

1961~2024年河南省旱涝急转现象时空演变特征

赵 阳

驻马店市气象局, 河南 驻马店

收稿日期: 2025年3月12日; 录用日期: 2025年5月6日; 发布日期: 2025年5月14日

摘 要

本研究基于1961~2024年河南省119个气象站点的降水数据, 计算了旱涝急转指数(SDFAI), 系统分析了其时空演变特征及典型年份的旱涝急转规律。结果表明: (1) 河南省各站点SDFAI与区域降水集中期SDFAI的相关系数介于0.31至0.84之间, 空间上呈现南北低、中部高的分布特征, 表明旱涝急转现象具有显著的空间异质性; (2) 1961~2024年期间, 河南省SDFAI呈微弱上升趋势, 涝情风险略有增加, 且旱涝急转强度表现出显著的年代际变化特征, 其中2024年SDFAI达到历史峰值(8.49); (3) 典型年份分析显示, 旱转涝显著的年份(如2024年、1995年、1982年)表现为前汛期降水显著偏少、后汛期降水显著偏多, 而涝转旱显著的年份(如2015年、2002年、1991年)则呈现相反特征, 其中2002年5~6月降水偏多70.18%, 7~8月降水偏少38.43%。研究揭示了河南省降水季节分配的极端不均匀性, 为区域气候变化适应和水资源管理提供了科学依据。

关键词

旱涝急转指数, 降水距平百分率, 时空演变

Spatial-Temporal Evolution Characteristics of Drought-Flood Abrupt Alternation in Henan Province from 1961 to 2024

Yang Zhao

Zhumadian Meteorological Bureau, Zhumadian Henan

Received: Mar. 12th, 2025; accepted: May 6th, 2025; published: May 14th, 2025

Abstract

Based on the precipitation data from 119 meteorological stations in Henan Province during 1961~2024, the SDFAI was calculated, and its spatio-temporal evolution characteristics and the rule of SDFAI in typical years were systematically analyzed. The results showed that: (1) The correlation coefficients between SDFAI and regional precipitation concentration period in Henan Province ranged from 0.31 to 0.84, and the spatial distribution characteristics were low in north and south and high in central China, indicating significant spatial heterogeneity of abrupt transition between drought and flood; (2) During 1961~2024, the SDFAI in Henan Province showed a slight upward trend, with a slight increase in the risk of waterlogging, and the intensity of abrupt transition from drought to flood showed a significant interdecadal variation, with the SDFAI reaching a historical peak in 2024 (8.49); (3) Analysis of typical years shows that years with significant drought to flood (such as 2024, 1995, 1982) have significantly less precipitation in the pre-flood season and significantly more precipitation in the post-flood season, while years with significant flood to drought (such as 2015, 2002, 1991) have the opposite characteristics. The precipitation in May-June 2002 was 70.18% more than that in July-August 2002, and 38.43% less than that in July-August 2002. The study reveals the extreme unevenness of seasonal precipitation distribution in Henan Province, which provides scientific basis for regional climate change adaptation and water resources management.

Keywords

Drought-Flood Rapidity Index, Precipitation Distance Level Percentage, Spatial and Temporal Evolution

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

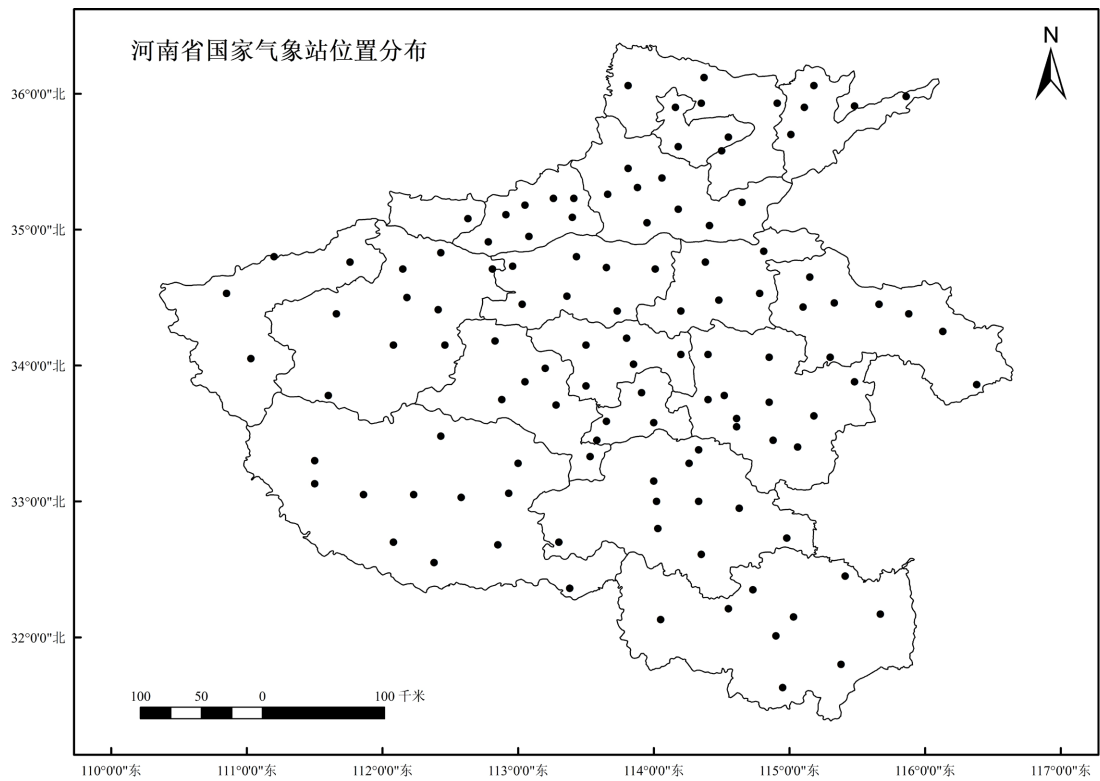
1. 引言

河南省作为黄河流域核心区域,受季风气候影响显著,近年来旱涝急转事件频发,对区域水资源管理和社会经济构成严峻挑战。旱涝急转是指在短时间内由极端干旱迅速转变为极端洪涝的气候现象,这种突变对生态环境、城市防洪排涝及居民生活造成多重影响[1][2]。旱涝急转现象的研究已成为气候变化领域的热点问题之一。国内外学者从气候驱动因素、时空分布特征、影响评估及预测模型等方面开展了广泛研究[3]-[5]。研究表明,旱涝急转现象与大气环流异常、海洋温度变化(如厄尔尼诺和拉尼娜事件)以及全球变暖密切相关[6]。在时空分布方面,旱涝急转多发生在夏季,尤其是6月至8月,且豫南和豫东地区的发生频率较高。随着气候变暖,旱涝急转事件的强度和频率呈上升趋势[7]。在影响评估方面,旱涝急转会导致水资源供需矛盾加剧、城市内涝频发、生态系统退化以及社会经济损失。在预测与应对策略方面,学者们提出了基于气候模式、统计模型和机器学习方法的预测模型,并建议优化水资源管理、加强城市防洪排涝设施建设以及完善灾害预警系统[8]-[10]。

尽管已有研究取得了显著进展,但当前研究多聚焦短时间尺度或单一事件,缺乏对长期时空演变规律的系统分析。因此,本研究以1961~2024年河南省气象数据为基础,系统分析旱涝急转现象的时空演变特征,旨在揭示其长期变化规律,为区域气候预测、灾害预警及防灾减灾提供科学依据,同时为应对气候变化和推动区域可持续发展提供理论依据。

2. 研究区概况

河南省地处华夏腹地，其地理坐标横跨东经 110°21'至 116°39'，纵越北纬 31°23'至 36°22'。总面积约 16.7 万平方公里，地势西高东低，地形包括山地和平原。该地区气候类型为温带季风性，年平均降雨量介于 500 至 900 毫米之间，且降雨呈现明显的季节性不均衡，以夏季降雨最为充沛。受东亚季风影响，旱涝灾害频发，近年来极端天气事件增多，旱涝急转现象突出。研究区内分布有 119 个国家气象站点，河南省国家气象站点分布图如下(如图 1)。



注：基于国家地理信息公共服务平台天地图下载的审图号为 GS(2024)0650 号的标准地图制作，底图未作改动。

Figure 1. Location distribution of national meteorological stations in Henan Province (119 stations in total, with a low density of stations in the west and dense stations in the eastern plain)

图 1. 河南省国家气象站位置分布(共 119 个站点，西部站点密度较低，东部平原区站点密集)

3. 资料与方法

3.1. 数据来源

本文所用河南省 119 个国家气象站降水数据来自河南省气象局，缺测的降水数据采用同一时间地理位置最临近的站点降水数据代替。

3.2. 研究方法

3.2.1. 降水距平百分率

为了反映某一时段内降水量与同期平均状态的偏离程度，用降水距平百分率来表示，公式为：

$$P_a = \frac{p - \bar{p}}{\bar{p}} \tag{1}$$

式(1)中, P 为某一时段的降水量; $\bar{P}$ 为同期多年平均降水量; 单位均为 mm。本文定义 $\bar{P}$ 取 1991~2020 年的平均降水量(一个气候态)作为常年同期。

3.2.2. 旱涝急转指数

将降水集中期内旱涝急转的时间跨度设定为两个月, 即若 5 月至 6 月呈现干旱, 而 7 月至 8 月转为洪涝, 则定义为旱转涝; 相反情况则定义为涝转旱。针对河南省 119 个观测站, 分别对 5 月至 6 月和 7 月至 8 月的降水量进行标准差处理进而计算出全省及各站的 SDAFI 值, 具体计算方法见公式(2)和公式(3)。

$$R = (P_i - \bar{P}) / \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2} \quad (2)$$

式(2)中, R 为标准化降水量; P_i 为降水量值, $i = 1, 2, 3 \dots, N$; $\bar{P}$ 为降水量平均值。单位是 mm。 N 是总样本数。

$$\text{SDFAI} = (R_{78} - R_{56}) * (|R_{56}| + |R_{78}|) * 2.0^{-|R_{56} + R_{78}|} \quad (3)$$

式(3)中, R_{56} 为 5~6 月的标准化降水量; R_{78} 为 7~8 月的标准化降水量; $R_{78} - R_{56}$ 为旱涝急转强度项, $|R_{56}| + |R_{78}|$ 为旱涝强度项。 $2.0^{-|R_{56} + R_{78}|}$ 是权重系数。

3.2.3. 旱涝急转判断标准

当 SDAFI 值超过 1 时, 表示发生了由旱情向涝情的转变; 当 SDAFI 值低于 -1 时, 则表明出现了由涝情向旱情的转变; 而 SDAFI 值介于 -1 与 1 之间时, 则意味着既无旱转涝也无涝转旱的情况发生。

3.2.4. 旱涝急转强度

采用 SDAFI 的绝对值作为衡量旱涝急转强度的指标, 其数值越大, 表征旱涝急转现象越剧烈; 反之, 数值越小, 则表明旱涝急转现象越温和。

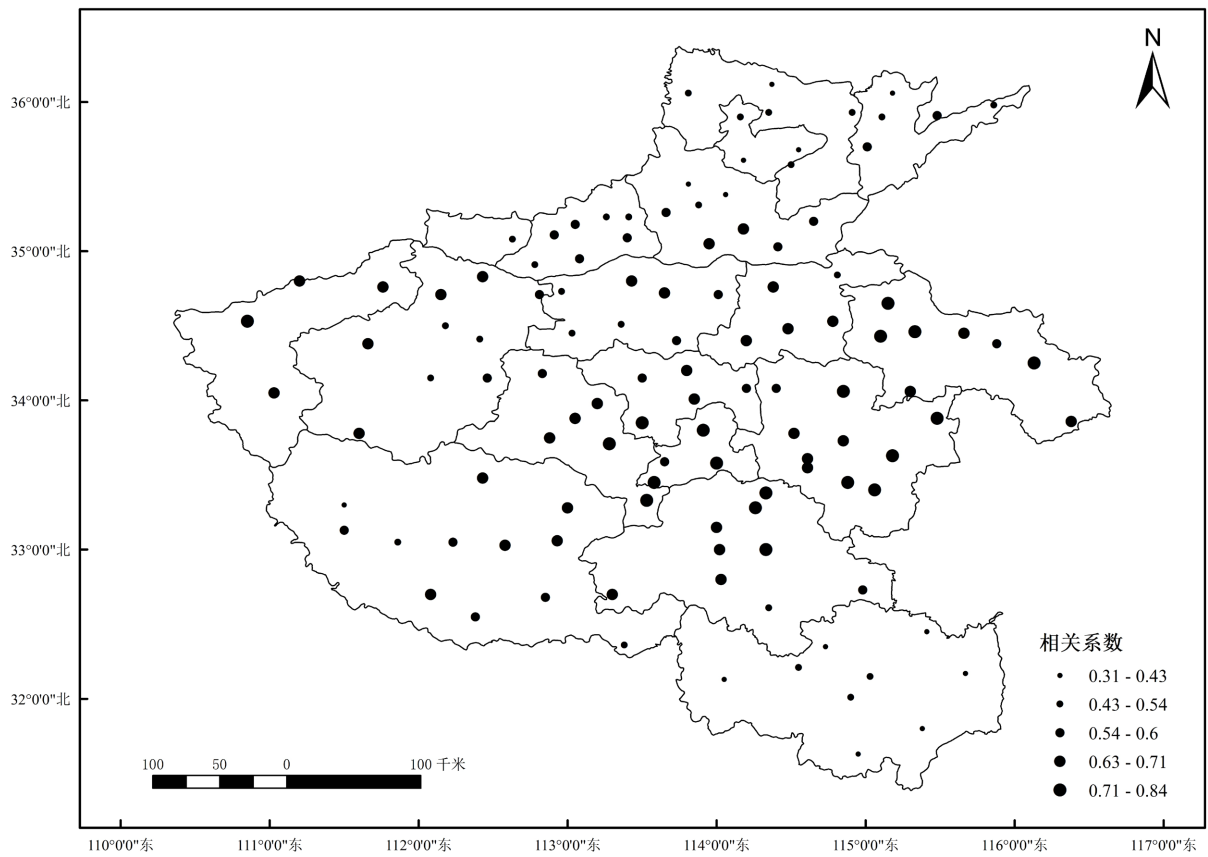
4. 结果分析

4.1. 1961~2024 年各站点 SDAFI 与河南省降水集中期 SDAFI 相关性分析

通过相关性检验发现(如图 2), 河南省 119 个站点的 SDAFI 与河南省降水集中期 SDAFI 相关系数在 0.31~0.84 之间。在河南省的观测站点中, 有 117 个站点的数据通过了 0.01 显著性水平的检验, 另有 2 个站点通过了 0.05 显著性水平的检验。基于这些统计结果, 将河南省视为一个整体来探讨旱涝急转现象是恰当的。从空间分布来看, 相关系数呈现南北低、中部高的分布特征。表明中部地区的旱涝急转现象与降水集中期的关系更为密切; 而南北部地区的站点与降水集中期的关系相对较弱。

4.2. 旱涝急转指数变化趋势

1961 年至 2024 年, 河南省 SDAFI 呈现显著波动特征(如图 3), 涝情突出的年份包括 1965 年(2.51)、1982 年(3.54)、1995 年(3.92)、2010 年(2.43)和 2024 年(8.49), 而旱情显著的年份包括 1971 年(-3.14)、1980 年(-2.22)、1991 年(-4.23)、2002 年(-6.69)和 2015 年(-7.00), 其中 2002 年和 2015 年为极端干旱事件。根据趋势函数 $y = 0.0003x - 0.0809$, SDAFI 整体呈微弱上升趋势, 表明涝情风险可能略有增加。分阶段来看, 1961~1970 年以轻度旱涝为主; 1971~1980 年旱情加剧; 1981~1990 年涝情频发; 1991~2000 年旱涝交替显著; 2001~2010 年旱情再次加重; 2011~2024 年波动加剧, 涝情显著增强, 尤其是 2024 年达到历史峰值。



注：基于国家地理信息公共服务平台天地图下载的审图号为 GS(2024)0650 号的标准地图制作，底图未作改动。

Figure 2. Correlation coefficient diagram between SFAI of each site and SFAI of Henan Province (Correlation coefficient ranges from 0.31 to 0.84, the higher the correlation coefficient is, the more correlation between SFAI of the site and SFAI of Henan Province)

图 2. 各站点 SFAI 和河南省 SFAI 相关系数图(相关系数取值范围为 0.31~0.84，相关系数越高说明该站点 SFAI 和河南省 SFAI 越相关)

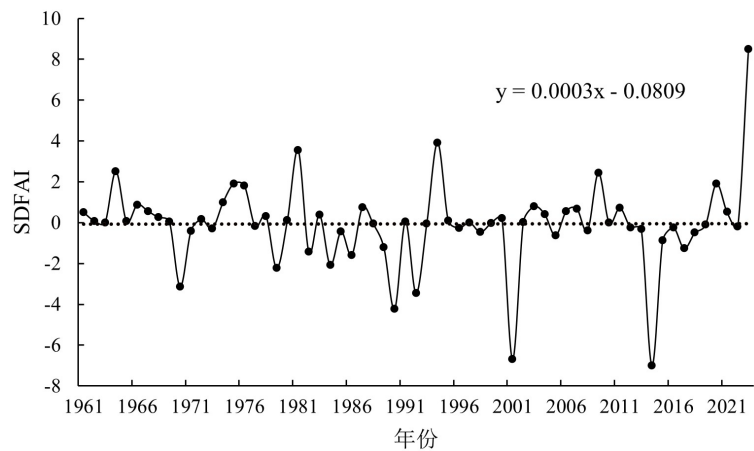


Figure 3. The inter-annual change of drought-flood rapid transition index (the greater the SFAI, the more intense the drought-flood transition, and the smaller the SFAI, the more intense the drought-flood transition. The SFAI for an extreme flood year such as 2024 is 8.49, and the SFAI for an extreme drought year such as 2015 is -7.00)

图 3. 旱涝急转指数年际变化(SFAI 越大代表旱转涝越强烈，SFAI 越小代表涝转旱越强烈。极端涝年如 2024 年 SFAI 达 8.49，极端旱年如 2015 年 SFAI 为-7.00)

4.3. 旱涝急转指数强度变化趋势

1961 年至 2024 年旱涝急转强度整体呈显著上升趋势(如图 4), 每十年约增加 0.15, 反映出旱涝急转的剧烈程度随时间逐渐增强。极端事件频发, 如 1971 年(3.14)、1982 年(3.54)、1991 年(4.23)、2002 年(6.69)、2015 年(7.00)和 2024 年(8.49), 其中 2024 年达到历史峰值, 旱涝急转强度最为剧烈。分阶段来看, 1961~1970 年强度较低, 旱涝急转较为平缓; 1971~1990 年强度波动增大, 极端事件开始增多; 1991~2010 年强度显著上升, 旱涝急转加剧; 2011~2024 年强度持续高位波动, 极端事件频率和强度进一步增加。

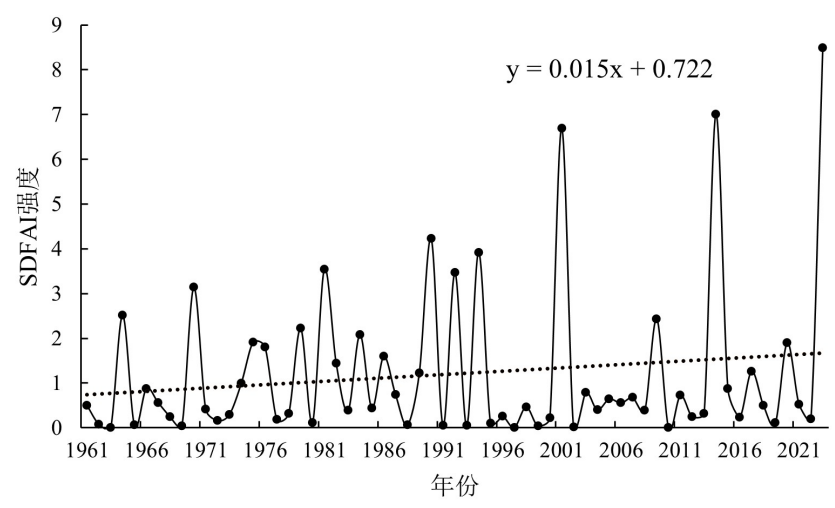


Figure 4. Inter-annual variation of the intensity of drought-flood surge index (the absolute value of SDFAI represents the intensity of drought-flood surge; the greater the absolute value, the higher the intensity)

图 4. 旱涝急转指数强度年际变化(SDFAI 绝对值表征旱涝急转剧烈程度, 绝对值越大强度越高)

4.4. 典型年份旱涝急转特征

对河南省 1961~2024 年期间的旱涝急转指数进行统计分析, 找出指数值最大的前三年和最小的前三年, 并分别统计这些年份 5~6 月和 7~8 月的降水距平百分率, 结果如表 1 所示。分析表明, 2024 年(SDFAI = 8.49)、1995 年(SDFAI = 3.92)和 1982 年(SDFAI = 3.54)是旱转涝最为显著的三年, 其中 2024 年表现出极端的降水转变特征, 5~6 月降水偏少 56.26%, 而 7~8 月降水偏多 55.71%。相比之下, 涝转旱最为显著的年份为 2015 年(SDFAI = -7.00)、2002 年(SDFAI = -6.69)和 1991 年(SDFAI = -4.23), 这些年份均呈现出前汛期降水偏多、后汛期降水显著减少的特征, 其中 2002 年 5~6 月降水偏多 70.18%, 而 7~8 月降水偏少 38.43%。研究结果凸显了河南省降水季节分配的极端不均匀性(如表 1)。

Table 1. Characteristics of drought-flood abrupt transition and precipitation anomaly percentage in typical years

表 1. 典型年份旱涝急转特征及其降水距平百分率

年份	旱涝性质	SDFAI	5~6 月降水距平百分率	7~8 月降水距平百分率
2024	旱转涝	8.49	-56.26%	55.71%
1995	旱转涝	3.92	-39.54%	38.79%
1982	旱转涝	3.54	-34.86%	70.60%
1991	涝转旱	-4.23	39.88%	-27.62%
2002	涝转旱	-6.69	70.18%	-38.43%
2015	涝转旱	-7.00	43.46%	-38.23%

5. 结果分析

5.1. 旱涝急转指数的空间异质性分析

本研究通过分析河南省 119 个站点的 SDFAI 与区域降水集中期 SDFAI 的相关性,发现其相关系数介于 0.31 至 0.84 之间,其中 117 个站点通过显著性 0.01 检验,2 个站点通过显著性 0.05 检验。这一结果表明,河南省旱涝急转现象具有显著的空间异质性,支持将河南省作为一个整体进行旱涝急转研究的合理性。如图 2 所示, SDFAI 相关系数空间分布(南北低、中部高)与河南省地形密切相关。中部黄淮平原受季风主导,降水集中期与区域 SDFAI 同步性高;而豫西伏牛山区和豫南大别山区地形抬升作用显著,局地环流导致降水变率增大,削弱了与区域整体趋势的相关性[11]。西太平洋副热带高压(WPSH)北跳延迟可导致前汛期降水偏少(如 2024 年),而后期西风带扰动增强引发后汛期暴雨;豫西山区地形抬升加剧局地对流,导致南北部降水变率高于中部平原;东亚夏季风强度年际变化直接影响降水季节分配,如 1998 年强季风年涝转旱事件减少,而弱季风年(如 2015 年)旱情加剧。

5.2. 旱涝急转指数的年际变化特征

1961~2024 年期间,河南省 SDFAI 呈现显著波动特征,涝情突出的年份包括 1965 年、1982 年、1995 年、2010 年和 2024 年,而旱情显著的年份包括 1971 年、1980 年、1991 年、2002 年和 2015 年。其中,2002 年、2015 年和 2024 年分别达到极端干旱和极端涝情的峰值。趋势分析表明, SDFAI 整体呈微弱上升趋势,说明涝情风险可能略有增加。分阶段来看,旱涝急转现象表现出明显的年代际变化特征:20 世纪 60 年代以轻度旱涝为主,70 年代旱情加剧,80 年代涝情频发,90 年代旱涝交替显著,21 世纪以来旱涝急转强度进一步增加,尤其是 2024 年达到历史峰值。这种变化可能与全球气候变化背景下极端天气事件频发的趋势相一致[12]。

5.3. 旱涝急转强度的演变趋势

基于 1961~2024 年河南省旱涝急转强度数据分析,研究区旱涝急转强度呈显著上升趋势,拟合函数 $y = 0.015x + 0.722$ 表明每十年强度增加约 0.15。极端事件频发,其中 2002 年、2015 年和 2024 年达到极值, SDFAI 绝对值分别为 6.69、7.00 和 8.49,特别是 2024 年 5~6 月降水偏少 56.26%,而 7~8 月偏多 55.71%,表现出极端的降水季节分配不均匀性。这种急剧的旱涝转变可能与气候变化背景下的大气环流异常、季风活动变化及区域降水模式转变密切相关,对农业生产、水资源管理和生态系统稳定性构成严峻挑战[13]。未来需加强极端天气事件的监测与应对,以减轻其对区域可持续发展的影响。

5.4. 典型年份旱涝急转特征

典型年份分析进一步揭示了河南省旱涝急转的极端特征。旱转涝显著的年份(2024 年、1995 年、1982 年)均表现出前汛期降水显著偏少、后汛期降水显著偏多的特征,其中 2024 年的降水距平百分率变化最为剧烈。相比之下,涝转旱显著的年份(2015 年、2002 年、1991 年)则呈现前汛期降水偏多、后汛期降水显著偏少的特征,其中 2002 年 5~6 月降水偏多 70.18%,而 7~8 月降水偏少 38.43%。以 2024 年为例(SDFAI = 8.49),该年前汛期受异常大陆高压控制,5~6 月降水偏少 56.26%;7~8 月西太平洋副热带高压异常西伸,与南亚季风水汽汇合,引发严重城市内涝。这种降水季节分配的极端不均匀性不仅加剧了区域水资源管理的难度,也对农业生产和生态系统稳定性产生了深远影响。

5.5. 研究展望

基于本研究对河南省旱涝急转指数空间异质性、年际变化特征及典型年份极端事件的分析,未来研

究可在以下几个方面进一步深化：首先，结合高分辨率气候模型和区域水文模型，定量解析大气环流异常、季风活动变化及人类活动对旱涝急转的驱动机制，特别是中部地区与南北部空间异质性的成因；其次，利用机器学习和大数据技术，构建旱涝急转事件的预测模型，提升对极端降水季节分配不均匀性的预警能力；此外，针对典型年份的极端旱涝急转特征，进一步量化其对农业生产、水资源管理和生态系统稳定性的影响，为区域防灾减灾提供科学依据；最后，结合未来气候变化情景，模拟旱涝急转的演变趋势，为河南省的可持续发展制定适应性策略。通过多学科交叉与技术创新，为应对气候变化背景下旱涝急转的挑战提供更全面的科学支撑。

致 谢

本研究的数据支持来源于河南省气象局，特此致以诚挚的感谢。河南省气象局提供的高质量气象观测数据为本研究奠定了坚实的基础。同时，感谢中国气象局——河南省农业气象保障与应用技术重点实验室的支持，为研究的顺利开展提供了重要保障。

基金项目

中国气象局——河南省农业气象保障与应用技术重点实验室复盘总结专项基金(项目编号：KF202555)。

参考文献

- [1] 楚纯洁, 张小磊, 周金凤. 1960-2018 年河南省短周期旱涝急转事件演变特征[J]. 水土保持研究, 2023, 30(4): 275-285.
- [2] 黄荣辉, 杜振彩. 全球变暖背景下中国旱涝气候灾害的演变特征及趋势[J]. 自然杂志, 2010, 32(4): 187-195.
- [3] 李双双, 杨赛霓, 刘宪锋. 1960-2013 年北京旱涝变化特征及其影响因素分析[J]. 自然资源学报, 2015, 30(6): 951-962.
- [4] 郭锐, 智协飞. 中国南方旱涝时空分布特征分析[J]. 气象科学, 2009, 29(5): 598-605.
- [5] 杨晓静, 左德鹏, 徐宗学. 基于标准化降水指数的云南省近 55 年旱涝演变特征[J]. 资源科学, 2014, 36(3): 473-480.
- [6] 孙其明, 胡石建, 赵义军. 2021 年夏季河南极端降水水汽来源分析与西太平洋副热带高压的可能作用[J]. 海洋与湖沼, 2023, 54(1): 16-29.
- [7] 张新刚. 气候变暖对豫北地区冬小麦生长发育和产量的影响——以河南省沁阳市为例[J]. 中国农学通报, 2025, 41(3): 98-106.
- [8] 刘罕奇, 王婷婷, 冯瑶, 等. 气候变化和水库运行对长江流域水文情势的影响预估[J]. 地理学报, 2025, 80(1): 41-60.
- [9] 李昊谦, 王璐, 陈林, 等. 区域气候模式对长江中下游梅雨的数值模拟: 积云对流参数化方案和水平分辨率的影响[J]. 大气科学, 2024, 48(6): 2178-2200.
- [10] 李小雨, 张国栋, 尹昌燕, 等. 未来气候模式下黄河流域极端降水指数时空分布特征[J]. 人民黄河, 2024, 46(11): 37-42.
- [11] 秦汉, 袁为, 王君, 等. 2021 年河南极端降水的气候变化归因: 对流组织的影响[J]. 中国科学: 地球科学, 2022, 52(10): 1863-1872.
- [12] 唐捷, 董美琦, 赵锦, 等. 基于机器学习的极端气候事件对东北玉米气象产量影响评估[J]. 中国农业气象, 2025, 46(2): 258-269.
- [13] 曹迈, 吕心艳. 2024 年 10 月大气环流和天气分析[J]. 气象, 2025, 51(1): 122-128.