

Analysis and Evaluation of Regional High Temperature and Drought Processes in the Wanjiang River Basin

Youming Zhang Huilin Xu Zixian Chen

Taihu County Meteorological Bureau, Anhui Province, Anqing, Anhui, 246400, China

Abstract

To deeply explore the characteristics of high temperature and drought in the Wanjiang River Basin, this paper uses the precipitation and temperature data from 23 national meteorological observation stations in the Wanjiang River Basin from 1961 to 2024, and constructs comprehensive assessment indicators for regional high temperature and drought processes (covering the affected area, duration and intensity). The characteristics and evaluation of regional high temperature and drought processes over 64 years are conducted. The results show that there have been 132 (79) regional high temperature (drought) processes in the past 64 years. The high temperature events have intensified, especially after the 21st century, with significant increases in intensity, frequency and duration (for example, the average comprehensive intensity of high temperature from 2000 to 2024 is 0.23, 61% higher than that from 1961 to 1999). The intensity of drought has fluctuated and increased, and the severity of extreme drought events has worsened (the cumulative number of extreme drought stations after 2000 has risen to an average of 150 stations per year). There have been 31 years with compound high temperature and drought, which are dominant (77.5% of the years with concurrent events), and the frequency of compound years has increased and the recurrence feature is obvious since 1990.

Keywords

Wanjiang River Basin; High Temperature and Drought; Characteristics and Trends; Analysis and Evaluation

皖江流域区域性高温和干旱过程分析评估

张友明 徐会琳 陈子贤

安徽省太湖县气象局, 中国·安徽 安庆 246400

摘 要

为深入探讨皖江流域高温和干旱特征, 本文利用1961—2024年皖江流域 23个国家气象观测站降水和气温资料, 构建区域性高温、干旱过程综合评估指标(涵盖影响范围、持续时间和强度), 对 64 年区域性高温和干旱过程开展特征分析和评价。结果显示: 近64年内共发生132(79)次区域性高温(干旱)过程, 高温事件呈加剧趋势, 尤其21世纪后高温强度、频率和持续时间显著上升(如2000—2024年高温综合强度均值0.23, 较1961—1999年高61%); 干旱强度波动上升, 特旱事件加重(2000年后累计特旱站次升至年均150站); 高温干旱复合型年31年, 占主导(77.5% 同年发生年), 1990年后复合型年频率上升且重发特征明显。

关键词

皖江流域; 高温干旱; 特征趋势; 分析评估

1 引言

皖江流域(占安徽省总面积的 47.3%)是长江生态屏障与经济核心。属北亚热带季风气候, 年均降水量达 1600mm, 每年 7—9 月受西太副高控制易发高温干旱, 严重旱灾平均每 3 年一遇。在全球变暖背景下, 南方高温干旱风险增加(王胜等, 2022), 但皖江流域高温干旱(包括复合事件)的研究不多。

本文利用 1961—2024 年皖江流域 23 个国家气象观测站逐日气象资料, 结合 MCI 指数等, 构建区域性高温和干

旱过程综合评估指标, 并根据高温和干旱重合天数, 定义高温干旱复合事件, 分析皖江流域历年高温干旱分布特征, 为防灾减灾提供依据。

2 资料和方法

2.1 资料

使用 1961—2024 年皖江流域气象数据系经质控的 23 个国家级气象站逐日 20:00—20:00(北京时, 下同)气温、降水等资料, 干旱灾情数据源于《安徽统计年鉴》《中国气象灾害大典·安徽卷》(翟武全, 2007)等。气候基准期采用世界气象组织推荐的 1991—2020 年^[1]。

【作者简介】张友明(1977—), 男, 中国安徽霍邱人, 本科, 从事大气探测研究。

2.2 方法

2.2.1 干旱指数

干旱指数选安徽省气候中心经检验后制定的气象干旱综合指数（MCI_{anhui}），具体计算公式如下：

$$MCI_d=0.2SPIW60+0.1MI30+0.5SPI90+0.5SPI120 \quad (1)$$

$$MCI_f=0.5SPIW60+0.5MI30+0.4SPI90+0.5SPI150 \quad (2)$$

上面2个式中式（1）为旱季（9月到次年3月）、式（2）为涝季（4-8月），另外SPIW60、SPI90、SPI120、SPI150分别为近60天、90天、120天、150天的标准化权重降水指数；MI30为近30天相对湿度指数。基于MCI指数的干旱等级划分见表1。

表1 基于气象干旱综合指数的干旱等级划分

等级	MCI 取值
轻旱	-1.0<MCI≤-0.5
中旱	-1.5<MCI≤-1.0
重旱	-2.0<MCI≤-1.5
特旱	MCI≤-2.0

2.2.2 区域性过程相关定义

①区域性高温过程：根据《气象灾害预警信号发布与传播办法》（中国气象局，2007），我国高温预警信号的发布标准为日最高气温≥35℃。本文区域性高温过程定义：1）日最高气温≥35℃；2）持续时间≥3天；3）皖江流域境内有7个（总站点数的30%）及以上站点出现高温；4）高温持续期间某一天高温站数小于7个则区域性高温过程结束^[2]。

②区域性气象干旱过程：某日皖江流域境内30%国家级气象站（7个站）出现中旱及以上等级干旱为一个区域性干旱日。当某日区域性干旱站点数持续日数大于等于15天时定义为一个区域性干旱过程；当非区域性干旱日持续5天时过程结束。

③过程持续时间（D）：区域性过程开始日到结束日的总天数，单位：天。

④平均影响范围（A）：区域性过程开始日至结束日日最高气温（T_{max}）大于等于35℃站点或中旱及以上等级干旱站点所在县级行政区域国土面积累加值除以过程持续时间，单位：km²。

⑤过程平均强度（I）：区域性干旱过程的平均强度，指从开始日到结束日，每日出现中旱及以上等级干旱的所有国家气象站MCI绝对值累加后除以过程持续时间；区域性高温过程的平均强度，指从开始日到结束日，每日T_{max}≥35℃的所有国家气象站T_{max}超出35℃部分累加后除以过程持续时间，单位：℃。

⑥区域性过程综合强度指数（Z）：采用《区域性干旱过程监测评估方法》（中国气象局，2021）中算法，计算公式如下： $Z=f(I,A,D)=I \times \sqrt{A} \times \sqrt{D}$ （2）式中：I为过程平均强度；A为平均影响范围；D为过程持续时间；三者均经归一化处理。根据区域性过程综合强度指数Z，利用百分

位数法将区域性干旱、高温过程划分为一般、较强、强、特强4个等级（表2）。

表2 皖江流域高温、干旱过程等级划分

等级	区域性高温过程	区域性干旱过程
一般	$Z<0.08$	$Z<0.12$
较强	$0.08\leq Z<0.17$	$0.12\leq Z<0.19$
强	$0.17\leq Z<0.29$	$0.19\leq Z<0.32$
特强	$Z\geq 0.29$	$Z\geq 0.32$

3 区域性高温及干旱过程分析

3.1 区域性高温过程

1961—2024年皖江流域共出现132次区域性高温过程，其中有近12次达特强等级，现截取前10强汇总于表3，经分析发现：

3.1.1 强度上升趋势明显、极端高温事件集中在近20年

综合强度在2000年后显著上升，2000—2024年综合强度均值（0.23）比1961—1999年（0.14）高64%，且高值年频率增加（如2003年0.532、2013年0.796、2022年0.875、2024年0.622）^[3]。

3.1.2 极端高温事件增多、高温强度与范围呈正相关

≥40℃站次在2000年后明显增加，峰值在2022年（59站次）和2013年（70站次）；历史前5强高温过程21世纪占了4强。日极端最高气温42℃以上记录均出现在21世纪（2003年42.4℃、2013年42.3℃、2022年42.7℃）；高频站点石台、青阳、繁昌为极端高温频发地（占记录的60%）；高温综合强度与平均强度（R²=0.92）和影响范围（R²=0.85）显著正相关，如2022年日均影响范围达36,071 km²。

3.1.3 高温过程的时空特征

高温集中于7-8月（占事件85%），但近年6月和9—10月事件增多（如2022年9—10月高温），表明高温季节在延长；石台、马鞍山为高温核心区极端高温站点，石台出现12次极端高温（如42.4℃/2003年），马鞍山则次之（如42.7℃/2022年）。

3.2 区域性气象干旱过程

1961—2024年皖江流域共出现79次区域性气象干旱过程，现将前10强过程汇总于表4。经分析发现：

3.2.1 干旱强度波动上升

2000—2024年综合强度均值（0.25）比1961—1999年（0.16）高56%。2000年后，严重干旱频率增加，2010年达峰值（如2011年0.436、2019年0.791、2022年0.680）。

3.2.2 特旱事件加重且与季节性气候关联显著

累计特旱站次在1970—1980年平均50站次，2000年后升至平均150站次（峰值2019年490站次）；2000年后中短期干旱强度更高（如2022年7—11月干旱128天，综合强度0.680；2019年81天，强度0.791，日均影响范围最大

达 $3.66 \times 10^4 \text{km}^2$)。2019 年持续 81 天, 11 月 11 日特旱 20 站), 反映秋旱加剧夏季干旱 (如 1966 年、2022 年) 多伴随高温, 秋旱 (如 趋势^[4]。

表 3 1961—2024 年皖江流域前 10 强区域性高温过程

最长高温过程起止日期	平均强度 (℃)	日均影响范围 (km ²)	持续天数	≥35℃ (≥37℃) 日均站数	≥40℃累计站次	极端最高气温 (站点及时间)	≥40℃日最多站数 (时间)	综合强度
2022-08-01 - 2022-08-24	70.09	36070.96	23	21.5 (16.9)	59	42.7 (马鞍山, 2022-08-14)	8 (2022-08-12)	0.876
2013-08-04 - 2013-08-19	79.67	35391.93	15	20.7 (17.6)	70	42.3 (石台, 2013-08-12)	12 (2013-08-10)	0.796
2024-07-28 - 2024-08-14	60.25	33348.00	17	19.6 (14.9)	20	41.9 (石台, 2024-08-04)	4 (2024-08-04)	0.622
2003-07-21 - 2003-08-10	48.24	32445.70	20	19.2 (11.0)	21	42.4 (石台, 2003-08-02)	11 (2003-08-02)	0.533
1988-07-04 - 1988-07-21	48.31	33891.18	17	20.2 (11.2)	10	41.5 (石台, 1988-07-18)	4 (1988-07-18)	0.503
2017-07-14 - 2017-08-01	48.22	30721.11	18	18.3 (10.2)	25	41.2 (石台, 2017-07-26)	8 (2017-07-27)	0.492
2016-07-21 - 2016-08-03	46.20	34244.54	13	19.9 (11.6)	0	39.8 (石台, 2016-07-30)	0 (2016-07-21)	0.423
1966-07-23 - 1966-08-13	37.79	29343.62	21	16.9 (8.4)	5	41.2 (繁昌, 1966-08-07)	2 (1966-08-07)	0.407
1961-07-11 - 1961-07-25	44.89	29529.07	14	16.8 (10.7)	7	40.7 (繁昌, 1961-07-23)	2 (1961-07-23)	0.396
1978-08-01 - 1978-08-11	46.54	36035.30	10	20.3 (10.5)	3	40.5 (石台, 1978-08-08)	1 (1978-08-03)	0.383

表 4 1961—2024 年皖江流域前 10 强区域性气象干旱过程

干旱过程起止日期	持续天数	过程平均强度	日均影响范围 (km ²)	日均重旱站次	累计特旱站次	单日最多特旱站数 (出现时间)	综合强度
1978-06-20 - 1978-10-26	129	34.94	30930.66	13.54	894	23 (1978-07-09)	0.904
2019-09-08 - 2019-11-27	81	36.64	34280.94	16.38	490	20 (2019-11-11)	0.791
1966-07-25 - 1966-10-24	92	34.95	31258.15	14.58	633	21 (1966-08-29)	0.768
2022-07-25 - 2022-11-29	128	28.05	27385.33	9.83	492	18 (2022-10-04)	0.680
1967-07-22 - 1967-11-01	103	24.45	26367.84	7.73	222	13 (1967-08-30)	0.522
1995-11-10 - 1995-12-16	37	35.41	34422.43	16.81	89	12 (1995/11/26)	0.517
1979-10-06 - 1979-11-17	43	31.80	32906.91	13.79	74	6 (1979-11-13)	0.490
2011-05-01 - 2011-06-10	41	30.95	28968.20	12.85	223	20 (2011-06-02)	0.437
2001-09-07 - 2001-10-07	31	33.55	32387.06	14.26	135	11 (2001-09-27)	0.435
2000-06-29 - 2000-08-12	45	28.21	27905.02	10.71	177	12 (2000-07-17)	0.409

4 高温干旱复合型事件变化特征

现将全年的区域性高温 (干旱) 过程累计持续时间大于等于 20 天定义为高温 (干旱) 年; 当区域性高温过程与干旱过程同年发生重合天数大于等于 10 天时, 定义为高温干旱复合型年。

分析 1961—2024 年皖江流域区域性高温和干旱事件发现, 近 64 年来共出现高温年 25 年 (39.1%), 2010 年后高

温年频率增加 (2010—2024 年有 8 个高温年), 且高温天数呈上升趋势 (如 2024 年 44 天而 1961 年仅为 27 天)。干旱年为 38 年 (59.4%), 远高于高温年。高温干旱复合型年 31 年, 占主导 (77.5% 同年发生年), 显示高温和干旱常同期发生。尤其在 1990 年后复合型年频率上升 (2000—2024 年有 10 个), 如 2022 年高温 (8 月) 与干旱 (7—11 月) 重叠, 具有多发、重发特征^[5]。

表 5 1961—2024 年皖江流域高温年、干旱年及复合年相关统计

年型	年数	年 份
高温年	25	1961、1964、1966、1967、1971、1976、1978、1988、1990、1992、1994、1995、1998、2001、2003、2006、2010、2011、2012、2013、2016、2017、2018、2022、2024
干旱年	38	1961、1964、1965、1966、1967、1968、1969、1971、1972、1973、1974、1976、1978、1979、1981、1985、1986、1988、1990、1991、1992、1994、1995、1997、1998、2000、2001、2002、2004、2005、2006、2007、2008、2011、2013、2019、2020、2022
高温干旱复合年	31	1961、1966、1967、1969、1971、1972、1973、1974、1976、1978、1979、1985、1986、1988、1990、1991、1992、1994、1995、1998、2000、2001、2002、2004、2005、2006、2007、2008、2011、2013、2022

5 结论和建议

本文基于区域性事件评价指标对皖江流域 64 年区域性高温和干旱过程进行分析和客观评估,得到以下具体结论:

①高温干旱加剧。高温频率、强度、范围显著上升(21 世纪前 10 强占 8 次);干旱强度波动增加,特旱事件频发(2019 年特旱 490 站次)。

②复合事件主导。77.5% 的同年事件为复合型(如 2022 年),高温加剧干旱发展。近 64 年皖江共出现 79 次区域性干旱过程。

③区域脆弱性凸显。64 年里石台县有 12 次极端高温与干旱(累计特旱站次超 1,000)双重暴露;对于马鞍山-青阳走廊,高温强度与干旱范围叠加,建议优化水资源调配系统。

④气候变暖背景下,预计复合型事件(高温干旱)将更频繁,建议在石台、马鞍山等高风险区布设土壤湿度监测网,建立高温-干旱联合预警机制,尤其针对 7-8 月高温叠

加干旱风险,提前启动跨部门应急响应;推广耐旱作物与节水灌溉,如在青阳、马鞍山等农业区试点气候智慧型农业及设立水资源管理和高温预警系统^[6]。

参考文献

- [1] 杨玮,谢五三,王胜,张宇,气象干旱综合监测指数在安徽生活上的适用性分析[J],气象科技,2018,46(5):988-997.
- [2] 刘文英,孙素琴,朱星球等,江西省区域性高温和干旱过程分析与评估[J].干旱气象,2024,42(2):187-196.
- [3] 王胜,田红,吴蓉,等,2022 年安徽省区域性高温和干旱过程综合评估[J].干旱气象,2022,40(5):771-779.
- [4] 李忆平,张金玉,岳平,等,2022 年夏季长江流域重大干旱特征及其成因研究[J].干旱气象,2022,40(5):733-747.
- [5] 中国气象局,2021.区域性干旱过程监测评估方法(QX/T597—2021)[S].北京:中国标准出版社.
- [6] 翟武全.中国气象灾害大典(安徽卷)[M].北京:气象出版社,2007:11-90.