

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2023.04.012.

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.

CHU Chunjie, ZHANG Xiaolei, ZHOU Jinfeng. Evolution Characteristics of Short-Period Drought-Flood Abrupt Alternation Events in Henan Province from 1960 to 2018[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023, 30(4): 275-285.

1960—2018年河南省短周期旱涝急转事件演变特征

楚纯洁, 张小磊, 周金凤

(1.平顶山学院 旅游与规划学院, 河南 平顶山 467000; 2.河南省科学院地理研究所, 郑州 450052)

摘要: [目的] 阐明河南省旱涝急转灾害的时空演变规律及趋势, 为河南省旱涝急转事件的定量识别、时空演变及灾害风险评估提供依据。 [方法] 利用河南省 17 个国家基准气象台站 1960—2018 年逐日降水、气温资料, 采用月尺度短周期旱涝急转指数, 对河南省旱涝急转时空演变进行了多尺度、系统性地分析。 [结果] (1) 旱涝急转指数绝对值大于 1.0 可作为旱涝急转事件的识别阈值, 绝对值越大, 旱涝急转强度越大。(2) 旱涝急转事件年际波动变化显著, 具有明显阶段性特点。轻度旱涝急转事件发生频次略呈增多趋势, 中度旱涝急转事件发生频次趋势性不明显, 其他旱涝急转事件则略呈减少趋势, 但旱涝急转与涝转旱事件强度分别以 0.011/a, 0.021/a 的线性倾向率略呈增强趋势, 且强度在未来将会持续增大。(3) 旱涝急转事件及其强度变化存在 15.0 a 的第一主周期与 3.0 a 的第二周期, 但同一周期下旱涝急转与涝转旱两类事件呈显著反相变化。(4) 旱涝急转事件多发区及其强度较大区域主要集中于豫东、豫南平原区以及豫西山区, 其中豫东、豫南平原区受地理、生态因素影响致灾风险较大。(5) 前期大气环流、太阳黑子活动是旱涝急转现象预测预警的重要信号。 [结论] 河南省旱涝急转和涝转旱均频发, 具显著周期性, 且强度在未来将会持续增大, 豫东、豫南平原区致灾风险大。

关键词: 旱涝急转; 时空演变; 河南省

中图分类号: P467

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2023)04-0275-11

Evolution Characteristics of Short-Period Drought-Flood Abrupt Alternation Events in Henan Province from 1960 to 2018

CHU Chunjie, ZHANG Xiaolei, ZHOU Jinfeng

(1.College of Tourism and Planning, Pingdingshan University, Pingdingshan, Henan 467000, China;

2.Institute of Geography, Henan Academy of Sciences, Zhengzhou 450052, China)

Abstract: [Objective] This article aims to elucidate the spatiotemporal evolution patterns and trends of sudden changes in drought and flood disasters in Henan Province, and then to provide basis for quantitative identification, temporal and spatial evolution and disaster risk assessment of drought—flood abrupt alternation events in Henan Province. [Methods] Based on daily precipitation and temperature data of 17 national benchmark meteorological stations in Henan Province from 1960 to 2018, this study carried out multi-scale and systematic analysis on spatiotemporal variation of drought-flood abrupt alternation in Henan Province in the past 59 years by using monthly short-period drought-flood abrupt alternation index. [Results] (1) The absolute value of drought-flood abrupt alternation index greater than 1.0 can be used as the identification threshold of drought-flood abrupt alternation events. The greater the absolute value is, the greater the intensity of drought-flood abrupt alternation is. (2) In the past 59 years, the interannual fluctuation of drought-flood abrupt alternation events had changed significantly, with obvious stage characteristics. The frequency of mild sharp turn events showed a slightly increasing trend, the frequency of moderate events showed no obvious trend, and other events showed a slightly decreasing trend. However, the intensity of drought-to-flood and flood-to-drought events increased slightly with the linear tendency rates of 0.011/a and 0.021/a, respectively,

收稿日期: 2022-05-12

修回日期: 2022-07-11

资助项目: 河南省重点研发与推广专项(科技攻关)项目(202102310300); 平顶山学院高层次人才资助项目(PXY-BSQD-2017004)

第一作者: 楚纯洁(1978—), 男, 河南叶县人, 博士, 教授, 主要从事自然地理、灾害地理研究。E-mail: zcfccj@163.com

<http://stbcj.paperonice.org>

and the sharp turn intensity will continue to increase in the future. (3) There were the first main period of 15.0 a and the second period of 3.0 a in the drought-flood abrupt alternation events and their intensity. However, under the same cycle, the drought-to-flood events and the flood-to-drought events showed significant inverse changes. (4) The areas with high frequency and intensity of drought-flood abrupt alternation events mainly concentrated in the plain areas of eastern and southern Henan and the mountainous areas of western Henan. Among them, the eastern and southern plains of Henan had a greater hazard risk affected by geographical and ecological factors. (5) The early atmospheric circulation and sunspot activity are important signals for the prediction and early warning of drought-flood abrupt alternation. [Conclusion] Drought-to-flood and flood-to-drought are frequent in Henan Province, with obvious periodicity, and the intensity will continue to increase in the future. The disaster risk is high in the plain areas of eastern and southern Henan.

Keywords: drought-flood abrupt alternation; spatiotemporal variation; Henan Province

受全球气候变化和人类活动等因素的共同影响,旱涝异常事件发生强度和频率不断增加,导致干旱与洪涝两种极端气候事件交错发生并在短时间内急剧转变,这种旱涝急转现象已成为近年来国内外大气科学研究的热点之一^[1-2]。1990s 以来,中国旱涝灾害在相对较短时间发生旱涝急转事件的现象呈明显上升趋势^[3-5],已成为中国旱涝异常的一个新特点,严重威胁着中国的水安全和粮食安全,特别是对种植面积广大的耐旱和耐涝都差的农作物的影响非常严重。以往针对旱涝异常现象的研究大多立足于夏季降水的异常^[6],对降水的季节内变化关注较少,而旱涝急转现象是季节内降水异常的典型代表^[7]。国内针对旱涝急转现象的研究始于 2006 年^[8],此后该领域研究迅速升温。淮河流域、长江中下游地区以及华南与西南地区是我国旱涝急转现象或灾害的多发区域,因而也得到了很多学者的关注^[8-13],北方地区的旱涝急转现象近年来也逐渐得到了更多的关注^[14-18]。相关研究的重点主要集中于旱涝急转的判别方法、成因分析、演变特征、灾害损害评估等方面^[19-20],这些研究大多基于流域平均降水量,关注的是整个流域“平均特征”,但对流域尺度的“平均特征”的勾勒往往不能较为精细地理解旱涝急转现象的特征。

“一部河南史半部中国史”^[21]充分说明了河南在中国历史进程中的重要性。中国北方饱受旱灾,但水灾却很少光顾;南方饱受水灾,但旱灾却很少光顾。可是,处于中国气候南北过渡带的河南省却是既饱受水灾又饱受旱灾。受特殊的气候和地理要素以及全球气候变化影响,季节间及季节内降水分配极不平衡,极端气候事件频发,旱涝灾害频繁,持续时间长,波及面积大,加剧了区域水资源环境恶化^[22],对居民生活、农业生产和生态环境带来极大的危害。如河南省 2021 年上半年持续干旱,但自 7 月下旬至 10 月份,全省大范围出现了多轮强降雨,部分地区降水量截至 9 月底已超过多年平均降水量的 2.5 倍,而仅

2021 年 7 月中下旬河南省发生的极端强降雨就造成了全省 1 453.16 万人受灾,302 人遇难,50 人失踪,农作物受灾面积 $1.009\ 04 \times 10^7 \text{ hm}^2$,倒塌及损坏房屋累计 784 265 间,直接经济损失 1 142.69 亿元。可见,作为中国重要的农副产品和粮食生产基地,河南省短期内遭遇旱涝灾害的急剧转变,其灾害损失远远超过单一的干旱或者洪涝灾害,且会持续造成系列衍生农业灾害或社会影响,对河南省高密度的人口、工矿企业和农业生产基地也将产生巨大危害。基于此,对河南省旱涝急转灾害时空演变规律及趋势进行研究是十分迫切和必要的,可以为河南省旱涝急转灾害的定量识别、灾害风险评估提供依据,为防洪抗旱、减灾决策工作提供科学依据。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

气象数据来源于国家气象科学数据中心(<http://data.cma.cn/>),选取河南省 17 个国家基准气象站(图 1)1960 年 1 月 1 日—2018 年 12 月 31 日逐日降水数据,少数缺测数据采用回归替代法进行插补。大气环流数据来源于美国国家海洋和大气管理局地球系统研究实验室(Earth System Research Laboratory, ESRL)(<https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>)和中国国家气候中心气候系统指数集(http://cmdp.ncc-cma.net/Monitoring/cn_index_130.php)。太阳黑子活动数据来源于美国航天航空局(<http://solarscience.msfc.nasa.gov>)。

1.2 研究方法

(1) 短周期旱涝急转指数。采用闪丽洁所提出的短周期旱涝急转指数^[23],公式如下:

$$\text{SDFAI} = (P_{\text{后}} - P_{\text{前}}) \times (|P_{\text{后}}| + |P_{\text{前}}|) \times 3.2^{-|P_{\text{后}} + P_{\text{前}}|} \quad (1)$$

式中: $P_{\text{后}}$ 为当前月标准化降水量; $P_{\text{前}}$ 为前一个月标准化降水量, $(|P_{\text{后}}| + |P_{\text{前}}|)$ 为旱涝强度项, $3.2^{-|P_{\text{后}} + P_{\text{前}}|}$ 为

权重系数。

标准化降水量 P 的计算如下:

$$P_i = \frac{X_i - \bar{X}}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}} \quad i=1,2,\dots,n \quad (2)$$

式中: X_i 为第*i*月原降水量; \bar{X} 为降水量年均值; $P_i > 0.5$ 为偏涝, $P_i > 1$ 为显著偏涝; $P_i < -0.5$ 为偏旱, $P_i < -1$ 显著偏旱。

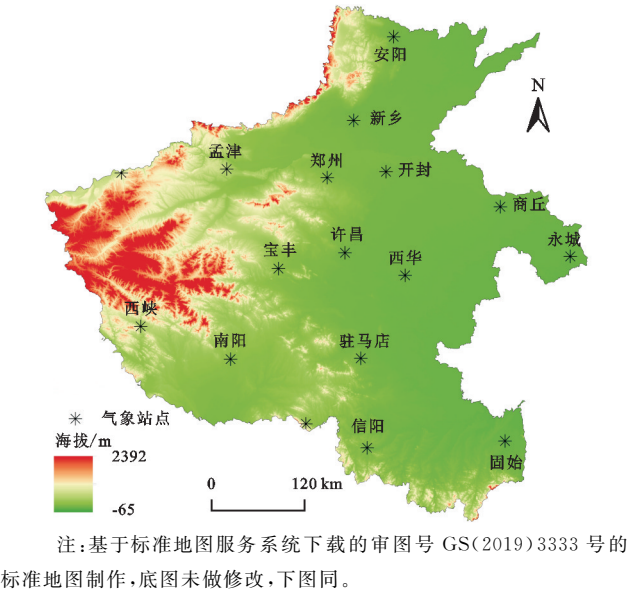


图 1 河南省地势变化与气象站点分布

表 1 不同 SDFAI 阈值下河南省旱涝急转事件当月及前月标准化降水量达标率统计 %

SDFAI 阈值			(0,0.8)	[0.8,0.9)	[0.9,1.0)	[1.0,1.2)	≥1.2
旱转涝	当月	$P_j \geq 0.5$	32.34	60.05	69.53	90.46	100
	前月	$P_i \leq -0.5$	41.73	31.3	25.72	92.77	100
		$P_j \geq 0.5$ 且 $P_i \leq -0.5$	0.38	2.80	4.76	90.46	100
SDFAI 阈值			≤-1.2	(-1.2,-1.0]	(-1.0,-0.9]	(-0.9,-0.8]	(-0.8,0)
涝转旱	当月	$P_i \leq -0.5$	100	92.98	68.42	48.15	28.49
	前月	$P_j \geq 0.5$	100	93.66	27.90	47.69	40.47
		$P_j \geq 0.5$ 且 $P_i \leq -0.5$	100	92.98	3.68	2.16	0.54

由表 1 可以看出,SDFAI 绝对值小于 0.8 时,当月和前月标准化降水量 P 值符合条件的比例很低,而前后两个月同时满足条件的比例更低。SDFAI 绝对值介于 0.8~1.0 前月或后月 P 值符合条件的比例不超过 70%,且前后月均符合条件的比例不足 5%。SDFAI 绝对值介于 1.0~1.2 时,前后月 P 值均符合条件的比例超过了 90%,而 SDFAI 绝对值大于 1.2 时,前后月 P 值均符合条件的比例为 100%。说明以 ±1 作为旱涝急转事件的阈值是合理的。对于 SDFAI 绝对值介于 1.0~1.2 时不能同时满足条件以及小于 1.0 但前后月 P 值同时符合条件的个别站点数据,再根据其前后月降水距平百分率进行甄别,对于前后月

(2) 时空演变分析方法。采用区域平均序列构建区域旱涝急转的时间变化轴^[24],采用气候倾向率法^[25-26]、Hurst 指数法(R/S 分析)^[27]、Morlet 小波分析分别用于分析旱涝变化趋势与速率及其周期性特征,其中 Hurst 指数 $H=1/2$ 表示历史增量与未来增量无关,时序完全随机,不能开展趋势性分析; $H>1/2$ 表示过去与未来增量呈正相关,即过去时段的增长(减少)趋势将意味着未来也呈增加(减少)趋势; $0<H<1/2$ 表示过去与未来的增量呈负相关,即过去的增长(减少)趋势将意味着未来的减少(增加)趋势^[28]。

2 结果与分析

2.1 旱涝急转事件阈值检验

依据式(1),SDFAI>0 时,旱涝现象表现为旱转涝,SDFAI<0 时为涝转旱,但这并不能说明发生了旱涝急转,因此阈值的识别与界定成为判定旱涝急转事件的关键。在前人研究中,多数将 SDFAI≥1.0,SDFAI≤-1.0 分别作为旱转涝事件、涝转旱事件的阈值^[11,13,17-18,23,29],也有将 SDFAI 值取±0.5^[30],±1.2^[12],±1.5^[10],±15 等^[9]作为旱涝急转事件判定的阈值,这既有旱涝急转指数计算过程中权重系数取值或公式改进的因素,也有取经验值的情况。在此以 SDFAI 值±1.0 对附近数据进行统计,分析其作为阈值的合理性,见表 1。

同时符合降水距平百分率绝对值大于 20%的数据也按旱涝急转事件进行提取。如固始站 1987 年 9 月 SDFAI 值为-0.85,其当月与前月 P 值分别为-0.64,2.99,降水距平百分率分别为-47.86%,184.28%,因此可认为该站 8—9 月份发生了旱涝急转事件。据此本研究选取 SDFAI 绝对值大于 1.0 的事件为旱涝急转事件,并经过综合分析比较,分别以 2.5,3.5 为中、重度旱涝急转事件的识别阈值。

2.2 旱涝急转事件时间演变特征

2.2.1 旱涝急转事件的年代际变化 依据全省旱涝急转平均序列进行年代际统计(表 2),可以看出近 59 a 河南省旱转涝事件与涝转旱事件发生总频次一致,均为

69次,其中除1980s旱转涝事件较少、2000s涝转旱事件较少之外,其他年代两类事件发生频次均为13次左右。具体来看,轻度旱转事件次数在1960s年代最多,之后发生频次呈波动性减少,尤其轻度涝转旱事件在2000s以来频次明显减少;中、重度旱转涝事件在各年代相

差不大,1990s发生重度旱转涝事件最多,所对应的旱转涝强度也最大;中、重度涝转旱事件在1970s和1990s最突出,分别达到了8次、7次,尤其1970s仅重度涝转旱事件就达6次,而且1970s和1990s涝转旱强度也最大,平均强度分别达到了3.28、3.54。

表2 1960—2018年河南省旱涝急转事件发生频次的年代际变化

年代	旱转涝事件次数					涝转旱事件次数				
	全部	轻度	中度	重度	平均强度	全部	轻度	中度	重度	平均强度
1960s	14	12	1	1	1.86	12	10	2	0	1.73
1970s	12	8	3	1	2.00	13	5	2	6	3.28
1980s	8	5	3	0	2.25	13	10	1	2	2.03
1990s	13	8	1	4	2.57	13	8	5	2	2.47
2000s	12	8	3	1	2.27	6	3	2	1	2.43
2010s	10	6	2	2	2.20	10	3	3	4	3.54

2.2.2 旱涝急转事件年际变化 由河南省旱涝急转指数与旱涝急转事件变化(图2)可以看出,河南省SDFAI值与旱涝急转事件年际波动变化显著,具有明显的阶段性特点。旱转涝变化具有明显规律性,几乎每个年代都具有较突出的相对偏强期,其中1965年、1975年、1995年、2007年、2010年、2014年是旱转涝最严重的年份;涝转旱事件阶段性波动变化更突出,尤其在1972—1976年、1970—1980年、1994—1995

年、2008—2015年形成了4个相对集中的偏强期,其中1973年、1975年、1979年、1987年、1995年、2013年、2014年、2015年是涝转旱最严重的年份。旱转涝事件强度略呈增强趋势(0.011/a),涝转旱事件则具有更强的增强趋势(0.021/a),但两者趋势均不显著($p>0.05$)。旱转涝与涝转旱事件的Hurst指数值分别为0.660 0、0.623 6,说明河南省旱涝急转事件整体上增强的趋势在未来仍将持续。

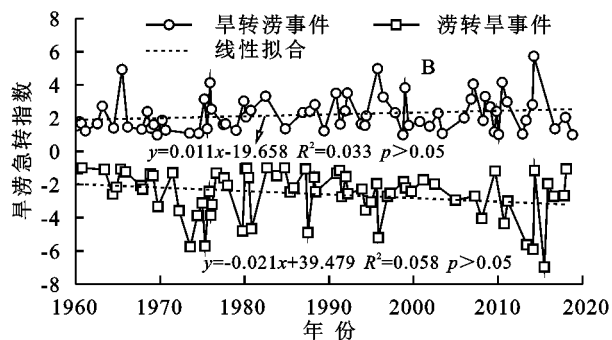
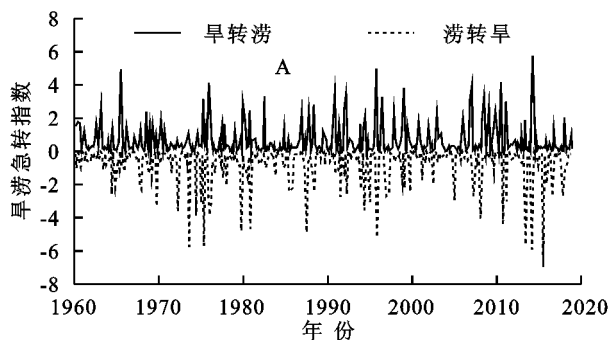


图2 1960—2018年河南省旱涝急转指数与旱涝急转事件变化

对不同程度旱涝急转事件频次进行统计,见图3。可以看出,全省轻、中、重度旱转涝事件年均站次分别为14.7、3.3、2.6次,轻、中、重度涝转旱事件年均站次分别为15.0、3.7、3.1次,两类事件基本一致。不同程度旱涝急转发生站次的年际变化波动很大,其中轻度旱转涝与涝转旱最高站次分别为34次(2018年)、29次(1967年),中度旱转涝与涝转旱最高站次分别为11次(1975年)、18次(1995年),重度旱转涝与涝转旱最高频次分别为10次(1975年)、13次(1975年),可见1975年是旱涝急转最严重的年份之一。从趋势变化上看,轻度旱转涝事件发生频次略呈增多趋势,中度旱转涝事件发生频次趋势性不明显,其他旱涝急转事件则略呈减少趋势。

2.2.3 旱涝急转事件的年内变化 图4为全省平均序列旱涝急转频次(图4A)与气象站点旱涝急转占全部旱涝急转事件的站次比(图4B)。可以看出,各月份均有旱涝急转事件发生。图4B显示,除2月份外,其他月份旱涝急转比例接近,而且不同程度旱涝急转站次比各月份波动不大。图4A显示,旱转涝事件峰值集中于2月、7月、11月,5月、8月、9月相对较少;涝转旱事件峰值集中于4月、11月、12月,2月、5月、8月、9月相对较少。汛期(5—8月)和非汛期(9—4月)旱涝急转没有出现明显差异。

2.2.4 旱涝急转事件强度变化特征

SDFAI绝对值反映了旱涝急转强度的大小,由年均强度序列可以看出(图5A),近59年河南省旱涝急转事

件强度呈现明显的阶段性波动变化,整体上没有明显趋势性(0.001/a)。经 R/S 分析(图 5C),旱涝急转强度 Hurst 指数值为 0.538 7,基本上呈随机状态,说明旱涝急转强度未来仍将没有明显趋势性变化。

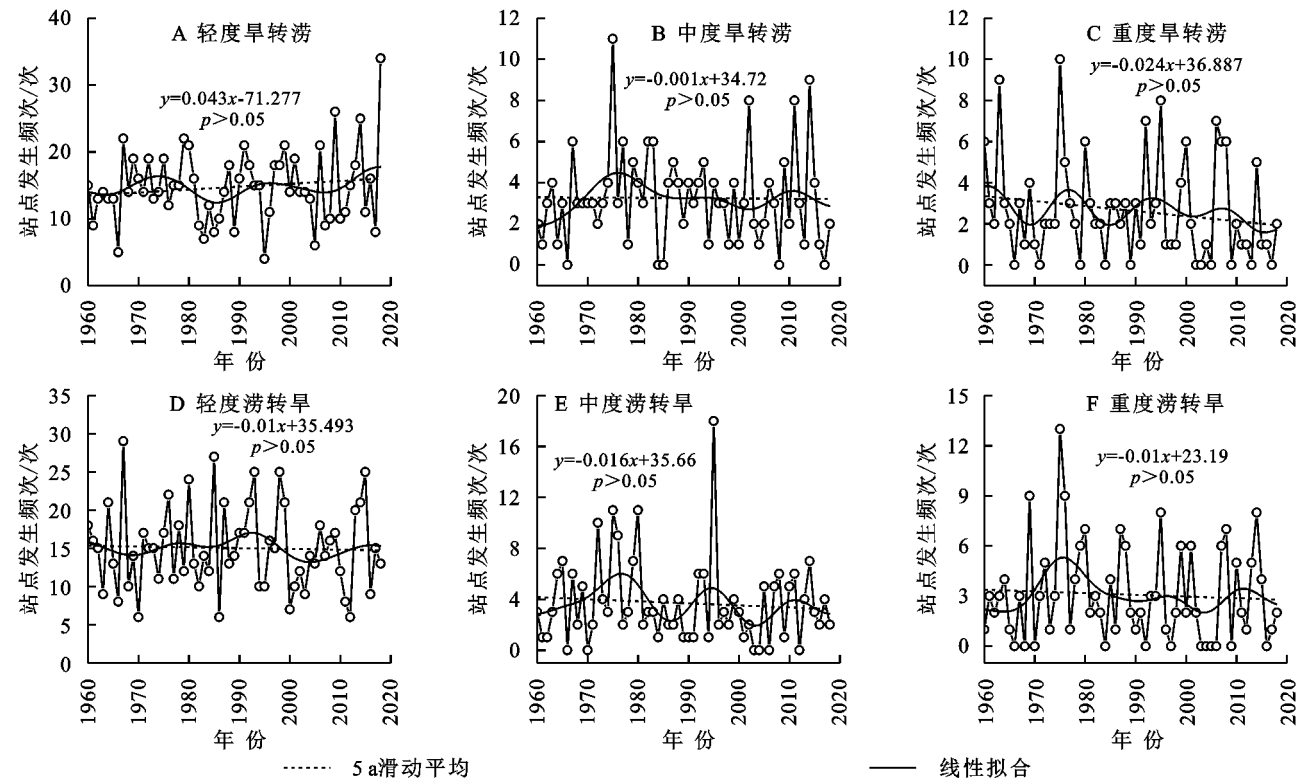


图 3 1960—2018 年河南省旱涝急转事件站点发生频次年际变化

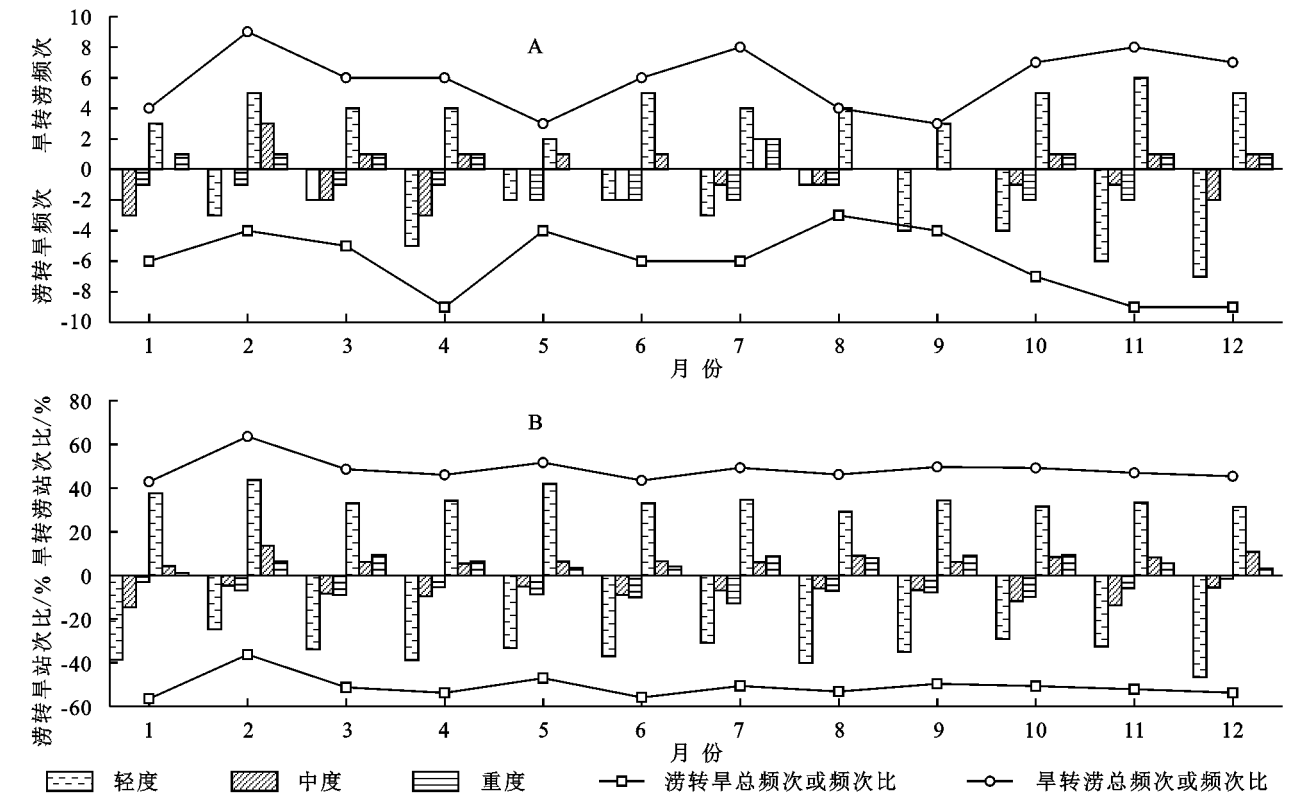


图 4 1960—2018 年河南省旱涝急转发生频次的月际变化

SDFAI 指数的年内最大值和最小值分别反映了年内最强“旱转涝(事件)”与最强“涝转旱(事件)”的发生强度^[29]。由图 5B 可以看出,最大值序列略呈阶段性波动增大趋势(0.009/a),最小值序列则呈较为明显的阶段性波动减小趋势(−0.019/a),但两者趋势均不显著($p>0.05$),说明旱转涝事件与涝转旱事件强度均

呈微弱增强之势。R/S 分析表明(图 5C),最大值和最小值序列的 Hurst 值分别为 0.621,0.677,说明旱转涝事件

与涝转旱事件强度在未来将会持续增大,这与图 2B 所反映的强度变化特点是一致的。

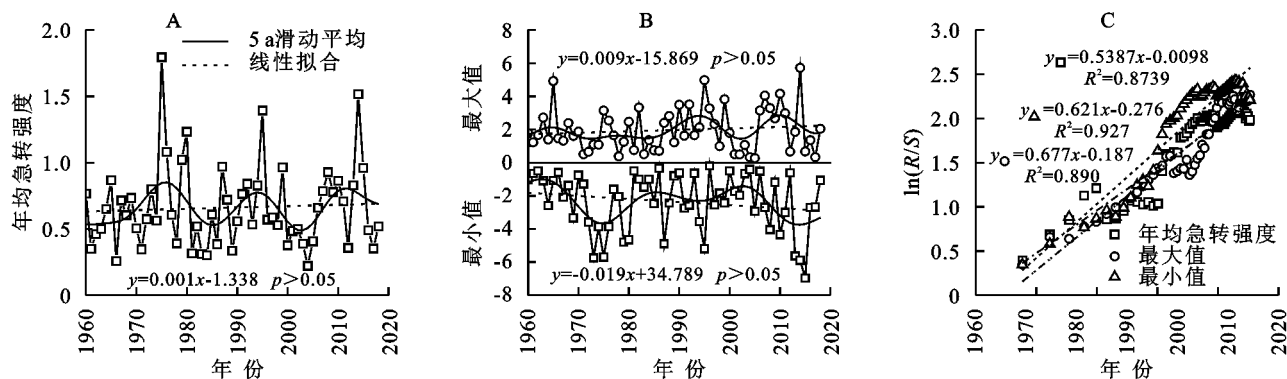


图5 1960—2018年河南省旱涝急转强度、年内最大(小)值年际变化及趋势

2.2.5 旱涝急转事件及其强度周期性分析 采用 Morlet 小波变换进行旱涝急转事件及其强度周期性分析(图 6)。可以看出,河南省旱涝急转指数主要存在年际尺度上的 1.9 a,7.9 a 与代际尺度上的 16 a 周期性变化,其中 16 a 与 1.9 a 周期震荡信号均强烈,分别为第一、第二主周期。旱转涝事件主要存在 2.9 a,5.3 a 的年际周期和 15.1 a,24.2 a 的代际周期;涝转旱事件主要存在 2.7 a,9.3 a 的年际周期和 15.0 a,20.8 a 的代际周期。共同之处在于,第一主周期均为 15 a,且其震荡信号贯穿全时域,第二主周期均为 2~3 a,震荡信号也较强,而其他周期震荡信号相对较弱且存在局域性。从强度变化来看,旱涝急转强度存在 3.3 a 的年际周期和 15.6 a 的代际周期,旱涝急转年最大值序列存在 2.95 a,5.7 a 的年际周期与 15.0 a,24.6 a 的代际周期,最小值序列存在 3.0 a,5.3 a 的年际周期与 15.2 a,20.7 a 的代际周期。由此可见,无论旱转涝事件、涝转旱事件还是旱涝急转强度均存在 15.0 a 的第一主周期与 3.0 a 的第二周期。

为进一步揭示河南省旱涝急转演变的周期性特征,对 3 a 与 15 a 主周期进行信号重建(图 7)。可以看出,旱转涝事件与代表旱转涝强度的最大值序列在两个主周期均呈同相同步变化(平均相关系数为 0.952**),涝转旱事件与代表涝转旱强度的最小值序列也在两个主周期呈同相同步变化(平均相关系数为 0.846**),而由于旱转涝与涝转旱是两类性质相反的现象,同一周期两类事件呈明显的反相变化,均为显著负相关,尤其 15 a 周期两类性质的相关系数达到了 0.719**。另外,旱转涝事件 15 a 周期主要出现于 1980s 中期之后,而 3 a 周期主要出现于 1990s 以来;涝转旱事件的 3 a 和 15 a 周期则覆盖全时段,具有明显全域性。

2.3 旱涝急转事件空间演变特征

2.3.1 旱涝急转事件发生频次空间分布 由图 8 可以看出,旱转涝与涝转旱高发区均主要集中于豫东、豫南地区以及豫西灵宝、卢氏、西峡等山区,其他地区相对较少。具体来看,轻度旱转涝高发区除了豫东、豫南之外,还有豫北安阳一带,中度旱转涝高发区在豫东、豫南地区有所收缩并向豫西豫北分散,重度旱转涝高发区向豫东(不包括永城)、豫南呈连片集中分布,而相邻的新乡、郑州、许昌、宝丰等北中部地区较少。轻度涝转旱事件高发区环豫南、豫西、豫北、豫东商丘等周边散状分布,中度涝转旱高发区转移至永城、西华、宝丰、孟津等中部一带,重度涝转旱高发区则主要集中于开封、商丘等豫东地区,安阳、宝丰、许昌等地发生频次最少。

2.3.2 旱涝急转事件强度空间分布 旱转涝事件与涝转旱事件的强度分布基本一致(图 9),其中最大旱涝急转强度主要集中分布于豫西三门峡、洛阳一带、豫东开封、西华、商丘、永城等地以及豫南信阳、桐柏周边地区,强度较低的地区主要集中于豫北安阳、豫中许昌、宝丰以及豫南东部的固始等地。旱涝急转事件发生频率及强度是旱涝急转致灾风险的关键性指标,除此之外,地形、植被等地理、生态因子也是影响致灾风险的重要因素。豫西山地丘陵区一般地表地形起伏大,极端暴雨或持续性降雨很容易造成山洪暴发、山体滑坡、泥石流等地质灾害,但洪水滞留时间短,难以形成持续的涝灾。因此,即使旱涝急转发生频率高,也难以形成比较严重的旱涝急转灾害。相反,豫东及南部平原地区地形起伏小,更容易受到极端旱涝或持续性旱涝的影响,一旦发生旱涝急转,抵御风险的能力就很低。河南省中东部地区地处广阔的黄淮平原,也是我国粮食的重要产区,因此旱涝急转致灾风险就比较大,如 2021 年河南“7·20 暴雨”就是一个典型例子。

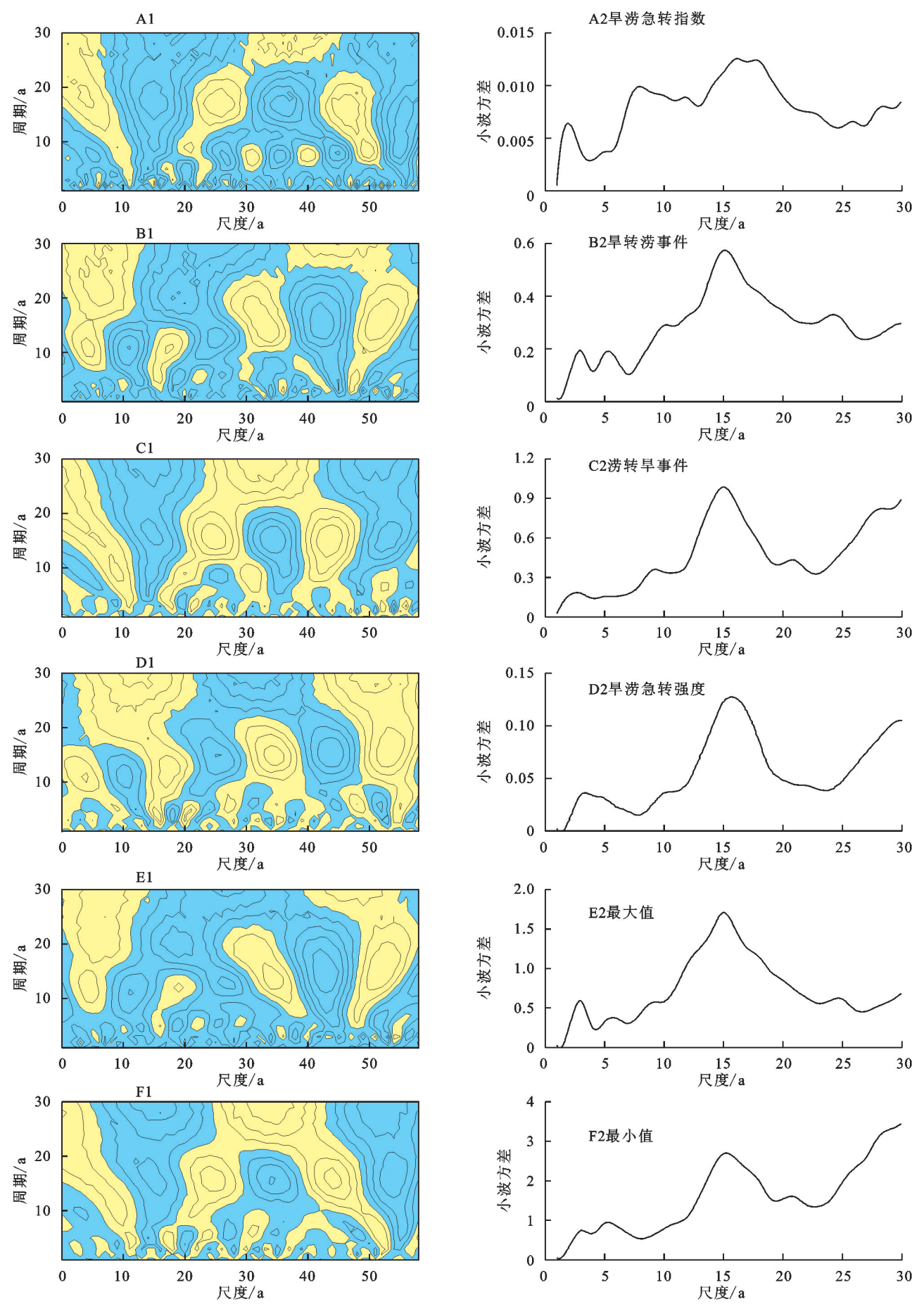


图 6 1960—2018 年河南省旱涝急转指数、旱涝急转事件及其强度周期变化

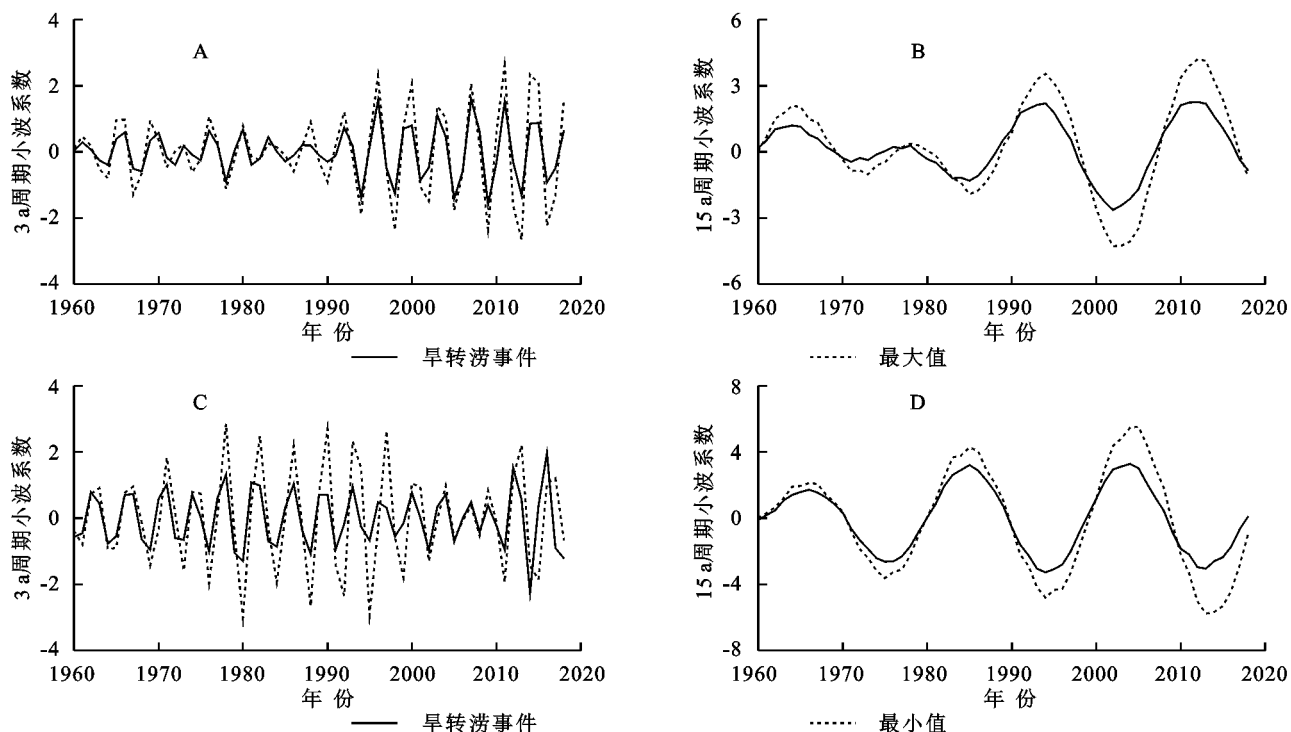


图7 1960—2018年河南省旱涝急转事件与最大值、最小值主周期重建

2.4 旱涝急转对大气环流及太阳黑子活动的响应

2.4.1 旱涝急转与大气环流指数的相关性 将河南省旱涝急转指数与大气环流指数进行 Person 相关分析, 其中有 13 项指数与旱涝急转指数存在显著相关关系(表 3)。具体为, 旱涝急转指数与同期及前 1 个月的北极涛动指数分别呈极显著正相关、负相关(通过了 99% 的置信水平), 与前 1 个月的北大西洋涛动指数、太平洋-北美遥相关型指数、印缅槽强度指数、黑潮区海温指数呈显著负相关或正相关(通过了 95% 的置信水平), 与前 5 个月的北半球副高脊线位置指数、西太平洋副高脊线位置指数均呈极显著正相关, 与前 6 个月的亚洲纬向环流指数、南海副高脊线位置指数、西太平洋遥相关型指数分别呈显著或极显著负相关, 与前 8 个月的亚洲经向环流指数、印度副高脊线位置指数分别呈极显著、显著负相关, 与前 9 个月的北半球极涡中心纬向位置指数呈显著负相关。旱涝急转指数与大气环流指数的相关性主要出现于前期 9 个月内, 尤其在前 1 个月、前 5 个月大气环流的影响最突出, 而前期 10~12 个月的大气环流基本对旱涝急转不产生影响。

2.4.2 太阳黑子活动对旱涝急转的影响 其他指数虽与旱涝急转指数没有明显相关关系, 但并不说明不会对河南省旱涝急转产生影响, 以太阳黑子活动为例进行分析, 见表 4。可以看出, 太阳黑子极大值年(M)前后与极小值年(m)前后对旱涝急转的影响是不一样的。极小值 m 年与($m-1$)年所发生的涝转旱事件占次比明显高于旱转涝事件, 而($m+1$)年所旱转涝事件占次比高于涝转旱事件。对同一类急转现象来说, ($m+1$)年旱转

涝事件占次比略高于 m 年与($m-1$)年, 前后年之间相差不大; 而($m-1$)年涝转旱事件占次比则明显高于 m 年与($m+1$)年。由此说明, 太阳黑子极小值年的前 1 年更容易发生涝转旱事件, 而在极小值年及后 1 年发生旱转涝事件的频率较低。太阳黑子极大值年及前后年发生旱转涝事件的频率基本一致。而在($M-1$)年与($M+1$)年发生涝转旱事件的占次比均明显高于 M 年, 且($M-1$)年与($M+1$)年之间没有明显差别。由此说明, 太阳黑子极大值年对旱转涝事件的发生没有明显影响, 极大值年前后年可能更容易发生涝转旱事件, 但这一点还需要做进一步深入分析。

3 河南省旱涝急转灾害综合应对分析

异常环流形势是旱涝急转的主要成因之一^[13], ENSO、太阳黑子活动也可通过对大气环流、水汽输送的扰动, 间接影响旱涝急转事件的发生^[31], 而地形、植被等地理、生态因子以及城市化则是影响致灾风险的重要因素。因此, 旱涝急转灾害的应对要根据其成灾、致灾的孕育过程来进行全面的风险调控, 从而提升应对旱涝急转致灾风险的能力, 以降低旱涝急转事件对社会经济发展的不利影响。旱转涝与涝转旱两类事件多发区及其强度较大区域均主要集中于豫东、豫南平原区以及豫西山区, 受地形、植被等地理、生态因素的影响, 豫西山区所发生的旱涝急转事件致灾风险相对较小, 而豫东、豫南平原区发生旱涝急转事件的致灾风险较大, 应加强这两个地区的灾害风险预警及应急管理。提出如下应对建议:

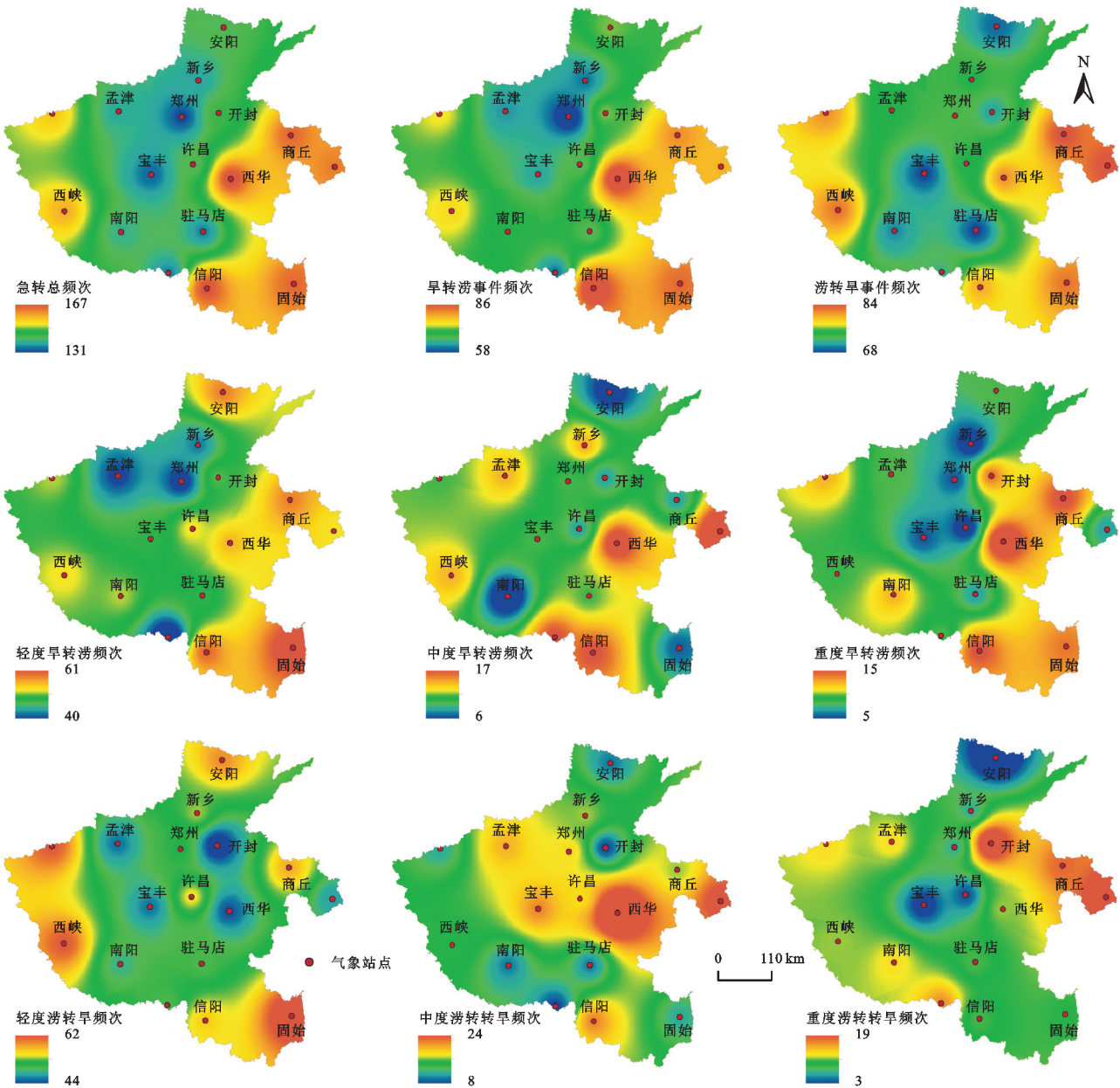


图 8 1960—2018 年河南省旱涝急转事件频次空间分布

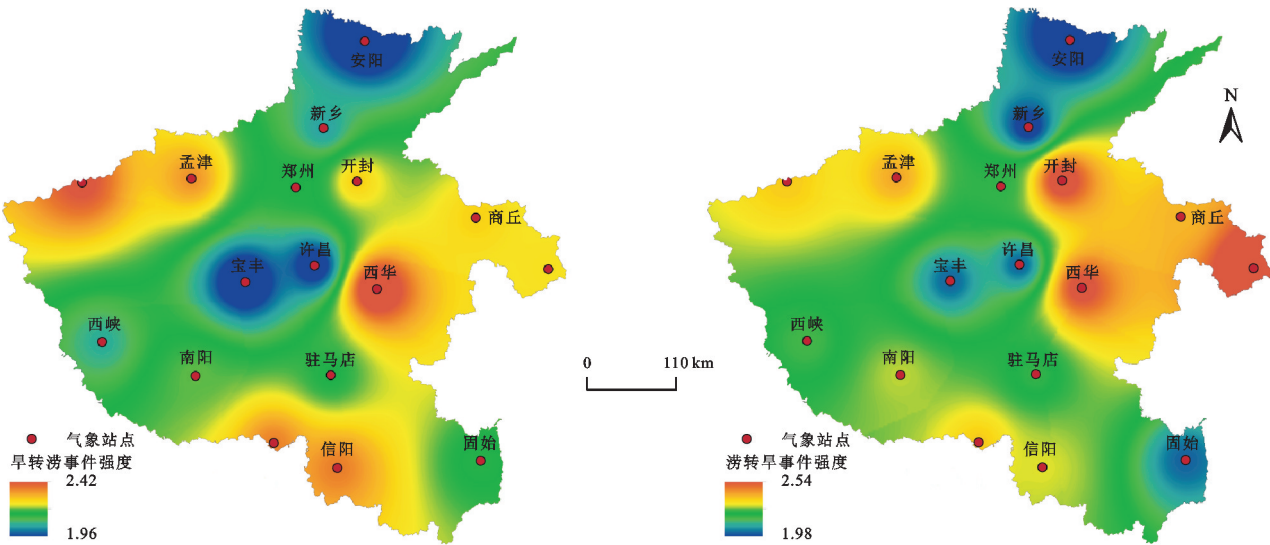


图 9 1960—2018 年河南省旱涝急转事件强度空间分布

表 3 旱涝急转指数与前期 1~12 个月大气环流指数的相关系数

指数	同期	前 1	前 2	前 3	前 4	前 5	前 6	前 7	前 8	前 9	前 10	前 11	前 12
1	0.00	-0.01	-0.04	-0.02	0.00	0.13 **	0.02	-0.01	0.03	-0.02	0.00	0.01	0.01
2	-0.01	0.03	-0.03	-0.04	0.00	0.10 **	-0.02	-0.03	0.02	-0.02	-0.02	0.02	-0.01
3	-0.01	-0.03	-0.03	-0.03	0.02	-0.04	0.04	-0.03	0.01	-0.09 *	0.01	-0.06	0.03
4	0.00	0.06	-0.04	0.02	0.01	0.01	-0.08 *	0.03	-0.02	0.02	-0.01	-0.01	-0.04
5	0.05	-0.06	0.06	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	0.00	-0.11 **	0.04	0.03	-0.02	-0.04
6	0.00	0.06	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01	-0.08 *	-0.02	0.04	0.01	-0.01	0.01	0.04
7	0.02	0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00	-0.13 **	0.00	-0.03	-0.01	0.00	0.01	0.01
8	0.04	-0.03	-0.02	0.03	-0.02	-0.02	0.04	0.04	-0.07 *	0.00	0.03	0.02	0.03
9	0.11 **	-0.11 **	0.02	0.05	-0.02	-0.04	0.01	-0.02	0.05	-0.04	0.00	-0.01	0.00
10	0.00	-0.93 *	-0.08	-0.03	0.01	0.02	0.04	0.02	0.01	0.01	-0.01	-0.01	-0.02
11	0.03	0.85 *	0.04	0.04	0.02	0.00	0.01	-0.02	-0.03	-0.04	-0.04	-0.03	-0.01
12	0.01	-0.92 *	0.00	0.01	0.03	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00
13	0.05	-0.92 *	0.00	-0.06	0.00	0.02	0.01	-0.02	0.05	0.01	0.01	0.03	0.05

注：* 表示通过 0.05 水平的显著性检验，** 表示通过 0.01 水平的显著性检验。1—13 分别为：北半球副高脊线位置指数、西太平洋副高脊线位置指数、北半球极涡中心纬向位置指数、亚洲纬向环流指数、亚洲经向环流指数、南海副高脊线位置指数、西太平洋遥相关型指数、印度副高脊线位置指数、北极涛动指数、北大西洋涛动指数、太平洋—北美遥相关型指数、印缅槽强度指数、黑潮区海温指数。

表 4 1960—2018 年太阳黑子极值年附近的河南省

旱涝急转事件站次比						%
类型	<i>m</i> −1	<i>m</i>	<i>m</i> +1	<i>M</i> −1	<i>M</i>	<i>M</i> +1
旱转涝	10.98	8.33	11.37	11.96	11.27	11.76
涝转旱	14.90	12.55	9.90	14.31	10.00	13.53

(1) 建立健全监控体系与数据共享机制,提升社会协同的应急管理水平。加强早期大气环流信号的监测、研判,识别旱涝急转事件的前兆信号,优化气象、水文站网建设,提高气象预报精度,并加强气象、水文水资源、农业、城建、应急管理等跨领域、跨区域的协同监控、联合调度与相互支持,建设统一的数字化气象灾害监测监控体系和数据共享机制,以提升社会协同的应急管理水平。

(2) 加快国土空间规划,优化调整城镇空间布局。人口分布、居住空间密度与规模、产业布局等均可成为旱涝急转致灾的重要因子,应加快河南省国土空间规划,优化全省人口和城镇空间布局,在旱涝急转频率较高、致灾风险较大的地区,严格控制人口规模、城镇扩张以及产业布局密度,优化生态系统保护格局,统筹安排城市安全与综合防灾、地下空间等,优化中心城区空间结构和用地布局,高质量建设山水林田湖草生命共同体。

(3) 加强水利工程建设与调控,提升防汛减灾能力。加强水利工程建设并调控灌区水资源利用效率、库容、蓄滞洪区、堤防、水资源应急调度、洪涝调度等,是旱涝急转灾害风险应对的主要调控手段。其一,充分利用河南省多源跨流域调水体系,以南水北调中线工程、沿黄、沿淮引水工程为基础,完善供水调蓄与水资源配置格局,续建大型灌区配套工程并进行现代化

改造、灌区节水改造、高效节水技术推广,全面提升农业用水效率;其二,改造和建设平原区蓄滞洪区,如 2020 年底河南省发布的近期重点建设工程海河流域重要滞洪区建设、黄河下游引黄涵闸改建工程、信阳市潢河上游的袁湾水库建设,以及水库加固清淤工程等,均是保证旱涝急转灾害重点风险地区防洪安全、减轻洪涝灾害损失的有效途径;其三,对于重点平原洼地进行优先治理,增强排涝能力,多项举措共同实施进一步构建、完善兴利除害的现代水网体系。

(4) 提高作物耐旱耐涝抗逆能力,降低风险脆弱性。河南省地处黄淮海平原典型农区,是全国重要的粮食生产核心区,承担着扛稳国家粮食安全的重任。应根据不同作物生长区的旱涝特性,加强耐旱、耐涝等逆境作物品种的选育、遗传改良,在旱涝急转致灾风险较高的地区选择性种植逆境作物并推广种植面积与范围。

4 结 论

(1) 河南省旱涝急转事件的阈值设定为月际短周期旱涝急转指数绝对值大于 1.0,绝对值越大,旱涝急转强度越大。

(2) 重度旱转涝事件在 1990s 最多,中、重度涝转旱事件在 1970s 和 1990s 最多且强度最大。轻度旱转涝事件发生频次略呈增多趋势,中度旱转涝事件发生频次趋势性不明显,其他旱涝急转事件则略呈减少趋势,但旱转涝与涝转旱事件强度分别以 0.011/a, 0.021/a 的线性倾向率略呈增强趋势,且强度在未来将会持续增大。

(3) 河南省旱涝急转事件年际波动变化显著,有明显的阶段性特点。在年内分配上,汛期(5—8

月)和非汛期旱涝急转没有明显差异。

(4) 河南省旱涝急转事件及其强度变化均存在15.0 a的第一主周期与3.0 a的第二周期,但同一周期下旱转涝与涝转旱两类事件呈显著反相变化。

(5) 旱涝急转事件多发区及其强度较大区域均主要集中于豫东、豫南地区以及豫西山区,其他地区相对较少,两类事件空间分布没有显著差异,尤其豫东、豫南平原区受地理、生态因素影响致灾风险较大。

(6) 多种前期大气环流指数与旱涝急转指数存在显著相关关系,太阳黑子活动极值年前后对旱涝急转事件的发生也会产生不同程度影响,这些均是旱涝急转现象预测预警的重要信号。

参考文献:

- [1] Djebou D C S, Singh V P, Frauenfeld O W. Analysis of watershed topography effects on summer precipitation variability in the southwestern United States [J]. *Journal of Hydrology*, 2014, 511: 838-849.
- [2] Li C H, Li T, Lin A L. Relationship between summer rainfall anomalies and sub-seasonal oscillations in South China [J]. *Climate Dynamics*, 2015, 44(1/2): 423-439.
- [3] 王胜,田红,丁小俊,等.淮河流域主汛期降水气候特征及“旱涝急转”现象[J].*中国农业气象*, 2009, 30(1): 31-34.
- [4] 封国林,杨涵洧,张世轩,等.2011年春末夏初长江中下游地区旱涝急转成因初探[J].*大气科学*, 2012, 36(5): 1009-1026.
- [5] 何慧,陆虹.广西2013年夏季旱涝急转特征[J].*热带地理*, 2014, 34(6): 767-775.
- [6] Ju J H, Lu J M, Cao J, et al. Possible impacts of the Arctic oscillation on the interdecadal variation of summer monsoon rainfall in East Asia [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2005, 22(1): 39-48.
- [7] 吴志伟,李建平,何金海,等.大尺度大气环流异常与长江中下游夏季长周期旱涝急转[J].*科学通报*, 2006, 51(14): 1717-1724.
- [8] 张水锋,张金池,闵俊杰,等.基于径流分析的淮河流域夏季旱涝急转研究[J].*湖泊科学*, 2012, 24(5): 679-686.
- [9] 闪丽洁,张利平,张艳军,等.长江中下游流域旱涝急转事件特征分析及其与 ENSO 的关系[J].*地理学报*, 2018, 73(1): 25-40.
- [10] 何慧,廖雪萍,陆虹,等.华南地区1961—2014年夏季长周期旱涝急转特征[J].*地理学报*, 2016, 71(1): 130-141.
- [11] 何萍,王盼,李矜霄,等.云南高原昆明市旱涝急转特征及其城市化响应研究[J].*高原气象*, 2021, 40(2): 272-280.
- [12] 杨星星,杨云川,邓思敏,等.广西月尺度旱涝急转时空演变特征[J].*自然灾害学报*, 2019, 28(6): 192-203.
- [13] 甄英,董雪峰,何静.1961—2017年四川省夏季长周期旱涝急转演变特征及环流影响分析[J].*大气科学学报*, 2021, 44(3): 355-362.
- [14] 时兴合,郭卫东,李万志,等.2013年青海北部春季旱涝急转的特征及其成因分析[J].*冰川冻土*, 2015, 37(2): 376-386.
- [15] 杨金虎,孙兰东,林婧婧,等.西北东南部夏季旱涝急转异常分析及预测研究[J].*自然资源学报*, 2015, 30(2): 282-292.
- [16] 刘炜,赵艳丽,冯晓晶.内蒙古地区夏季旱涝急转环流异常特征及其预测[J].*干旱气象*, 2021, 39(2): 203-214.
- [17] 李倩,林毅,于琳琳,等.1961—2017年辽宁省旱涝急转现象时空演变特征[J].*气象与环境学报*, 2020, 36(5): 33-39.
- [18] 刘宇峰,原志华,郭玲霞,等.1961—2013年山西省夏季旱涝急转时空演变特征[J].*生态与农村环境学报*, 2017, 33(4): 332-340.
- [19] 毕吴瑕,翁白莎,王旭,等.基于知识图谱的旱涝急转研究进展[J].*水资源保护*, 2021, 37(6): 40-48.
- [20] 杨家伟,陈华,侯雨坤,等.基于气象旱涝指数的旱涝急转事件识别方法[J].*地理学报*, 2019, 74(11): 2358-2370.
- [21] 徐光春.一部河南史半部中国史[M].郑州:河南教育出版社,2009.
- [22] Shi B L, Zhu X Y, Hu Y C, et al. Drought characteristics of Henan Province in 1961—2013 based on Standardized Precipitation Evapotranspiration Index [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2017, 27(3): 311-325.
- [23] 闪丽洁,张利平,陈心池,等.长江中下游流域旱涝急转时空演变特征分析[J].*长江流域资源与环境*, 2015, 24(12): 2100-2107.
- [24] Jones P D, Hulme M. Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation: methods and illustrations [J]. *International Journal of Climatology*, 1996, 16(4): 361-377.
- [25] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:气象出版社,2013.
- [26] 郭军,任国玉.黄淮海流域蒸发量的变化及其原因分析[J].*水科学进展*, 2005, 16(5): 666-672.
- [27] 黄登仕,李后强.分形几何学、R/S分析与分式布朗运动[J].*自然杂志*, 1990, 13(8): 477-482.
- [28] 楚纯洁,李亚丽.近60年黄河干流水沙变化及其驱动因素[J].*水土保持学报*, 2013, 27(5): 41-47.
- [29] 王容,李相虎,薛晨阳,等.1960—2012年鄱阳湖流域旱涝急转事件时空演变特征[J].*湖泊科学*, 2020, 32(1): 207-222.
- [30] 吉中会,单海燕.长江中下游地区旱涝急转的阈值诊断及危险性评估[J].*长江流域资源与环境*, 2015, 24(10): 1793-1798.
- [31] 庞轶舒,秦宁生,王春学,等. ENSO 事件的季节演变对夏季降水异常的影响分析[J].*高原气象*, 2020, 39(3): 581-593.