, 占全年的 47.8%, 其次是 6 月份, 占 24.4%; 4 月、9 月也有出现, 但概率较低, 只占到 1.3%、2.5%。从 60 年平均和近 30 年平均两个时段比较来看, 20 世纪 90 年代以来的月平均高温事件频次均高于 60 年的平均值, 其中以 6、7 月增多最为明显, 且 4 月份的高温事件均出现在近 30 年以来。

20 世纪 90 年代以来高温最长持续日数有明显增加趋势, 但空间变化趋势不显著。2000 年内蒙古高温事件发生突变, 频次明显增多, 突变时间要比全国的突变时间略早。

**关键词:** 极端高温; 年代际变化; 内蒙古

---

\* E-mail: 972825671@qq.com

# 基于 MCI 的我国华北地区干旱时空变化特征分析

蔡秀华<sup>1\*</sup>, 张强<sup>2</sup>, 陈东<sup>3</sup>, 程宸<sup>1</sup>, 于瀛<sup>1</sup>

(1. 中国气象科学研究院, 北京 100081; 2. 中国气象局国家气候中心, 北京 100081; 3. 北京玖天气象科技有限公司, 北京 100081)

## 摘要

依据最新修订的《气象干旱等级》国家标准, 利用我国华北地区 403 个气象站点 1960-2019 年逐日降水量、平均气温、最高气温、最低气温和平均风速等资料, 计算了各个气象站点的逐日 MCI 指数, 在此基础上分析了华北地区以及北京、天津、河北、山西和内蒙不同程度的干旱在时间和空间上的分布情况。结果表明: 华北地区干旱持续时间较长, 四季均可能发生干旱, 春末和夏初最高, 秋季次之, 冬季最低。从春季到冬季, 整体呈线性下降趋势, 春、夏二季各地的干旱日数变化不大, 但从重旱开始, 秋、冬二季的干旱日数迅速减少, 尤其是特旱时, 华北地区特旱日数为零, 轻旱和中旱频次显著高于重旱和特旱。春季主要发生在北京, 夏季发在内蒙, 秋、冬二季主要发生在河北。从季节连旱的角度来看, 春夏连旱最多, 为 18 次, 其次是夏秋连旱, 为 10 次, 其它类型的季节连旱较少。年均轻旱、中旱、重旱及以上最高干旱日数均发生在天津, 特旱最高发生在山西。近 60a 间中旱及以上最高干旱日数均出现在 6 月份。轻旱、中旱及以上日数总体呈现持续增加的趋势; 重旱及以上日数总体呈现持续减少的趋势。中旱及以上干旱日数在 20 世纪 90 年代最高。干旱强度整体略有减弱趋势, 总体上看当干旱过程长的时候, 干旱强度也随之增大。年极端发生频率位于 80.0%-106.8% 之间, 其中内蒙极端干旱频率最高, 为 106.8%, 其次是山西, 为 100.1%。

除内蒙古以外, 其他地区月最高轻旱及以上干旱日数的出现在 5 月份。内蒙的月最高干旱日数出现在 6 月份。月干旱日数走向类似, 均为单峰型。华北地区和内蒙略有增加趋势, 其它略有减少的趋势。

各类干旱主要出现在春末和夏季, 秋季次之, 冬季最低。从春季到冬季, 干旱日数整体均呈下降趋势, 轻旱及以上干旱日数的季节下降趋势几乎呈平行状态, 中旱、重旱及特旱以上除了内蒙下降趋势较为平缓外, 其它地区下降趋势比较陡峭。

年均轻旱、中旱及以上干旱日数总体呈上升趋势, 其线性变化趋势相对中旱及以上的线性变化趋势略大一些。重旱及以上和特旱总体呈下降趋势。

干旱日数的年代际变化特征明显 (表 1), 轻旱、中旱及以上日数总体呈现持续增加的趋势, 重旱、特旱及以上日数总体呈现持续减少的趋势。其中, 20 世纪 60 年代最少, 70

表 1 华北地区各省中旱及以上日数的各年代平均值及线性趋势

	1960- 1969	1970- 1979	1980- 1989	1990- 1999	2000- 2009	2010- 2019	线性趋势 /d • (10a) <sup>-1</sup>
华北	37.7	45.5	45.6	52.2	49.2	39.2	0.72
北京	47.5	45.2	54.0	55.1	55.4	43.0	0.26
天津	43.0	39.7	43.9	66.9	53.6	48.1	2.58
河北	39.7	56.3	52.0	60.5	49.5	46.7	0.66
山西	33.2	47.5	44.8	62.4	53.4	39.1	1.85
内蒙古	37.2	31.7	37.4	30.8	43.3	28.9	-0.38

年代以后持续增加, 2000 年至 2009 年达到最高, 2010 年至 2019 年又有所减少。中旱、重

\* E-mail: caixha@126.com

旱及以上最高干旱日数均发生在 20 世纪 90 年代，特旱最高发生在 20 世纪 70 年代。其中，年均轻旱至重旱及以上最高干旱日数均发生在天津，特旱最高发生在山西。

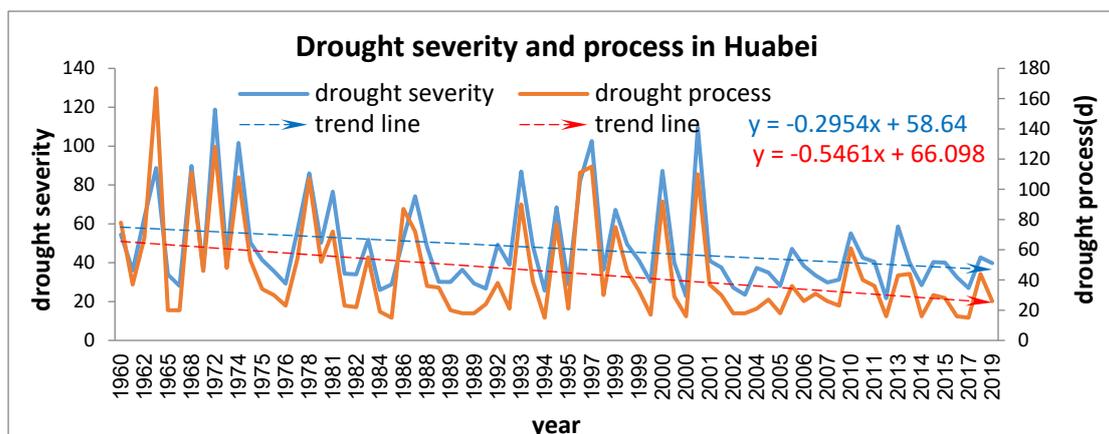


图 1 1960-2019 年华北地区年干旱强度（drought severity）和干旱过程（drought process）的时间序列及线性趋势

年干旱强度和干旱过程均略有减弱趋势（图 1）。总体上看，当干旱过程长的时候，干旱强度也随之增加。发生在春季的干旱过程最多，秋季最少；春夏连旱最多，其次是夏秋连旱，其它连旱较少；1972 年干旱强度最强为 119；最长干旱过程为 167d，发生在 1965 年；最高频率为 73.3%。

**关键词：**综合干旱指数；华北地区；年代际变化

# 三江源区 60a 不同气候态极端气温事件时空分布特征

赵梦凡<sup>1,2\*</sup>, 颜亮东<sup>1,2</sup>, 申燕玲<sup>1,2</sup>, 李英年<sup>3</sup>, 温婷婷<sup>4</sup>, 祁栋林<sup>1,2</sup>

(1. 青海省气象科学研究所, 西宁 810001; 2. 青海省防灾减灾重点实验室, 西宁 810001; 3. 中科院西北高原生物研究所/青海省寒区恢复生态学重点实验室, 西宁 810008; 4. 青海省气候中心, 西宁 810001)

## 摘要

本文通过划分四个基准气候态, 研究不同气候态极端温度事件频次和强度的空间分布特征和时间变化趋势。极端温度阈值整体变化与全球变暖趋势一致, 均呈上升趋势, 且与海拔和经度均存在显著相关性, 基本表现为海拔越高阈值越低, 且自东向西阈值逐渐降低, 但不同气候态不同背景温度地区趋势有所不同, 存在一定的非对称性增温的特征, 总体不同气候态极端温度阈值变化相对比较平缓, 空间分布较为一致。

1961-1990 年和 1971-2000 年间, 极端高温频次在东部和中部部分地区呈现一定的弱减弱趋势, 在其他地区均显著增加, 尤其是三江源西部 4000m 以上的高海拔地区, 整体上基本表现较为明显的经向分布特征。初期极端高温强度基本维持在阈值附近波动, 到 1971-2000 年和 1981-2010 年这两个气候态, 才呈现出较为显著的增加趋势, 而到了近 30 年上升波动趋势变慢, 考虑可能是受到生态政策影响, 三江源地区植被恢复, 臭氧层修复, 极端高温增速放缓。极端低温频次和强度在总体上呈现出减小趋势, 但空间分布的区域性和规律性较极端高温强度有所减弱。

极端高温频次和强度在四个气候态中一致性较好, 均表现为正趋势, 但显著性有所差别, 1971-2000 年和 1981-2010 年这两个气候态极端高温的极端性相对突出, 且发生频次增加幅度较大, 1991 年之后极端温度增加趋势相对放缓。极端低温在不同气候态中时间变化趋势特征并非全部一致, 1961-1990 年极端低温发生次数上升极端性降低, 冬季发生超过阈值的极端低温事件的概率也相应下降, 1971-2000 年极端性增加, 逐渐增加, 但增加趋势不显著。最近气候态的极端高温频次和强度趋于平缓, 极端低温受全球气温变暖影响, 其频次和强度显著下降, 说明随着三江源区生态保护政策的实施, 该地区脆弱的生态系统得以恢复, 极端温度事件的极端性逐渐稳定甚至下降, 研究结论对指导政府持续推动三江源区可持续发展策略、方针起到一定的积极作用。

通过对比分析海拔、经纬度和不同气候态极端温度阈值、频次、强度的相关关系可以看出, 极端高温阈值与海拔和经度分别呈现较为显著的负相关和正相关关系, 表明随着海拔的升高极端高温下降明显, 自东向西递减趋势显著, 不同气候态中均表现出强烈的一致性。极端高温频次和强度与阈值相比, 增减趋势并未表现出一致性, 且经度对极端高温阈值的影响程度大于海拔, 第 I、II 气候态中极端温度频次、强度自西向东减少减弱, 在一定程度上反映出在 20 世纪 60 初的暖期, 4000m 以上高海拔地区对比 2000-3000m 的中海拔地区增温幅度更大。80 年代中后期青海高原不同地区先后进入一个气温持续升高的阶段, 受人类活动、臭氧总量、气溶胶含量变化等因素影响, 三江源东部地区极端高温频发, 增加趋势显著高于西部地区。极端低温除阈值对海拔较为敏感外, 在经度和纬度上均为表现出较为显著的相关关系, 与极端高温类似的是, 在第 I、II 气候态和第 III、IV 气候态中, 西部和东部频次和强度的趋势变化基本呈现反相位变化, 且较极端高温变化程度更具显著性。

**关键词:** 极端温度; 趋势; 三江源地区; 海拔依赖型增暖

\* E-mail: zhaomengfan1001@163.com

# Identification of winter long-lasting regional extreme low-temperature events in Eurasia and their variation during 1948-2017

Yinxian Zhang\*, Yanju Liu, Yihui Ding

(National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081)

## ABSTRACT

Compared with short-duration events, long-lasting regional extreme low-temperature events (RELTEs) often have more severe impacts on human societies due to the induced persistence and large geographic area of related weather and climate disaster. Accordingly, an improved objective technique was applied to identify all long-lasting RELTEs in Eurasia from the winter of 1948/1949 to 2017/2018, followed by an in-depth discussion of its variation in terms of the annual frequency, duration, impacted area, mean intensity, maximum intensity, and a comprehensive index. The RELTE lasting for 52 d in the winter of 2007/2008 exhibited the longest duration, largest impacted area, and a greatest comprehensive index, which induced extremely low temperatures for more than 20 d in Western Asia, Central Asia, and China. During the past 70 winters, the frequency of long-lasting RELTEs decreased, especially after the late 1960s. Nevertheless, the mean and maximum intensities and comprehensive index exhibited distinctly increasing trends. All indicators of winter long-lasting RELTEs had a similar inter-decadal fluctuation featured by two noticeable peaks occurring around 1970 and 2007, and a remarkable recovery was discovered in the period of late 1990s to mid-2010s, especially for the occurrence of super long-lasting events. Significantly, winter long-lasting RELTEs in Eurasia showed distinct trends under various decadal climate backgrounds, i.e., a strong negative or weak positive trend in the accelerated warming period and conversely, a strong positive or weak negative trend in the warming slowdown stage. These findings indicate that we should be alert of the similar future recovery of winter long-lasting RELTEs in Eurasia, which are likely to occur in the slowdown period of global warming.

**Keywords:** Climate variation; Eurasia; Long-lasting; Regional extreme low-temperature events; Winter

---

\* E-mail: zhangyingxian@cma.gov.cn

# 北上东北台风的气候成因分析

韩荣青\*, 李维京

(国家气候中心, 北京 100081)

## 摘要

北上东北台风频数在最近 10 年有增多的趋势, 2020 年 7 月下旬至 9 月初有 3 个台风北上东北, 给当地农业造成了巨大经济损失, 同时, 当地工业生产和人民生活也受到较大影响。基于上海台风所 1949-2020 年台风最佳路径数据集和 NCEP/NCAR 月平均再分析资料, 本文分析了北上东北台风异常的气候成因。结果表明, 北上东北台风路径纬度跨度与经度跨度之比有增大的趋势, 即台风路径曲率减小、趋向北方。进一步分析表明, 西北太平洋台风路径变化与全球变暖背景下, 夏季北半球纬向风速减弱而经向风速增大有关。

**关键词:** 北上台风; 东北; 气候变化; 台风路径; 经、纬向风速

---

\* E-mail: hrq@cma.gov.cn

# 洞庭湖流域季节性气象干旱的时空变化及影响因素分析

刘仲黎\*

(湖南师范大学地理科学学院, 长沙 410081)

## 摘要

以洞庭湖流域为研究对象, 基于流域 103 个气象站点 1960~2017 年的逐月降水数据, 分析了流域气象干旱的时空分布特征, 并利用逐月再分析资料对流域气象干旱的影响因素进行分析。结果表明: 1960 年代冬旱频率较高, 此后冬季流域呈显著的变湿趋势; 在 1990 和 2000 年代秋旱频率较高, 秋季湖区附近有变湿的趋势, 而西部地区变干; 在 1980 和 2010 年代, 春、夏旱频率偏高。在季节性气象干旱发生时, 流域各季节在 850hPa 高度层上均为下沉气流距平; 在 500hPa 高度层上, 中高纬地区均存在遥相关波列。流域水汽输送通量呈明显的辐散态势, 各季节 Z 指数均与南北向净通量呈显著正相关。前期 ENSO (El Nino and Southern Oscillation) 事件对流域春、秋、冬季旱涝产生显著影响。在消除前期 ENSO 信号后, 阿留申群岛附近海域 (S3)、澳大利亚东部海域 (S4) 海温、IOD (Indian Ocean Dipole) 现象和 IOBW (Indian Ocean Basin-Wide mode) 仍分别与春、夏、秋和冬季流域旱涝有密切联系。

**关键词:** 洞庭湖流域; 气象干旱; 大气环流; 水汽输送; ENSO; 全球海温

---

\* E-mail: lzlmeteo@163.com

# Understanding future increases in precipitation extremes in global land monsoon regions

Meiyu Chang<sup>1</sup>, Bo Liu<sup>1\*</sup>, Bin Wang<sup>2,3</sup>, Cristian Martinez-Villalobos<sup>4</sup>, Guoyu Ren<sup>1,5</sup>,

Tianjun Zhou<sup>6</sup>

(1. Department of Atmospheric Science, School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan, 430074; 2. Department of Atmospheric Sciences, University of Hawaii at Mānoa, Honolulu, Hawaii; 3. Earth System Modeling Center, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing, China; 4. Faculty of Engineering and Science, Universidad Adolfo Ibañez, Avda. Diagonal Las Torres 2700, Peñalolen, Santiago, Chile; 5. Laboratory for Climate Studies, National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing, China; 6. LASG, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Science, Beijing, China)

## ABSTRACT

During past decades, great efforts have been devoted to investigating changes in the mean and extreme precipitation over monsoon regions as monsoon-related rainfall supports nearly 62% of the global population. Providing a reliable assessment for the changes in extreme precipitation over the GM region and understanding the involved physical mechanisms are essential to improving future prospects of food risk and disaster mitigation. Conventional thresholds, such as the 95th or 99th percentile of precipitation (R95p, R99p), Rx1day, and Rx5day, are often used as the criteria to investigate the future changes of extreme precipitation. However, these indices are used for practical reasons (e.g., risk assessment) but are not physically motivated. Moreover, quantitative conclusions are generally index-dependent. Moreover, it should be noted that these indices (e.g., uniform R95p, R99p) may have different implications in different regions, and changes of a specific percentile may not accurately reflect changes in the extreme tail of the probability distribution of the precipitation.

Motivated by these limitations, the cutoff scale is proposed to be used as the indicator of precipitation extremes. With the increase of precipitation size, the probability density function (PDF) of daily precipitation gradually decayed and sharply fell after a characteristic cutoff scale. Hence, the extreme tail in precipitation PDF can be directly indicated by the cutoff scale. Physically, the existence of the cutoff scale is due to the balance between precipitation loss and variation of moisture convergence. The cutoff scale may correspond to different precipitation percentiles. As moisture convergence variance increases with global warming, the upshift in the extreme tail of the probability distribution can be well represented by an extension of the cutoff scale, which provides insight into future changes in precipitation extremes.

This study investigates future changes in daily precipitation extremes and the involved physics over the global land monsoon (GM) region using climate models from the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6). The daily precipitation extreme is identified by the cutoff scale, measuring the extreme tail of the precipitation distribution. To understand the underlying mechanisms explaining changes in the cutoff scale, we use a physical scaling diagnostic to

---

\* E-mail: boliu@cug.edu.cn

decompose precipitation extremes into thermodynamic and dynamic components, which has been proved to be effective in quantifying the contributions of thermodynamics and dynamics in precipitating processes.

For the GM region, the increasing magnitude of the cutoff scale is projected to enhance from the near to the long-term and low to high emission scenario. The increase in cutoff scale is associated with an upward shift in the daily precipitation PDF extreme tail. To first order, this upward shift can be economically captured by a simple rescaling of the PDF.

While the frequency of precipitation extremes will increase under any scenario considered, efforts to mitigate future warming can still produce a sizable positive impact. For example, we see a fractional reduction of 57.9% ( $16.6 \pm 7.8\%$  versus  $39.4 \pm 22.1\%$ ) in the cutoff scale in the SSP2-4.5 scenario compared with the SSP5-8.5 scenario in the long-term projection. This reduction can have a substantial effect on the frequency of the most extreme events, with days above 100mm (approximately 99.9th percentile in historical period) in the GM region being about 1.36 times (median) more frequent in the SSP5-8.5 scenario than in the SSP2-4.5 scenario by the end of the century. Such features are also observed in seven individual monsoon subregions, in some cases with larger increases (NAF, SAS, EAS, and NAM), but the magnitude differs.

The response rates of the cutoff scale, normalized by increases in global mean surface temperature, are nearly time-invariant and scenario-invariant over the GM region, which is roughly  $8.0\% \cdot K^{-1}$ . From the near to the long-term projection, a narrow range of  $7.2 \sim 8.8\% \cdot K^{-1}$  is found for the scenario-averaged rates, and meanwhile similar subtle fluctuation of  $7.3 \sim 8.6\% \cdot K^{-1}$  occurs in the time-averaged response rates from SSP1-2.6 to SSP5-8.5 scenario. Similar near invariance is also found in most monsoon subregions. This finding has important implications for determining the GM and regional monsoon response to anthropogenic forcing. Moreover, we show that the uncertainty in response rates is almost independent of internal variability, which may be masked by the large intermodel spread in projections. In addition, the internal variability is also suppressed since changes are calculated based on the value of a 20-yr period.

Changes in the cutoff scale were separated in thermodynamic and dynamic contributions. For the GM region, these contributions are comparable in the intensification of extreme precipitation. This is different from the enhancement of mean monsoon precipitation, which is apparently dominated by the contribution from thermodynamics. Regionally, the thermodynamic contribution dominates over the SAF, EAS, NAM, and SAM, while the dynamic contribution dominates over SAS, NAF, and AUS. Moreover, the thermodynamic scaling contributes to a uniform increase in extreme precipitation for all monsoon regions, while the dynamic scaling is responsible for the regional variations. Also, the large intermodel scatter in the changes of precipitation extremes is also mainly contributed by the dynamic scaling. Overall, in response to climate warming, positive thermodynamics and dynamics combined contribute to an increasing rate of  $\sim 8.0\%/K$  in precipitation extremes for GM domain, implying increasing risk beyond what we would expect simply by an increase in water vapor under any scenario.

**Keywords:** precipitation extremes; monsoon regions; global warming; projection

# 2020 年贵州特重级秋绵雨天气特征分析

段荣<sup>1,2\*</sup>, 杨春艳<sup>1</sup>, 李婧<sup>1</sup>, 胡万全<sup>1</sup>, 唐浩鹏<sup>1</sup>, 何海燕<sup>1</sup>, 蒋尚雄<sup>1</sup>

(1. 黔西南州州气象局, 兴义 562400; 2. 贵州省山地气候与资源重点实验室, 贵阳 550002)

## 摘要

利用贵州省 84 个国家级气象台站逐日地面、高空观测资料等, 分析 2020 年贵州特重级秋绵雨特征。研究表明: (1) 2020 年 9 月至 10 月秋绵雨为近 60 年同期最严重的一年, 特重级秋绵雨达 48 站次, 最长 43 天, 主要分布在贵州西南部和中部高海拔地区; (2) 2020 年贵州秋绵雨发生时, 500hPa 中高纬以经向环流为主, 东亚大槽偏强槽底偏南, 不断引导冷空气南下影响贵州; 700hPa 和 850hPa 上维持低涡切变, 提供动力条件、能量及水汽的持续供应; 地面滇黔静止锋长期维持, 锋后低温阴雨寡照。

**关键词:** 秋绵雨; 特重级; 滇黔静止锋

---

\* E-mail: gzqxnym@163.com

# 厄尔尼诺事件背景下忻州酷夏极端降水事件频次分析

郝小平<sup>1\*</sup>, 高源<sup>1</sup>, 吕岩<sup>1</sup>, 张润英<sup>1</sup>, 张翠玲<sup>2</sup>

(1. 山西省忻州市气象局, 忻州 034000; 2. 山西省吕梁市气象局, 吕梁 033000)

## 摘要

随著全球气候变暖,近年来,中国乃至全球极端天气气候事件频发。为了提高极端降水事件的预测能力,本文首先利用忻州市14个国家自动测站1981~2016年酷夏(7~8月)降水资料,根据世界气象组织规定的极端气候指数定义,计算出全市7-8月平均极端降水指数,并结合本地实际进行修正。其次厄尔尼诺事件采用与降水相对应的年份,厄尔尼诺事件强度以QX/T370-2017为标准。各测站的历年平均降水量取1981年-2010年30年平均值。分析降水和厄尔尼诺事件关系时,利用极端降水指数计算公式:  $L = \Delta s / S$ ; 计算L值。考虑到忻州所辖县(市、区)较多,地形地貌复杂,气候差异大等因素,通过对K和L统计对比分析,设定7-8月全市平均降水距平百分率 $|K| > 50\%$ ,同时全市14个县观测站样本资料中有1站 $|L| > 2$ 且1/3及以上测站 $|L| > 1.4$ 时,记为一次极端降水事件;在上述设定条件的基础上,对L值进行修正,修正后的 $|L| > 1.5$ ,以此作为判断极端降水事件的标准。7-8月即忻州主汛期,又是农作物生长关键时期,精准地预测极端天气尤为重要。此研究成果,在实际预测中,有一定指导作用。通过分析厄尔尼诺事件年的极端降水指数发现:

(1) 厄尔尼诺事件对山西忻州7~8月份降水影响很大,厄尔尼诺年发生极端降水事件概率为31.8%,比忻州酷夏历年发生极端降水事件的概率高9.6%;厄尔尼诺年发生正、负极端降水事件概率分为13.6%和18.2%。

(2) 厄尔尼诺事件开始和结束时间决定了极端降水事件的性质,结束年发生正极端降水事件的概率为30%;开始年发生负极端降水事件的概率为33.3%。与张润英等研究的厄尔尼诺开始年夏季降水偏少和结束年夏季降水偏多结论一致,结束年出现正极端降水事件的概率与夏季大涝的概率相同,但开始年出现负极端降水事件的概率比夏季大旱的概率低11.9%。

(3) 中等强度以上的厄尔尼诺事件,发生极端降水事件概率较大,但不成正比;弱的厄尔尼诺年事件发生极端降水事件的概率很小,从忻州现有的气象资料中,没出现过。

(4) 厄尔尼诺年负极端降水事件发生概率比正极端降水事件发生概率高4.6%。

(5) 夏季降水与7-8月降水趋势一致的前提是6月份降水正常。张润英等分析厄尔尼诺年忻州夏季降水与旱涝关系的结论,对预测7-8月旱涝的不确定性较大,而张润英等研究的是厄尔尼诺与夏季偏多偏少的关系,没有涉及到极端降水天气,本研究突出研究7-8月极端降水与厄尔尼诺事件关系的原因有二:一、7-8月是忻州主汛期,降水量占全年降水的46.1%;二、忻州农业春种秋收,多种植玉米、高粱、马铃薯、小杂粮,7-8月是农作物生长关键时期,极端降水对其影响较大,降水异常偏少或异常偏多,都能够使农作物减产甚至绝收。由于忻州无霜期偏短,灾害一旦发生,无法再种植新作物,因此精准地预测极端降水事件,为领导提前制定防汛和抗旱决策方案提供科学依据。

(6) 本文研究中存在的问题,判断极端降水事件的标准,不是完全依照世界气象组织定义的极端天气标准,而是参照该标准,结合本地降水特点、地理环境、致灾敏感度等,把 $|L| > 2$ 修正为 $|L| > 1.5$ ,研究结果能否客观地、科学地反应极端降水事件与厄尔尼诺事件的关系,有待进一步研究。但该成果对极端天气预测具有一定指导作用。

**关键词:** 厄尔尼诺; 忻州酷夏; 极端降水

\* E-mail: 1545663686@qq.com

# 内蒙古地区夏季旱涝急转异常特征研究

赵艳丽\*

(内蒙古自治区气候中心, 呼和浩特 010051)

## 摘要

利用内蒙古地区 116 站逐月降水量、NCEP/NCAR 逐月再分析资料、NOAA 海表温度资料以及国家气象业务内网提供的 130 项气候监测指数, 计算内蒙古夏季旱涝急转指数(DFAI)并分区, 分析各分区“旱转涝”和“涝转旱”年的海气异常特征, 探讨各气候区夏季旱涝急转指数与前期环流和海温指数的关系, 并构建预测模型。(1) 将全区 DFAI 划分为 4 个气候分区, 基本概括了内蒙古地区夏季降水旱涝急转异常变化的分布特征。1 区位于内蒙古西部地区(27 站)、2 区位于东部偏南地区(27 站), 3 区位于东部偏北地区(25 站), 4 区位于中部地区(37 站)。(2) 近 39 年来, 4 个区域从春末初夏到盛夏由旱转涝的特征正趋于减弱, 而由涝转旱的特征正趋于增强。内蒙古东部偏北地区(3 区)下降趋势最为显著, 进入 21 世纪以来, 3 区绝大多数年份均呈现较为显著的“涝转旱”特征。近 39 a, 内蒙古中西部地区存在 4 a 和 10~20 a 周期, 而东部地区周期特征不显著。(3) 4 个区域 DFAI 指数均存在气候突变现象, 1 区 DFAI 序列分别在 1989 年和 2002 年存在突变现象; 2 区 DFAI 序列在 1997 年前后存在突变, 在 1997 年之后 DFAI 呈较为明显的下降趋势; 3 区 DFAI 在 1996 年前后存在突变, 在 2008 年之后 DFAI 呈显著下降趋势; 4 区 DFAI 在 2002 年前后存在突变, 在 2014 年之后 DFAI 呈显著下降趋势。(4) 内蒙古地区涝转旱年的发生频次、强度整体较早转涝年偏多、偏强, 且春末至夏季降水量较少的地区更容易发生旱涝急转事件。发生旱涝急转事件频次较高的地区与平均强度较强的地区位置基本吻合。(5) 旱涝急转异常年, 我区主要受西太平洋副热带高压强度、西伸脊点、脊线位置, 以及中高纬环流系统如: 亚洲经纬向环流、东亚槽、冷涡等系统的共同影响。内蒙古各区域表现为高层辐合(辐散), 低层辐散(辐合), 从低层到高层垂直速度均为正值(负值), 表现为一致的下沉(上升)运动, 水汽输送条件较差(较好), 不利于(有利于)降水的产生。(6) 对内蒙古各区域旱涝急转影响较为显著的前期海温主要位于印度洋, 此外, 热带西太平洋暖池区海温、黑潮区海温、北太平洋东北部海温异常也是较为重要的前兆信号。

**关键词:** 旱涝变化; 西太平洋副高; 年代际变化; 海温

---

\* E-mail: 861952609@qq.com

# 2017 年咸阳夏季高温成因浅析

胡国玲\*, 王晋阳, 王晓菊, 王惠芹

(咸阳市气象局, 咸阳 712000)

## 摘要

20 世纪 90 年代以来, 全球气候变化加剧, 极端高温事件频繁发生, 呈现出强度高、频次高、范围广、持续时间长等特点, 极端高温事件往往与较重干旱相伴而来, 严重地威胁公众健康和生命财产, 同时会增加能源消耗, 对工农业生产造成一定的影响。咸阳位于陕西省八百里秦川腹地, 地处温带, 属大陆性季风气候, 四季冷暖干湿分明, 气候温和。咸阳夏季炎热、多雨, 夏季平均气温为 20.4-25.3℃。渭河平原平均温度在 24℃以上, 高温中心在东南部的泾渭平原。咸阳极端最高气温的地理分布为南部最高, 极端最高气温中心在武功、兴平、咸阳、泾阳、三原一带, 极端最高气温为 42-42.3℃。极端最高气温多出现在 6-7 月。

咸阳的高温有两大模式, 一个是干热, 也就是所说的“烧烤模式”, 这段时期早晚温差比较大。到 7 月中旬后, 随着副热带高压加强西伸北抬, 在 7 月下旬到 8 月上旬副热带高压将控制长江中游到黄河流域。天气将进入早晚温差小、湿度大的“桑拿模式”。造成 2017 年 7 月这次高温的成因分析:

1、是咸阳处在北方大陆高压强盛的天气形势背景: 主要是受到大陆高压的持续控制, 暖高压控制下, 天气特别晴朗干燥、日照充足, 加之这些地区地表朴实植被较少, 白天气温上升很快, 就会形成干热天气。

2、西太平洋副热带高压(简称副高)持续稳定的影响: 当前极端高温则是因为副高北方大陆高压强盛所致, 在这个巨大的暖气团控制下, 气流下沉, 高温少雨; 这种天气形势也使得台风路径偏南, 对缓解高温不利。2017 年影响我国的冷空气活动路径偏北, 没有强冷空气南下使副热带高压减弱东移。

3、2017 年台风个数偏少, 过境台风对咸阳市高温天气影响不大: 2017 年 7 月前赤道辐合带不活跃, 台风登陆时间较常年晚了 1 个月, 台风生成、登陆少, 对副热带高压影响小, 往年, 台风过境, 可以对持续性高温天气起到缓解作用。

4、气候变暖是宏观背景: 从宏观气候背景来说, 极端高温和气候变暖有一定关系。气候变暖使得赤道与两极的关系变得更为复杂, 原有的热量平衡关系被打破, 在一定程度增加了大气的不稳定性, 导致频繁发生极端事件。现有的气候归因研究已经证实, 在很多极端高温事件中, 除了自然气候态的作用, 气候变暖也有很大贡献。在这种温暖的气候背景下发生极端高温事件, 可谓“火中送炭”, 发生了严重的高温天气。

5、拉尼娜对咸阳高温的影响: 2016 年太平洋地区的厄尔尼诺现象已经结束。2017 年 9 月出现拉尼娜现象, 尽管拉尼娜对咸阳高温的影响是简接的, 但与咸阳高温的关系是复杂的, 但有遥相关性。

咸阳的高温天气主要是西风带天气系统暖高压和地形作用形成的, 具有升温快、早晚温差大、空气干燥、多发雷雨、大风和冰雹强对流天气等特点。由于高温带来的灾害日益严重, 为此对 2017 年的高温进行一些探讨与分析, 为今后咸阳年高温预报提供依据。由于日最高气温表示的是某日某些瞬时气温的绝对极端状况, 高温的形成机制和引起高温变化原因极其复杂, 本研究对高温的形成机理和变化成因涉及较少, 有待于进一步深入探究。

**关键词:** 极端高温; 热浪; 遥相关

\* E-mail: 1057834515@qq.com

# 大连地区冰雹的气候特征分析

隋玉秀<sup>1\*</sup>, 杨景泰<sup>1</sup>, 李昱茜<sup>1</sup>, 王蕾<sup>1</sup>, 周美娥<sup>1</sup>, 曹波<sup>2</sup>

(1. 大连市气象服务中心, 大连 116001; 2. 空军航空大学, 锦州 121000)

## 摘要

冰雹是一种由强对流系统所引发的剧烈天气现象, 具有很强的灾害性。冰雹发生的局地性很强, 不同的地域其发生的气候规律也有所差异。目前国内关于冰雹的气候研究以内陆地区居多, 而对于不同规模冰雹过程持续时间及其伴随发生的不同规模和量级降水的统计研究, 尤其是沿海海岛地区尚比较欠缺。大连占据辽东半岛大部, 是我国海岸线最长的城市和海陆分布最复杂的地区之一, 冰雹的发生特点具有鲜明的沿海地区特色。研究使用 1971—2018 年大连本站、旅顺、金州、瓦房店、普兰店、庄河、长海共计 7 个区域气象站的常规地面观测资料, 统计分析大连地区近 48a 的冰雹过程。分析结果表明, 大连地区的冰雹具有明显的地域特点, 多发生在西北部地区和东部海岛, 最南端的旅顺由于受北支槽和冷涡影响相对较弱, 加之渤海与黄海交界处特殊地理因素影响, 冰雹发生次数最少。

大连地区冰雹日数的年际波动较大, 多发年份和少发年份交替出现, 近 48 a 来总体呈显著递减趋势, 且年代际变化特征明显, 较大范围降雹或多站冰雹出现的可能性降低。大连地区一年四季均出现过冰雹, 除 1 月和 2 月以外, 其他月份冰雹均有发生, 春秋两季为高发季, 其中秋季发生概率最高, 春季次之; 虽然夏季冰雹日数较少, 但在夏末 9 月初的发生概率较高。大连地区冬季冰雹大多发生在初冬和冬末, 12 月仍有可能出现冰雹, 这与其三面环海导致的地面或海面气温高于临近内陆地区有很大关系。大连的冬季冰雹过程多为单站冰雹, 仅 1 d 出现 2 站冰雹, 且 2 站位置相邻, 说明冬季引发冰雹的天气系统空间尺度通常更小、局地性更强。对冰雹的昼夜分布统计分析发现, 大连地区中午前后均为冰雹多发时段, 相比一般地区冰雹发生集中程度相对分散, 白天冰雹发生概率是夜间的 2.3 倍。大连地区绝大多数冰雹过程的持续时间不足 10 min, 当冰雹发生面积较大、出现站点较多时, 通常冰雹过程较强、持续时间较长, 多站冰雹持续时间一般长于单站冰雹。

大连地区的冰雹过程多伴随全区性降水, 且以小雨和中雨为主, 伴有暴雨的日数仅占冰雹总日数的 21.4%, 且多为局地性暴雨; 冰雹日出现暴雨的 31d 中有 25 d 在降雹站点出现暴雨, 说明当冰雹伴随暴雨出现时, 两种天气现象相伴出现在同一站点的概率较大; 降雹站点和暴雨站点未重合的过程均为局地性暴雨, 区域性和全区性暴雨出现的冰雹均为单站冰雹。与局地冰雹过程相比, 较大范围的冰雹过程出现暴雨的概率更高, 达 44.4%, 且冰雹站点与暴雨站点可能不重合。

**关键词:** 强对流天气; 冰雹; 暴雨

---

\* E-mail: 540798931@qq.com

# 一次冰雹过程的成因分析

周霞\*, 查道斌, 章思涵

(安徽省宿松县气象局, 安庆 246001)

## 摘要

本文从不稳定条件、水汽条件、抬升触发条件出发, 利用高时空分辨率的 LAPS 局地再分析系统资料和地面加密自动站信息, 对 2021 年 5 月 14 日宿松县大范围降雹过程进行了分析。5 月 14 日宿松县受超强对流单体影响, 县城及长铺、程岭等出现雷雨大风、冰雹等强对流天气, 最大冰雹直径约 3 厘米, 24 小时降雨量超过 25 毫米的有 5 个, 最大为北浴 83.2, 其中最大风力为 13 级, 17 时 20 分发生在程岭纱帽站。分析结果显示: 当高层有干冷空气, 低层暖湿气流发展, 垂直温度递减率明显增大, 配合对流层低层切变带来的动力抬升作用, 易形成降雹; 冰雹天气主要不稳定能量来源于地面到对流层低层, 地面干线及锋面是不稳定能量释放的主要触发条件; 冰雹落区主要位于对流层低层及地面高能区重合区域, 且易发生在靠近露点及温度的不连续线一侧; 垂直风切变越大, 越有利于产生尺寸较大的冰雹。本文根据单多普勒天气雷达、天气资料和卫星云图分析了宿松 2021 年 5 月 14 日的冰雹天气, 探讨了雹暴气流的结构。此次过程主要以冰雹、短时雷雨大风等对流性天气为主。环流背景及主要影响系统 冰雹、雷雨大风等强对流天气是由中小尺度系统引起的, 但是它的发生发展与大尺度环流背景有着密切的关联。5 月 13 日 20 时, 500hPa 低槽东移, 其温度槽及 850 hPa 温度脊也南压, 冰雹天气一般出现在高空温度槽和低层温度脊交界处的强烈不稳定区域, 当垂直方向上出现明显的温度直减率, 配合中低层的切变带来的动力抬升作用, 加上一定的触发条件, 将有利于强对流天气出现。强对流天气形成主要条件分析大尺度环流背景提供了强对流发生发展的环境条件, 而时间短、范围小、发展迅速的强对流的发展主要受边界层的环境条件如地形、日变化和对流自身发展等影响, 在时空上呈现明显的中尺度变化。为了进一步了解冰雹、雷暴大风等强对流天气发生发展的物理机制及演变特征, 提高对强对流天气的认识, 对 2021 年 5 月 14 日宿松县降雹过程进行了分析, 主要得到以下结论: (1) 冰雹天气一般发生在 500hPa 有低槽东移, 中低层有切变活动, 低空有急流发展的大尺度环流背景下。冰雹落区一般位于 500 hPa 温度槽与 850hPa 温度脊交界处, 同时这两层之间会有较大的温度直减率。(2) 冰雹天气发生时, 700hPa 处于  $\theta_{se}$  高能区, 主要的不稳定能量来源于对流层低层。冰雹主要出现在对流层低层的高能区与  $\theta_{se}$  锋区交界处。(3) 冰雹天气发生前, 高层存在一稳定的干盖, 低层湿度较大, 形成上干下湿的水汽分布状态。水平方向上, 冰雹区与对流层低层高比湿中心或湿舌对应较好。(4) 冰雹天气发生时, 地面高能舌提供源源不断的能量补充, 同时有锋面或者干线触发能量的释放。冰雹主要出现在地面高能舌与地面干线、锋面的交界处。地形抬升对辐合线及锋面等系统性抬升起到增幅作用。(5) 垂直风切变能够带来强的斜升气流, 冰雹落区与垂直风切变中心对应较好, 同时垂直风切变越大, 垂直上升气流越强, 越有利于产生尺寸较大的冰雹。

**关键词:** 强对流; 锋面; 地形抬升; 垂直风切变

---

\* E-mail: 1195931550@qq.com

# 1971-2016 年黄河流域暖季极端降雨侵蚀力时空变化趋势分析

王文婷<sup>1\*</sup>, 殷水清<sup>2</sup>, 高歌<sup>3,4</sup>

(1. 北京师范大学珠海校区地表过程与资源生态国家重点实验室珠海基地, 珠海 519087; 2 北京师范大学地理科学学部地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875; 3. 国家气候中心, 中国气象局气候研究开放实验室, 北京 100081; 4. 南京信息工程大学气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 南京 210044)

## 摘要

黄河是中国第二大河流, 是中国北方最重要的水源之一。黄河流域由于受到地形地貌、土壤条件及人类活动等多种因素的综合影响, 其水土流失面积广, 是我国土壤侵蚀最严重的区域之一, 尤其是位于其中游部分的黄土高原地区。黄河流域的环境系统独特、脆弱, 对气候变化十分敏感, 随着近年来全球地表增温, 黄河流域所在区域的降雨特征及降雨所具备的潜在侵蚀能力也可能随之改变, 导致区域的土壤侵蚀风险的变化。日以下尺度的降雨过程资料可较为精确地估算降雨侵蚀力, 但缺乏该类资料时, 日降雨量及日降雨侵蚀力估算公式也常用于估算降雨侵蚀力。为研究黄河流域次降水和极端次降水对应的降雨侵蚀力的长期变化趋势, 并分析降雨资料时间分辨率对检测降雨侵蚀力变化趋势的影响, 本研究基于收集到的位于黄河流域上、中、下游三个流域共 98 个气象站点自 1971-2016 年暖季(5-9 月)的逐小时降雨资料, 采用 Mann-Kendall 趋势检验、Mann-Kendall 突变检验、区域显著性检验(Field significance test)、Bootstrap 随机抽样等统计方法, 对流域内 98 个站点的降雨侵蚀力相关指标的长期变化趋势进行了检验和分析。结果表明:(1) 在次事件尺度, 平均次降雨侵蚀力( $R_{event}$ )、次降雨动能( $E_{event}$ )和最大 30 分钟雨强( $I_{30}$ )在全流域和中游地区分别在  $p=0.1$  和  $p=0.05$  的显著水平上呈现显著增加趋势。与基线期(1981-2010)的平均值相比,  $R_{event}$ 、 $E_{event}$  和  $I_{30-event}$  的相对增长率分别为  $4.76\%10a^{-1}$ 、 $2.88\%10a^{-1}$  和  $2.69\%/10a^{-1}$ 。全流域的 98 个站点中, 70%~80% 的站点的以上三个指标呈增加趋势, 其中有超过 10% 的站点, 趋势在  $p=0.1$  水平显著。表明在过去的 46 年间, 黄河流域发生的次降水事件具备的降雨侵蚀力呈增强趋势, 可能导致区域潜在的水土流失风险增加。(2) 此外, 将所有的次降雨侵蚀力进行排序, 以其 90 百分位为极端次降雨侵蚀力阈值, 逐年统计大于该阈值的次降雨事件的频次、 $E_{event}$ 、 $I_{30}$  及总降雨侵蚀力发现, 具备极端次事件的发生频次在过去 46 年在  $p=0.1$  显著水平呈显著增加趋势, 且这部分极端次事件对应的总降雨侵蚀力也呈显著增加趋势。(3) 基于日资料估算的降雨侵蚀力的变化趋势与基于小时资料计算的结果在数值上相近, 但在统计上不显著, 表明小时资料相比日资料在检验极端降雨侵蚀力的变化趋势具有更高的准确性。基于本研究得到的结论, 黄河流域, 特别是中游的黄土高原地区, 需维护和加固已有的水土保持措施, 以应对全球气候变暖导致的区域土壤侵蚀风险的增加。

**关键词:** 水土保持; 降雨侵蚀力; 黄河流域

\* E-mail: wenting\_wang@mail.bnu.edu.cn

# Spatial and temporal characteristics of abrupt heavy rainfall events over Southwest China during 1981–2017

Yangruixue Chen<sup>1\*</sup>, Xiaofang Wang<sup>2</sup>, Ling Huang<sup>3</sup>, Yali Luo<sup>4,5</sup>

(1. Plateau Atmosphere and Environment Key Laboratory of Sichuan Province, School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu; 2. Hubei Key Laboratory for Heavy Rain Monitoring and Warning Research, Institute of Heavy Rain, China Meteorological Administration, Wuhan; 3. Institute of Tropical and Marine Meteorology, China Meteorological Administration, Guangzhou; 4. State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing; 5. Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing)

## ABSTRACT

The spatial and temporal characteristics of abrupt heavy rainfall events (AHRE: defined as 3-hr rainfall amount  $\geq 50$  mm and at least one 1-hr rainfall amount  $\geq 20$  mm during the 3 hr) over southwest China (SWC) between 1981 and 2017, including their occurrence frequency, intensity, and duration, were investigated based on hourly rainfall data collected from 468 rain gauge stations. The occurrence frequency of these AHREs exhibited large spatial variability among different regions. We distinguished three regions with high occurrence rates of AHREs: the Sichuan Basin (subregion A, SR-A), South Guizhou–North Guangxi (subregion B, SR-B), and West Hunan (subregion C, SR-C). Overall, the amount of rainfall generated by the AHREs was more closely related to event duration than event intensity. Analysis of the monthly variations showed that the frequency of AHREs over SWC mostly (ca., 86.8%) appeared in the warm season (May–August) and peaked in July. But the peak month exhibited distinct regional features, with it occurring in midsummer over SR-A, late spring or early summer over SR-B, and early summer over SR-C. With regards to diurnal variations, AHREs over areas with higher (lower) topography were initiated mostly in the afternoon (around midnight). In addition, short-duration (1–3 hr) AHREs began most frequently in the late afternoon, whereas the long-duration events ( $>6$  hr) tended to begin around midnight. Composite analysis of the anomalies of moisture, equivalent potential temperature, and wind during extreme AHRE days revealed that AHRE occurrence coincided with an abnormal low-level cyclonic circulation, which enhanced wind convergence and the transport of moist and warm air, providing favorable thermodynamic conditions for AHRE formation. These results advance our understanding of rainfall characteristics over SWC and provide observation-based metrics for the evaluation of numerical simulations.

**Keywords:** abrupt heavy rainfall events; southwest China; hourly precipitation; thermodynamic conditions

---

\* E-mail: ruixue@cuit.edu.cn

# 2011-2018 年安徽暖季短时强降水及其环流背景统计特征

吴照宪<sup>1\*</sup>, 罗亚丽<sup>2</sup>, 刘希<sup>3,4</sup>, 程东兵<sup>1</sup>

(1. 安徽省池州市气象局, 池州 247000; 2. 中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室, 北京 100081; 3. 中国气象局交通气象重点开放实验室, 南京 210009; 4. 南京气象科技创新研究院, 南京 210009)

## 摘要

采用 2011-2018 年 5-8 月逐 10 分钟的地面稠密降水资料, 统计分析安徽省小时强降水 (Hourly Heavy Rainfall, 简称 HHR) 事件在入梅前期、梅雨期、出梅后期的时空分布特征。结果表明, 安徽省大别山至皖南山区西南部一带是 HHR 事件的易发区域, 安徽省西南、东北地区 HHR 事件对暖季总降水贡献高达 30-40%。入梅前期, 安徽省 HHR 事件日的发生频次低, 雨强较弱; 梅雨期持续时间长、累积雨量大; 出梅后期雨强较大, 持续时间短。按 99 百分位阈值, 60%以上极端持续性( $\geq 360$  min)和极端累积雨量( $\geq 138.0$  mm)HHR 事件出现在梅雨期, 而 60%以上极端雨强( $\geq 25.0$  mm $\cdot 10\text{min}^{-1}$ ) HHR 事件出现在出梅后期。梅雨期, HHR 事件频次在凌晨 6 时和午后 17 时出现峰值; 出梅后期, 呈现明显的午后 16 时单峰结构。根据旋转 T 模式主成分客观分析法, 将安徽省梅雨期 HHR 事件划分为西南低涡切变型或锋面型 (SP2 型) 和西北低槽型 (SP1 型); 出梅后期则为南方低压或台风低压型 (SP6 型) 和西北低槽型 (SP1 型)。其中, 梅雨期 SP2 型 HHR 事件主要发生在大别山区、皖南山区及其过渡地带, 是梅雨期 HHR 事件的主要贡献者; 而 SP1 型 HHR 事件主要在大别山区、皖南山区及安徽东北部等山区较易发生。出梅后期, SP1 型 HHR 事件呈现北多南少特点, 而 SP6 型在大别山和皖南山区有较明显的 HHR 事件发生, 是出梅后期 HHR 事件的主要贡献者。

**关键词:** 安徽暖季, 小时强降水事件, 客观天气分型

---

\* E-mail: 342901wzx@163.com

# 2015年冬季北极极端气旋影响中国寒潮天气的初步研究

张琳, 吕俊梅\*, 丁明虎

(中国气象科学研究院灾害性天气国家重点实验室, 北京 100081)

## 摘要

Rinke 等将中高纬度气旋中心的海平面气压 (Sea Level Pressure, 简称 SLP) 值低于第 5 个百分点 (即 985hPa) 的气旋定义为极端气旋 (Extreme Cyclones, 简称 ECs)。相比于普通的气旋, ECs 的强度更强, 一般发生于冬季, 常生成于北大西洋中高纬地区并向北移动, 最终经过或进入北极, 同时向北移动过程中携带大量暖湿空气入侵极区, 与北极的异常增暖事件有密切联系。从北大西洋中高纬度进入北极的极端气旋 (Extreme Cyclones, 简称 ECs) 会引起北极的异常增暖, 与中高纬的极端天气事件关系密切, 危害性很大。本文利用 ERA-Interim 再分析资料和中国地面气象站的观测资料, 探讨了 2015 年 1、2 月两个 ECs (EC1、EC2) 影响中国寒潮天气的物理过程和机制。结果表明:

(1) ECs 生成于中高纬大西洋上, 使大气低层和高层均出现异常增温, 随着 ECs 从中高纬向北移动, 低层和高层暖异常北移并进入北极地区, 伴随高层高压脊发展并向极区延伸。极涡受到挤压, 发生变形并分裂为两个中心, 分别位于东、西两个半球, 其中位于东半球一侧的极涡不断南压, 同时乌拉尔阻塞出现与维持, 低压槽不断南压加深至我国上空, 槽后偏北气流引导冷空气南下入侵, 使我国发生低温寒潮天气。

(2) ECs 影响我国寒潮天气的物理机制为 ECs 伴随的异常增暖加强了大气 Rossby 波能量向下游的频散, 使下游中高纬槽脊得以维持和发展。但 ECs 的生成纬度不同, 相对应的 Rossby 波的异常不同。EC1 生成的纬度较高, 对应两支异常的 Rossby 波分别沿高纬度和中纬度向下游传播, 其中高纬度的 Rossby 波是影响我国寒潮天气的主要原因, 中纬度的 Rossby 波对冷空气进行补充, 导致此次寒潮天气过程的持续时间较长。EC2 生成于中纬度, 由于纬度较低, 未能使高纬度的 Rossby 波得到加强, 只增强了中纬度 Rossby 波并沿西风带向下游频散, 寒潮过程的持续时间较短。

(3) ECs 移动路径的不同引起我国低温寒潮天气的强度、范围均不同。EC1 的路径偏东, 对应乌拉尔阻塞的生成位置偏北, 低压槽的位置偏西, 在低压槽东移南压过程中对我国冬季天气的影响范围更大, 可达全国范围; EC2 的路径偏西, 乌拉尔阻塞生成偏南, 相应地低压槽的位置偏东并很快分离出涡旋东移入海, 冷空气活动范围可达我国南部, 但我国东部受主要影响且持续时间较短, 由于低压槽经向性很强, 冷空气强度极强。

通过比较 ECs 的生成时间和我国寒潮天气发生的时间, 本文发现 ECs 的生成早于我国寒潮天气的发生, 大约提前 7~9 天, 因此对北大西洋中高纬至北极地区 ECs 的监测和研究对于提高中国寒潮天气的预报水平有一定的科学指示意义。需要注意的是, 本文的工作通过分析 2015 年的两个个例, 表明 EC1 和 EC2 对我国寒潮天气有一定的影响, 只是初步的研究结果。并且, EC1 和 EC2 只是代表了两种不同路径 (偏东和偏西) 的 ECs 对我国寒潮天气所造成的不同影响, 在未来的工作中, 我们将从北大西洋中高纬地区 ECs 生成地和移动路径的差异这一角度, 采用更多的 ECs 事件进行分类以便开展更为深入的研究, 为我国冬季寒潮天气的预报提供新的依据。

**关键词:** 寒潮; 路径; 分类; 极端气旋

\* E-mail: lvjm@cma.gov.cn

# **WRF-based dynamical downscaling simulation of precipitation and temperature extremes over Eastern China with dynamic blending technique**

Neng Luo<sup>1\*</sup>, Yan Guo<sup>1</sup>, Jin Feng<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Institute of Urban Meteorology, China Meteorological Administration, Beijing 100089, China)

## **ABSTRACT**

A dynamic blending (DB) scheme is applied to dynamical downscaling simulation of precipitation and temperature extremes over Eastern China using the Weather Research and Forecasting (WRF) model. The WRF integrated from 1996 to 2014 at a grid spacing of 25 km, driven by a GCM (HadGEM3-GC31-LL). Two kinds of dynamical downscaling simulation with and without DB were respectively evaluated by comparison with gridded CN05.1 data. Results show that dynamical downscaling with DB is effective in improving the precipitation and temperature extremes simulation over Eastern China. In comparison with both GCM and downscaling simulation without DB, pronounced reduction of bias has been achieved by downscaling simulation with DB, especially over Southern China. For total precipitation (PRCPTOT), the root mean square error (RMSE) is decreased by 50.1% and 62.1% compared with GCM and downscaling simulation without DB. For extreme precipitation (R95p), compared with GCM and downscaling simulation without DB, RMSE is decreased by 58% and 68.4%, respectively. For the simulation of extreme temperature (TN10), the bias in Southern China is also obviously decreased with downscaling simulation with DB, with the reduction of RMSE about 50% in comparison with GCM.

**Keywords:** WRF; climate extremes; China; evaluation

---

\* E-mail: luoneng@mail.bnu.edu.cn

# **Analysis of moisture sources and transport abnormalities of super-drought events in the middle and lower reaches of the Yangtze River**

Yansong Guan, Xihui Gu\*

(Department of Atmospheric Science, School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan, 430074)

## **ABSTRACT**

From January 11 to May 19 in 2011 and July 21 to November 26 in 2019, the middle and lower reaches of the Yangtze River experienced the most severe consecutive winter-spring drought summer-autumn drought in the same period in nearly 60 years. In terms of precipitation, the 2011 winter-spring drought showed a gradual decreasing trend in interannual variation, presenting from light drought to severe drought, and the 2019 summer-autumn drought showed a dramatic decreasing trend, showing a sudden transition from flood to drought followed by gradual alleviation. In terms of water vapor balance, the 2011 winter-spring drought was caused by the control of downdraft, and the 2019 summer-autumn drought is caused by a decrease in input moisture. After moisture tracking, the 2011 winter-spring drought was affected by reduced moisture transport from the Northeast and Southwest Paths, and the 2019 summer-autumn drought was mainly affected by reduced moisture transport from the West Paths. Both droughts were affected by reduced moisture transport from the Pacific Ocean, Bay of Bengal, and South China Sea. The further analysis shows that the decrease in precipitation during the two drought periods is caused by seasonal variations, mainly by the seasonal mean airflow rather than transient eddies. Among them, the contribution of mean airflow is influenced by the dynamic process of wind variation rather than the thermodynamic process of specific humidity variation. In addition, the contribution from the dynamical process of moisture transport, convergence transport rather than advection transport, affects the formation and maintenance of droughts.

**Keywords:** the middle and lower reaches of the Yangtze River, Super-drought, Moisture tracking, Moisture budget, Moisture divergence

---

\* E-mail: guxihui421@163.com

# 西北干旱区极端降水发生期时空变化及环流成因研究

孙雯璇<sup>1,3</sup>, 康世昌<sup>1,3,6</sup>, 杜文涛<sup>1,3\*</sup>, 廉丽姝<sup>2</sup>, 蒋友严<sup>4</sup>, 陈记祖<sup>1</sup>, 宋琳琳<sup>5</sup>, 胡钰

玲<sup>1</sup>, 程祺<sup>2</sup>, 周惜荫<sup>7,3</sup>

(1. 中国科学院西北生态环境资源研究院冰冻圈科学国家重点实验室, 兰州 730000; 2. 曲阜师范大学地理与旅游学院, 日照 276826; 3. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049; 4. 西北区域气候中心, 兰州 730020; 5. 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029; 6. 中国科学院青藏高原地球科学卓越创新中心, 北京 100101; 7. 中国科学院西北生态环境资源研究院寒旱区陆面过程与气候变化重点实验室, 兰州 730000)

## 摘要

全球尺度极端降水加剧造成的日经济损失已达 2 亿美元, 多角度辨识其时空特征并解析环流成因是准确预警、做好积极应对的重要科技支撑。干旱区变暖显著、环境承载力极为脆弱, 极端降水占年降水总量的比重呈增加态势, 重点关注极端降水事件有助于深入理解其发生机理。因此, 本文以中国西北干旱区为研究对象, 考虑到数据的连续性, 选取了 1968-2010 年间的 111 个气象站点的逐日降水, 采用百分位阈值法甄别出极端降水事件, 在此基础上引入降水集中度和降水集中期指标, 对极端降水发生时段的时空变化、突变、周期及典型年份开展了系统分析, 并探讨了环流成因。研究发现:

(1) 极端降水发生时段总体呈集中趋势, 但有明显的区域差异。在陕西、宁夏、甘肃、青海, 发生时间从东南向中北逐渐集中, 与季风东南输入路径、西风西来输入路径相一致; 新疆与之相反, 从北向南逐渐集中, 与西风、北极气团输入路径一致。年际变化的空间格局, 陕西东南部极端降水发生时段逐渐集中; 新疆和河西走廊的北部由南向北逐渐分散, 通过置信检验的站点多分布在此, 进一步证实了信号的可靠性, 揭示了季风和北极气团的重要影响。极端降水发生时段在 1980s 初由集中转为分散, 但未通过置信检验, 未形成显著的区域转折特征。此外, 极端降水发生时段存在明显的准 2 年周期, 可能与西太平洋副热带高压、东亚夏季风相关。

(2) 除新疆外, 最大极端降水主要发生在七月末, 即水汽丰沛期。在陕西、宁夏、甘肃和青海南部, 最大极端降水发生时间与夏季风盛行期一致, 揭示了季风的重要影响; 在新疆, 最大极端降水发生时间由南向北从六月末到八月初, 与北极气团南侵路径一致。然而, 准噶尔盆地存在异常, 最大极端降水发生在七月初, 可能受到地形和下垫面的影响。年际变化的空间格局, 陕西、宁夏、青海和甘肃南部提前 (通过置信检验的站点多集中在此), 与季风入侵路径一致; 而北疆和河西走廊推迟, 与北极气团入侵路径一致, 反映出截然不同的变化特征。最大极端降水发生时间在 1970s 末由推迟转为提前, 但未通过置信检验, 未形成区域转折特征。此外, 其存在明显的准 7 年周期, 可能与 ENSO 存在潜在关联。

(3) 以是否超过 2 倍标准差为准则, 甄选出 1995 年为极端降水发生最集中年。选取 300、500、700hPa 代表高、中、低三个高度层, 分析其环流成因。研究发现, 三层环流合成场总体特征较为一致。以乌拉尔山脉为中心存在反气旋, 而伊朗高原附近为气旋, 这种环流模式有利于将北大西洋和欧亚大陆的暖湿水汽以及印度洋的冷湿气流输送至研究区西部, 冷暖交汇利于降水产生。此外, 西北太平洋上东北风携带暖湿气流与研究区冷空气交汇, 利于降水。在水汽通量散度场上, 研究区整体表现为辐合, 气流上升, 利于极端降水发生。最大

\* E-mail: duwentao@lzb.ac.cn

极端降水发生在八月，同样高中低三层环流合成场总体特征较为一致。里海、黑海的暖湿水汽通过异常西风输送到研究区西部，西太平洋副热带高压强度异常增强，有利于夏季风深入，研究区水汽通量散度整体为负，气流辐合上升，为极端降水发生提供有利条件。

**关键词：**极端降水，集中度，集中期，环流合成，西北干旱区

## **S4 城市气候变化观测与模拟研究**

# 城市气候对极端气候及农业气象灾害指标的影响

孔德胤\*, 杨松

(内蒙古巴彦淖尔市农业气象试验站, 巴彦淖尔 015002)

## 摘要

临河于 1984 年撤县建市, 随着经济的发展和人口的增加, 城市建设日新月异, 特别是 1994 年以后, 测站东西两侧分别建起了 20m 高楼, 周边环境明显改变。城市的发展, 带来城市小气候的变化, 即所谓“城市热岛效应”。这种人为因素引起的变化与气候反常引起的变化相互交织在一起, 形成独特的小气候。以临河站与直线距离 22km 的陕坝站进行分析对比, 研究城市气候与极端气候变化。临河站与陕坝站均在河套平原西部, 两地地势平坦, 海拔高度相差不大。临河站旧观测场位置为 107°25'E, 40°45'N, 海拔高度 1039.3m。距市中心 0.8km, 基本上能反映出城市气候变化特征(2010 年 1 月迁到西南郊, 迁站后为城郊气候特点); 陕坝站, 观测场位置为 107°07'E, 40°51'N, 海拔高度 1024.0m, 位于杭锦后旗东北方向城郊, 四周无高大建筑, 基本能体现出城郊的气候特性。分析数据时段, 1971-1990 年, 影响较小时期, 1991-2010 年, 影响较大时期, 2011-2020 年, 恢复期。临河站 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 日数最多的年代为 1991-2000 年, 平均为 5.8d, 距平合计为 15d, 其次为 2001-2010 年, 均值为 4.9d, 距平合计为 6.0d; 临河站年极端最高气温均值最高的年代为 1991-2000 年, 为 36.99 $^{\circ}\text{C}$ , 距平合计为 3.1 $^{\circ}\text{C}$ ; 其次为 2001-2010 年, 为 36.80 $^{\circ}\text{C}$ , 距平合计为 1.2 $^{\circ}\text{C}$ ; 临河站年极端最低气温均值最高为 1991-2000 年, 为 -20.94 $^{\circ}\text{C}$ , 距平合计为 16.6 $^{\circ}\text{C}$ ; 临河站年最大风速最高均值为 1976-1980 年, 为 15.2m/s, 1991-2000 年, 最低为 10.54m/s, 谷值出现在 2007-2009 年。2006 年 9 月 8-9 日, 陕坝站连续两天日最低气温分别为 -0.2 $^{\circ}\text{C}$ 和 0.3 $^{\circ}\text{C}$ , 达到中等霜冻和轻霜冻指标, 而临河站这两天日最低气温分别为 4.0 $^{\circ}\text{C}$ 和 5.4 $^{\circ}\text{C}$ , 未达到轻霜冻指标。而临河区各乡镇的玉米、番茄、青椒、茄子、豆角等全部冻死。临河区白脑包镇自动站这两天日最低气温分别为 -0.2 $^{\circ}\text{C}$ 和 0.2 $^{\circ}\text{C}$ 。周边五原站、大余太站均达到中等霜冻指标。下一次霜冻过程为 10 月 22 日, 日最低气温为 1.7 $^{\circ}\text{C}$ , 为轻霜冻指标, 与上一次霜冻相差 44 天; 2009 年临河初霜为 10 月 19 日, 陕坝初霜为 9 月 20 日, 两者相差 29 天。典型的终霜差异, 为 1994 年临河为 4 月 13 日, 陕坝为 5 月 3 日, 两者相差 20 天; 1993 年临河为 4 月 25 日, 陕坝为 5 月 13 日, 两者相差 18 天。临河站初霜冻峰值出现在 2006-2009 年, 此时处于迁站前期, 谷值出现在 1994-1997 年, 此时除测场以南 60m 内无建筑物外, 测场以东 45m、以西 65m 都有高层住宅建筑, 以北 20m 有探测办公楼。由此可见, 城市气候对霜冻的影响是十分明显的。临河站全年 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温最大值出现在 2006 年, 为 4220.3 $^{\circ}\text{C}$ ,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温最大值出现在 1998 年, 为 3881.8 $^{\circ}\text{C}$ ; 临河站 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温最高的年代为 2001-2010 年, 分别为 4046.0 $^{\circ}\text{C}$ 和 3550.4 $^{\circ}\text{C}$ , 最低 1971-1980 年, 分别为 3586.4 $^{\circ}\text{C}$ 和 3074.1 $^{\circ}\text{C}$ 。为了使观测记录更具有本区域的代表性、准确性、比较性, 临河站于 2010 年 1 月 1 日实现了整体搬迁, 新站位于临河城区的西南郊, 距旧站约 5km, 观测场位置为 107°22'E、40°44'N, 海拔高度 1041.1m, 气候条件虽与旧站变化甚小, 但新站四周空旷, 探测环境符合规范要求, 避免了城市热岛效应的影响。

**关键词:** 临河站; 城市气候; 极端气候变化

\* E-mail: 492575022@qq.com

# 基于均一化资料的广州近百年气温变化特征研究

潘蔚娟<sup>1\*</sup>, 吴晓绚<sup>1</sup>, 何健<sup>2</sup>, 吕勇平<sup>1</sup>, 艾卉<sup>1</sup>

(1. 广州市气象局, 广州 511430; 2. 广东省气候中心, 广州 510080)

## 摘要

全球或区域地表气温趋势是气候变化检验的核心问题, 区域气温变化往往是由大尺度的气候变化叠加城市化影响偏差和观测系统变化引起。广州作为珠三角的核心城市, 在气候变暖 and 高速城市化共同影响下, 其热环境恶化备受瞩目, 同时作为少数拥有超百年气温观测记录的地区, 研究其气温变化特征具有重要意义。

为了更全面合理地检测和订正由于观测时次、测站搬迁和局地环境变迁等因素造成的广州年平均气温的非均一性, 在系统梳理历史沿革的基础上, 首先订正了 1908-1953 年因观测时次不同造成的偏差, 然后分别在 1908-1960 和 1961-2019 年选用香港天文台和广州邻近多测站平均的年平均气温作为参考序列, 应用 PMT 和 QM 方案进行非均一性检验和订正, 得到广州标准序列。然后基于该序列研究了气温变化趋势以及多时间尺度变化特征。结果显示, 1908-1960 年间有 3 个显著的非均一间断点, 分别在 1912、1928 和 1942 年, 和 1943-1960 年相比, 各间断点订正值分别为 $-0.54$ 、 $-0.04$  和  $0.19^{\circ}\text{C}$ 。1961-2019 年间有 4 个显著的非均一间断点, 分别在 1988、1995、2004 和 2010 年, 与 1961-1988 年相比, 各间断点订正值分别为 $-0.28$ 、 $0.20$ 、 $-0.18$  和  $0.86^{\circ}\text{C}$ 。该方案检测出了 1961 年以后 2 次因搬站和 2 次因测站周围环境急剧变化而引起的非均一化变化, 并做出合理订正。

广州 1908-2019 年平均气温升温速率为  $1.39^{\circ}\text{C}/(100 \text{ a})$ , 略低于香港。气温变化有明显的阶段性。20 世纪 30 年代以前为偏冷阶段, 平均气温为  $21.4^{\circ}\text{C}$ ; 20 世纪 30-80 年代期间除了 60 和 70 年代平均气温持平外, 均以  $0.1^{\circ}\text{C}/(10 \text{ a})$  的幅度升高; 90 年代增温幅度达到  $0.4^{\circ}\text{C}/(10 \text{ a})$ , 而 21 世纪的前两个年代平均气温达到  $22.8^{\circ}\text{C}$ , 较 20 世纪 90 年代升高  $0.5^{\circ}\text{C}$ , 是 1908 年以来最暖的时期。20 世纪 80 年代中后期至 20 世纪末是增暖最快的时期; 而 1998-2014 年为增暖停滞期。

功率谱分析结果显示, 广州百年气温具有准 50a 和准 3a 的显著周期。运用 DB16 正交小波分析其多时间尺度变化特征, 结果显示方差贡献最大的是趋势分量, 其次是准 3a 和准 6a 周期分量。趋势分量从 20 世纪 40 年代开始呈现持续的升温趋势; 20 世纪 80 年代中期至 20 世纪末的快速增暖是准 50a 和准 20a 周期分量的上升期叠加于趋势分量的结果; 1998—2014 年增暖停滞特征是准 50a、准 20a 和准 10a 这 3 个年代际周期分量的降温位相叠加在趋势分量上引起的。

80 年代后期开始的高速城市化建设使不同区域的热环境差异加剧, 空间不均匀性增强。以龙门为乡村站计算广州不同区域升温的城市化贡献率。1963-2019 年广州标准序列的线性增长率为  $0.25^{\circ}\text{C}/(10 \text{ a})$ , 城市化增温贡献率是 56%; 天河城区序列线性增长率达到  $0.44^{\circ}\text{C}/(10 \text{ a})$ , 城市化增温贡献率高达 75%。

**关键词:** 气温; 均一化; 城市化; 广州

\* E-mail: 541575615@qq.com

# 山西省空气污染扩散条件分析

周雅清\*, 郭彩萍

(山西省晋中市气象局, 晋中 030600)

## 摘要

随着中国城市化进程的快速推进,城市大气污染状况越来越受到公众的关注。风是决定城市大气污染自然净化的主要因素,然而近年的研究表明,近几十年来中国绝大部分地面气象台站平均风速呈明显的减小趋势,且城市站减弱趋势较乡村站显著。

本文采用 2011-2016 年 320 个国家和区域自动气象站逐小时风观测资料,分析了山西省风向、风速的时空变化情况;对比城市站和乡村站变化特征差异,探讨了城市化进程对风速的影响;并根据风向、风速对大气污染的扩散作用,构建了空气污染扩散等级指标,分析了山西省空气污染扩散条件。得到以下结论:

(1) 山西省风速日、月、季变化均十分明显,一般夜间到清晨风速较小,下午 15 时前后风速最大;春季平均风速明显大于其他季节,4 月达到最大,夏、秋季节平均风速迅速减小,9 月最小。

(2) 山西省大体上是冬半年盛行偏西风与偏北风,夏半年盛行偏东风与偏南风。盛行风向一般与山脉、河谷伸展风向一致,垂直于地形伸展风向的风向比较稀少。风向的变化主要受大气环流与地形影响,山西位于东亚季风区西北边缘部分,冬季盛行以亚洲大陆高压前缘偏北风为主要特征的冬季风,夏季盛行以对流层低层我国内陆热低压和太平洋副热带高压西伸北进为主要特征的夏季风。

(3) 山西省风向的辐合区主要位于忻州中部,太原、吕梁、晋中交界处,吕梁中部、临汾中部、北部、长治大部、晋城南部、运城大部,这与中部地势低洼的汾河谷地走向基本一致。

(4) 根据台站位置和周边环境将上述 320 个台站分为城市站和乡村站:位置描述为“乡村”或“山顶”;Google earth 高清地图,以台站为中心,半径 2 公里范围内建成区面积在 1/3 以内的台站作为乡村站(63 个),代表气候背景变化;其余台站则定义为城市站(257 个)。从城、乡台站风速日变化对比发现,除傍晚前后,城市站风速与乡村站接近外,其余大部分时间,城市站风速小于乡村站,正午和凌晨差异最明显,在 0.15m/s 以上;从城乡台站风速月、季变化对比发现,城市站所有月份风速均小于乡村站,尤其 10 月~次年 2 月城乡风速差异在 0.2m/s 左右;城市站四季平均风速均小于乡村站,冬季差异最明显。

(5) 通过对比分析污染天气与空气质量较好天气的各项风相关指标,选取供暖季平均风速、小时风速 $\geq 2\text{m/s}$ 的出现频率、06-12 时逐时平均风速、主导风向辐合区等气象因子,构建了空气污染扩散条件等级指标,分析了山西省空气污染气象扩散条件。发现扩散条件较差的区域盆地多于山区,南部多于北部;乡村站扩散条件明显好于城市站。

**关键词:** 风速; 风向; 时空分布; 城市化影响; 空气污染扩散指标; 山西省

---

\* E-mail: zhouyqsx@126.com

# Impact of cropland degradation in the rural-urban fringe on urban heat island in Yangtze River Delta

Hongyun Ma, Mi Zhang\*, Haijun Li

(Nanjing University, Nanjing 210046)

## ABSTRACT

Rapid urban growth causes increase in both air and surface temperatures of urban areas compared to their surrounding rural areas, known as the urban heat island (UHI) effect. The UHI is defined by the difference in temperature between urban and rural areas. It is the most prominent phenomenon associated with human-induced land surface change that affects both local and regional climate. China has experienced rapid urbanization since the 1980s, which has significantly reduced croplands around cities. In addition to urban land use, many croplands have been degraded into cropland/natural vegetation mosaic in the rural-urban fringe. So far, little attention has been paid to the effect of land cover changes in rural-urban areas on climate.

Here, we investigate how the conversion of irrigated cropland into the mosaic may affect regional climate conditions over the Yangtze River Delta (YRD) using the Weather Research and Forecasting Model (WRF). A decadal, 5-km resolution land cover dataset for China (ChinaLC) from 1981 to 2010 is used to classify rural-urban land cover, and is introduced into the WRF/UCM model to simulate regional climate. The simulation period is four heatwave events (HW) in the summer of 2013 and 2017 in the YRD, which are 8th July - 12th July in 2013, 23rd July - 18th August in 2013, 12th July - 29th July in 2017 and 4th August - 7th August in 2017, totally 54 days. The primary objective of this work is to investigate the impacts of degradation of irrigated cropland in the rural-urban fringe over the YRD on its thermal environment.

Three representative land cover distributions (using default data in Exp USGS, using current data in CTL, using modified mosaic areas in Exp MOS) were used for comparative analyses. The conducted experiments are as follows: (1) an experiment based on the USGS data (Exp USGS); (2) an experiment based on the ChinaLC data of the 2010s (control experiment, or CTL); and (3) an experiment based on the ChinaLC data of the 2010s, in which the cropland/natural vegetation mosaic (hereafter referred to as “mosaic”) was replaced by the ChinaLC data of the 1980s (Exp MOS). Exp USGS represents the default land cover condition in the WRF; CTL reflects the current level of urbanization, expansive mosaic and the degradation of irrigated cropland; and Exp MOS recovers the irrigated cropland by using the mosaic from the 1980s.

Results show that, after the irrigated cropland converted into the mosaic, the 2-m air temperatures in most areas of the YRD were significantly higher than those in Exp MOS due to the replacement of lower albedo and leaf area index (LAI) in new mosaic areas. As expected, some large hot spots of air temperature were simulated over the metropolitan areas in the YRD, such as Nanjing-Zhenjiang-Yangzhou (NZY) urban agglomeration, Shanghai-Suzhou-Wuxi-Changzhou (SSWC) urban agglomeration and Hangzhou-Shaoxing-Ningbo (HSN) urban agglomeration, particularly for  $T_{\min}$ ; they are essentially consistent with the UHI feature. Considering the irrigated

---

\* E-mail: 2374078862@qq.com

cropland degenerated and the mosaic expanded from the 1980s in the rural-urban fringe,  $T_{\text{mean}}$  was enhanced by  $0.12^{\circ}\text{C}$  on average, and the largest change with a maximum value of  $0.37^{\circ}\text{C}$  occurred in southern Anhui and southwestern Jiangsu, which were the main mosaic-expansive area.

However, this land cover change had a negative contribution to the urban heat intensity (UHI). It is clear that the maximum UHI intensity for the surface temperature in CTL occurred at approximately 1800 LST around sunset, with the values of approximately  $7.59^{\circ}\text{C}$  (NZY),  $8.39^{\circ}\text{C}$  (SSWC) and  $9.06^{\circ}\text{C}$  (HSN). When the mosaic land cover change was considered, it is evident that the UHI was decreased in CTL when compared to that in Exp MOS, suggesting there were negative effects on the UHI after the irrigated cropland around cities was converted into the mosaic.

The result of the spatial distribution shows that the Exp MOS can effectively play a cooling role, but the analysis of UHI shows that the heat island effect of the Exp MOS is significantly enhanced, compared with the Exp CTL. Therefore, this section analyzes the radiation flux to see the mechanism for this difference. We compare the net radiation, sensible heat flux, latent heat flux, and storage heat of Exp CTL and MOS in new mosaic areas. In new mosaic areas, the sensible heat flux in Exp MOS is significantly lower than that in Exp CTL, with the maximum value of  $44\text{W}/\text{m}^2$ . On one hand, it is caused by the weaker net radiation flux in MOS, which is due to the increase of Surface Albedo in new mosaic areas; On the other hand, it is caused by the stronger latent heat flux in MOS, which is due to the increase of Leaf Area Index (LAI) in new mosaic areas.

**Keywords:** urban heat island (UHI); land surface temperature (LST); degradation; Weather Research and Forecasting Model (WRF)

# Urbanization Significantly Affects Pan-Evaporation Trends in Large River Basins of China Mainland

Chenchen Ren<sup>1\*</sup>, Guoyu Ren<sup>1,2</sup>, Panfeng Zhang<sup>1,3</sup>, Suonam Kealdrup Tysa<sup>1</sup>, Yun Qin<sup>1</sup>

(1. Department of Atmospheric Science, School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. Laboratory for Climate Studies, National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China; 3. School of Tourism and Geographical Sciences, Jilin Normal University, Siping 136000, China)

## ABSTRACT

The causes of the pan-evaporation decline have been debated, and few researches have been carried out on the possible effect of local land use and land cover change on the regional pan-observation data series. In this paper, the urbanization effect on the estimate of pan-evaporation trends over 1961–2017 was examined for the data series of 331 urban stations, applying a previously developed dataset of the reference stations, in seven large river basins of the China mainland. The trends of pan-evaporation difference series (transformed to anomaly percentage) between urban stations and reference stations were negative and statistically significant in all of the basins, indicating that urbanization significantly reduced the pan-evaporation. The urbanization-induced trend in the whole study region was  $-2.54\%/decade$  for the urban stations. Except for the Yellow River Basin and the upper Yangtze River Basin, the urbanization effects in the other five large river basins of the country are all significant, with the mid and low reaches of the Yangtze River and the Songhua River registering the largest urbanization effects of  $-4.08\%/decade$  and  $-4.06\%/decade$ , respectively. Since the trends of regional average series for reference stations across half of the river basins are not statistically significant, the urbanization effect is a dominant factor for the observed decline in pan-evaporation. This finding would deepen our understanding of the regional and basin-wide change in pan-evaporation observed over the last decades.

**Keywords:** pan-evaporation; downward trend; urbanization effect; data bias; China mainland

注：本文已在《Land》发表。

Ren, C.; Ren, G.; Zhang, P.; Tysa, S.K.; Qin, Y. Urbanization Significantly Affects Pan-Evaporation Trends in Large River Basins of China Mainland. *Land* 2021, 10, 407. <https://doi.org/10.3390/land10040407>

---

\* E-mail: 243372314@qq.com

# Urbanization effect on estimation of regional light precipitation trend in China mainland

Suonam Kealdrup Tysa<sup>1\*</sup>, Guoyu Ren<sup>1,2</sup>

(1. Department of Atmospheric Science, School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. Laboratory for Climate Studies, National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China)

## ABSTRACT

Light Precipitation (LP) frequency has been reported to be decreasing in many regions of the world, however, the reason for the decrease has not been well understood. Based on a reference station network in China mainland, which was established by the classification of stations with different urbanization level in our previous study, this study quantitatively assessed the urbanization effect on, and its contribution to, LP (<3mm/d, <1mm/d, <0.3mm/d) trends estimated for the past 60 years in the country. Result shows that the annual total LP days and amount significantly decrease, and with the definition of LP becoming stricter, the reductions of LP days and amount are larger. The urbanization effects are significantly negative on the observed LP days and amount trends for urban and national station network in China mainland, which means that fewer LP is detected for urban station than rural station. The negative effect is also larger with the definition of LP becoming stricter, and the largest negative urbanization effect appears in Trace Precipitation (<0.3mm/d) (TP0.3) changes, especially in summer and autumn. The urbanization contributions to the reductions of annual total TP0.3 days and amount reach 21.7% and 23.1% for national station network, and the largest contribution to the LP change occur in warm season, especially in summer TP0.3 days and amount, which reach 29.7% and 31.6%, respectively. Finally, we examined the urban-rural difference in Aerosol Optical Depth (AOD) and its change over time, and found a close association between AOD and LP changes.

**Keywords:** urbanization; light precipitation; China; aerosol

---

\* Keywords: sunam@cug.edu.cn

# PM2.5 influence on Urban Heat Island (UHI) effect in Beijing and the possible mechanisms

Guowei Yang<sup>1\*</sup>, Guoyu Ren<sup>1,2</sup>, Panfeng Zhang<sup>1,3</sup>, Xiaoying Xue<sup>1</sup>, Suonam Kealdrup

Tysa<sup>1</sup>, Wenqian Jia<sup>1</sup>, Yun Qin<sup>1</sup>, Xiang Zheng<sup>1</sup>, Siqu Zhang<sup>1,2</sup>

(1. Department of Atmospheric Science, School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan, China, 430074; 2. Laboratory for Climate Studies, National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing, China, 100081; 3. School of Tourism and Geographical Sciences, Jilin Normal University, Siping, China, 136000)

## ABSTRACT

Whether the urban heat island (UHI) is affected by air pollution in urban areas has attracted much attention. By analyzing the observation data of automatic weather stations and environmental monitoring stations in Beijing from 2016 to 2018, we found a seasonally dependent interlink of the UHI intensity (UHII) and PM2.5 concentration in urban areas. PM2.5 pollution weakens the UHII in summer and winter night, but strengthens it during winter daytime. The correlation between the UHI and PM2.5 concentration has been regulated by the interaction of aerosol with radiation, evaporation and planetary boundary layer (PBL) height. The former two change the surface energy balance via sensible and latent heat fluxes, while the latter affects atmospheric stability and energy exchange. In summer daytime, aerosol-radiation interaction plays an important role, and the energy balance in urban areas is more sensitive to PM2.5 concentration than in rural areas, thereby weakening UHII. In winter daytime, aerosol-PBL interaction is dominant, because aerosols lower the PBL height and stabilize atmosphere, weaken the heat exchange with the surrounding, with more heat accumulated in the urban areas and the increased UHII. Changes in evaporation and radiation strengthen the relationship. At night, the change of UHII more depends on the energy stored in the urban canopy. Aerosols effectively reduce the incident energy during daytime, and the long-wave radiation from the buildings of urban canopy at night becomes less, leading to a weakened UHII. Our analysis results can improve the understanding of climate-aerosols interaction in megacities like Beijing.

**Keywords:** urbanization; urban heat island; PM2.5; aerosol

注：本文已在《Journal of Geophysical Research: Atmospheres》发表。

Yang, G., Ren, G., Zhang, P., Xue, X., Tysa, S. K., Jia, W., et al. (2021). PM2.5 influence on urban heat island (UHI) effect in Beijing and the possible mechanisms. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 126, e2021JD035227. <https://doi.org/10.1029/2021JD035227>

---

\* E-mail: yanggw@cug.edu.cn

# 城市化对全球陆地极端和平均气温变化趋势的影响

张盼峰<sup>1\*</sup>, 任国玉<sup>1,2</sup>, 秦云<sup>1</sup>, 翟雅倩<sup>3</sup>, 翟天林<sup>4</sup>, 索南看卓<sup>1</sup>, 薛晓颖<sup>1</sup>, 杨国威<sup>1</sup>,

孙秀宝<sup>5</sup>

(1. 中国地质大学(武汉)环境学院 大气科学系, 武汉 430070; 2 中国气象局 国家气候中心气候研究开放实验室, 北京 100081; 3. 中国地质大学(武汉)地理与信息工程学院, 武汉 430070; 4. 武汉大学 资源与环境科学学院, 武汉 430079; 5. 中国科学院 南海海洋研究所, 广州 510301)

## 摘要

识别和分离出当前的气温数据序列中的城市化影响信号对于精确的检测、归因和预估不同尺度的平均和极端气温变化至关重要。本文提出了一种基于机器学习的新方法将全球气象台站分类为乡村站和城市站, 基于该分类, 本文首先计算了 1951-2018 年全球和部分区域的陆地的所有站和乡村站的平均和极端气温指数时间序列, 最后利用所有站序列与乡村站序列之差定量评估了城市化对平均和极端气温变化趋势的影响和相对贡献。研究表明, 全球陆地平均和极端气温指数序列检测到了统计显著的城市化影响, 其中城市化影响主要发生在 20 世纪 80 年代中期之后。不同地区的城市化对平均和极端气温指数变化趋势的影响大小存在显著差异, 其中东亚地区的城市化影响一般是最大, 这与近几十年来东亚地区快速的城市化进程保持一致, 同时欧洲一般表现出最弱的城市化影响。

**关键词:** 气候变化; 全球气温; 趋势; 机器学习; 城市化影响

注: 本文已在《Journal of Climate》发表:

Zhang, P., Ren, G\*, Qin, Y., Zhai, Y., Zhai, T., Tysa, S. K., Xue, X., Yang, G., Sun X. (2021). Urbanization Effects on Estimates of Global Trends in Mean and Extreme Air Temperature. *Journal of Climate*, 34(5), 1923–1945. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0389.1>

---

\* E-mail: zhangpanfeng@cug.edu.cn

# 天气和气候记忆性特征分析——以济南和青岛为例

刘思宇<sup>1\*</sup>, 董旭光<sup>2</sup>, 周雪松<sup>1</sup>, 周笑天<sup>1</sup>

(1. 山东省气象信息中心, 济南 250031; 2. 山东省气候中心, 济南 250031)

## 摘要

天气和气候时间序列记忆性特征的研究对提高极端天气和气候事件的预报水平有积极作用。利用济南和青岛 1961-2020 年逐日、月和年平均气温资料, 运用时间序列相关性分析和分形系统理论, 得到不同时间尺度的气候记忆性特征, 并利用归一化概率密度函数分析了气候时间序列概率分布的长尾特征。分析结果表明: 1) 济南和青岛的日、月和年气温资料分别呈现出无记忆性、短期记忆性和长期记忆性特征, 青岛月和年平均气温资料的记忆性大于济南。2) 济南和青岛的月、年气温资料与相应日气温资料之间存在分数阶导数关系, 济南相应的阶数分别为 0.529 和 0.665, 青岛分别为 0.553 和 0.791, 两地年尺度的阶数均大于月尺度, 两地的月尺度阶数相近, 青岛的年尺度阶数大于济南。3) 年气温资料的归一化概率分布函数具有明显的长拖尾特征, 说明气候极端事件出现的概率大于天气极端事件。

本文通过定量分析济南和青岛气候时间序列记忆性, 从气候记忆性角度估计历史气候状态对未来气候变化的产生的长期影响程度。有学者提出, 气温序列的记忆性特征主要来源于气候系统的内部变率, 研究发现火山活动等自然外强迫可以显著增强气温序列的记忆性, 人类活动产生的温室气体, 有削弱气温序列记忆性的趋势, 基于记忆性的气候可预报性可能会降低, 同时意味着降低碳排放和温控的重要性。如果将历史时间序列看作以长时间尺度的记忆信号为特征, 气候记忆信号在某种程度上可以解释气候变化, 青岛的气候记忆性强度大于济南, 即从气候记忆性的角度可以说明青岛的气候可预报性强于济南, 青岛呈现出的较强气候记忆性特征, 可能是由于海洋等响应缓慢的子系统存在于气候记忆信号中导致的。

近年来学者提出的气候和天气之间的分数阶导数关系, 用数学语言来描述, 可以认为气候信号是天气信号的积分运算, 同样, 对气候信号作微分运算可以得到天气信号。可以推断带有分数阶积分的模型不仅可以改善气候预测的精度来模拟长期记忆信号的特征, 而且可以从产生长期记忆信号的原因中来理解物理过程的变化, 并且将分数阶气候模型与动力模式耦合, 对建立一种新的动力-统计气候模式预测方法具有积极意义。

**关键词:** 济南和青岛; 气温; 气候记忆性; 天气和气候; 极端事件

---

\* E-mail: 631705496@qq.com

# 厦门 1981~2020 年两个 30 年气候平均值的对比分析

郑美秀\*, 周振华

(厦门市气象服务中心, 厦门 361012)

## 摘要

本文资料来源于厦门国家基本气象站的地面观测资料。厦门国家基本气象站 1981 年 1 月 1 日至今位于福建省厦门市狐尾山公园山顶, 纬度 24°29' N, 经度 118°04' E, 海拔 139.4 米。分析结果表明:

平均气温、最低气温、最高气温的年月气候平均值均表现为 1991~2020 年比 1981~2010 年略高, 年平均值分别高出 0.46°C、0.51°C、0.44°C; 月平均值增幅分别为 0.20~0.68°C、0.26~0.72°C、0.17~0.85°C, 且均呈增幅 7~10 月小于 3~6 月。说明厦门近 10 年气候变暖, 最低气温增暖幅度最大, 7~10 月的盛夏初秋增暖幅度小于 3~6 月的春季。

降水量和降雨日数的年气候平均值 1991~2020 年较 1981~2010 年减少, 分别减少 31.4mm (2.4%) 和 3.5 天 (3.0%)。降水量月气候平均值表现为 3~9 月略减, 其中 4 月减幅最大, 减少 26.8mm (20%); 其余各月略增, 12 月增幅最大, 增加 14.0mm (39%)。说明近 10 年厦门降水整体小幅减少, 但时间上表现不同, 湿季 (2~9 月) 降水量为减少, 而干季 (10 月~翌年 1 月) 为增多。

日照时数年气候平均值 1991~2020 年比 1981~2010 年略多 13.4 小时 (0.7%), 月气候平均值 3~9 月略增, 其余略减, 其中 4 月增幅最大, 增 15.0 小时; 12 月减幅最大, 减 16.1 小时。可见, 近 10 年厦门日照时数整体增多, 但湿季 (3~9 月) 呈增多趋势, 而干季则呈减少趋势。

平均风速、最大风速、极大风速的年月气候平均值均呈现 1991~2020 年比 1981~2010 年减小, 年平均值分别减小 0.3 米/秒、0.8 米/秒、1.1 米/秒; 月平均值减幅分别为 0.22~0.46 米/秒、0.57~1.11 米/秒、0.86~1.32 米/秒; 年平均大风日数少 9.7 天。可见, 厦门近 10 年近风速呈减小趋势, 减幅为极大风速>最大风速>平均风速, 说明厦门城市化发展不仅使风速变小, 也使大风日数有所下降。

总结: 厦门站气候平均值 1991~2020 与 1981~2010 年相比: 平均气温、最高气温、最低气温的年和月气候平均值均为略增, 其中最低气温增幅最大, 且 7~10 月的盛夏初秋增暖幅度小于 3~6 月的春季; 降水量与降水日数年气候平均值均略减, 但降水量月气候平均值表现为湿季 (3~9 月) 略减, 干季 (10 月~翌年 1 月) 略增; 日照时数年气候平均值略增, 但月气候平均值则是湿季为略增, 而干季则略减; 平均风速、最大风速、极大风速的年和月气候平均值均为减小, 且减幅为极大风速>最大风速>平均风速, 年大风日数减少。

**关键词:** 温度; 降水; 风速; 气候态; 厦门

---

\* E-mail: zmx196711@126.com

# 大连极端气温指数变化趋势研究

金磊\*, 李嵩, 宋煜, 赵华睿

(大连市气象服务中心, 大连 116000)

## 摘要

大连市地处北半球中纬度地带,属于具有海洋性特点的暖温带大陆性季风气候,自然环境优越,生物资源和农业资源较为丰富。由于三面环海和特殊的地形、地貌条件,气候的季节和年际变化较为剧烈,常出现异常气候事件。近年来,大连极端气温事件频发,有研究表明,近百年大连平均气温变化趋势与全国增暖的总趋势基本一致,在20世纪90年代初发生突变,增暖趋势显著提升。但研究多仅对气温分析,未对气温相关气候指数进行分析。本文利用大连市近70年的气温资料,应用一元线性回归、小波分析、MK检验等方法,计算并分析大连市极端高温和极端低温变化特征及温度相关极端气候事件指数,为合理利用本市气候资源提供理论依据,并进一步揭示大连温度极端天气气候事件强度和频率的变化特征。

通过年际变化分析可知,大连极端高温和极端低温时间变化呈波动型,都有阶段性升高和降低趋势。回归分析结果显示,这些极端气温均呈升高趋势,且通过显著性检验。极端最高温和极端低温分别在1998年和1979年发生突变,由前期降低趋势突变为波动性整体升高趋势。年极端高温均值突变后上升了 $1.8^{\circ}\text{C}$ ,年极端低温突变后上升了 $2.1^{\circ}\text{C}$ ,通过对比突变后变化温度可知,年极端低温突变后升幅远大于年极端高温突变后升幅。近70年极端高温为 $36.9^{\circ}\text{C}$ ,发生于2018年,极端低温出现于1970年为 $-21.1^{\circ}\text{C}$ ;年极端高温整体无显著的周期变化,在1951-1977年存在7-9a周期变化,在1977-2020年存在13-15a的周期变化,在1973-1988年和2012-2020年均出现5-6a的短周期变化;年极端低温周期变化相对明显,在整个时间序列存在16a和30a的显著的周期变化,在1990-2020年存在5a的周期变化,在1951-1970年和1990-2020年存在10a的周期变化。

对高低温阈值进行趋势分析发现,全年及四季的高温阈值均为上升趋势,春季升温幅度最高,秋季和冬季升温幅度较小,其中春季、夏季及全年的阈值变化通过了显著性检验,且极为显著。四季和全年高温阈值均发生突变且为上升趋势,分别发生于1992年、1994年、1989年、1976年及1990年,其中春季突变前后变化最大,升温 $1.4^{\circ}\text{C}$ ,秋季变化最小为升温 $0.5^{\circ}\text{C}$ ,这与近年“春热”频繁发生和入春入夏提前的实际情况相符。全年及四季的低温阈值均为上升趋势,冬季升温幅度最大,夏季升温幅度较小,全年及四季的指数变化均通过了显著性检验,且极为显著。夏季、秋季、冬季和全年低温阈值均发生突变且为上升趋势,分别发生于1981年、1975年、1982年及1986年,其中冬季突变前后变化最大,升温 $2.6^{\circ}\text{C}$ ,夏季变化最小为升温 $1.3^{\circ}\text{C}$ ,这与频繁出现的“暖冬”现象对应。通过对高低温阈值对比分析可知,低温阈值升幅远大于高温阈值,该现象表明气候变暖在昼夜呈非对称性变化,可能会导致暖夜、闷热傍晚至夜间的强对流等极端天气的增多。

**关键词:** 极端高温; 极端低温; 周期

---

\* E-mail: 1207900231@qq.com

# 2021 年上半年忻州市气候评估

马子平\*, 郑秀文, 吕岩, 刘丽英, 赵润萍

(山西省忻州市气象局, 忻州 034000)

## 摘要

本文全面分析了 2021 年上半年忻州市气候基本概况, 主要气象灾害和极端天气气候事件, 综合评估了气候对农业方面的影响。

2021 年上半年, 忻州市气温总体偏高, 降水偏多, 气候年景较好。气象干旱总体偏轻, 但区域性、阶段性特征明显, 春季干旱较轻; 春播第一场好雨较常年偏晚 17-25 天; 冷空气活动频繁且影响范围广、局地降温幅度大。与近十年同期平均相比, 气象灾害造成的直接经济损失偏少。

2021 年上半年全市平均气温 7.1°C, 比常年 (1981 -2010 年) 平均偏高 1.9°C, 为 1954 年以来第 2 高。1 月、2 月、3 月全市平均气温异常偏高, 4 月接近常年、5 月、6 月偏高, 其中, 1 月为 1954 年以来第 7 高, 2 月创 1954 年以来新高, 3 月为 1954 年以来第 2 高。2 月 20-21 日东部各县日最高气温突破历史极值; 5 月 5 日, 忻府区、定襄、繁峙、神池、五寨、岢岚、静乐、偏关地表温度降至 0°C 以下, 岢岚最低达 -3.6°C, 苗期作物受到冻害。

2021 年上半年, 全市平均降水量 173.7 毫米, 比常年偏多 24%, 为近 10 年以来第 2 多。全市各县中, 代县、偏关降水量略偏少, 其余各县降水量偏多, 其中, 神池、岢岚异常偏多 (60~-70%), 与常年相比, 2 月、3 月、5 月、6 月偏多, 1 月、4 月偏少, 其中, 3 月异常偏多, 同比偏多 172% 为 1954 年以来第三多, 近 20 来第一多, 2 月异常偏多, 同比偏多 126%, 为 1954 年以来第十位, 近 20 来第四多。1 月异常偏少多, 同比偏少 72%。2021 年上半, 全市共出现 7 次区域性降雨 (雪) 过程。春播期第一场好雨大部分地区出现在 5 月 15 日, 较常年偏晚 17-25 天; 代县、繁峙出现在 6 月 9 日, 较常年偏晚近一个月, 春播期旱情严重。

2021 年上半年, 忻州市气象干旱区域性和阶段性特征明显。4 月至 5 月上旬全市多地出现阶段性干旱, 特别是繁峙、定襄、宁武 3 县无一场  $\geq 5\text{mm}$  的降水, 发生严重气象干旱, 其余各县也发生不同程度气象干旱, 给部分地区的春耕春播、农作物出苗带来不利影响。

2021 年上半年, 影响忻市的冷空气影响范围广、局地降温幅度大。1~4 月, 全市共出现 31 站次寒潮。范围较大寒潮过程有二次, 2 月 1~2 日和 4 月 12~13 日。1~2 日范围最大, 此次寒潮过程最低气温出现在岢岚, 达到 -21.1°C, 五台县 24 小时变温最大, 达 12.7°C。4 月 12~13 日的寒潮天气造成忻州市多地农林业发生不同程度的冻害。此时, 东部地区和黄河沿岸的林果正处在萌芽至花期, 冻害危害程度明显高于高寒山区。从各县灾情上报情况来看, 繁峙、原平冻害严重。繁峙经济损失 1876 万元。原平经济损失 524.11 万元。

2021 年春季, 忻州市发生大范围沙尘天气过程 10 次比去年同期明显偏多。1 月和 4 月各 1 次、3 月和 5 月各 4 次, 3 月 15 日、4 月 16 日和 5 月 7 日三次沙尘天气, 范围全市, 强度最强。其中, 3 月 15 日全市都出现沙尘天气, 河曲出现沙尘暴。忻府区发生概率最高为 100%。2021 年上半年, 全市共出现 238 站次 (五台山除外) 大风, 各县大风日数在 3-40 天之间, 宁武最多为 40 天。大风主要集中在 4 月和 5 月。4 月 15 日, 原平、定襄遭受风害。定襄经济损失 444.93 万元。原平因风害, 大树断裂并砸伤一处房屋和一辆汽车, 部分乡镇设施农业受损, 经济损失 44.7 万元。

**关键词:** 忻州; 气候; 评估

---

\* E-mail: 1545663686@qq.com

# 2018/2019 年冬季哈尔滨市异常高温少雪成因

袁典\*

(哈尔滨市气象局, 哈尔滨 150023)

## 摘要

哈尔滨是黑龙江省省会, 位于我国纬度最高的地区, 受地理环境、海陆气团和极锋辐合带季风环流系统影响, 具有明显的季风气候特征。受 2018/2019 年冬季哈尔滨异常高温、少雪影响, “第二十届哈尔滨冰雪大世界” 开园时间仅为 57 天 (2018 年 12 月 23 日开园、2019 年 2 月 17 日闭园), 是历届中开园最短的一届, 估算仅门票一项收入就减少约 6647 万人民币, 来哈游客减少带来的餐饮、住宿、旅游、其它消费等收入相应也大大缩减。因此, 研究哈尔滨冬季高温少雪预测指标, 为各相关部门提供预测结论以作提前部署工作的科学参考, 是十分必要的。

利用国家气候中心提供的中国 160 站 1951-2020 年逐月数据及美国国家环境预报中心大气研究中心 (NCEP/NCAR) 环流数据, 通过合成分析、相关分析, 并通过定义  $I_q$ 、 $I_t$ , 分别表征了温度和湿度对于降水的影响, 来估算年际时间尺度上水汽和温度异常在降水形成过程中的相对重要性, 分析了此次极端事件的成因, 结果表明:

环流改变的影响: 2018/2019 年冬季 500hPa 高度场 (图 1) 可以看出, 东亚大槽位置较常年稍偏西, 强度偏弱, 不利于西伯利亚冷空气向我国东北地区输送; 低层 (850hPa) 位于鄂霍次克海上空的低压中心较常年偏西, 而位于我国西部地区的高压位置偏东并且偏强, 东北地区位于高压区域。环流异常的情况是造成此次哈尔滨冬季少雪高温的重要原因。

水汽输送和气温异常: 在各层, 黑龙江省都位于水汽通量负距平区域。异常偏少的水汽输送是造成此次降水异常偏少的原因之一。2018/2019 年冬季哈尔滨上空在低层 (850hPa) 为非常明显的气温正距平, 黑龙江省南部在中高层 (600hPa 和 500hPa) 气温为弱的正距平, 气温异常偏高, 尤其是在凝结层 (大概 600hPa) 不利于降水形成, 并且低层气温异常偏高明显。由相对湿度距平图 (图 2) 可以看出, 黑龙江省上空各层均为明显的负距平, 哈尔滨位于负距平中心区域, 相对湿度的异常偏低不利于水汽凝结从而形成降水。

水汽和气温异常对降水异常的相对重要性: 本文所用比较水汽和气温在降水过程中相

对重要性公式如下: 
$$C_q = q_{dry} / q_{nor} = e_{dry} / e_{nor} = e^{-\frac{L_v}{R_v T_d}} / e^{-\frac{L_v}{R_v T_d}} = e^{\frac{L_v}{R_v} \left( \frac{1}{T_d} - \frac{1}{T_d} \right)} = a^{\Delta T_d}$$

$$C_T = es(T_{dry}) / es(T_{nor}) = e^{-\frac{L_v}{R_v T}} / e^{-\frac{L_v}{R_v T}} = e^{\frac{L_v}{R_v} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T} \right)} = b^{\Delta T}$$

本研究为了方便比较, 将  $C_q$  和  $C_T$  取对数, 即将原公式变形为

$I_q = \ln(C_q)$ ,  $I_t = -\ln(C_t)$ , 并且令  $I_r = I_q + I_t$ 。

其中  $I_q$  和  $I_t$  分别用来反映此次过程水汽和温度的异常,  $I_q < 0$  时表示水汽偏少,  $I_t < 0$  时表示温度偏高, 即两者小于零时均代表对降水形成有负的贡献。

计算哈尔滨 (125-131°E, 44-47°N) 地区各层的  $I_q$ 、 $I_t$ 、 $I_r$  值, 如图 1, 可以看到  $I_q$  在

\* E-mail: 568458567@qq.com

各层均小于零，在 1000hPa 至 500hPa，水汽偏少程度随高度增加而显著增加，500hPa 以上高度偏少程度随高度而减弱，而气温在低层表现为非常明显的异常偏高，在中高层气温异常的作用显著减小。可见，在低层（1000hPa 至 900hPa 左右）降水异常偏少主要是由于气温偏高明显，水汽偏少的作用不大，而在中高层气温异常的影响非常小，主要是水汽偏少的作用。Ir 在各层均为非常明显的负值，即是水汽和气温共同作用相加使得相对湿度异常偏低。

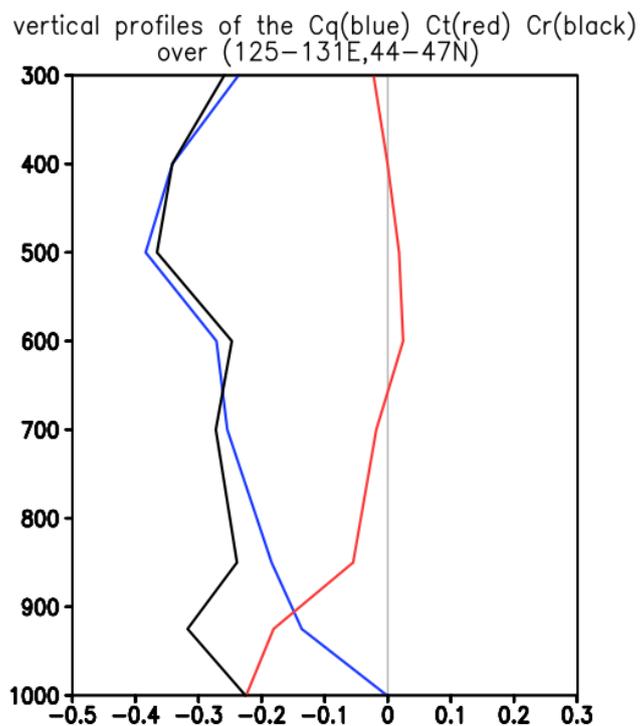


图 1 Iq、It、Ir 垂直廓线

关键词：哈尔滨；降雪；冬季；环流异常

# 石家庄市夏季高温天气及人体舒适度研究

甄晓菊<sup>1,2\*</sup>, 赵春雷<sup>1,2</sup>

(1. 河北省气象与生态环境重点实验室, 石家庄 050021; 2 河北省气象科学研究所, 石家庄 050021)

## 摘要

在全球气候变化的背景下, 极端天气气候事件发生的次数明显增加, 对人类生存环境的影响进一步加剧。河北省近 50 年的气候变化也呈现气温升高的趋势<sup>[1]</sup>, 石家庄素有“北方小火炉”之称<sup>[2]</sup>, 高温闷热天气成为城市最主要的气象灾害之一。近年来持续高温和破记录高温的出现频次也有增加的趋势<sup>[3]</sup>。高温热浪期间易使人烦躁和发怒, 降低工作效率, 而且老人体弱者中暑发病, 很多露天工人也不易展开作业, 高温天气易对其造成较大的影响。

河北省石家庄市地处河北省西南部, 庄高温闷热天气绝大多数发生在夏季的 6~8 月, 考虑站点数据的时间序列长度和完整性, 分析资料为 1985~2020 年 6~8 月国家基准站逐日地面观测资料, 数据包括日平均气温、高温总日数、极端最高温度、日最高温度和同最低温度、平均日差气温、高温过程强度与持续时间、日平均相对湿度等。根据中国气象局规定, 日极端最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 的天气称为高温天气。每个站连续 3 天出现 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 的高温称为持续高温过程。

温湿指数 (Temperature-Humidity Index, THI) 是通过气温、湿度来反应人体对热的感受程度, 是一项热舒适度的指标, 温湿指数计算公式:

$$\text{THI} = \text{Td} - 0.55 \times (1 - \text{RH}) \times (\text{Td} - 58)$$

其中华氏温度与摄氏温度的关系:  $\text{Td} (^{\circ}\text{F}) = 1.8 \times \text{Td} (^{\circ}\text{C}) + 32$ ; 其中 THI 为温湿指数, Td 为干球温度 ( $^{\circ}\text{F}$ ), RH 为相对湿度, 上述公式直接使用华氏温度表示的炎热指数作为人体舒适度指标。

石家庄 1985~2020 年夏季日平均气温  $25.6^{\circ}\text{C}$ , 日气平均气温起伏较大, 波峰波谷明显, 受全球气候变暖影响, 总的来说是上升的趋势。以日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 的天数为高温灾害的强度指标, 计算石家庄 1985~2020 年各年高温日数。高温日数在 90 年代后期突然增多, 最多年份是 1997 年为 32 天, 从 1997~2002 年高温日数均超过 20 天。2009~2014 年近几年高温日变化幅度又趋于变小, 2017 年以后高温日数又逐渐增多。根据石家庄气象站逐日的气温数据, 1996~2002 年连续 7 年最高温度都在  $40^{\circ}\text{C}$  以上, 其中 2002 年最高为  $42.9^{\circ}\text{C}$ 。20 世纪以来, 极端最高气温均在  $37^{\circ}\text{C}$  以上, 在 2011~2020 年间高温极端值的变化幅度较小。夏季高温不仅在每日极端最高温度体现上, 最低温度的变化也能体现气温的显著变化。从趋势上分析, 36 年间平均日最低气温有逐年增加的趋势。根据统计数据, 1985~2020 年石家庄共发生高温过程 56 次, 1997 年高温过程次数最多。21 世纪高温过程平均每年 1.5 次。通过对逐日最高气温的统计分析, 20 世纪 90 年代以后石家庄持续高温频次明显增多, 强度增强。2002 年 7 月 15 日石家庄出现了破历史记录的高温, 2009 年高温过程持续 15 天, 持续时间长强度大。高温日数全省最高值为 90 年代, 特别是 1997 年以后, 持续高温频次明显增多, 同时高温强度也有所增强, 破记录极端高温、持续强高温有增加趋势。持续高温均出现在 6~7 月, 6 月中旬~7 月上旬为持续高温的多发时段。

温湿指数反映了群体中的人对环境的热感受。通过计算我们可以得出湿热指数, 以石家庄为例, 计算石家庄夏季人体舒适度指数。温度和湿度是影响温湿指数的关键因子, 当温湿指数 $>75$  时, 人体感觉闷热, 不舒适, 7、8 月总体感觉气温较高, 温湿环境对于人体来说是

\* E-mail: xjzhen@163.com

不舒适，夏季天气闷热，且温湿指数随着年份的增加，在平缓上升的趋势。石家庄夏季的温湿环境使人感觉闷热，不舒适，等级标准达到 4 级的极不舒适闷热天气 1984~2020 年平均日数为 7.2 天，3 级闷热不舒适平均日数达到了 43.3 天。夏季应减少室外活动，注意防暑降温。

**关键词：**最高气温；高温；高温过程；温湿指数

# 气候变化对上海城市防洪除涝的影响与适应

杨涵洧\*, 谈建国, 孙兰东, 吴蔚, 刘苏潇

(上海市气候中心, 上海 200030)

## 摘要

上海滨江临海, 地处长江流域和太湖流域最下游, 河网密布, 共有河道 43424 条(段), 长 28811.44 公里, 面积 494.32 平方公里。上海已形成“千里江堤、千里海塘”两道防线抵御洪水。市区黄浦江防汛墙 294 公里, 可抵御千年一遇洪水; 一线主海塘 498.8 公里, 其中 262.8 公里主海塘已达 200 年一遇防御能力。城市排涝主要依靠排水管道和泵站, 重点地区标准为三年一遇(50 毫米/小时), 大部分地区为一年一遇(36 毫米/小时)。在气候变化和城市化影响下, 已有城市防洪除涝能力受到严峻的挑战。

1874-2020 年, 徐家汇站年降水量显著增多; 上海徐家汇站的年最大一小时降水量呈现出弱的增加趋势, 增长率为 1.90 毫米/10 年。近 40 年来强降水事件呈微弱上升趋势, 增长率为 0.54 次/10 年。因此, 在全球变暖背景下上海降水量增加, 降水极端性加强。

受其影响, 上海小时降雨量暴雨公式一年一遇由 35.5 毫米/小时增加到了 38.2 毫米/小时, 三年一遇和五年一遇分别从 49.5 毫米/小时和 56.2 毫米/小时提高至 51.7 毫米/小时和 57.7 毫米/小时。大部分地区现有城市排涝设施标准仍为 36 毫米/小时, 无法适应极端降水增加的变化。此外, 快速城市化过程导致建设用地快速增长, 城市不透水面从 2009 年 28.59% 增加至 2019 年的 35.27%, 城市自然生态系统对雨水的吸蓄和渗透能力降低, 进一步增加了城市地表径流, 减弱了城市除涝能力。

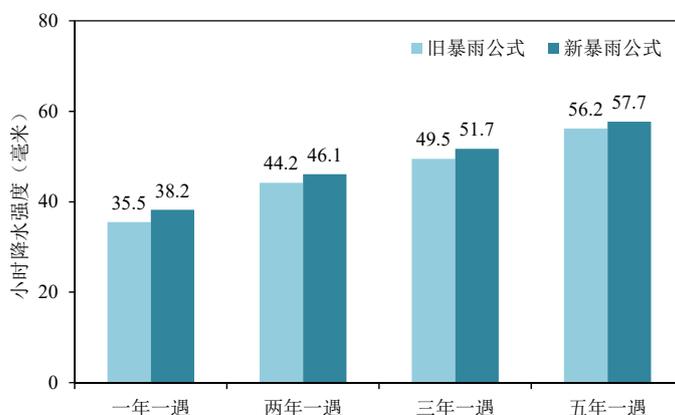


图 1 新制公式与旧公式的设计暴雨强度比较

1961-2018 年长江流域和太湖流域降水量均呈显著增加趋势, 增加速率分别为 25 毫米/10 年和 77 毫米/10 年。1954-2013 年太湖年平均水位以 0.34 厘米/年速率上升, 上游长江流域和太湖流域来水显著增加。受海平面上升影响, 城市河网水位偏高, 黄浦江苏州河口, 20 世纪 60 年代最高潮位 4.50m, 90 年代达 5.72m; 城市感潮型河网特征明显, 水流顺逆不定、排水缓慢, 不利于河道排洪。目前上海黄浦江堤防仍以 1984 年国务院批准千年一遇水位设防, 如吴淞口站为 6.27 米。按最新统计结果, 实际防御能力已降为二百年一遇。

\* E-mail: Harvey\_Young@163.com

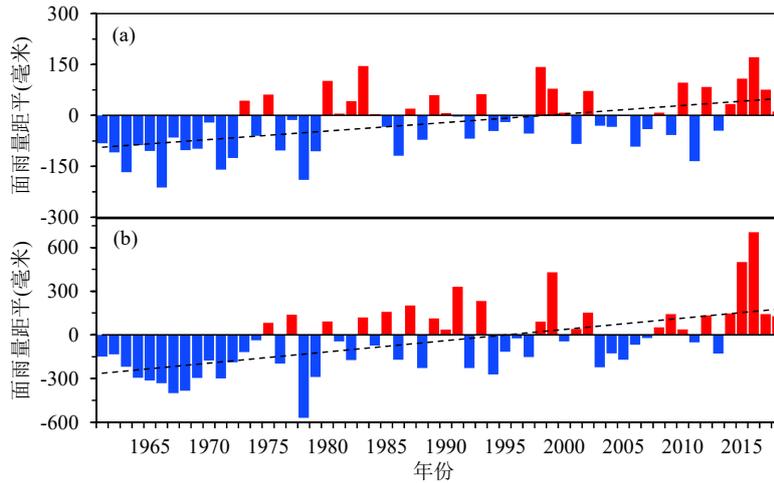


图 2 1961-2018 年长江流域 (a) 和太湖流域 (b) 面雨量距平

为了适应降水增强及城市化导致的城市除涝能力减弱，2017 年上海市新修订了《上海市暴雨强度公式与设计雨型》地方标准，更新上海市暴雨强度公式以适应城市极端降水的气候变化增量。2020 年上海市发布了《上海市防洪除涝规划（2020-2035 年）》，规划中针对防洪和除涝，从不同空间尺度和地区重要性方面提高了城市防洪除涝防御标准，如将城市主城区等重要地区除涝标准提高到 30 年一遇，其余地区提高至 20 年一遇。未来上海市将通过河流堤防维修养护、主海塘提标改建、河网水系恢复等一系列措施，构建“2 江 4 河、1 弧 3 环、1 网 14 片”的全市防洪、挡潮、除涝体系和布局，全面提高城市防洪除涝能力。

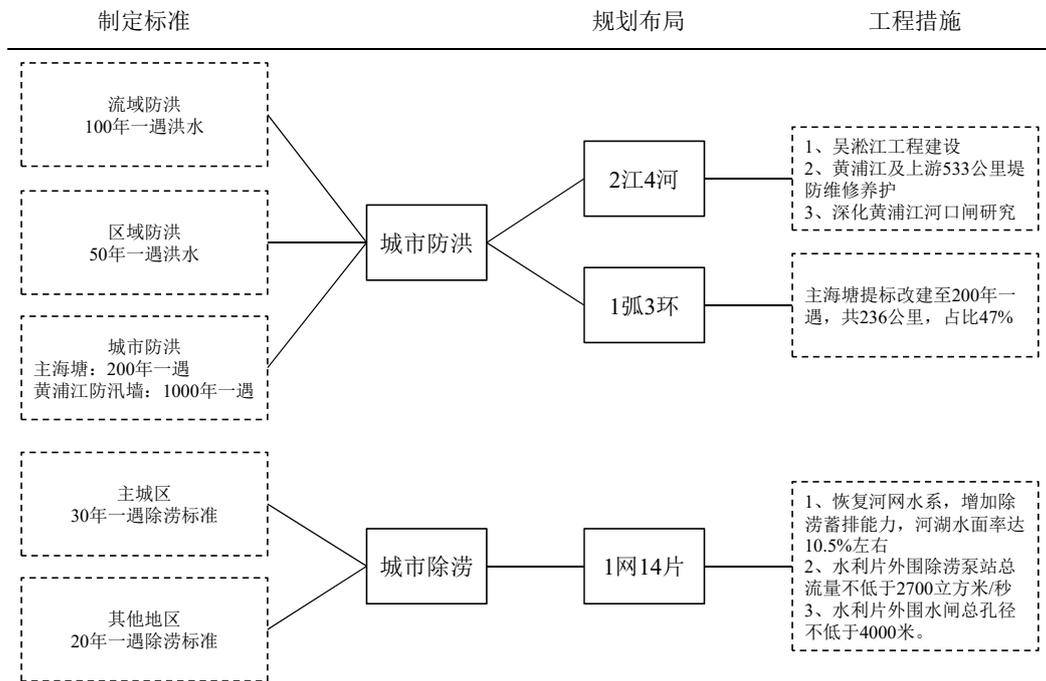


图 3 上海市防洪除涝规划标准及工程措施

关键词：洪涝；城市；上海

# 山西太原大气 CO<sub>2</sub> 浓度数据筛分及特征分析

王淑敏\*, 李莹, 张逢生, 高兴艾, 汪文雅, 郭伟, 朱凌云

(山西省气象科学研究所, 太原 030002)

## 摘要

大气 CO<sub>2</sub> 是最重要的温室气体, 其产生的辐射强迫在所有长生命期温室气体中处于首位。大量研究表明, 人为活动的碳排放, 尤其是化石燃料的燃烧、土地资源不合理开发利用、森林资源破坏等行为, 是导致近几十年来全球大气 CO<sub>2</sub> 浓度不断升高的主要原因。山西省生态环境较为脆弱, 易遭受气候变化带来的不利影响, 且我省经济结构主要以煤炭为支柱, 是全国碳排放强度较高的省份, 碳排放强度约为 2.59tC/万元, 实现碳达峰碳中和的压力非常大。

本文利用气象筛分法 (MET)、稳健局部近似回归算法 (REBS) 及黑碳示踪法 (BC), 对山西省温室气体监测站网太原站自 2013 年至 2018 年的大气 CO<sub>2</sub> 浓度观测数据进行分析。该站 (112.53°E, 37.73°N, 海拔高度 775.4m) 建在国家一般气象站内, 该站为典型的城市观测站, 其观测结果能够代表本区域城市大气 CO<sub>2</sub> 浓度水平。

经分析得出如下结论:

(1) 太原大气 CO<sub>2</sub> 浓度在 1 月、12 月和 11 月时较高, 在 6-8 月份时较低。研究时间段内大气 CO<sub>2</sub> 浓度 8 月最低为  $(422.0 \pm 22.2) \times 10^{-6}$ , 1 月最高为  $(460.2 \pm 35.0) \times 10^{-6}$ ; 就日变化规律而言, 4 季大气 CO<sub>2</sub> 浓度变化趋势一致, 且均有明显的“单峰型”日变化曲线, CO<sub>2</sub> 浓度在 07: 00-09: 00 (北京时间, 下同) 达到峰值, 在 15: 00-16: 00 达到谷值; 整体而言, 各时段冬季 > 秋季 > 春季 > 夏季。

(2) 利用后向轨迹分析各季节高空气团对该站大气 CO<sub>2</sub> 浓度的影响, 得出来自陕西北部 and 东部, 经西南方向抵达太原的气流为春季、秋季和冬季太原 CO<sub>2</sub> 的主要外地来源, 而夏季太原 CO<sub>2</sub> 主要来自偏东和偏南气流。

(3) 由 CO<sub>2</sub> 浓度-风速风向玫瑰图, 得出除夏季外, 其余季节 16 方位风速与 CO<sub>2</sub> 浓度均为负相关关系, 且冬季 16 方位风速与 CO<sub>2</sub> 浓度的负相关性最显著, 相关系数 R 为-0.64; 该站 CO<sub>2</sub> 浓度受到其北、东、南和西南方向区域的影响较大; 不同季节不同风级对 CO<sub>2</sub> 浓度的影响存在差异, 冬季影响最大, CO<sub>2</sub> 浓度均值差为  $55.7 \times 10^{-6}$ , 其次是秋季为  $47.2 \times 10^{-6}$ , 春季和夏季接近均在  $31 \times 10^{-6}$  左右。

(4) 该站 CO<sub>2</sub> 浓度和日平均气温呈负相关关系,  $P < 0.05$ , 相关性 R 为-0.27。同样, 该站 CO<sub>2</sub> 浓度与日照时数均为负相关关系,  $P < 0.05$ , 相关性 R 为-0.50。

(5) 由 MET 法筛选出本底浓度数据占原始数据量的 27.7%。观测期内太原大气 CO<sub>2</sub> 本底浓度年均值为  $(423.4 \pm 20.6) \times 10^{-6}$ , 比观测数据年均值降低  $16.8 \times 10^{-6}$ ; 非本底浓度年均值为  $(446.6 \pm 30.5) \times 10^{-6}$ , 即人为活动排放等碳源使得大气 CO<sub>2</sub> 浓度抬升约  $23.2 \times 10^{-6}$ 。

(6) 由 REBS 法筛选出本底浓度数据占原始数据量的 35.3%, 高非本底浓度数据占原始数据量的 32.4%, 低非本底浓度数据占原始数据量的 32.3%。观测期内太原大气 CO<sub>2</sub> 本底浓度年均值为  $(433.5 \pm 15.1) \times 10^{-6}$ , 高非本底值浓度为  $(471.3 \pm 27.7) \times 10^{-6}$ , 低非本底值浓度为  $(416.2 \pm 13.1) \times 10^{-6}$ , 即人为活动排放等碳源使得大气 CO<sub>2</sub> 浓度抬升约  $37.8 \times 10^{-6}$ , 而碳汇使得大气 CO<sub>2</sub> 浓度下降约  $17.3 \times 10^{-6}$ 。

(7) 由于黑碳数据不足, 本研究只探讨了 2018 年冬季大气 CO<sub>2</sub> 观测浓度经 BC 法筛分

\* E-mail: yqwsm1989@126.com

后结果,符合条件的大气 CO<sub>2</sub> 本底浓度数据占原始总数据量的 37.1%,筛分后本底浓度季均值为  $(445.0 \pm 22.9) \times 10^{-6}$ ,比由 MET 筛分法得到的冬季本底季均值高  $0.8 \times 10^{-6}$ 。

(8) REBS 法比 MET 法筛分得出的本底值高,但太原站与北京上甸子国家区域本底站月际变化趋势一致,均为冬季最高夏季最低,且 2013 年至 2018 年 6 年间呈上升趋势但该站比同期上甸子站大气 CO<sub>2</sub> 浓度要高出很多。

**关键词:** CO<sub>2</sub> 浓度; 大气本底观测; 太原

# Asymmetrical shift toward less light and more heavy precipitation in an urban agglomeration of East China: Intensification by urbanization

Xiaojie Yu<sup>1,2</sup>, Xihui Gu<sup>1,3,4\*</sup>, Dongdong Kong<sup>1</sup>, Qiang Zhang<sup>5,6,7</sup>, Qian Cao<sup>8</sup>, Guoyu Ren<sup>1,9</sup>, Ming Luo<sup>10</sup>, Jianfeng Li<sup>11</sup>, Jianyu Liu<sup>12\*</sup>, Jianmei Cheng<sup>2</sup>, Yanan Li<sup>13,14</sup>

(1. Department of Atmospheric Science, School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. Department of Water Resources and Hydrogeology, School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 3. Collaborative Innovation Center for Western Ecological Safety, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 4. Key Laboratory of Geospatial Technology for Middle and Lower Yellow River Regions (Henan University), Ministry of Education, Kaifeng 475001, China; 5. Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, Ministry of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 6. Faculty of Geographical Science, Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Ministry of Education/Ministry of Civil Affairs, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 7. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resources Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 8. School of Geography and Information Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 9. Laboratory for Climate Studies, National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China; 10. School of Geography and Planning and Guangdong Key Laboratory for Urbanization and Geo-simulation, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China; 11. Department of Geography, Hong Kong Baptist University, Hong Kong, China; 12. Hubei Key Laboratory of Critical Zone Evolution, School of Geography and Information Engineering, China University of Geosciences, Wuhan, China; 13. Zhengzhou Tourism College, Zhengzhou 451464, China; 14. College of Environment and Planning, Henan University, Key Laboratory of Geospatial Technology for Middle and Lower Yellow River Region, Kaifeng 475004, China.)

## ABSTRACT

Under global warming, changes in precipitation with different intensities over China show an asymmetrical shift from light to heavy precipitation. However, the role of urbanization in this shift remains unknown. By investigating the precipitation changes in the rainy season (May-September) over the Yangtze River Delta (YRD) urban agglomeration of East China, we show that YRD experienced increasing total precipitation during 1961–2019, and this increase is evidently characterized by reduced light precipitation and increased heavy precipitation. This asymmetrical shift toward heavier precipitation is even more prominent in urban than rural areas. The areas with faster urban expansion rates are observed with greater negative (positive) trends in light (heavy) precipitation. Urbanization contributes to 44.4% (26.4%) of the decreasing (increasing) light (heavy) precipitation in the urban areas of YRD. We suggest that urban managers should consider potential adverse impacts of this asymmetrical shift amplified by urbanization, e.g., favoring more heatwaves and waterlogging.

**Keywords:** light precipitation; precipitation intensity; urbanization; China; Yangtze River Delta

---

\* E-mail: guxh@cug.edu.cn

# Dual effects of synoptic weather patterns and urbanization on summer diurnal temperature range in an urban agglomeration of East China

Min Guo\*, Yuanjian Yang

(Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing, 210044, China)

## ABSTRACT

Previous studies on the impact of urbanization on the diurnal temperature range (DTR) have mainly concentrated on the intra-seasonal and interannual–decadal scales, while relatively fewer studies have considered synoptic scales. In particular, the modulation of DTR by different synoptic weather patterns (SWPs) is not yet fully understood. Taking the urban agglomeration of the Yangtze River Delta region (YRDUA) in eastern China as an example, and by using random forest machine learning and objective weather classification methods, this paper analyzes the characteristics of DTR and its urban–rural differences ( $DTR_{U-R}$ ) in summer from 2013 to 2016, based on surface meteorological observations, satellite remote sensing, and reanalysis data. Ultimately, the influences of urbanization-related factors and different large-scale SWPs on DTR and  $DTR_{U-R}$  are explored. Results show that YRDUA is controlled by four SWPs in the 850-hPa geopotential height field in summer, and the DTRs in three sub-regions are significantly different under the four SWPs, indicating that they play a role in regulating the DTR in YRDUA. In terms of the average DTR for each SWP, the southern sub-region of the YRDUA is the highest, followed by the northern sub-region, and the middle sub-region is the lowest, which is most significantly affected by high-level urbanization and high anthropogenic heat emission. The  $DTR_{U-R}$  is negative and differs under the four different SWPs with variation in sunshine and rainfall. The difference in anthropogenic heat flux between urban and rural areas is one of the potentially important urbanization-related drivers for  $DTR_{U-R}$ . Our findings help towards furthering our understanding of the response of DTR in urban agglomerations to different SWPs via the modulation of local meteorological conditions.

**Keywords:** urbanization; diurnal temperature range (DTR); China; Yangtze River Delta; synoptic weather patterns

---

\* E-mail: 15261807361@163.com

# **Synergistic Influence of Local Climate Zones and Wind Speeds on the Urban Heat Island and Heat Waves in the Megacity of Beijing, China**

Lian Zong\*, Yuanjian Yang

(Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing, 210044, China)

## **Abstract**

Large-scale modifications to urban underlying surfaces owing to rapid urbanization have led to stronger urban heat island (UHI) effects and more frequent urban heat wave (HW) events. Based on observations of automatic weather stations in Beijing during the summers of 2014-2020, we studied the interaction between HW events and the UHI effect. Results showed that the UHI intensity (UHII) was significantly aggravated (by  $0.55^{\circ}\text{C}$ ) during HW periods compared to non-heat wave (NHW) periods. Considering the strong impact of unfavorable weather conditions and altered land use on the urban thermal environment, we evaluated the modulation of HW events and the UHI effect by wind speed and local climatic zones (LCZs). Wind speeds in urban areas were weakened due to the obstruction of dense high-rise buildings, which favored the occurrence of HW events. In detail, 35 HW events occurred over the LCZ1 of a dense high-rise building area under low wind speed conditions, which was much higher than that in other LCZ types and under high wind speed conditions (< 30 HW events). The latent heat flux in rural areas has increased more due to the presence of sufficient water availability and more vegetation, while the increase in heat flux in urban areas is mainly in the form of sensible heat flux, resulting in stronger UHI effect during HW periods. Compared to NHW periods, lower boundary layer and wind speed in the HW events weakened the convective mixing of air, further expanding the temperature gap between urban and rural areas. Note that LCZP type with its high-density vegetation and water bodies in the urban park area generally exhibited, was found to have a mitigating effect on the UHI, whilst at the same time increasing the frequency and duration of HW events during HW periods. Synergies between HWs and the UHI amplify both the spatial and temporal coverage of high temperature events, which in turn exposes urban residents to additional heat stress and seriously threatens their health. The findings have important implications for HWs and UHII forecasts, as well as for scientific guidance on decision-making to improve the thermal environment and to adjust the energy structure.

**Keywords:** urbanization; urban heat island; heatwave

---

\* E-mail: 13765257359@163.com

## **S5 气候变化趋势预估与影响研究**

# 气候变化趋势模型模拟和短期天气预报数值试验研究

陈友民\*

(河南大学地理与环境学院, 开封 475004)

## 摘要

本文利用美国国家大气研究中心 (NCAR) 开发的 WRF (weather research and forecast) 区域气候模式, 针对东亚区域的气候和天气特征进行模式模拟预测和预报。关于气候预测, 全球气候模式比较计划 (CMIP) 针对不同二氧化碳排放情景, 生成 21 世纪气候模式预测结果的 CMIP5 数据。但 CMIP5 数据分辨率较低, 需要利用区域气候模式进一步提高分辨率, 这就是全球 CORDEX (Coordinated Regional climate Downscaling Experiment) 研究计划的主要内容, 即气候降尺度研究。我们利用 WRF 以及欧洲中期预报中心的 ERA-Interim 数据和 CMIP5 (具体为 NorESM 模型模拟结果) 数据的 RCP45、RCP85 气候情景, 针对东亚地区进行模拟, 从而生成高分辨率气候数据。我们设置的目标分辨率是 0.25 度, 大致 27 千米。利用 RCP45 和 RCP85 模拟从 2006 年到 2100 年, 而利用 ERA-Interim 的模拟从 1979 年到 2014 年。此外, 同样利用 WRF 模型和 ERA-Interim 数据, 基于 MODIS 地表覆盖类型, 通过人为改变地表覆盖类型分别为森林、草地和裸地, 进行了 12 年的模拟 (1979-1990), 以便探讨下垫面改变对区域气候影响的敏感性试验。结果表明, 森林覆盖促进降水增加和导致气温升高, 而裸地会减少降水但同样使气温升高, 但森林主要升高冬季气温而裸地主要升高夏季气温。最后利用 WRF 区域气候模型, 建立起短期天气预报系统。天气预报的初始场采用可以及时获取的美国 FNL 再分析数据, 然后进行 3-5 天的预报试验, 具有真正的预报意义。结果表明, 前两天的预报具有较好的准确性, 两天以后的预报结果与实际天气系统的演变有出入, 但也能反映天气系统演变过程, 预报结果具有一定的参考价值。通过利用 WRF 的天气预报的试验设置技术, 我们可以进一步应用到前述的下垫面改变影响气候的敏感性试验上。气候敏感性模拟试验每 6 小时都要有大尺度气候场的输入, 而大尺度气候场本身包含有原始下垫面覆盖的气候信息, 从而干扰敏感性试验的客观结果, 使得敏感性试验的结果只能定性理解。天气预报技术不需要每 6 小时更换大尺度气候强迫, 因而避免了气候强迫对模拟结果的干扰, 因此未来可以做出更好的气候敏感性试验研究。

**关键词:** WRF 模型; 气候预测; 气候降尺度; 天气预报; 初始场

---

\* E-mail: youmin.chen@henu.edu.cn

# 不同情景模式下大连地区极端高温预评估

赵华睿\*, 金磊, 李嵩, 宋煜

(大连市气象服务中心, 大连 116000)

## 摘要

在气候变暖背景下, 作为海滨城市的大连于 2015 年 7 月中旬和 2018 年 8 月初先后出现了极端最高气温的历史极值, 高温会对社会经济和生态系统产生影响, 进而影响区域可持续发展, 因此, 对大连地区极端高温的预评估工作具有重要意义。共享社会经济路径(Shared Socioeconomic Pathways, SSPs)是基于并行方式设计的集气候情景和社会经济情景为一体的框架, 是新一代气候变化情景的重要组成部分。SSPs 的提出推动了气候变化预估与影响研究, 将其应用于基本要素预估及气候影响评估的工作已开展了许多。本文采用国家气候中心在全球模式 BCC\_CSM2-MR 驱动下的不同 SSPs 情景模式模拟结果对大连地区 2050s 和 2070s 的极端最高气温和高温日数(日最高气温达 35℃ 的日数)进行分析, 以期探讨不同情景模式下大连地区极端高温情况, 为大连地区今后的发展规划提供理论参考依据。文中研究的气候变化情景为 IPCC 第六次评估采纳的 SSPs 中的四种, 具体为 SSP1-2.6、SSP2-4.5、SSP3-7.0 和 SSP5-8.5。

首先, 通过对比分析发现四种情景下各年代的极端最高气温和高温日数空间分布均较为一致。主要表现为瓦房店、长兴岛的极端最高气温最高, 高温日数最多, 金州次之, 普兰店、庄河、长海及旅顺极端最高气温较低, 高温日数较少。然后, 分别对比各情景下 2050s 和 2070s 的极端最高气温, 分析发现, 与 2050s 相比, 在 SSP1-2.6 和 SSP2-4.5 情景下, 2070s 极大值和变化范围均有所减小, 空间分布表现为中东部升高、西部降低, 庄河升高最多, 瓦房店、长兴岛或旅顺降低最多; 在 SSP3-7.0 和 SSP5-8.5 情景下, 2070s 极大值均增大、变化范围分别为增大和减小, 空间分布均表现为升高, 分别以西部和南部为代表。接着, 采用相似方法对高温日数进行对比分析发现, 与 2050s 相比, 2070s 极大值和变化范围在 SSP1-2.6 情景下减小, 在其余三个情景下增大; 除在 SSP2-4.5 情景下空间分布表现为增多且以旅顺、大连、金州西部、瓦房店南部增多最为明显外, 其余情景下空间分布均与极端最高气温分布一致。最后, 为了了解近年来大连地区的极端高温情况, 采用大连地区 8 个国家气象站和 106 个区域气象站 2015~2019 年数据分析极端最高气温和高温日数空间分布情况。结果表明, 极端最高气温在 37.2~39.6℃ 范围内, 金普新区附近最高, 瓦房店西部和旅顺最低; 高温日数在 0.6~4.9d 范围内, 瓦房店及金普新区最多, 庄河东部沿海最少。将该结果与各情景下预评估结果对比发现, 极端最高气温的极大值区域将从金州北部和普兰店南部转至瓦房店和长兴岛, 极小值区域将从瓦房店西部和旅顺转至普兰店东部和庄河; 高温日数空间分布的变化主要表现为瓦房店和长兴岛地区的增多。总体而言, 无论是极端最高气温还是高温日数, 均以 SSP3-7.0 和 SSP5-8.5 情景下升高和增多现象更为明显, 而 SSP1-2.6 和 SSP2-4.5 情景下变化不明显, 甚至存在降低和减少现象, 这可能与选取的 2015~2019 年先后两次出现历史极值有关, 对此还需进行进一步的分析和研究。

**关键词:** 极端高温; 极端低温; 预估

\* E-mail: 230717031@qq.com

# 基于 CMIP6 多模式的气候变化对亚洲水塔的影响评估

刘柱\*

(河海大学水文水资源学院, 南京 210098)

## 摘要

近百余年来,受自然因素和人类活动的共同影响,世界各地正经历以变暖为特征的全球性气候变化,最新的中国气候变化蓝皮书对全球和中国不同地区的气候变化现状进行了综述,报告指出 2019 年的全球平均温度相较于工业化前水平已经增加了大约 1.1°C。中国,尤其是青藏高原(即亚洲水塔地区),是全球气候变化最敏感和影响最显著的地区之一。该地区是全球过去 100 年气候变暖趋势最强烈的区域,也是未来全球气候变化影响不确定性最大的地区。1901-2019 年,中国地表年平均温度上升了 1.27°C,以青藏高原为核心的亚洲水塔地区在 1960 年至 2020 年间增温速率为全国之最,平均每 10 年升温 0.37°C。同时随着全球气温的上升,极端天气的频率逐渐上升,由极端天气事件引起的自然灾害事件也在不断增加。1961-2019 年,中国极端高温事件频次上升趋势明显,极端低温频次呈减少趋势,极端日降水量事件的发生频次呈增加趋势,陆地上越来越多的地区出现强降水的频率、强度和降水量在增加。例如青藏高原地区过去 60 年的年降水量呈显著增加的趋势,平均每 10 年增加 10.4mm,同时中国区域性干旱事件呈微弱上升趋势。气候变化导致的环境生态问题已经成为当今国际社会普遍关注的全球性问题,深刻影响人类生存和可持续发展。因此科学认识气候变化规律和成因、研究和制定相应的应对措施不仅是一个科学问题,也是国际政府间共同关心的政治经济问题。

气候观测资料和气候模式模拟分析是我们认识气候变化的不可或缺的重要工具。2016 年,由 178 个缔约方共同签署的气候变化《巴黎协定》(The Paris Agreement)制定了将全球平均气温较前工业化时期上升幅度控制在 2 摄氏度以内,并努力将温度上升幅度限制在 1.5 摄氏度以内。气候模式是我们唯一可以依赖的工具来模拟不同气候变化情景下未来的气候变化。第六次气候模式比较计划(CMIP6)是政府间气候变化专门委员会(IPCC)进行气候变化及影响评估的主要科学依据。由于气候模式模拟和预估存在很大的不确定性,系统评估基于 CMIP6 的青藏高原地区的历史气候变化模拟和在未来不同共享社会经济路线(SSPs)情景下的气候变化预估对全面了解青藏高原地区气候变化带来的影响至关重要。本研究对 CMIP6 的 16 个气候模式 1901-2010 年的历史气候模拟(与 CRU 观测对比)和 3 个不同典型浓度路线与共享社会路线组合情景下(SSP126, SSP370, SSP585)的 21 世纪未来的气候变化预估进行分析,评估青藏高原地区不同时期的多模式贝叶斯平均年气温和降水模拟的精确性,对模拟和预估的不确定性进行量化,给出青藏高原地区不同情景下气温和降水的变化趋势。结果表明 CMIP6 模式普遍在亚洲水塔区域历史阶段低估了气温,未来该区域气温和降雨均呈现增加趋势,排放情景对气温和降雨的变化趋势影响显著。此外,贝叶斯模型平均结果优于多数单个模型。本研究对探索气候变化背景下亚洲水塔气候特征变化规律具有十分重要的意义。

**关键词:** 亚洲水塔; 青藏高原; 预估; CMIP6

---

\* E-mail: zhuliu@hhu.edu.cn

# 东亚地区云对四倍 CO<sub>2</sub> 强迫的快慢响应分解研究

周喜讯<sup>1\*</sup>, 张华<sup>1,2</sup>, 谢冰<sup>3</sup>, 陈琪<sup>1</sup>

(1. 中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室, 北京 100081; 2. 南京信息工程大学气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 南京 210044; 3. 中国气象局气候研究开放实验室/国家气候中心, 北京 100081)

## 摘要

在全球变暖背景下, 局地云量的变化对辐射收支的影响及其反馈在精确预估未来全球变暖程度中起到关键作用。针对东亚地区特殊的气候特征, 本文采用大气环流模式 BCC\_AGCM2.0 研究了 CO<sub>2</sub> 浓度突变为工业化前水平的 4 倍时东亚地区的云响应, 并分解为快响应和慢响应分别进行分析。结果表明, 四倍 CO<sub>2</sub> 强迫下东亚地区总云量在 40°N 以南减少, 而在 40°N 以北增加, 其中青藏高原西部的减少量超过 8%, 中国东北北部增加量可达 6% 以上。低云量在东北地区东部最高可增加 10% 以上, 而高云量的最大变化位于青藏高原东部, 最高增加量超过 12%。东亚地区平均的总云量减少了 0.74%, 低云量增加了 0.38%, 高云量减少了 0.38%, 且快响应与慢响应下的变化相反, 总的响应由慢响应主导。

东亚不同区域的云在四倍 CO<sub>2</sub> 强迫下的变化不同, 本文重点分析了中国的青藏高原地区、南方和东北地区的低云量和高云量的变化。青藏高原的低云量变化不明显, 高云量变化在快响应、慢响应和总响应中分别为 6.56%, -4.45% 和 2.11%。南方地区的低云量变化在快响应、慢响应和总响应中分别为 0.77%, -6.11% 和 -5.34%, 高云量变化在快响应、慢响应和总响应中分别为 2.92%, -3.51% 和 -0.59%。东北地区的低云量变化在快响应、慢响应和总响应中分别为 -1.59%, 8.73% 和 7.14%, 高云量变化在快响应、慢响应和总响应中分别为 0.80%, 1.21% 和 2.01%。除了青藏高原的高云量变化由快响应主导外, 其余区域的低云量和高云量变化均由慢响应主导。

不同区域的低云量和高云量的变化取决于大气环流和大气温度的变化。快响应下 850 hPa 处南方地区增强了从海洋到陆地的环流, 并在东北形成反气旋活动增强, 造成南方地区低云量增加而东北地区低云量减少; 慢响应下正好与之相反。快响应下, 20°N 以北高层大气的降温以及 30°N ~ 40°N 强烈的垂直上升运动增强导致了 20°N 以北高层大气相对湿度以及高云量的增加; 慢响应下, 40°N 以南的垂直下沉运动增强和高层大气温度增加导致高层大气相对湿度以及高云量的减少, 而 40°N 以北的高层得到由南向北的水汽输送, 并且大气温度降低, 导致高层大气相对湿度以及高云量的增加。

东亚地区的短波和长波云强迫分别受低云和高云变化的影响, 总云强迫变化由短波云强迫变化主导。平均的短波、长波和总的云强迫变化分别为 -0.72、-1.08 和 -1.80 W·m<sup>-2</sup>, 表明在 4 倍 CO<sub>2</sub> 强迫下东亚地区的云变化对气候系统有负反馈。青藏高原、南方和东北三个区域的云强迫变化在快响应和慢响应中均相反, 总云强迫的变化分别为 -6.74、6.11 和 -7.49 W·m<sup>-2</sup>, 因此青藏高原和东北地区的云变化为负反馈, 南方地区的云变化为正反馈。

**关键词:** 云量; CO<sub>2</sub>; 快响应; 慢响应

---

\* E-mail: abzhouxixun@163.com

# 多站点日尺度天气发生器的模拟与对比

范聪慧\*, 殷水清

(北京师范大学, 北京 100875)

## 摘要

预估未来气候变化对自然环境和社会经济的影响可以为人类应对气候变化带来的风险提供决策支撑。预估往往需要用到未来的气候信息。全球气候模式 (Global Climate Models, GCMs) 提供的气候信息可以与地表过程模型相结合, 为气候变化的影响评估提供依据。但目前 GCMs 模型输出的时空分辨率较低, 空间分辨率在 100km 左右, 时间分辨率多为月或日尺度, 与地表过程模型所需要输入的气象数据 (日或者日以下尺度, 0.1~10 km 分辨率) 在时空尺度上常常不匹配。因此需要一定的技术手段, 将大尺度的网格气候变化情景转化为局地或站点尺度的气候变化情景, 这种方法就是降尺度方法。常用的降尺度方法可以分为动力降尺度和统计降尺度两大类。随机天气发生器是一种重要的统计降尺度方法, 它是基于已有数据的统计特征, 随机生成在统计特征上类似于实际观测数据的时间序列。随机天气发生器分为传统的非条件约束型天气发生器和结合大尺度天气场的条件约束型天气发生器。本研究的目的是通过对比三种非条件约束型多站点日尺度天气发生器, 筛选最优模型, 为进一步建立条件约束型天气发生器做出初步选择。研究使用 1967-2012 年嫩江流域 82 个气象站点的日降水量, 日最高气温和日最低气温数据, 从基本统计特征、极值特征、干湿事件、高温热浪、低温寒潮、时间相关性、空间相关性等方面, 对比评估三种多站点日尺度天气发生器 EHS (EOFA (Empirical Orthogonal Function Analysis) +HHT (Hilbert-Huang Transform) +SS (Stochastic Simulation))、TSWG (Two-stage Weather Generator) 和 MulGETs (Multisite weather Generator) 模拟多站点日尺度降水和气温的能力。其中, EHS 模型是利用经验正交分析、希尔伯特-黄变换和随机模拟, 将降雨和气温时空分离, 保留空间相关, 在时间尺度上进行随机模拟; TSWG 模型是一个两步骤的随机模型, 第一步生成单站点的降雨气温数据, 第二步利用 shuffle 方法, 使单站点数据具有与实测数据类似的空间特征; MulGETs 模型是利用空间随机数使得模拟结果具有空间相关特征。结果表明: (1) 在降水方面, 相较于其他两个模型, EHS 模型在基本统计特征, 最大值, 空间相关和 lag-1 时间自相关方面有更好的模拟效果, MulGETs 模型在模拟日降水量空间相关性方面也有很好的模拟效果, 三个模型在 95th 日降水量和干湿事件模拟方面均有待提高; (2) 在气温方面, EHS 模型在基本统计特征, 极值, 空间和时间相关性方面都有很好的模拟效果, TSWG 模型在模拟均值, 95th 分位数和空间相关性方面有很好的效果, MulGETs 模型对均值的模拟较好。研究结果表明, 三个模型中, EHS 模型在模拟降水和气温方面, 都有最好的模拟效果。在今后的研究中, 可以继续开发 EHS 模型, 将大尺度天气场与模型参数结合, 发展约束型天气发生器, 为气候变化影响地表过程的风险评估提供基础。

**关键词:** 天气发生器; 统计降尺度; 模拟

---

\* E-mail: fanconghui@mail.bnu.edu.cn

# 北半球夏季风对全球变暖的纬向非均匀响应

何超<sup>1\*</sup>, 周文<sup>2</sup>, 周天军<sup>3</sup>, Tim Li<sup>4,5</sup>

(1. 暨南大学环境与气候研究院, 广州 511442; 2. 香港城市大学能源及环境学院; 3. 中国科学院大气物理研究所 LASG, 北京, 100029; 4. 南京信息工程大学大气科学学院, 南京 210044; 5. IPRC, University of Hawaii, USA)

## 摘要

夏季风降水是全球季风区水资源的主要来源。历代气候模式的模拟和预估结果一致地显示, 气候变暖背景下亚洲和北非季风区的降水显著增多, 但北美季风区的降水显著减少, 呈现明显的纬向非均匀特征。本研究利用 CMIP6 提供的 30 个模式的预估试验结果, 对预估北半球季风降水变化开展了水汽收支诊断, 结果显示, 亚-非季风降水的增多的直接原因是大气水汽含量的增多, 而北美季风降水减少的直接原因是辐合抬升运动的减弱。全球大气水汽含量随着气候变暖而增多的现象已得到了很好的理解, 但并不清楚为什么北美季风区的辐合抬升运动显著减弱。本研究利用 CMIP6 的 42 个耦合模式的大气 CO<sub>2</sub> 浓度突增 4 倍试验结果, 将 CO<sub>2</sub> 浓度升高的气候效应分解为快响应和慢响应两部分, 其中快响应是指海洋尚未充分变暖的阶段由 CO<sub>2</sub> 直接辐射强迫主导的气候变化, 慢响应是指海洋变暖导致的气候变化。结果显示, 北美季风区的辐合抬升运动和降水在快、慢响应过程中均显著减弱, 且减弱幅度相当, 说明 CO<sub>2</sub> 的直接辐射强迫和海温变化对北美季风降水的减弱各有大约一半的贡献。鉴于欧亚-非洲大陆是最大的大陆, 在 CO<sub>2</sub> 浓度升高的直接辐射强迫下, 该大陆的海平面气压在快响应阶段明显降低, 形成了围绕大陆低压中心异常气旋环流; 异常气旋环流的西侧为异常北风, 通过负湿焔平流而抑制北大西洋-北美季风区的辐合抬升运动和降水。随着海温及其空间结构的缓慢调整, 慢响应阶段的海温变暖呈现明显“类 El Nino”空间结构, 赤道太平洋的海温升高幅度明显高于南北两侧, 从而限制了夏季赤道辐合带向北美季风区摆动, 进一步削弱北美季风降水。在全球变暖背景下, 北太平洋热带高压强度减弱而北大西洋副热带高压强度增强, 副热带高压的纬向非均匀响应与北半球季风降水的纬向非均匀响应特征一致。

**关键词:** CMIP6; 夏季风; 快慢响应

---

\* E-mail: hechao@jnu.edu.cn

# RCP 情景下内蒙古黄河流域径流预估及其对水资源的影响

孟玉婧<sup>1\*</sup>, 李喜仓<sup>1</sup>, 白美兰<sup>1</sup>, 杨晶<sup>1</sup>, 徐静<sup>2</sup>

(1. 内蒙古自治区气候中心, 呼和浩特 010051; 2. 河北省秦皇岛市气象局, 秦皇岛 066001)

## 摘要

基于德国波兹坦气候影响研究所空间分辨率为  $0.46^{\circ} \times 0.46^{\circ}$  的区域气候模式 CCLM (COSMO model in Climate Mode, COSMO-CLM) 预估的气候变化数据, 对比分析 1961-2005 年内蒙古黄河流域内 72 个国家气象站观测的和 CCLM 模式模拟的同期气温和降水数据, 采用皮尔森空间相关系数等方法, 检验 CCLM 模式对内蒙古黄河流域平均气温和降水在月和年尺度上的模拟能力, 并预估分析了 RCP2.6、RCP4.5 和 RCP8.5 情景下内蒙古黄河流域 2011-2100 年平均气温和降水在年和四季尺度上的变化特征。采用 BP 神经网络模型, 基于流域内头道拐水文站 1961-2005 年逐月流量数据, 建立气温、降水与流量之间的关系, 以 1971-2000 年为基准期, 预估分析了 RCP2.6、RCP4.5 和 RCP8.5 情景下黄河流域头道拐水文站 2011-2100 年流量变化, 评估未来气候变化对流域水资源的可能影响, 为流域水资源管理提供科学依据, 对水资源管理、开发利用和社会经济可持续发展具有重要意义。结果表明:

(1) 区域气候模式 CCLM 对内蒙古黄河流域平均气温和降水在年和月尺度上均具有良好的模拟能力, 整体空间相关系数的表现也很好, 可见 CCLM 模式以其高分辨率的优势能够很好地模拟内蒙古范围内流域平均气温和降水的空间分布格局, 在内蒙古黄河流域具有适用性。

(2) RCPs 情景下, 2011-2100 年内蒙古黄河流域年平均气温呈升高趋势, 升温范围在  $0.1 \sim 6.6^{\circ}\text{C}$  之间。其中 RCP4.5 和 RCP8.5 情景下升温趋势显著 ( $P < 0.01$ ), 且 RCP8.5 情景下增幅最大, 90 年间升高  $5.4^{\circ}\text{C}$ ; 年降水量的整体变化趋势均不明显, 变化范围在  $-25.1 \sim 38.7\%$  之间, 其中 RCP2.6 和 RCP8.5 情景下均呈略减少趋势, 而 RCP4.5 情景下则呈略增加趋势。

(3) RCPs 情景下, 2011-2100 年内蒙古黄河流域四季平均气温均有明显上升趋势, 其中 RCP8.5 情景下增温最显著; 在季节分配上, 冬季增幅均为最大, 最大增幅可达  $3.2^{\circ}\text{C}$ 。流域春、秋和冬季降水均呈增加趋势, 其中 RCP8.5 情景下增幅均为最大, 分别可达  $18.6\%$ 、 $6.7\%$  和  $15.4\%$ ; 夏季降水在不同情景的变化趋势不一致, 其中 RCP2.6 情景呈增加趋势, RCP4.5 情景基本无变化, 而 RCP8.5 情景呈减少趋势; 在季节分配上, 春季降水的增幅最大, 冬季次之。

(4) RCPs 情景下, 2011-2100 年内蒙古黄河流域年平均流量呈减少趋势, 其中 RCP8.5 情景减少最显著, 90 年间减少  $23.4\%$ , 而 RCP2.6 和 RCP4.5 情景分别减少  $3.6\%$  和  $2.7\%$ 。

(5) 未来 90 年, 流域春季流量以增加为主; 夏季在不同情景的变化趋势不一致, RCP2.6 情景以增加为主, RCP4.5 情景在 2070s 前以减少趋势为主, 之后均呈增加趋势, 而 RCP8.5 情景以减少趋势为主; 秋季在 2050s 前以增加为主, 之后以减少为主; 冬季则以减少为主。

(6) 未来内蒙古黄河流域整体气温升高, 年降水量呈不明显的增加或减少趋势, 使得流域年平均流量整体呈减少趋势, 使得人类可利用的水资源减少, 这对内蒙古黄河流域水资源的可持续发展带来较大挑战, 尤其是 RCP8.5 情景下, 流域春、秋、冬季降水增加, 夏季降水减少, 从而引起内蒙古黄河流域水资源年内分配发生变化, 其中春季增温造成黄河凌汛

\* E-mail: mengnan198704@163.com

开河期的提前和降水增加,可能导致更大的春季径流。同时,夏季高温会使人类用水量加大,加之降水减少导致径流的减少,可能导致当地水资源供需矛盾加剧,对当地的生态环境也将带来不利影响。

**关键词:** CCLM 模式; BP 神经网络模型; 内蒙古黄河流域; 径流预估; 水资源

注: 本文已在《气象科技》期刊 2021 年第 1 期发表。

# 气候变化对长江上游径流和水库运行的影响预估

秦鹏程<sup>1\*</sup>, 刘敏<sup>1</sup>, 许红梅<sup>2</sup>, 刘绿柳<sup>2</sup>, 肖潺<sup>2</sup>

(1. 武汉区域气候中心, 武汉 430074; 2. 国家气候中心, 北京 100081)

## 摘要

长江上游流域水量充沛且地势落差大, 水能资源蕴藏量极其丰富, 是中国水电开发的重要基地, 拥有以三峡水库为核心的全球最大的水库群, 并肩负着西南地区和中下游重要城市的防洪任务。然而, 由于气候变化导致全球水循环的改变, 引起水资源在时间和空间上的重新分配以及总量的变化, 长江上游水资源和水库的运行管理可能受到气候变化的深刻影响。研究以长江上游地区 19 座重要的水库大坝为例, 利用最新的第六次国际耦合模式比较计划 (CMIP6) 14 个气候模式在 2 种共享社会经济路径情景 (SSP245、SSP585) 下的预估结果, 驱动 SWAT 水文模型获得地表径流量, 并通过耦合水库调度和发电出力模型, 预估了 21 世纪气候变化情景下长江上游径流量及其对水库的综合影响。结果表明: 相对于基准时段 (1961-2000 年), 21 世纪长江上游平均气温呈显著上升趋势, 降水呈增加趋势, SSP585 情景下较 SSP245 情景下增幅更大。SSP245 情景下, 21 世纪中期平均气温分别升高 2.0 和 3.1°C, 降水增加 4.0 和 10.2%, 21 世纪末期平均气温分别升高 2.3 和 4.9°C, 降水增加 7.9 和 18.1%。流域内气候变化存在明显空间差异, 金沙江和岷沱江子流域气温升高和降水增加幅度均大于流域平均值, 乌江流域在 21 世纪中期以前降水呈减少趋势。预估的长江上游年径流量及各月平均径流均有增加趋势, 21 世纪中期增加 2.0%~4.7%, 21 世纪末增加 10.7%~16.0%。流域内大部分水库来水增加, 但洪水流量增幅比年平均流量和枯水季节低流量增幅更大, 水库来水增加主要发生在汛前期和汛后期, 不同历时的洪水发生频率和洪量明显增加。未来大部分水库的发电量总体上有所增加, 同时发电保证率也有所提高, 但弃水量显著增加, 在 21 世纪末期发电量年际变化略有增加。在未来气候变化情景下, 水库的季节调节功能在汛期增强, 在枯水季节减弱, 水库在汛期防洪中的作用将更加突出, 而在枯水季节对下游河段自然流量和生态平衡的影响减弱。由于气候系统和水库调度管理系统的复杂性以及现有模型模拟能力的限制, 预估结果存在一定的不确定性, 但揭示了气候变化影响下的系列可能后果, 可为研究区域未来水资源管理和规划提供一定参考。这些结果表明, 气候变化情景下不断增加的洪水风险将需要额外的库容来减轻洪水的威胁, 水库运行规则, 特别是水库汛期维持防洪库容和其他服务之间的平衡需要重新设计。此外, 这些结果还表明, 流域内的水资源和发电冲力在未来气候情景下将有所增加, 这将有助于提高水库在维持供水、生态平衡和可再生能源生产方面的效率。

**关键词:** 预估; 水资源; 径流; 长江

---

\* E-mail: 635282959@qq.com

# 基于信息熵的中国 21 世纪气温世纪气温变异性研究

孙美平, 张海燕\*, 姚晓军

(西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730070)

## 摘要

气候的变暖,使得气象水文时空演变过程发生明显改变,导致热量资源、水资源的时空不均匀性日益加剧,各种尺度上的高温、暴雨、干旱等极端天气事件频发,气候系统的可预测性大大降低。因此全球变暖背景下,研究我国未来气温时空变化及其变异性特征,对于深入了解未来气候变化、防灾减灾及改善生态环境等具有重要意义。此外,随着 CMIP6 耦合模式模拟结果陆续对外发布,相关研究已初步展开,但现有研究中缺乏对未来气候要素时空变异性的探讨;信息熵在气候研究中的应用尽管已有不少,但利用其对中国未来气候变化特征预估的研究较为缺乏。因此,本研究首先基于观测数据对 CMIP6 16 个模式于中国区域气温时空模拟进行了精度评估,然后将中国分为 8 大区,运用评估后的 8 个较优模式数据的集合结果,基于信息熵理论与 Mann-Kendall 趋势分析,预估了不同共享社会经济路径下 (SSP2-4.5、SSP5-8.5) 不同时间尺度上 (年、季) 中国 21 世纪气温时空变化特征及其变异性。

结果表明:(1) CMIP6 大多模式与观测数据之间的一致性较好,空间模拟效果普遍优于时间模拟效果,且多个模式集合值比单个模式的模拟值更接近观测值。其中在西北、西南地区模式的模拟能力稍低于其他地区。(2) 模式在预测过程中很好地捕捉到了中国气温的年、季时空分布特征。即空间上具有明显的地带性与非地带性相结合的特点,时间上呈显著增温趋势。SSP5-8.5 情景下的增温速率和幅度明显高于 SSP2-4.5 情景下的温度变化。总体上冬季升温速率最快。(3) 气温的年内与季内变异性自北向南降低,随时间变化上下波动,排放情景对气温各月间分配不均匀性时空分布的影响较小。其中春、秋季的季内变异性大于夏、冬季,且春、秋季的季内变异性非地带性更强。年气温与季气温变异性空间上随纬度升高而增加,SSP5-8.5 情景下的变异性大于 SSP2-4.5 情景下的变异性,两种情景下的变异性分别呈先增加后减小与持续增加的趋势。大部分地区冬季气温变异性最大,春秋季节次之,夏季最小。(4) 气温的年内与季内变异性的变化趋势都表现为 SSP5-8.5 情景强于 SSP2-4.5 情景。年内变异性在东北、西南、中部的部分地区呈下降趋势,西北地区呈增加趋势。春、秋季的季内变异性变化明显大于夏、冬季,春、秋季是影响年内变异性的主要季节。不同季节内,各区的季内变异性随时间和情景变化不同。

本文将 CMIP6 数据与信息熵理论相结合,通过对中国各区未来气温时空变化及其变异性的探讨,既展示了各区未来气温时空上的变化趋势,又刻画了气温在未来的可预测性,为气温变化预测及农业生产提供了重要的参考价值。

**关键词:** CMIP6; 气温; 预估; 信息熵

---

\* E-mail: 2020212674@nwnu.edu.cn

# 基于 CMIP6 模式中国降水量未来年内变幅预估

邢巧凤\*

(西北师范大学, 兰州 730070)

## 摘要

气候变化背景下的水文循环对人类的生存和发展起到重要的作用。降水量的年内变幅,即干湿季节的降水量的差异对社会和生态系统非常重要。与传统干湿季不同,本文对不同年份和格点的干湿季不同进行重新定义。综合采用相关系数、均方根误差和标准差三种指标,从第六次国际耦合模式比较计划(CMIP6)中选取8个较优模式,多模式集合平均结果对不同社会经济共享路径SSP2-4.5和SSP5-8.5情景下的中国湿季和干季及降水量的年内变幅未来不同阶段的变化特征及湿季与干季年内的时间分布进行了预估研究,旨在更准确的理解在气候变暖背景下中国各区域的降水的季节周期是如何变化的。研究结果表明:(1)在SSP2-4.5、SSP5-8.5情景下中国降水量的年内变幅相对参考期平均分别增加0.4和0.5mm·day<sup>-1</sup>,降水量的季节周期性增强。降水量的年内变幅的年际变化与湿季变化相似,中国未来平均湿季降水量相较于参考期年际变化呈增加趋势;干季降水量变化不明显。(2)降水量的年内变幅在中国不同亚区的不同阶段相对参考期出现的空间格局整体呈现增加趋势,这是由于湿季降水量的增加和干季降水量变化较小所影响的,增加较快地区为东部季风区和青藏高原区,降水量的季节周期性强。与近期和中期相比,长期降水量年内变幅预估明显增加;从各区域来看,不同情景对长期预估影响较大,对近期和中期的预估较小。不同区域在SSP5-8.5情景下增加的可能性大于SSP2-4.5情景下。湿季降水量的空间分布与降水量的年内变幅相似,干季则基本不变。在SSP2-4.5和SSP5-8.5两种情景下用M-K趋势分析的方法得出中国年内变幅增加速率分别是0.7027和1.2218 mm·day<sup>-1</sup>·100 year<sup>-1</sup>(通过在95%的置信水平上的显著性检验)。(3)中国湿季分布在6-8月所占频率未来减少至30%(参考期(35%));中国及不同亚区湿季的时间分布曲线趋于平坦,未来出现极端气候的可能增加。从区域角度来看,西北地区未来湿季开始时期有所提前,结束时期有推迟,湿季时间变长,极端气候出现的可能性较大;青藏高原的湿季主要分布在6-9月,华南地区湿季分布在7-9月的频率与参考期相比呈明显增加趋势,4-6月呈减小趋势,未来青藏高原和华南地区的湿季有可能推迟;东北地区和西南地区湿季主要集中在6-8月,比例大于50%以上。中国整体上干季的年内时间分布频率呈U字型,未来变化较小,主要集中在11-次年2月,所占频率在70%以上。

**关键词:** CMIP6; 降水; 季节性; 预估

---

\* E-mail: xqiaofeng7@163.com

# 未来情景下长江上游旱涝时空变化分析

温泉沛, 刘敏\*, 秦鹏程, 李杨

(武汉区域气候中心, 武汉 430074)

## 摘要

全球变暖引起大气环流和水循环的变化, 影响降水的时空分布格局。2021年7月, 德国、比利时、荷兰等国遭遇500年一遇的超级洪水, 7月20日河南郑州的日降水量(624.1毫米)更是远超其2019年降水量(509.5毫米), 造成严重的城市内涝。未来预估数据显示, 温室气体的继续排放将进一步导致全球温度的升高, 中纬度大部分陆地区域和湿润的热带地区强降水强度可能更大、发生频率可能增加, 全球降水将呈现“干者愈干、湿者愈湿”的趋势, 所以研究降水变化特征对揭示气候变化及其区域社会经济和生态环境影响具有重要意义。

长江发源于青藏高原的唐古拉山脉, 其中宜昌以上为上游, 长江上游流域降水充沛且地势落差大, 水能资源极其丰富, 水库众多, 并有更大规模水库在建或拟建。同时, 因汛期降水集中, 上下游洪峰叠加, 又可对中下游流域造成严重洪涝灾害。本文基于国际耦合模式比较计划第六阶段(CMIP6)中的4个模式, 经过统计降尺度后的未来逐日降水数据, 采用多个气候模式集合平均的方法, 从网格单元尺度, 预估了2个SSP-RCP情景下未来不同时段长江上游的旱涝时空变化, 以期为上游水电开发和防洪规划提供科学依据。

研究表明: 未来80a, 长江上游年降水量、连续7d最大降水量、第95百分位的极端降水日值较基准时段1995-2014年明显增加, 而且SSP585情景下近期(2021-2040年)、中期(2041-2060年)和远期(2081-2100年)相比基准时段增加的幅度比SSP245情景的更大。而对于干旱而言, 两种气候情景下未来80a, 最大无雨日数在近期、中期和远期相比基准时段都是越来越小, 而且基于SPI计算的各等级干旱日数表明: 轻旱、中旱、重旱、特旱平均日数均呈现先增大后减小的趋势, 无旱日数则是先减小后增大。

空间上, 两种情景下, 降水日数的增幅高值中心均位于金沙江上游, 增幅低值中心位于金沙江下游部分地区; 连续7天最大降水量增幅高值中心在近期和中期均位于金沙江中下游, 远期还新增了岷沱江流域下游; 第95百分位的极端降水日值的增幅高值中心均位于金沙江中下游和岷沱江流域。干旱方面, 两种情景下, 最大无雨日数除金沙江下游部分地区、长江上游干流区宜宾至重庆段及乌江流域增加外, 大体均在减少, 减幅高值中心均位于金沙江上游。特旱、重旱日数在近期较基准期, 长江上游流域的大部是增加, 仅在金沙江上游和乌江上游部分地区减少, 中期、远期较基准期则是大体上减少的特征。

**关键词:** 预估; CMIP6; 长江上游; 旱涝

---

\* E-mail: 635282959@qq.com

# Tibetan Plateau warming response to transient and stabilized 2.0/1.5°C global warming targets

Jintao Zhang<sup>1,2\*</sup>, Fangying Wu<sup>1</sup>, Ziyi Cai<sup>1</sup>, Qinglong You<sup>1</sup>

(1. Institute of Atmospheric and Oceanic Sciences, Fudan University, Shanghai 200438, China; 2. Chinese Academy of Meteorological Sciences, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China)

## ABSTRACT

As “the third pole” of the earth, the Tibetan Plateau (TP) is a sensitive area for temperature changes in the context of global warming. This study analyzed annual and seasonal mean near-surface air temperature changes on the TP response to transient and stabilized 2.0/1.5°C global warming targets based on simulations of the Community Earth System Model (CESM), and the elevation-dependent warming (EDW) on the TP under the above scenarios was emphasized. A surface energy budget analysis is adopted to interpret the mechanisms of temperature changes. Our results indicate an amplified warming on the TP with a clear feature of EDW in 2.0/1.5°C warmer futures, especially in the winter half-year. The TP warming relative to the reference period is dominated by the enhanced downward longwave radiation, while the EDW is shaping by the snow-albedo feedback. For the same global warming level, the temperature increments under transient scenarios are  $\sim 0.2^{\circ}\text{C}$  higher than those under stabilized scenarios, and the characteristics of EDW exhibit a few discrepancies between transient and stabilized scenarios. Those differences can be primarily attributed to the combined effect of differential downward longwave radiation, cloud radiative forcing, and surface sensitive and latent heat fluxes. Our findings contribute an elaborate understanding of the regional climate on the TP response to the Paris Agreement long-term climate goals, and further highlight the significance of accounting for the differences between transient and stabilized global warming scenarios in climate and cryosphere change studies.

**Keywords:** Elevation-dependent warming (EDW); Paris Agreement; Tibetan Plateau; Transient and stabilized warming; Temperature

---

\* E-mail: jtzhang95@foxmail.com

# 内蒙古地区典型草原下垫面 CO<sub>2</sub> 通量变化特征及影响因素

白美兰\*, 吴瑞芬

(内蒙古自治区气候中心, 呼和浩特 010051)

## 摘要

草地生态系统作为陆地生态系统的重要组成参与了全球碳循环过程, 对全球气候变化具有重大影响。草地生态系统结构较为单一, 生态功能相对脆弱, 对环境的响应能力较强, 随着环境的变化波动较大, 其碳源/碳汇特征受气候条件变化影响较大。本文基于内蒙古典型草原腹地锡林浩特国家气候观象台 2007—2018 年 CO<sub>2</sub> 通量逐 30 min 观测数据及同时段气温、降水等资料, 利用 WPL 方法对 CO<sub>2</sub> 通量资料进行修正的基础上, 对典型草原牧草不同时期 CO<sub>2</sub> 通量的变化特征及影响因素进行统计分析。结果表明: (1) 内蒙古典型草原 CO<sub>2</sub> 通量存在明显的年际、季节和日变化特征, 且表现为碳汇特征, 尤以牧草生长季最为明显。CO<sub>2</sub> 通量呈夜间弱排放、白天强吸收的“U”型日变化, 其中 09:00-10:00 最大; 全年及生长季 CO<sub>2</sub> 通量以吸收为主, 夏季吸收最大, 春季和秋季次之, 冬季最小, 甚至表现为弱排放。

(2) 牧草不同生长期气候要素对 CO<sub>2</sub> 通量影响不同, 其中返青期热量因子与 CO<sub>2</sub> 通量呈负相关, 水分因子为正贡献; 开花期和枯黄期正相反, 热量因子对 CO<sub>2</sub> 通量为正贡献, 水分因子为负贡献, 且开花期热量与水分因子对 CO<sub>2</sub> 通量贡献最显著。(3) 生长季牧草植被指数 (NDVI) 与 CO<sub>2</sub> 通量表现为负相关, 且 7、8 月二者的相关性极高。

**关键词:** 典型草原; CO<sub>2</sub> 通量特征; 碳汇; 影响因素

---

\* E-mail: nmghrq@sina.com

# 气候变暖背景下东北地区采暖期变化特征研究

孙爽\*, 刘玉莲

(黑龙江省气候中心, 哈尔滨 150030)

## 摘要

利用 1961 年 1 月~2018 年 5 月东北地区 158 个台站逐日平均气温资料, 采用趋势系数、变化速率等方法, 对东北地区采暖期采暖指标的时空变化进行了分析。结果表明: 近 57 年, 东北地区采暖初日平均为 10 月 28 日, 变化速率为 0.7d/10a, 呈推迟趋势; 采暖终日平均为 4 月 3 日, 变化速率为 1.5d/10a, 明显提前; 采暖长度平均为 158 天, 变化速率为 2.3d/10a, 呈显著减少趋势; 采暖度日平均为 4252.5°C·d, 变化速率为 85.4°C·d/10a, 呈显著减少趋势; 采暖强度平均为 26.6°C, 变化速率为 0.2°C/10a, 呈减少趋势。从年代看, 20 世纪 70 年代以来, 东北区域采暖初日呈逐年代推迟, 平均推迟了 5d, 采暖终日 20 世纪 60 年代至 21 世纪最初 10 年呈提前的态势, 但 2011-2017 年略有推迟, 采暖长度呈逐年代减少趋势, 采暖度日 20 世纪 60 年代至 21 世纪最初 10 年逐年代减少, 但 2011-2017 年增多, 采暖强度 20 世纪 60 至 90 年代逐年代减弱, 但进入 21 世纪呈逐年代增强。从空间分布看, 从 9 月下旬的黑龙江北部开始向南逐渐进入采暖期, 辽宁南部采暖初日发生在 11 月中旬和下旬; 采暖终日反之, 由南向北出现, 辽宁大部及吉林西南部采暖终日出现在 3 月中旬和下旬, 黑龙江北部出现在 4 月中旬和下旬; 采暖期长度、采暖度日及采暖强度呈由北向南递减分布。采暖初日有 18 个台站呈提前趋势变化, 均没有通过 0.05 显著性检验, 131 个台站呈推后趋势变化, 其中 30%的台站通过 0.05 显著性检验, 主要分布在黑龙江南部及东部地区、吉林西北部及东部; 采暖终日各地均呈提前趋势变化, 其中 71%的台站通过 0.05 显著性检验, 主要分布在黑龙江西部及中部、吉林西北部及东南部部分地区、辽宁大部; 采暖期长度和采暖度日各地均呈减少趋势变化, 通过 0.05 显著性检验的台站占比分别为 72%和 96%, 采暖长度减少显著地区主要分布在黑龙江西部及东南部部分地区、吉林西部及东部, 采暖度日减少显著地区主要分布在黑龙江北部及中西部大部地区、吉林西部及东部、辽宁中部部分地区; 采暖强度仅有 3 个台站呈增加趋势变化, 均没有通过 0.05 显著性检验, 呈减少趋势变化的台站有 140 个, 其中 34%台站通过 0.05 显著性检验, 主要分布在黑龙江北部部分地区、吉林北部及南部部分地区、辽宁中部。

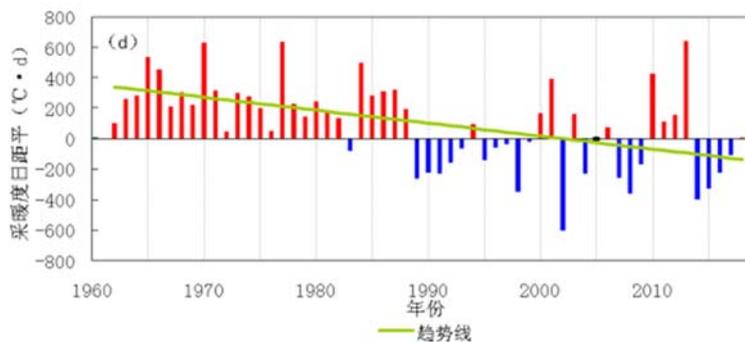


图 1 东北区域 1961-2017 年采暖度日距平变化

**关键词:** 采暖度日; 采暖期; 气候变化

\* E-mail: 283576930@qq.com

# 中国北方遥感物候特征及其气候变化响应

李鹏程\*

(北京大学, 北京 100871)

## 摘要

物候是指生物因光照、温度、降水等气候要素季节性或年际变化,而产生的与其相适应的生物生长节律,这也是自然地理学与宏观生态学研究中的重要内容。本文对1982-2010年的遥感数据(GIMMS发表的NOAA/AVHRR NDVI第三代数据集)的年内变化情况进行聚类分析,得到六类结果。其中第一类和第二类呈现明显的单峰变化趋势,且较好地符合预期;但第二类的主要分布范围为东南地区,该区域农田面积占比高,受人类活动的影响十分显著。所以从中选择物候变化较为明显且受人类活动干扰程度较小的第一类作为研究对象(该类主要分布在农牧交错带附近,植被种类以温带落叶阔叶林为主),分析植被指数的年内演变。用NDVI阈值法,不断提高阈值来更加精准地确定该区域中植被类型的物候参数,也就是植被的生长期开始和结束日期,从而确定生长期范围和长度。并结合气象数据(中国国家级地面气象站基本气象要素日志数据集(V3.0))对目标区域生长期内的一些气象要素的变化进行了分析:首先将全国的站点数据插值成格点数据,并裁剪出研究区内的气温和降水数据;然后计算了该区域植物生长期内每年的冷日日数(cooldays)、冷夜日数(coolnights)、暖日日数(warmdays)、暖夜日数(warmnights)、生长期内日较差总和(diurnal)、连续冷日日数(coldduration)、霜冻日数(frostdays)、结冰日数(icydays)、干旱日数(droughtdays)、暴雨日数(rainstormdays)等多种气象指数;最后对这些指数进行倾向率计算,研究其年际变化的情况。通过对以上数据的研究,本文得出了以下四点结论:

1) 全国物候变化状况大致可以分为趋势不同的六类,跟当地的植被分布类型密切相关,反映了不同植被类型的物候变化情况。其中第一类和第二类的分布区域最为典型,NDVI值都呈现出先升高后降低的年内变化趋势;热带地区和沙漠地区的NDVI值没有明显的年内变化。

2) 总体上来看,木本植物的物候参数变化相对符合预期,随着全球气候变暖,植物的生长期有所延长,这主要是通过生长期结束日期延后实现的,生长期开始日期并没有非常明显的提前。这说明物候现象与气温有着密不可分的关系。

3) 不同区域的生长期内降水量变化不同。降水量减少的区域主要分布在青藏高原地区,新疆西北部地区呈现明显增加的趋势,内蒙古和东北大部分地区保持不变。这意味着青藏高原地区面临的干旱风险增加,可能会对当地的生态环境造成很严重的影响。

4) 受到全球变暖的影响,部分地区生长期内遇到的极端天气事件增多,如连续干旱、连续暴雨、高温日数增多、霜冻日数增多等。青藏高原地区尤为明显。

**关键词:** NDVI; 生长期; 物候参数; 生长期内气象指数; 极端天气事件

---

\* E-mail: 1901213634@pku.edu.cn

# ENSO 和 IOBM 对现代亚洲降水氧同位素变化的影响

谢小训\*, 刘晓东

(中国科学院地球环境研究所, 西安 710061)

## 摘要

降水氧同位素 ( $\delta^{18}\text{O}$ ) 是水循环过程中水稳定同位素 ( $\text{H}_2^{16}\text{O}$ 、 $\text{H}_2^{18}\text{O}$ ) 分馏的产物, 降水  $\delta^{18}\text{O}$  蕴含了水汽在水文循环中的水文过程和气候信息, 被广泛应用于地质记录的古气候重建, 如石笋、树轮等。降水氧同位素作为地质记录的气候代用指标, 为认识地质时期的多时间尺度气候演化提供了大量素材并取得丰富的研究成果, 但目前对降水氧同位素的古气候意义仍存在较多争议。由于地质时期没有器测记录提供准确的气候信息, 使得研究地质时期氧同位素的气候指示意义充满不确定因素, 所以深入理解现代降水氧同位素的气候学意义对降水氧同位素的古气候重建至关重要。

基于水稳定同位素环流模式 (isoGSM2) 模拟的 1979~2017 年的降水  $\delta^{18}\text{O}$  数据, 研究现代亚洲降水  $\delta^{18}\text{O}$  的变化特征及其气候控制因子。通过经验正交分解 (EOF) 分析得出, 现代亚洲降水  $\delta^{18}\text{O}$  变化具有两种主模态: 包括亚洲整体一致性变化的“整体型模态”, 和东亚与南亚反相位变化的“偶极型模态”。第一模态是“整体型模态”, 其变化主要受到太平洋海温模态厄尔尼诺-南方涛动 (ENSO) 的影响, “拉尼娜”海温模态可以通过加强大尺度亚洲季风环流, 使得亚洲降水得到更多来自低纬度海洋地区的远源水汽输送, 导致亚洲降水  $\delta^{18}\text{O}$  存在大范围整体性的偏轻。第二模态是“偶极型模态”, 其变化主要受到印度洋海盆一致模 (IOBM) 的影响, 增暖的北印度洋海温加强南亚季风, 使得北印度洋和南亚地区降水增强, 从而导致南亚降水  $\delta^{18}\text{O}$  偏轻; 同时增暖的北印度洋海温通过遥相关引起西北太平洋产生反气旋环流异常, 使得西北太平洋副热带海洋上更多  $\delta^{18}\text{O}$  偏重的近源水汽输送到东亚地区, 导致东亚降水  $\delta^{18}\text{O}$  偏重, 如此 IOBM 就导致了东亚和南亚的降水  $\delta^{18}\text{O}$  存在反相位的偶极型变化。

本研究的模拟结果表明现代亚洲降水氧同位素受到太平洋和印度洋的热带海温异常的显著影响, 存在整体性和区域性的变化特征。ENSO 导致亚洲降水  $\delta^{18}\text{O}$  在年际尺度上存在亚洲大范围一致性变化, 而 IOBM 主要在年代际尺度上使得东亚和南亚降水  $\delta^{18}\text{O}$  存在反位相变化关系。模拟结果指出印度洋海温异常和太平洋海温异常对亚洲降水氧同位素具有不同的影响, 在降水氧同位素的古气候重建中应该考虑不同海区海温异常对亚洲降水氧同位素的不同影响。

**关键词:** 降水氧同位素; ENSO; IOBM

---

\* E-mail: Xiexx@ieecas.cn

# 全球变暖下温湿复合型热浪的变化和人口暴露度预估

袁嘉灿\*

(复旦大学大气与海洋科学系, 上海 200438)

## 摘要

热浪对人类健康、经济生产以及生态环境都会产生严重危害, 因而受到社会各界的广泛关注。近几十年来, 随着全球平均气温的不断升高, 高温热浪的发生频率、强度和持续时间均有上升趋势。除了高温, 较高湿度也是热浪危害人体健康的另一个重要因素。然而如何定量的衡量高温高湿的协同效应随气候变化的演变仍然是热浪的研究中的一个难点。本研究基于热力学能量平衡发展了定量衡量温湿复合热浪新方法, 在此基础上揭示了温湿复合热浪在不同程度的全球气候变暖背景下的变化特征。并在此基础上估算了全球增温 1 度, 2 度, ..., 4.5 度时全球人口暴露度及其分布。

**关键词:** 热应激; 湿球黑球温度; 温湿复合极端事件; 人口暴露度

---

\* E-mail: jcyuan@fudan.edu.cn

# Diurnal temperature range (DTR) in CMIP6

Xiubao Sun<sup>1\*</sup>, Chunzai Wang<sup>1</sup>, Wei Lin<sup>1</sup>, Guoyu Ren<sup>2,3</sup>

(1. State Key Laboratory of Tropical Oceanography, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, China 510301; 2. Department of Atmospheric Science, School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan, China 430074; 3. Laboratory for Climate Studies, National Climate Centre, China Meteorological Administration, Beijing, China 100081)

## ABSTRACT

Climate change-driven the global terrestrial surface diurnal temperature range (DTR) decreases, increasing the risks faced by ecological environment and human health across the world. Here, we use the Coupled Model Intercomparison Project phase 6 (CMIP6) simulations to investigate the potential reasons for the change of diurnal temperature range and how it will change in the future. Over the historical period (1901-2014), the observational DTR in northern hemisphere decreased by 0.24 °C, ~58% of the grids decreased significantly. Model experiments show that all DTR declines can be attributed to the potential effect of increased forcing by anthropogenic greenhouse gases. Even if current warming rate does not accelerate, changes in the DTR will still be exacerbated in the future. Under the background of anthropogenic emissions increase markedly (the shared socio-economic pathways 245 and 585), the DTR in northern hemisphere will decrease by 0.28~0.45 °C compared with that in 1901 by the end of 21<sup>th</sup> century. The decline of DTR is mainly concentrated in arid and mid latitude regions.

**Keywords:** CMIP6; projection; attribution; diurnal temperature range (DTR)

---

\* E-mail: sunxiubao@scsio.ac.cn

# 基于 CMIP6 多模式的中国未来降水变化概率预估

赵子辉\*, 郭彦

(北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875)

## 摘要

传统的基于格点的多模式集合法被广泛应用降水变化预估中,但这种格点对格点的多模式集合方法将每个看作独立,忽视了格点间关联性。GCM 模式对区域降水的模拟能力低,模式之间差异很大,格点对格点地集成多个模式时经常出现“正负值相抵”以及大吃小的问题。因此,本研究提了一种基于聚类分析的空间型多模式集合预估方法。我们利用 28 个 CMIP6 模式,使用空间分型多模式预估方法预估了 SSP2-4.5 情景下本世纪中期(2046-2065 年)和末期(2080-2099 年)中国平均降水的变化(相对于 1995-2014 年)。首先对各模式预估的降水变化场进行聚类分析,再分别对各类求取集合平均,然后估算每类降水变化发生的概率。概率使用简单频次法计算,并根据各模式历史表现 每类降水变化发生的概率。使用简单频次法计算,并根据各模式历史表现利用 rank 法确定各模式权重。由于模式对中国东部季风区和西部非季风区降水的模拟能力不一致,因此分别对西部和东部进行概率预估

在中国西部,未来降水变化有 5 种可能。本世纪中期,有 80.4%的概率是一致增湿的,其中有 67.7%的概率西部区域平均变化达到 1.33mm/day,湿中心位于四川盆地。此外,有 13.6%的概率会出现南旱北涝的降水变化。到本世纪末期,西部一致增湿的概率为 31.5%。有 41%的概率会出现中国西部大范围增湿,但在新疆西部和西藏东南部偏干的降水变化。

在中国东部,本世纪中期的降水变化有 4 种可能,55.4%的概率是一致增湿的,其中 48.7%的概率东部区域平均变化达到 6.22mm/day,湿中心位于中国南部。此外,有 24.9%的概率会出现南旱北涝的降水变化。世纪末期降水变化有 5 种可能,中国东部一致增湿的概率为 86.1%,东部区域平均变化有 34.8%的概率达到 4.17mm/day,6.7%的概率达到 7.3mm/day。另外有 13.9%的概率出现类似世纪中期南旱北涝的降水变化。

**关键词:** 中国; 降水; 预估; 评估; CMIP6

---

\* E-mail: 202021051151@mail.bnu.edu.cn

## **S6 区域气候变化监测、评估和服务**

# 次季节—季节 (S2S) 预测数据与服务

胡星\*

(国家气象信息中心, 北京 100081)

## 摘要

次季节-季节 (sub-seasonal to seasonal, S2S) 预测研究项目是由 WMO 下属的世界天气研究计划 (World Weather Research Programme, WWRP) 和世界气候研究计划 (World Climate Research Programme, WCRP) 联合建立, 在天气到气候的次季节多时间尺度预报预测业务里, 将数值天气预报应用到短期气候预测之中, 从而连接起中长期天气预报到季节预测之间的缝隙。2013 年至 2017 年是 S2S 国际合作项目的第一阶段, 2018 年底, WMO 发布了 S2S 第二阶段工作计划, S2S 国际合作项目已正式进入第二阶段。欧洲中期天气预报中心 (ECMWF) 承担全球 S2S 模式数据收集、归档、分发职责, 中国气象局和 ECMWF 是全球两大 S2S 数据中心, 两者间互为备份, 中国气象局作为最早参加 S2S 国际合作项目的成员机构之一, 积极参与到 S2S 国际合作的交流中, 展开我国的次季节尺度预测研究工作, 中国气象局 S2S 数据中心有助于提升我国全球预报预测服务能力。

S2S 数据中心收集全球 11 个国家和地区的模式集合预报数据, 包括实时预报和回算预报数据。11 个中心和模式分别为澳大利亚气象局 (BOM), 中国气象局 (CMA), 欧洲中期天气预报中心 (ECMWF), 加拿大环境及气候变化部 (ECCC), 意大利大气科学和气候研究所 (CNR-ISAC), 俄罗斯水文气象中心 (HMCR), 日本气象厅 (JMA), 韩国气象局 (KMA), 法国国家气象研究中心 (CNRM), 美国国家环境预测中心 (NECP), 英国气象局 (UKMO)。

表 1 S2S 模式数据列表

中心(简写)	时效	分辨率	实时预报			回算预报			海洋耦合	海冰耦合
			集合数	运行时间	类型	时长	集合数	运行时间		
BoM( ammc)	d 0-62	~2° × 2°, L17	33	2/week	Fixed	1981-2013	33	1/6/11/16/21/26	Yes	No
CMA(babj)	d 0-60	~0.5° × 0.5°, L40	4	2/week	Flying	2004-2018	4	00Z Mon/Thu	Yes	Yes
ECCC(cwao)	d 0-32	0.45° × 0.45°, L40	21	weekly	Flying	1995-2014	4	weekly	No	No
ECMWF(ecmf)	d 0-46	T639/319 L91	51	2/week	Flying	past20years	11	00Z Mon/Thu	Yes	No
CNR-ISAC(isac)	d 0-31	0.8° × 0.56°, L54	41	weekly	Fixed	1981-2010	1	every 5day	No	No
HMCR(rums)	d 0-61	1.1° × 1.4°, L28	20	weekly	Flying	1985-2010	10	weekly	No	No
JMA(rjtd)	d 0-33	~0.5° × 0.5°, L60	25	2/week	Fixed	1981-2010	5	10/20/31	No	No
KMA(rksl)	d 0-60	~0.5° × 0.5°, L85	4	daily	Flying	1996-2009	3	1/9/17/25	Yes	Yes
CNRM(lfpw)	d 0-61	~0.7° × 0.7°, L91	51	monthly	Fixed	1993-2014	15	1/15	Yes	Yes
NCEP(kwbc)	d 0-44	~1° × 1°, L64	16	daily	Fixed	1999-2010	4	daily	Yes	Yes
UKMO(egrr)	d 0-60	~0.5° × 0.8°, L85	4	daily	Flying	1996-2009	3	1/9/17/25	Yes	Yes

S2S 数据的气象要素共有 45 个, 所有中心的模式数据都包括了重要的基础要素, 例如

\* E-mail: huxing@cma.gov.cn

高空的高度场，温度场，U、V 风场，比湿，地面的温度、降水等，其中高度场，温度场，U、V 风场包括高空的 1000hpa, 925hpa, 850hpa, 700hpa, 500hpa, 300hpa, 200hpa, 100hpa, 50hpa, 10 hpa 共 10 个等压面层次，比湿包括高空的 1000hpa, 925hpa, 850hpa, 700hpa, 500hpa, 300hpa, 200hPa 共 7 个等压面层次，地面要素包括 2 米温度，10 米风，降水等，按要素类别可分为温度、降水、气压、湿度、风、高空环流场、辐射、地面通量等。表 2 详细列举 45 种要素的名称、简写、单位的信息。

2019 年底，S2S 数据的气象要素新增 9 个海洋相关要素，截止 2020 年 4 月，新增的海洋要素的预报中心有中国、欧洲中期天气预报中心、加拿大，新增海洋要素列表 3 所示。

S2S 模式数据文件采用 grib2 编码格式，通过数据文件名规则可区分实时预报数据和回算数据。S2S 文件命名规则如下：

s2s\_[centre]\_{yearOfCycle}\_[dataDate]\_{shortName}.grib

其中：

s2s 为固定代码，表示 s2s 数据产品；

[centre]为模式中心代码；

{yearOfCycle}为数据产品生成年份；

[dataDate]为数据文件起报时间；

{shortName}为要素名简称；

实时预报：{yearOfCyle} = [year]of[dataDate]

回算预报：{yearOfCyle} > [year]of[dataDate]

根据文件名中的年份信息可以区分实时预报数据与回算数据。实时预报数据文件名中，第一个年份数据生成年与第二个数据起报时间中的年份相等。回算预报数据文件名中，第一个数据生成年的年份大于第二个数据起报时间中的年份。

可视化产品图能让用户直观了解数据产品情况，方便用户使用数据，为进一步开展产品研发提供范例，需要在中国气象局 S2S 数据中心开展 S2S 数据的可视化工作。中国气象局 S2S 数据中心通过开展 S2S 数据产品可视化系统的建设工作，具备了面向部门内外用户提供可视化产品服务的能力。可视化系统提供包括中国、欧洲中期天气预报中心、美国等 11 个中心的 S2S 气候模式，未来 5-30 天的候、周、旬尺度，全球、东北半球、东亚、中国等区域，地面和高空的温度、降水、气压、高度场、风场、水汽场等常规气象要素的预测可视化产品，并且提供图片产品及数据文件的在线下载服务。气象部门用户可通过国家气象业务内网次季节-季节多模式预测产品专栏查看，网址为：<http://10.1.64.154/s2s/> 或 <http://idata.cma/s2s/>。部门外部用户可访问对外服务网站 <http://s2s.cma.cn>。

**关键词：**季节-次季节预测（S2S）；预报服务

# 人工智能技术在气候监测预测业务中的应用

杨琴<sup>1\*</sup>, 余亚波<sup>2</sup>

(1. 重庆市气候中心, 重庆 401147; 2. 重庆中科云从科技有限公司, 重庆 401147)

## 摘要

人工智能 (Artificial Intelligence, AI) 又称机器智能, 是指由人制造出来的机器所表现出来的智能, 即通过普通计算机程序的手段实现的类人智能技术。2010 年以后, 深度学习的发展推动人工智能技术取得了飞速发展, 前所未有的人工智能商业化和全球化浪潮席卷而来, 这为人工智能技术与气象行业结合提供了契机。已有过去的研究尝试将人工智能技术应用于气候预测模式的初值生成、预测和产品应用过程中, 内容包括观测资料的预处理、资料同化、模式积分、后处理以及高性能计算, 气候预测结果得到改进且计算速度大幅提升, 展现出良好的应用前景。研究也表明一些神经网络模型也表现出纯数据驱动预测的可能性, 在气候预测已有一些较好的应用实例。人工智能机器学习的决策树、支持向量机、朴素贝叶斯、K-Means、主成分分析等方法已在气候预测中得到应用。然而, 人工智能技术在应对气候监测预测业务的应用与发展仍面临一些挑战, 主要包括深度学习的解释性问题、与现有气候预测技术的耦合问题等。同时, 未来还需要解决人工智能预测在训练过程中计算量和数据访问量大的问题, 对大规模高性能计算机软硬件平台也提出了新的要求。

**关键词:** 气候预测; 机器学习; 决策树; 支持向量机; K-Means

---

\* E-mail: 372866522@qq.com

# 中国西南地区农业干旱灾害的风险研究

冯爱青\*

(国家气候中心, 北京 100081)

## 摘要

我国西南地区干旱频繁且严重, 了解其干旱风险格局变化对防灾减灾具有重要意义。本文对西南地区未来 30 年干旱灾害、农业经济损失和受灾人口的空间风险格局进行了研究。(1)到 2050 年, 我国西部地区的干旱灾害可能显著增加, 而西南中东部地区的干旱灾害可能减少。RCP4.5 情景下, 与 1980-2010 年基准期相比, 四川中东部、云南西北部和西南部的高风险区可能显著增多, 中部的低风险区正在向东北扩展。(2)与此同时, 农业干旱经济损失高风险区域将显著扩大。四川盆地大部分地区、云南中西部和广西东部地区将面临高风险损失, 但中风险区域将缩小, 西北地区的低风险区域将扩大。在 RCP4.5 下, 四川盆地中部高风险区和中风险区增多。更严重的是, 在 RCP8.5 下, 云南南部将演变为中风险区。(3)在 RCP2.6、4.5 和 8.5 情景下, 部分中风险区域将逐渐转变为高危区域, 云南南部和贵州西部风险增加, 云南北部和广西西北部风险降低。

**关键词:** 农业干旱; 风险; 预估

---

\* E-mail: fengaq@cma.gov.cn

# 基于 GIS 的云南早熟鲜食葡萄气候适宜性区划

徐梦莹\*

(云南省气候中心, 昆明 650034)

## 摘要

研究云南早熟葡萄种植的气候适宜性, 充分利用气候资源, 找出早熟葡萄种植的适宜区域。基于 1981 年至 2010 年云南 125 个气象站观测数据, 结合早熟鲜食葡萄生长所需气候条件, 通过分析影响生长和品质的主要气候因子, 筛选出 5 月 $>10^{\circ}\text{C}$ 活动积温、1-5 月 $>10^{\circ}\text{C}$ 活动积温和 4-5 月降水量 3 个气候适宜性区划指标。采用 GIS 技术对云南早熟葡萄种植进行气候适宜性精细化区划。结果表明, 最适宜区占 1.9%, 主要分布在我省干热河谷区, 楚雄州的元谋、永仁东南部、双柏南部、大理州的宾川坝区、丽江市的华坪东部、永胜中部和南部、保山市的昌宁西部、怒江州的六库局部; 适宜区占 8.8%, 主要分布在最适宜区周边以及红河州的建水中北部、弥勒、石屏中部、开远东北部、蒙自中部, 楚雄州的双柏中部、禄丰南部, 昆明市的东川中部、宜良中部, 玉溪市的新平北部和东部、峨山中部、华宁东部, 普洱市的景东中部、镇源北部、澜沧北部, 大理州的弥渡中部、南涧东北部, 临沧市的云县、翔临区中部、双江西北部; 昭通市的巧家西部、怒江州的泸水局部、保山市的隆阳区南部; 次适宜区占 27.2%; 不适宜区占 62.1%。本研究将云南划分为 4 个早熟葡萄栽培气候区, 对不同气候区进行分区评价, 并对该地区葡萄的区域化种植提出建议, 以为云南葡萄产业的发展提供可靠的理论依据。

**关键词:** 气候资源; 适宜性; 葡萄; 云南

---

\* E-mail: 234988464@qq.com

# 贵州省区域性凝冻过程的指标确定及应用

李忠燕<sup>1,2\*</sup>, 任曼琳<sup>1</sup>, 严小冬<sup>1</sup>, 谭娅姮<sup>1</sup>, 王烁<sup>1</sup>

(1. 贵州省气候中心, 贵阳 550002; 2. 贵州省山地气候与资源重点实验室, 贵阳 550002)

## 摘要

目前针对区域性凝冻过程指标的定义分别来自《贵州短期气候预测技术》、国家标准冰冻天气等级 (GB43/T 34297-2017)、地方标准贵州省凝冻灾害等级 (DB52/T 652-2010)。将三种定义进行比对, 最终规定某日监测区域内有 8 站及以上出现凝冻则为一个区域性凝冻日, 若监测区域内连续出现 3 天及以上区域性凝冻日, 则一次区域性凝冻过程开始, 连续出现 2 天非区域性凝冻日, 则该次区域性凝冻过程结束, 过程首个区域性凝冻日为过程开始日, 最后一个区域性凝冻日为过程结束日, 开始日至结束日 (含) 的天数为过程持续天数。按照这一定义, 1961~2019 年 59 年间贵州省共计出现 134 次区域性凝冻过程, 并对区域性凝冻过程的时空分布特征、分级标准、分型等级进行分析。结果表明: 贵州省年平均区域性凝冻过程次数为 2.3 次, 呈“偏多—偏少—偏多—偏少”的趋势变化, 主要存在 7~8a、3~4a 的年际变化周期, 集中出现在 12 月至翌年 2 月, 其中 1 月占比最多, 2 月次之。区域性凝冻过程易发区域集中在贵州省中部一线。根据 134 次区域性凝冻过程中每次过程各县站出现雨淞天数的空间分布特征对其进行聚类, 分为中东部型、中部型、中西部型、西部型、全省型五个类型。根据 134 次区域性凝冻过程的综合强度将其划分为一般、较强、强和特强 4 个等级, 不同等级间其表现特征不同。

据区域性凝冻过程的分级标准, 挑选出 2000 年以后的 9 次强区域性凝冻过程和 9 次一般性区域性凝冻过程, 运用 NCEP/NCAR 和 ECMWF 的日再分析资料, 对贵州省不同强度区域性凝冻过程对比分析。结果表明: 9 次强区域性过程对应的气温偏低幅度和范围、凝冻持续天数和范围、逐日影响站次均明显强于 9 次一般过程。环流场上, 9 次强区域性凝冻过程中在华中地区至贵州一线均存在偏北风回流, 贵州省的南侧均存在偏南风 and 切变线。而 9 次一般性区域过程中是否出现偏北风、偏南风和切变线并不具有统一的特征。温度场上, 强区域性凝冻过程均存在逆温区, 逆温区大值中心基本位于贵州凝冻频发带的东部, 850hPa 温度场 0°C 线基本上南压至贵州西部-广西北部-湖南南部-江西南部一线。而 9 次一般性区域过程中是否存在逆温区、逆温区大值中心位置和 850hPa 温度场 0°C 线南压的位置等均不具有统一的特征。温度随高度和时间的剖面图上, 强区域性凝冻过程中出现冷-暖-冷的夹心结构的次数较一般性区域过程的偏多, 其暖心结构中心强度和持续时间也相对较强和较长。强区域性过程中近地面层 0°C 线 (黑实线) 最低位置较一般性区域过程明显偏低, 表明近地面冷平流的强度相对较强。

**关键词:** 凝冻; 雨淞; 分类; 贵州

---

\* E-mail: 523257762@qq.com

# 安庆地区 2019 年伏秋连旱气象服务探讨

蔡冬梅<sup>1\*</sup>, 张丽<sup>2</sup>, 秦伟<sup>1</sup>, 程向红<sup>1</sup>, 孔令帅<sup>1</sup>, 钱俊<sup>1</sup>

(1. 桐城市气象局, 安庆 231400; 2. 安庆市气象局, 安庆 246000)

## 摘要

2019年8月11日至11月24日, 安庆地区出现严重的伏秋连旱。安庆地区平均降水量较历史同期偏少8.6成; 降水量最少的望江县仅为30.3mm; 除宿松县外其余市县均为有气象记录以来降水最少年。温度高、降雨少、蒸发量大导致土壤墒情快, 气象干旱迅速发展。持续干旱给群众生活、社会经济、农业生产、森林防火等造成了严重影响。这次伏秋连旱有以下特点: (1) 降水量为同期有气象记录以来最少, 且区域分布极不均匀; (2) 干旱持续时间长; (3) 灾害影响广, 干旱程度重。

2019年9月24日至2019年11月25日进入重大气象灾害(干旱)Ⅲ级应急响应, 安庆市气象局在应急响应期间出色地完成了抗旱救灾气象服务工作。期间应急服务特点如下:

- (1) 密切监视天气变化, 准确掌握气象干旱发展情况, 及时启动重大气象灾害应急响应。
- (2) 积极加强与其他部门联动, 齐心协力抗旱救灾。
- (3) 针对性强的服务产品多样化, 为相关部门决策提供科学依据。
- (4) 抓住久旱转雨时机, 多次及时开展人工增雨作业。
- (5) 加强宣传工作, 提高全民防旱减灾意识和能力。

此次抗旱救灾气象服务中的一些总结与思考探讨:

(1) 此次伏秋连旱的灾前、灾中、灾后的各项气象服务为抗旱救灾起到了积极的作用。气象部门要根据本地区气候特征, 联系抗旱工作实际需求, 加强土壤墒情监测和旱情监测分析评估工作, 结合旱灾影响区域的经济、人口、社会运行状态等综合指标, 建立干旱灾害评估业务系统, 完善旱情的监测分析和预报预警工作机制, 主动及时为各级政府部门提供旱情分析、旱情发展趋势预报预测意见及农业生产对策建议。

(2) 安庆市气象局积极主动加强与各部门联动, 齐心协力为抗旱救灾服务。积极及时主动与防汛抗旱指挥部、农委、水利、森林公安等部门实行资料共享, 充分交换雨情、农情、灾情、森林火险等信息, 认真分析干旱对安庆市生活生产的影响, 有针对性地组织开展干旱气象服务工作, 畅通信息传播渠道, 多种形式、多种渠道发布干旱气象信息。

(3) 人工增雨作业是气象科技转化为生产力的直接手段, 在抗灾减灾中作用突出[2]。只有努力提高预报预测准确率和预报精细化水平, 才能在旱情发展的关键时期抓住有利时机, 实施人工增雨, 减轻旱灾造成的损失。

(4) 在本次抗旱过程中, 安庆市气象局切实加大宣传工作力度, 充分利用手机短信、网站、报社、电视台、气象网站、中国气象频道、报纸、广播等媒体, 全力做好高温、干旱等气象灾害的防范应对、森林防火等气象防灾减灾的宣传。通过悬挂宣传标语、设立宣传展板、发放宣传资料、现场咨询等多种形式向广大市民开展防旱减灾知识宣传, 提高全民防灾减灾的意识和能力。

**关键词:** 伏秋连旱; 气象服务; 人工增雨; 抗旱救灾; 部门联动

---

\* E-mail: 70576904@qq.com

# 秦岭主峰太白山气候季节划分探讨

雷向杰<sup>1\*</sup>, 于冰<sup>2</sup>

(1. 陕西省气候中心, 西安 710014; 2. 宝鸡文理学院, 宝鸡 721013)

## 摘要

太白山气温垂直差异大, 低海拔地区四季分明, 太白、华山等海拔较高地区常年无夏。2019年6月, 太白山拔仙台气象站(3730m)建成, 其2019年6月—2021年3月日平均气温5日滑动平均气温序列没有 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ , 最大值 $9.6^{\circ}\text{C}$ , 出现在2019年7月26-30日, 根据我国气候季节划分的气象行业标准判定其近两年只有冬季。

拔仙台气象站为高山无人值守自动气象站, 自然环境恶劣, 日平均气温有缺测, 但对气候季节划分影响不大。拔仙台气象站日最高和最低气温缺测比平均气温少, 因此, 计算日最高和最低气温平均值, 作为日平均气温的辅助序列, 所得5日滑动平均气温序列没有 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ , 最大值 $9.9^{\circ}\text{C}$ , 也出现在2019年7月26-30日, 季节判定结果同样只有冬季(图1)。

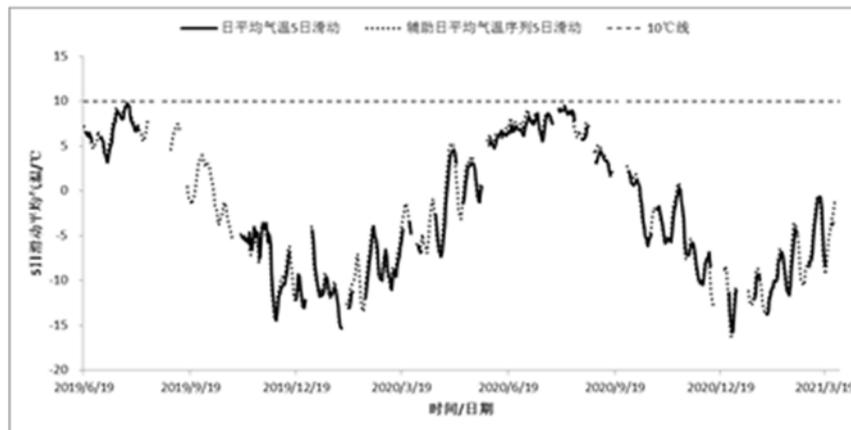


图1 拔仙台气象站2019年6月至2020年3月日平均气温和辅助序列5日滑动平均气温

气候季节划分标准规定, 用常年气温序列和常年5日滑动平均气温序列确定常年气候季节, 目前常年值使用1981-2010年平均值。拔仙台气象站2019年建成, 无法直接计算常年气温序列。但太白山境内有常年气温序列的国家气象站和2012年8月建成的秦岭太白剖面气象观测系统(19个气象站), 已有气温监测资料分析结果表明太白山气温随海拔高度递减率冬季小, 夏季大, 6-9月南北坡平均气温递减率都在 $0.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 以上, 个别月份可达 $0.7^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ; 6-9月是太白山一年中最暖的时期, 拔仙台气象站如果出现春季或春秋季节, 只可能出现在这个时期。因此, 基于距拔仙台气象站较近的太白和眉县气象站常年气温序列, 利用两个气象站与拔仙台气象站之间的海拔高度差和气温随海拔高度递减律( $0.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ )计算拔仙台气象站常年气温序列和5日滑动平均气温序列, 所得5日滑动平均气温均 $\leq 10^{\circ}\text{C}$ , 划定拔仙台气象站常年气候季节类型为常冬区。

拔仙台最高峰3771.2m, 由太白和眉县两个气象站计算和判定其常年气候季节, 结果均为常冬区。

\* E-mail: Lei\_xiang\_jie@sina.com

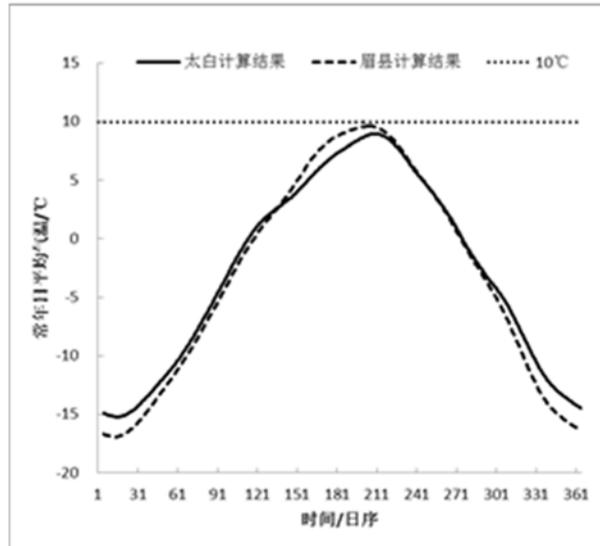


图 2 由太白和眉县气象站常年日平均气温序列计算得到的拔仙台气象站常年 5 日滑动平均气温序列

“太白积雪六月天，拔仙绝顶插云端”，“朝辞盛夏酷暑天，夜宿严冬伴雪眠”是古人对以高、冷闻名的太白山的生动描述。早在 1992 年，西北大学陈明荣教授就将秦岭主峰太白山海拔 3400m 以上划分为亚寒区。随着气象观测技术和设备的进步，气象监测网的不断完善和科学考察活动增多，对太白山的认识不断深入。拔仙台气象站近两年监测数据证实这里最热月平均气温 $\leq 10^{\circ}\text{C}$ ，一定程度上验证了划定亚寒区的正确性。2021 年 1 月 17 日拔仙台气象站最低气温 $-25.9^{\circ}\text{C}$ 。2016 年 1 月 24 日 4 时，太白山海拔高度 3378m 和 3213m 的文公庙和上板寺气象站气温分别为 $-32^{\circ}\text{C}$ 和 $-30.3^{\circ}\text{C}$ ，证实太白山顶峰极其寒冷。

秦岭主峰太白山存在常冬区，但面积不大，未来 10~30a 气候变化对这一区域会产生什么样的影响，需要持续的监测和评估。

**关键词：**季节划分；气候；秦岭；太白山

# 丹江口水库及周边水资源监测评估

薛龙琴<sup>1,2\*</sup>

(1. 中国气象局农业气象保障与应用技术重点实验室, 郑州.450003; 2. 河南省气象科学研究所, 郑州 450003)

## 摘要

作为南水北调中线工程的水源地,丹江口水库及其流域内的水资源状况受到社会的广泛关注,水资源的丰沛及水库的水质好坏将直接影响中线工程的综合效益。高分一号卫星遥感数据,该星是我国高分辨率对地观测系统的第一颗卫星,具有高空间分辨率、多光谱与宽覆盖相结合的特点,本文采用 2015-2020 年高分一号卫星数据,开展丹江口水库及周边水体面积及水质(叶绿素浓度 a 及总悬浮物浓度)监测,对区域内水资源生态状况进行评价,为库区水资源生态环境管理保护提供支撑。根据水体在不同波段间反射率差异以及水体与其他地物光谱反射率的不同特征,利用归一化水体指数(NDWI)阈值分割法提取了丹江口水库及周边湿地水体,研究区 2015 至 2020 年水体面积在 270km<sup>2</sup>和 381.0km<sup>2</sup>之间,其中 2018 年由于降水充沛,水体面积最大,2016 年水域面积最小,6 年间研究区域水体面积呈增加趋势,为南水北调提供了充足的水源保障。利用观测数据本地化 APPEL 模型参数,对 2015 年-2020 年丹江口湿地及周边区域水体叶绿素 a 浓度进行反演,结果显示:在季节变化上,区域内秋季的水体叶绿素 a 浓度大多低于春季,在年度变化上,水体叶绿素 a 浓度在近 6 年内呈现波动升高趋势,在区域内分布来看,丹江口水库叶绿素 a 浓度明显低于区域内河流及河滩等其他湿地。根据高分 1 号影像数据的波段设置,结合野外实测数据和水体的光学特性,建立 TSM 浓度反演模型。对反演的 2015 年-2020 年丹江口湿地及周边区域水体总悬浮颗粒物浓度统计计算,结果显示:丹江口湿地及周边区域水体总悬浮颗粒物浓度较低,在季节变化上,春秋季节区域内总悬浮颗粒物浓度变化不明显,在年度变化上,总悬浮颗粒物浓度在近 6 年内呈现缓慢升高趋势,在区域内分布来看,丹江口水库总悬浮颗粒物浓度低于区域内其他水体。从 2015-2020 年水体面积和水质监测结果来看,目前丹江口水库及周边水体水源充沛、水质良好。

**关键词:** 高分一号; 归一化水体指数; 水质监测; 丹江口水库

---

\* E-mail: 752366302@qq.com

# 渤海海峡客运航线影响预报研究

邬晓冬\*, 赵华睿, 李昱茜, 王团团

(大连市气象服务中心, 大连 116001)

## 摘要

大连-烟台海上航线是连接华东地区与东三省最便捷的海上通道,目前省际航线有11条,客滚船舶23条,大部分在2万吨以上,气象服务需求旺盛,对航线预报的提前量和精准性有较高要求。

渤海海域航行常常会遭遇较大的风浪以及能见度不良的恶劣海况,统计的海难事故多发于这种恶劣气象环境。依据各个影响因素分析,最终选取风舷角、风速、浪向、浪高、能见度为影响航行安全最主要的因子。航行风险等级分为四个等级,绿色:基本无风险;黄色:有可忽略的风险;橙色:在可忽略线与不可容忍线之间,即在此条件下对船舶安全威胁较大;红色:不可容忍风险,即在此条件下,严重威胁船舶安全。

### (一) 风和海浪对航行影响的风险等级

将风要素的红色风险等级与辽宁省海事管理部门的规定(8级)相一致。引入风舷角来共同定义大风对于船舶航行的影响。当风舷角(图1)在80°-100°之间时,对船舶航行的影响是最大的。

结合风级,将风对船舶航行安全的影响划分如下:

表1 风要素的风险等级划分

风级 风舷角(°)	平均风 $\geq$ 8级 或阵风 $\geq$ 10级	7 $\leq$ 平均风 $<$ 8级 或阵风9级	6级 $\leq$ 平均风 $<$ 7级 或7级 $\leq$ 或阵风 $\leq$ 8级	平均风 $<$ 6级或 阵风 $<$ 7级
80-100	红色风险	橙色风险	橙色风险	黄色风险
45-80 或 100-135	红色风险	橙色风险	黄色风险	绿色风险
10-45 或 135-170	红色风险	橙色风险	黄色风险	绿色风险
0-10 或 170-180	红色风险	橙色风险	黄色风险	绿色风险

船舶在波浪中的摇荡运动,对船舶安全有威胁的摇摆是横摇、纵摇和垂荡。船舶的遇浪角(浪舷角,图2)在90°附近,容易出现横谐摇的情况。事故统计结果表明,最危险的波向角为横浪和135°-225°的顺浪和偏顺浪。

结合浪高(有效波高),将海浪对船舶航行安全的影响划分如下:

表2 海浪要素的风险等级划分

有效波高 H 波向角(°)	$\geq$ 4.0m	3.0~4.0m	2.0~3.0m	$<$ 2.0m
60-120 或 240-300 或 135-225	红色风险	橙色风险	橙色风险	黄色风险

\* E-mail: 641704861@qq.com

330-30	红色风险	橙色风险	黄色风险	绿色风险
300-330 或 30-60 或 120-135 或 225-240	红色风险	橙色风险	黄色风险	绿色风险

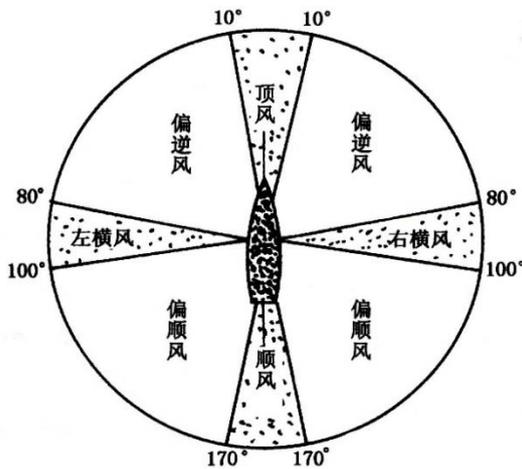


图 1 风舷角示意图

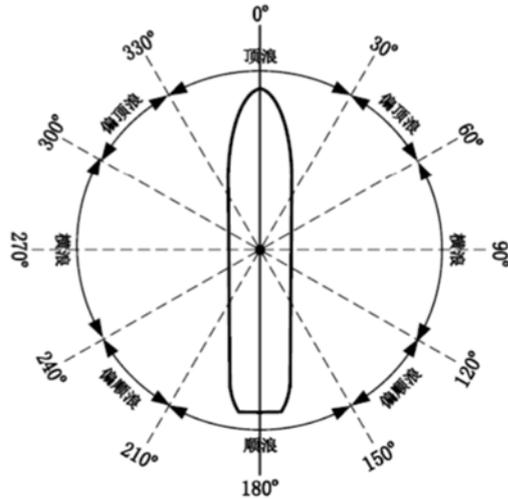


图 2 波向角示意图

(二) 能见度对航行影响的风险等级

能见度较低时，船舶驾驶人对自己的运动结果和避让效果难以迅速断定，严重影响船舶安全，将能见度对船舶航行安全的影响划分如下：

表 3 能见度要素的风险等级划分

能见度	风险等级	能见度	风险等级
≤0.1km	红色风险	0.5~1.0km	黄色风险
0.1~0.5km	橙色风险	≥1.0km	绿色风险

最终，船舶航行风险等级取各影响因素的风险等级中最大值为： $G = \text{Max}(G_w, G_{WA}, G_V)$ ，其中， $G$  为航行风险等级； $G_w$  为风力因素风险等级； $G_{WA}$  为海浪因素风险等级； $G_V$  为能见度因素风险等级。

表 4 船舶航行风险等级名称及含义

船舶风险等级	绿色风险	黄色风险	橙色风险	红色风险
含义	风险很小：船舶可以在此状态下正常航行。	风险较小：船舶可在此状态下航行，但应注意在必要时，须严格遵守航行的有关规定。	船舶安全存在较大威胁：船舶可根据自身情况决定是否在此条件下航行，但应尽可能避免长时间在此状态下航行。	船舶安全存在严重威胁：船舶应完全避免在此状态下航行。

关键词：船舶航行风险；风浪；能见度；渤海海峡

# 基于卫星反演产品的贵州降雹识别指标研究

彭宇翔\*, 文继芬, 李皓, 唐辟如, 刘涛

(贵州省人工影响天气办公室, 贵阳 550081)

## 摘要

BP 神经网络模型是一种多层前馈神经网络, 常用于处理识别、分类及回归等问题。本文以贵州已业务化的 FY-2G 卫星反演产品为模型的输入参数建立 BP 神经网络模型, 开展贵州降雹识别指标研究。

近年来, 很多学者利用卫星红外云图、中波红外以及反演产品等资料针对冰雹等对流天气系统进行了研究, 如: 2004 年, 安晓存等分析了云顶亮温梯度、云顶亮温等特征与冰雹之间的关系; 2014 年, 孙玉稳等分析了 1987 年 5 次降雹个例的云系的云顶温度与地面雹雨分布特征; 2018 年, 朝鲁门利用卫星遥感技术开展了冰雹灾害监测研究; 2019 年, 倪煜淮等利用 FY-2D 逐小时亮温资料对一次冰雹天气过程进行了分析研究等; 2020 年, 刘小艳等利用 CPAS 系统统计分析冰雹个例的 FY-2G 卫星反演产品的特征参数及其时间变化。但是, 现阶段还没有学者利用 FY-2G 卫星反演产品进行系统的降雹识别研究。FY-2G 卫星提供的反演产品虽已用于贵州人工影响天气监测预警业务, 但针对冰雹云的监测还主要是依靠地面雷达, 卫星反演产品主要是对全省云系发展进行较大范围的宏观监测, 且主要是依靠个人经验进行主观定性判断, 针对反演产品对降雹是否具有实质性的指示作用还没有进行过深入研究。因此, 本研究主要基于 FY-2G 卫星反演产品, 建立 BP 神经网络降雹识别模型, 验证卫星反演产品对降雹进行识别的效果。

本文以 FY-2G 卫星 7 项反演产品(云顶高度、云顶温度、过冷层厚度、光学厚度、有效粒子半径、液水路径、黑体亮温)为输入参数建立 BP 神经网络模型, 对 2020 年至 2021 年贵州 22 个冰雹日 143 个降雹点与 143 个未降雹点进行识别研究。将建立的反演产品数据, 分为模型训练集和模型检验集。利用训练集 246 组数据(包括 123 组降雹点数据与 123 组未降雹点数据)对模型进行训练, 完成 BP 神经网络模型建立。利用剩余 40 组数据(包括 20 组降雹点数据与 20 组未降雹点数据)作为模型检验集, 验证模型识别效果。结果表明, 所建 BP 神经网络模型降雹识别准确率为 85%, 其中对 20 个降雹点识别准确率为 95%, 对 20 个未降雹点识别准确率为 75%。这表明该模型对所建立数据集中降雹点识别准确率高于未降雹点的识别准确率; 将降雹点识别为未降雹会导致实际业务中的漏报, 而将未降雹点识别为降雹点会导致空报, 所建立的模型漏报率(5%)低于空报率(15%), 这表明该模型在人工影响天气冰雹识别业务中存在一定空报率的同时保证较低的漏报率, 一定程度有利于减轻冰雹灾害的影响。

**关键词:** 冰雹; 卫星; 识别; 贵州

---

\* E-mail: 1070792379@qq.com

# 影响飞行的航空气象要素特征研究

李新芳\*, 郭双蕾

(中国民用航空飞行学院洛阳北郊机场/洛阳分院, 洛阳 471001)

## 摘要

本文通过对洛阳邙山北郊机场近些年, 航空气象要素地面观测资料相关统计, 分析气象要素风、雷暴、温度、湿度、气压、气温分布特征, 及年变化、日变化特点, 揭示其变化规律, 了解机场气候特点, 使得有计划安排飞行训练任务和航班运输生产, 保障飞行安全, 提高经济效益。洛阳北郊机场位于 N 34°44'29", E 112°23'16", 属于中纬度内陆性季风气候, 四季分明, 春季和秋季天气更替变化幅度大、春秋季节寒乍暖, 温度变化幅度较大。冬季和夏季天气变化缓慢。冬季降雪, 夏降水, 洛阳处于河南省西部, 地势西高东低, 境内山川丘陵交错, 地形复杂多样, 洛阳市位于暖温带地带, 气候具有春季多风、气候干旱, 夏季炎热、雨水集中, 秋季晴和, 日照充足, 冬季干冷、雨雪稀少的显著特点北面是太行山, 南面是伏牛山, 西面是秦岭, 东面是黄河河谷, 形成“马蹄形”特殊地形, 地势西高东低洛阳西部为山区, 机场处在山区的背风坡, 中纬度西风带上的天气系统翻山后移速加快, 造成洛阳天气过程发生、发展、消亡较快, 因而雨雪天气一般持续时间较短, 转晴较快, 少连阴雨天气。

2012-2016 年, 雷暴气候特征洛阳机场有 88 天出现雷暴。按月份来计, 7 月份出现日数最多, 达 35 天, 平均每年 7 天, 最多的一年(2013 年)7 月出现 10 天雷暴。其次, 6 月份平均每年 3 天, 2016 年最多, 出现 6 天。雷暴主要集中在 6、7、8 三个月, 达全年雷暴日数的 79.7%。而 1 月份、10 月份、11 月份、12 月份, 则没有出现雷暴; 2、3 月份雷暴也很少出现。雷暴日变化: 雷暴多出现在午后至前半夜, 主要集中在 UTC08-UTC16 时, 5 年间各时段出现 13 次及以上。后半夜至中午前后出现雷暴次数较少, UTC17-UTC06 时, 5 年间各时段出现均在 5 次以下。一天中 UTC11、UTC12 时段出现次数最多, 5 年间均出现 30 次, 平均每年 6 次。

温度、气压、湿度气候特征, 冬季 1 月份温度最低, 1.2 度, 7 月份最高 27.8 度, 最高最低相差 26.6 度。整体温度分布冬季夏季逐渐上升, 春季过度阶段温度变化幅度较大, 3 月份 10.8 度, 5 月份 21.8 度相差幅度 10 度左右, 夏季温度变化较小, 秋季 9 月份 16.3 度, 10 月份温度 8.2 度相差 8 度。洛阳季节特点, 春天和秋天气候短暂, 春天温度升温快达到夏天温度。秋季也是一样, 秋风扫落叶, 一场秋雨一场寒, 很快降温到冬天温度。极端最高气温为 41.7°C, 出现在 2014 年 7 月 21 日; 极端最低气温为 -10.5°C, 出现在 2016 年 1 月 24 日。7 月份最热, 1 月份最冷。最高和最冷温度差 51.2 度, 春夏交替期间温度、气压要素变化剧烈, 会出现飑线、冰雹、风切变等现象天气对航空安全影响较大。

航空要素统计分析, 邙山北郊机场可飞天气较多。冬季早晨大雾, 春季大风, 夏季雷暴天气引起飞行注意, 这些天气的频繁出现对飞行训练民航安全有一影响, 因此掌握不同季节要素特征, 可以使我们的保障更有针对性, 更有效果, 尤其对于训练飞行, 单飞学员天气特点一定要掌握要素变化规律, 使得单飞学员有的放矢、心中有数更安全保障训练飞行。同时, 由于统计资料的年限较短, 连续性不够, 有些规律有商榷之处, 在今后工作中继续分析更加科学、合理。为更多安全飞行年提供好优质气象服务。

**关键词:** 气象要素; 气候特征; 可飞天气

---

\* E-mail: 879059188@qq.com

# 武汉地区气温变化对支气管炎发病的影响研究

赵小芳<sup>1\*</sup>, 雷小妹<sup>2</sup>, 刘敏<sup>1</sup>, 方思达<sup>1</sup>, 徐汇<sup>2</sup>

(1. 武汉区域气候中心, 武汉 430074; 2. 华中科技大学同济医学院附属同济医院, 武汉 430030)

## 摘要

呼吸系统疾病因其高患病率呈现逐渐上升趋势, 越来越引起人们的关注, 而随着全球变化和人类活动的加剧, 气象因素对人体健康的影响逐渐凸显, 并且气象因素对人体健康的影响呈非线性且存在滞后效应, 即人群的健康效应不仅受当天暴露的影响, 还可能受昨天乃至之前一段事件暴露水平的影响。本文基于 2014-2019 年的逐日站点气象资料和武汉同济医院支气管炎的逐日门诊量, 研究了典型呼吸系统疾病支气管炎的演变特征规律, 采用分布滞后非线性模型 (distributed lag nonlinear model, DLNM), 分析了气温对支气管炎门诊量的滞后效应和累积效应, 并给出气温影响支气管炎接诊量的阈值, 以及对接诊量的定量影响。

结果表明: 支气管炎在 10、11、12 月就诊人数偏多, 11 月达到最大, 2、7、8 月就诊人数偏少, 在季节尺度上秋季最多, 夏季最少。标准化之后的支气管炎与平均气温, 呈明显的反相分布, 气温较低的时候, 支气管炎的门诊人数多, 但支气管炎就诊人数与气温之间不是简单的线性关系 (图 1), 加之环境的变化到人体发生生化和生理变化出现症状需要一些时间, 一般一个完整的天气过程时长约为 1 至 2 周左右, 因此考虑最长累积滞后时长为 15 天, 混杂因素为时间趋势, AQI, 相对湿度, 星期几效应, 概率分布使用类泊松分布, 利用 DLNM 模型同时评估气温对支气管炎门诊量的滞后效应和非线性效应。

温度较低时, 气温在 0-8°C 对支气管炎接诊量存在滞后效应, 普遍滞后 10-13 天。其中当气温达到 6°C 时, 气温对支气管炎接诊量的影响最大, 这时气温每超过阈值 1°C 将会导致接诊量增加 8.1%, 并存在 12 天的滞后期。当温度逐渐升高至 10~20°C 区间时, 当天影响或滞后 1 天的影响增大 (图 2), 特别是在温度达到 14°C 时, 气温对当天接诊量的影响达到最大, 这时气温每超过阈值 1°C 将会导致接诊量增加 13.1%, 存在较大健康风险。气温超过 22°C 之后, 气温的影响就明显减弱了, 到温度升高到 30°C 左右, 气温对支气管炎接诊量影响消失。

根据中国气象行业标准《QX/T 152—2012 气候季节划分》, 秋季气温范围正好在 10-22°C 之间, 而这段时间支气管炎就诊人数也是最多的, 更能说明此时气温是影响支气管炎就诊人数增多的重要因素, 验证所得结论。

另外, 气温对支气管炎就诊人数的累积效应随着累积时间的增加, 危险性逐渐增大, 并在累积 15 天达到最大。气温在 14°C 之前, 气温越高, 危险性越大, 14°C 之后, 气温越高, 危险性越小。

**关键词:** 发病率; 呼吸道疾病; 极端温度

---

\* E-mail: 635546725@qq.com

# 武平县负氧离子浓度预报模型的建立及检验分析

朱冬梅\*, 卢海深, 蔡添星

(福建省武平县气象局, 龙岩 364300)

## 摘要

福建省武平县地处闽粤赣三省交界处, 气候独特, 溪流密布, 是首批国家全域旅游示范区, 2017年创福建省首个“中国天然氧吧”, 2020年获“中国天然氧吧”综合效益指数全国第一。文章通过对武平县城站和梁野山景区站负氧离子浓度的数据进行分析, 开展其与气温、相对湿度、雨量等气象因素相关性研究, 建立负氧离子浓度最优预报模型, 深度融入“来武平, 我氧你”的旅游宣传口号, 为“中国天然氧吧”生态文明建设提供数据支撑。文章选取2017年12月-2018年11月武平县城站(25.05°N, 116.06°E, 海拔高度307m)及梁野山景区(25.09°N, 116.08°E, 海拔高度593m)2个站点逐月、逐日、逐时负氧离子浓度实况资料, 分析负氧离子浓度与相对湿度、气温、雨量等气象要素的相关性, 采用SPSS软件选取与负氧离子浓度相关性好的气象要素作为逐步回归方程的预报因子, 建立最优预报模型并进行检验。(1)通过对武平县负氧离子浓度变化与气象因子的相关性分析, 城区站和梁野山站影响负氧离子浓度的气象要素略有不同, 影响武平县负氧离子浓度日变化的关键气象因子为相对湿度, 并与之呈正相关。(2)从负氧离子浓度在不同天气背景下的变化特征分析, 发现负氧离子浓度在有雨天高于无雨天, 梁野山站负氧离子浓度日平均值高于城区站, 梁野山负氧离子浓度极值差异相对较小。(3)选取城区站2018年9月7日一次强降雨天气过程作为典型个例进行分析, 发现负氧离子浓度有明显的日变化, 呈现双峰值, 波动起伏特征明显, 负氧离子浓度变化峰值与降水峰值有较好的对应关系, 并且与相对湿度、雨量呈正相关, 相关系数分别为0.770和0.538。(4)将日平均负氧离子浓度作为因变量Y, 相对湿度、雨量、最高气温、最低气温、平均气温作为自变量, 采用SPSS软件选取多元线性回归和曲线回归(线性、对数、二次项式、S模型等多种函数)进行拟合, 选取最优方式进行逐步回归, 建立了R方最大且通过显著性检验的模型。按照分季节的气象要素相关性影响, 建立精细化城区站负氧离子浓度预报模型。从武平县负氧离子浓度预报模型检验来看, 利用相对湿度建立的负氧离子浓度预报模型具有较好的预测能力, 城区站分季节负氧离子浓度预报模型的预报值与实际值更为接近。为了进一步开展负氧离子在生态旅游中的服务, 强化福建智能网格预报产品的应用, 在负氧离子浓度预报模型建立后结合精细化智能网格预报产品, 开展0~24小时负氧离子浓度预报, 为“中国天然氧吧”生态文明建设提供数据支撑, 建立具有武平特色的旅游气象服务产品, 为武平文化旅游产业发展增加效益。

**关键词:** 旅游气象服务; 负氧离子; 预报模型; 相关性

---

\* E-mail: Jennt999@163.com

# 黄河源土壤冻融过程中陆-气间的水热交换特征分析

武月月<sup>1\*</sup>, 文军<sup>1</sup>, 王作亮<sup>2</sup>, 贾东于<sup>3</sup>, 蒋雨芹<sup>1</sup>, 刘闻慧<sup>1</sup>

(1. 成都信息工程大学大气科学学院/高原大气与环境四川省重点实验室, 成都 610225; 2. 中国科学院西北生态环境资源研究所/中国科学院寒旱区陆面过程与气候变化重点实验室, 兰州 730000; 3. 兰州城市学院地理与环境工程学院, 兰州 730070)

## 摘要

黄河源区位于青藏高原多年冻土区边缘, 区内高寒植被广布, 植被类型较简单, 以高寒草原、高寒灌丛和高寒草甸为主。由于海拔、经纬度、地貌及气候等条件的区域性差异, 致使区内冻土分布、厚度、温度等均具有明显的区域性和垂直带性差异。土壤冻融循环是土壤内部重要的物理变化过程, 影响土壤的水热特性以及地气之间的热量、水分交换。因此, 近地表层土壤的冻融循环显著地影响着地表的能量和水分平衡, 陆-气间水热交换在不同冻融过程也有着明显差异。研究高寒草原冻融循环与陆-气间水热交换的变化特征, 对研究其对气候变化的响应、生态环境的影响及冻土退化等方面都有重要意义。

本文利用黄河源区汤岔玛小流域 2014 年 5 月至 2015 年 5 月陆面过程观测数据, 将土壤冻融过程划分为完全融化 (TT) 和完全冻结 (FF) 两种状态与融冻 (T-F) 和冻融 (F-T) 两个过程, 并分析了期间高寒草原下垫面净辐射、感热通量、潜热通量和地表热通量不同状态和过程中的变化, 以此探究土壤冻融过程中地气间的水热交换特征。研究表明:

(1) 汤岔玛两个冻融过程都是比较短暂的, 融冻阶段有 41 天, 冻融阶段占了 40 天, 说明土壤在较快时间内发生冻结和融化; 而冻融两个状态持续时间较长, 完全融化占了 125 天, 完全冻结时间达到了 156 天, 土壤冻结开始得早, 结束晚, 持续时间较长。

(2) 在完全融化阶段, 土壤含水量达到最大值, 地表反照率因此增大, 净辐射平均值大于其他三个阶段, 最大值达到了  $203.7 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 。完全冻结时期, 净辐射值较低且变化幅度不大。净辐射晴天日变化均在 13:30 达到最大值, 其中, 完全融化阶段最大, 达到了  $717.6 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ , 完全冻结阶段最小, 为  $378.0 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ , 融冻阶段和冻融阶段次之。

(3) 在完全融化阶段, 表层冻土融化以及降水等原因, 土壤含水量增多, 潜热通量是净辐射的主要支出量, 潜热占主导地位, 有 79 天潜热通量日平均值超过了  $50.0 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 。完全冻结阶段, 土壤含水量很小且几乎不变, 潜热日变化最小, 在能量通量中所占份额也比感热少。除完全融化阶段, 感热与潜热在其他三个阶段的日平均值相差不大, 潜热均值为  $21.9 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ , 感热为  $20.3 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

(4) 在冻融 (融冻) 阶段中, 地表温度增大 (减小), 冻土开始发生融化 (冻结), 土壤含水量发生变化, 感热开始缓慢增加或减少, 日变化幅度达到最大, 明显高于同时刻的潜热。完全融化阶段感热通量减小, 变化幅度平缓, 其中感热通量值小于  $20.0 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  之间的天数就有 73 天, 约占这一阶段总天数的 60%。在冻融 (融冻) 阶段及完全冻结阶段, 感热通量日变化均大于潜热。

(5) 在完全融化 (冻结) 阶段, 地表土壤热通量在完全 (冻结) 阶段为正 (负), 地表从大气吸收 (释放) 热量。与完全融化阶段相比, 完全冻结阶段的热通量有一定减小, 土壤为完全冻结, 土壤温度很小, 地表向大气释放热量, 热通量最大值仅为  $9.6 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

**关键词:** 陆-气相互作用; 冻融过程; 地表能量平衡

\* E-mail: wyy210611@163.com

# 气候变化背景下清远森林火险指数变化规律研究

罗瑞婷\*

(广东省突发事件预警信息发布中心, 广州 510640)

## 摘要

全球气候变化趋暖加剧了森林火灾的发生,森林火灾释放大量的烟尘和二氧化碳又进一步加剧气候变化。气候变化背景下,森林火灾对森林资源和整个地球生态系统造成的影响,已成为全球关注的问题。清远市位于广东省的西北部、北江中下游、南岭山脉南侧与珠江三角洲的结合带上,全市林业用地面积 139 万公顷,有林地面积 104 万公顷,森林蓄积量 7326 万立方米,森林覆盖率达 69.31%,是广东省的重点林区。加强气候变化背景下清远森林火险指数变化规律的研究,对提高森林火险等级预报准确率和防灾减灾能力具有重要的意义。本研究选取清远市气象站近 40 年逐日气象观测资料,利用布龙-戴维斯方案及修正后的布龙-戴维斯方案,并经过加权平均、地表状况和降水系数订正最终得出森林火险气象指数 Inmc,最终计算出清远市森林火险气象指数 Inmc。然后采用线性倾向估计法、Mann-Kendall 突变检验、小波分析等方法,分析清远市森林火险变化特征,研究结果表明如下:

(1) 清远市森林火险气象指数总体呈 0.1934/年的线性增长趋势,相关系数为 0.4698,并通过显著性检验;由 5 年的滑动平均变化趋势可得出,20 世纪 70 年代末至 80 年代初,森林火险气象指数呈波动下降趋势,而 20 世纪 80 年代初至 2015 年呈缓慢波动增长趋势。

(2) 指数的年内变化变化呈单峰型,从 6 月份开始火险指数逐渐增加,9 月至次年 2 月火险指数比较高,10 月份达到峰值,3 月到 5 月森林火险指数逐渐下降,5 月降至最低值。总体上,全年以 3.0023 的速率呈线性增长趋势,相关系数为 0.7290,并通过  $t=0.01$  的显著性水平检验,森林火险气象指数变化规律与气象划分上的季节相吻合,年内变化具有季节性特征。

(3) 利用 Mann-Kendall 突变检验方法对近 40 年来清远市森林火险气象指数进行突变检验,结果表明从 20 世纪 80 年代初开始,清远市森林火险气象指数呈现波动上升的趋势,1991、2000、2011 年为波峰,1983、1994、2002 年为波谷,1994 年后增加趋势更为显著,在 1994 年存在突变,并且突变通过 0.05 的显著性检验。

(4) 小波分析表明,清远市森林火险气象指数存在 16~32 年、11~23 年尺度的准两次震荡,27 年左右的周期震荡最强,为指数变化的第一主周期,18 年及 5 年时间尺度分别为指数变化的第二、三主周期,3 个周期的波动控制着指数在整个时间域内的变化特征。

综上,在全球气候变暖的背景下,以降水量、气温、相对湿度、风等气象因子为评价指标的清远市森林火险气象指数呈增长趋势,从 20 世纪 80 年代初起火险指数上升趋势明显,年内变化具有季节性特征,火险指数变化存在 16~32 年、11~23 年尺度的准两次震荡。通过研究气候变化背景下的森林火险气象指数变化规律,对掌握清远地区林火原因提供了科学的依据,对提高森林火险等级预报准确率和防灾减灾能力具有重要的意义。

**关键词:** 森林火险指数; 气候变暖; 风险; 年代际变化

---

\* E-mail: 292767746@qq.com

# 中国东部区域极端降水事件特征—两种方法监测对比

余锦华\*, 叶梦茜

(南京信息工程大学大气科学学院, 南京 210044)

## 摘要

中国东部是极端降水发生频繁的区域, 全球增暖, 大气容纳水汽的能力增强, 区域水循环加快, 降水年际变率有加大的趋势, 极端降水, 特别是区域性极端降水呈现增多、趋强的特征, 伴随的洪、涝及次生灾害发生更为频繁, 对人们的生活和经济发展带来重要影响。最早研究单站极端降水事件, 大多将大于连续多日大于日降水阈值, 定义为单点极端降水事件。区域极端降水事件的识别大体可分为两类, 一类以单点极端降水事件为基础, 再分别通过连续面积上超过阈值的降水比例以及时间上的连续性来识别区域持续极端降水事件; 另一类就是最近由 LU et al 提出的区域极端强度-持续时间综合(Region-Extreme-Intensity-Duration, REID)指数法, 通过聚类方法, 找出区域降水核心, 得到覆盖该中心的区域降水强度和面积的相对强度, 定义区域极端降水事件。这两类不同的极端降水事件识别方法监测出的极端降水事件在区域上有怎样的差异? 后一方法能否推广应用于业务中, 与现有业务方法, 做到相互补充? 基于上述问题, 在统计及个例等方面系统对比两种方法的识别结果, 分析两种方法各自的优劣。结果显示:

1) 两种方法识别的持续时间为 1-2 天、影响面积为 20 万平方公里内的极端降水事件特征相近, 监测的极端降水事件发生的季节和空间分布特征相似。我国东部地区, 主要在华南及长江流域地区, REID 方法监测出的 3 天以上持续性极端降水事件频次多于业务法, 降水过程最长的持续时间也远长于业务法。

2) REID 方法的优势表现在两个方面, 一是未设定降水阈值, 容许降水过程中间歇期的存在, 可客观监测持续性的极端降水事件, 这类过程, 业务法由于有日降水阈值的存在, 往往将原本一次的降水过程分裂为几次的极端降水事件。REID 法的这一特征, 使其监测的极端降水事件总频次少于业务法, 在东北地区监测出的极端降水事件频次多于业务法。另外 REID 可以客观自动化识别较小尺度的例如海南岛的极端降水事件, 而业务法由于主观设置的距离, 未能识别该类事件。

3) 业务法的优势表现为, 将一次过程每天的降水中心独立确定, 有利于识别降水中心移动较快的 2 天以上的极端降水事件, REID 识别的一次极端降水事件的降水中心是唯一的, 难于监测此类移动较快的过程。此外, 业务法对影响区域边界有明确的 50mm, 因此其极端区域便是降水达到 50mm 的影响区域, REID 法确定的极端降水区域的边界日降水量可能在 50mm 以上, 属于预警等级最高的区域, 会忽略低级别的预警区域。

由于两种方法针对中国不同区域优势不同, 相比较而言, REID 方法更适合监测华南以及长江中下游区域持续性极端降水事件, 业务法对于华北地区移动速度较快的区域极端降水事件监测有利, 单从一种方法来说, 其极端性、持续性以及过程的移动性考虑不足, 两类极端降水事件监测方法各有优势和不足, 若能取长补短, 便会有利于区域极端降水灾害预警和预防工作的开展。

**关键词:** 极端降水; 强度-频率-持续时间; 监测

---

\* E-mail: jhyu@nuist.edu.cn

# 气候条件对崂山茶的影响研究

宋春燕<sup>1</sup>, 刘春涛<sup>2\*</sup>, 刘彬<sup>2</sup>, 王玲丽<sup>1</sup>

(1. 青岛市崂山区农业农村局, 青岛 266100; 2. 青岛市崂山区气象局, 青岛 266102)

## 摘要

气候条件是影响崂山茶叶产量与品质的主要因素, 为了做好茶叶农技服务和气象服务, 近年来开展了气候条件对崂山茶叶影响研究, 研究方法主要是基于崂山区气象资料及茶叶产量资料, 通过相关分析、通径分析, 多元回归模型, 建立了影响崂山茶叶产量的多元回归方程; 基于茶叶年景与气象资料, 利用 spss22.0 分析软件, 通过独立样本 T 检验、交叉表分析、 $\chi^2$  检验、二元 logistic 回归, 确定了崂山茶叶产量出现“歉年”的年景指标; 利用茶树气象行标和气象试验数据, 验证并制定了崂山春茶晚霜冻害气象指标。根据崂山区多年的气象资料和产量资料, 结合茶树的不同的生育期, 通过资料分析得到了影响崂山春茶、夏茶、秋茶适宜气象指标和不利的天气条件, 建立了影响崂山茶叶产量的气象指标、茶树霜冻、冻害等农业气象灾害指标数据库; 近几年来利用建立的崂山茶气象指标, 结合崂山茶树的不同生育期, 开展农技与气象服务, 提高了为农服务的针对性, 为助力乡村振兴茶农增收提供了科技支撑。

**关键词:** 气候条件; 气象指标; 相关分析; 通径分析;  $\chi^2$  检验

---

\* E-mail: Lct011@163.com

# ≤-40℃极寒天气气候特征及其变化与预报指标研究

赵玉洁<sup>1\*</sup>, 许磊<sup>1</sup>, 李瑶<sup>1</sup>, 徐艳华<sup>1</sup>, 孟洋<sup>1</sup>, 周艳玲<sup>2</sup>, 关凤岐<sup>2</sup>, 宋磊<sup>1</sup>, 张柏松<sup>1</sup>

(黑龙江省大兴安岭地区气象局, 加格达奇 165000)

## 摘要

采用统计分析和对比分析法, 分析了覆盖大兴安岭全区的漠河、呼中、塔河、新林、呼玛、加格达奇六个国家站, 1970年~2020年近50年出现的低于-40℃的极寒天气, 结果表明: 近50年间全区共出现低于-40℃极寒天气1886天, 全区总体平均每年有37.7天, 呼中14.6天, 漠河14.2天, 新林3.7天, 呼玛3.0天, 塔河2.9天, 加格达奇0.6天。建站以来的≤-40℃极寒天气最低气温极值各不相同, 漠河-52.3℃, 呼中-49.2℃, 呼玛-48.2℃, 新林-46.9℃, 塔河-46.8℃, 加格达奇-45.4℃, 都低于-45.0℃。空间分布, 西北多东南少; 时间分布, 11月~翌年的3月。

年际变化: 各站有所不同, 呈现规律性变化的是: 呼玛、新林20世纪70年代→80年代→90年代→21世纪00年代依次是递减的, 到了21世纪10年代有开始增加; 漠河和呼中20世纪70年代→80年代→90年代依次是递减的, 21世纪00年代→10年代开始逐渐递增。

月际变化: 漠河、呼中出现在11月~翌年的3月, 新林、塔河、呼玛、加格达奇出现在12月~翌年的2月。全区整体而言, 1月最多, 占比达到46%。

日际变化: 极寒天气未发生日际变化, 在天气无明显突变的情况下, 极寒天气多出现在日出前的5~8点。

采用经典天气学分析法, 通过对比极寒天气实况与天气背景、外强迫信号(拉尼娜和厄尔尼诺)和北极涡旋等, 发现≤-40℃的极寒天气的产生与100hPa极涡(分裂、南移), 外强迫信号(拉尼娜和厄尔尼诺现象)、中高纬经向环流、850hPa温度冷平流强度密不可分。

归纳总结出产生极寒天气的预报指标如下: 08时地面上处在近于南北向的高压前部, 500hPa处在槽后的西北气流中, 850hPa温度场≤-(28~34℃), 100hPa极涡分裂南移到大兴安岭或大兴安岭的北部俄罗斯, 此极涡停留时间越长, 极寒天气维持的时间也越长。

考虑全区的迁站, 尤其是漠河1998年迁站, 所以采用2000~2019年20年≤-40℃极寒天气的最低气温实况与当日08时850hPa温度零零场的温度对比分析, 得到全区各站≤-40℃极寒天气过程二者的对应关系:

晴朗微风的天空状况下, 08时850hPa温度≤-28℃时, 漠河当天早晨易出现≤-40℃的极寒天气; 近于高压中心, 静风的情况下≤-26℃时, 漠河也可产生≤-40℃的极寒天气;

08时850hPa温度≤-28℃时, 呼中当天早晨易出现≤-40℃的极寒天气, 近于高压中心, 静风的情况下≤-23℃时, 呼中也可产生≤-40℃的极寒天气;

08时850hPa温度≤-28℃时, 新林当天早晨易出现≤-40℃的极寒天气;

08时850hPa温度≤-28℃时, 塔河当天早晨易出现≤-40℃的极寒天气;

08时850hPa温度≤-31℃时, 呼玛当天早晨易出现≤-40℃的极寒天气;

08时850hPa温度≤-34℃时, 加格达奇当天早晨易出现≤-40℃的极寒天气。

**关键词:** 极寒天气; 环流形势; 预报指标; 大兴安岭

\* E-mail: dxalzjy2008@163.com

# 未来气候变化背景下贵州省夏季旅游气候资源的变化预估

张娇艳<sup>1,2\*</sup>, 王玥彤<sup>1</sup>, 李扬<sup>3</sup>, 牟佳<sup>1</sup>, 丁立国<sup>1</sup>

(1. 贵州省气候中心, 贵阳 550002; 2. 贵州省山地气候与资源重点实验室, 贵阳 550002; 3. 贵州省贵阳市气象局, 贵阳 550001)

## 摘要

贵州省山美水美, 民族风情浓郁, 特色旅游与原生态旅游优势突出, 近年来的发展态势非常迅猛。旅游离不开气候, 贵州省优越的中低纬度喀斯特高原地理和亚热带季风气候条件可谓集天地之灵为一体, 避暑气候资源更是中国独一无二。那么与全国其他区域相比, 这些贵州独特的气候资源优势, 尤其是夏季避暑气候优势在未来气候变化的背景之下会更加突出还是逐渐缩小?

本研究利用区域气候模式(RegCM4) 1951~2005 年历史模拟和 2006~2099 年 RCP8.5 (高排放) 和 RCP4.5 (中排放) 情景下的逐日平均气温、降水量、10m 风速和入射辐射通量, 给出 21 世纪贵州省夏季与全国其他地区的旅游气候资源时空对比。结果表明:

从时间序列来看, 在 RCP8.5 和 RCP4.5 排放情景下全国和贵州省夏季平均气温都表现较为一致增暖的趋势, 但贵州省夏季平均气温的增幅在两种排放情景下均小于全国的增幅, 因此未来贵州省夏季避暑旅游气候资源优势与全国总体结果相比将更加突出。值得一提的是, 2050 年以前不同的 RCP 情景下增温幅度差异较小, 而 2050 年以后各 RCP 情景下的增温幅度表现出明显不同的变化趋势, RCP4.5 (低排放) 情景下的增温幅度低于 RCP8.5 (高排放) 情景。因此为积极应对气候变化, 科学抑制气温的陡然增加, 应该大力提倡环保减排, 同时这也是维持并进一步扩大贵州省避暑旅游资源优势的有力措施。而其他气候要素, 比如夏季降水量, 10m 风速和辐射, 2022~2099 年在 RCP8.5 和 RCP4.5 情景下全国和贵州省基本上没有表现出明显的变化趋势。

由于未来在 RCP8.5 和 RCP4.5 情景下全国和贵州省的夏季平均气温变化趋势显著, 因此有必要对其进行空间分布变化和和相关避暑城市比较的深度剖析。而科学研究证明, 紫外线辐射对避暑旅游有重要影响。贵州省大部分地区虽然海拔高度较高, 但由于阴天多、低云多, 紫外线辐射相对衰减较强, 都处于全国弱和最弱的区域。因此辐射较弱的优势也是贵州省避暑资源优势的一大体现, 在未来气候变化的情景下能否维持值得一探究, 所以辐射未来的空间分布变化及其相关避暑城市进行比较也有必要深度开展。在中国, 夏季避暑气候资源条件较好的旅游城市主要分布在云贵高原的贵阳到昆明、丽江一线, 东北沿松花江的哈尔滨到佳木斯一线, 以及西部部分高原城市。从空间分布来看, 贵州省 21 世纪不同阶段在两种排放情景下其夏季平均气温增幅低于北部和西部大部分区域、与云南省增幅接近, 但未来云南省未来主要以夏季辐射增加的态势为主, 尤其是 21 世纪中远期 RCP8.5 (高排放) 情景下更是位于夏季辐射增加的大值中心。

因此, 综合研判来看, 未来夏季贵州省增温幅度较小且降水量、10m 风速和辐射变化不大, 将继续维持良好的夏季避暑旅游气候资源优势。

**关键词:** 气候变化; 贵州省; 夏季旅游; 气候资源; 气候预估

注: 本文已在《气象科技》2021 年第 3 期公开发表

\* E-mail: mylove813jiaojiao@163.com

# 贵州气候服务手册

陈娟\*, 张东海

(贵州省气候中心, 贵阳 550002)

## 摘要

为满足贵州省气象服务管理和决策的需求, 指导各地州市气象局业务服务工作, 需编制一部基础性工具手册, 把贵州省基本气候要素和主要天气现象月年极值以图表的形式展示出来, 为我省各级党政部门提供科学决策服务依据。《贵州气候服务手册》中市州排名按照《省人民政府办公厅关于明确市州排序的通知》(黔府办函[2012]4号), 县市区排名参照《2014年贵州统计年鉴》。相关统计项及其统计方法遵照《气候资料统计整编方法》。对于迁站水平距离超过50公里或海拔高度变化大于100m的台站, 视为两个站分开处理, 计算临时平均值(资料年代长度不超过10年的段不统计)。如贵阳站在2000年迁新址, 则其气候要素值分两段统计1991-1999年和2000-2020年。除极值外, 表中数据均为1991-2020年的气候常年值, 极值采用建站至2020年数据统计。同一极值出现在多个年份或日期, 保留最近一个年份或日期; 同一极值出现多个台站, 随机保留一个台站并标注“等”字。手册介绍了全省9个地州市、84个县的气候概况, 并收集整理了每个县的典型历史气象灾害。基本气候要素及主要灾害天气统计表包括极端最高气温、极端最低气温、最多降水量、最大日降水量、最多冰雹日数、最多雨淞日数、极端最高气温、极端最低气温、最多降水量、最大日降水量、最多冰雹日数、最多雨淞日数等月、年统计值。对我省主要气象灾害: 暴雨、高温、干旱、凝冻、冰雹进行了年月际变化序列图绘制, 并统计了年暴雨日数极大值、月暴雨日数极大值、年内暴雨最早出现时间、年高温日数极大值、月高温日数极大值、年内高温最早出现时间、平均干旱日数、中旱日数、重旱日数、特旱日数、累计发生干旱过程次数、较强干旱过程次数、强干旱过程次数、特强干旱过程次数、年雨淞日数极大值、月雨淞日数极大值、年冰雹日数极大值、月冰雹日数极大值。在借鉴国家气候中心编制的相关服务手册经验和做法的基础上, 结合我省实际情况编写的《贵州气候服务手册》是对贵州省多年气象观测资料进行科学计算和统计整编而成, 具有资料新(气候标准值1991-2020年, 极值统计1951年或建站至2020年)、要素全(气温、降水、日照、高温、暴雨、天气现象等)、范围广(省、市、县)等特点。手册以图的形式直观的展示了各要素的空间分布规律、年月际变化特征, 以表的形式展示了各地区、各要素气候标准值以及各类天气现象极值情况, 为气象、农林、交通、水利、能源、环保、建筑、旅游、工程设计和各级防灾抗灾指挥部及科研教育部门进行管理、决策、教学、科研提供最基本的科学依据, 更可为贵州省各级党政部门开展应对气候变化提供科学决策服务依据, 也可供其他气候关系密切的部门参考使用。

**关键词:** 气候; 贵州; 服务

---

\* E-mail: 2606426328@qq.com