

1981—2020 年位山灌区旱涝急转识别与趋势预测

张晓明¹, 贾一凡², 曲英杰¹

(1. 山东省海河淮河小清河流域水利管理服务中心, 山东 济南 250100; 2. 济南大学 水利与环境学院, 山东 济南 250022)

【摘要】基于山东省聊城市位山灌区 40 年月降雨量数据, 利用长/短周期旱涝急转指数(LDFAI/SDFAI)对位山灌区 6—9 月的旱涝急转事件进行识别。利用趋势线法、移动平均法、M-K 趋势检验和 R/S 分析法对旱涝急转的时间变化趋势以及强度变化趋势进行分析。结果表明: 位山灌区 6—9 月长周期共发生过 15 次旱涝急转事件; 短周期 6—7 月全是“旱转涝”事件, 7—8 月旱涝急转无明显规律, 8—9 月以“涝转旱”事件为主。未来 LDFAI 强度整体呈下降趋势, 6—7 月 SDFAI 强度呈现上升趋势, 7—8 月 SDFAI 强度呈上升趋势, 8—9 月 SDFAI 强度呈下降趋势, 但各强度趋势显著性均不高。

【关键词】位山灌区; 旱涝急转; M-K 检验; R/S 分析

【中图分类号】S274

【文献标志码】A

【文章编号】1009-6159(2026)-06-0051-04

Identification and Trend Prediction of Abrupt Drought-flood Transition in Weishan Irrigation District during 1981—2020

ZHANG Xiaoming¹, JIA Yifan², QU Yingjie¹

(1. Haihe River, Huaihe River and Xiaoqinghe River Basin Water Conservancy Management and Service Center of Shandong Province, Jinan, Shandong 250100, China; 2. School of Resources and Environment, University of Jinan, Jinan, Shandong 250022, China)

Abstract: Based on the 40-year monthly rainfall data of Weishan Irrigation District in Liaocheng Municipality, Shandong Province, the long/short duration drought-flood abrupt transition indices (LDFAI/SDFAI) were adopted to identify abrupt drought-flood transition events from June to September. Trend line method, moving average method, Mann-Kendall (M-K) trend test and R/S analysis were used to analyze the temporal variation and intensity trends of such events. The results show that a total of 15 long-duration abrupt drought-flood transition events occurred from June to September in the study period. For short-duration events, all cases from June to July were drought-to-flood transitions; no obvious regularity was found for events from July to August, while flood-to-drought transitions dominated from August to September. In the future, the overall intensity of LDFAI will present a downward trend. The intensity of SDFAI shows an upward trend from June to July and July to August, and a downward trend from August to September. None of the above trends are statistically significant.

Key words: Weishan Irrigation District; Abrupt drought-flood transition; Mann-Kendall test; R/S analysis

1 研究背景与现状

在经济社会发展中, 农业生产与水利工程等关键领域高度依赖水资源, 而旱涝急转极大地影响了这些领域的可持续性与稳定性。自 2000 年以来, 我国洪涝灾害发生频次较前 20 年增加了 35%, 干旱灾害发生频率也上升了 30%, 且干旱持续时间呈现延长趋势^[1]。旱涝急转是一种与月

尺度降水异常密切相关的极端复合事件, 表现为由于旱(或涝灾)急剧转向涝灾(或干旱), 此类事件不仅叠加了两种灾害的各自影响, 还因灾害的迅速转换或重叠, 产生更为严重的综合危害^[2]。研究通过对位山灌区 1981—2020 年 6—9 月的降雨数据进行分析, 识别旱涝急转事件发生的具体年

收稿日期: 2025-11-08

作者简介: 张晓明(1988—), 男, 工程师

份, 并分析其时间变化特征与趋势演变规律。

2 数据与方法

2.1 研究区概况

研究区域为位于山东省聊城市位山灌区, 总面积为 $5.4 \times 10^3 \text{ km}^2$, 包括聊城市 2 区 1 市 5 县^[3]。灌区年平均降雨量 560 mm, 年降水量最大值为 785.3 mm, 雨热集中, 旱涝集中。其中 6—9 月为降雨集中期, 降水量占全年的 60% 以上。灌区年平均日照时数为 2 300~2 700 h, 以 7—8 月日照最充足。灌区内主要农作物可分为夏、秋两季, 夏季农作物以小麦为主, 瓜果蔬菜等也是受旱涝急转作用影响较大的农作物, 秋季则以水稻、玉米、大豆等为主。

2.2 数据来源与处理

研究中, 长/短周期旱涝急转指数(LDFAI/SDFAI)被用来识别旱涝急转事件。研究时段集中于 6—9 月的主汛期, 也是秋季作物需水的关键时期, 由于暴雨事件频发且集中, 旱涝急转事件发生概率较大。研究所用数据来自聊城市统计局, 包括 1981—2020 年共 40 年 6—9 月逐月降水量。通过标准化处理降雨以消除单位差距对雨量研究的影响, 并采用 LDFAI/SDFAI 识别位山灌区旱涝急转事件。利用线性趋势分析法、移动平均法、Mann-Kendall 趋势分析法及 R/S 分析法对历史长/短周期旱涝急转指数进行趋势性分析, 以揭示位山灌区旱涝急转事件发生频率及强度的未来变化趋势。

2.3 研究方法

1) 标准化降雨量处理公式

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

式中: R 为标准化降雨量; X_i 为各计算部分降雨量, mm; $\bar{X}$ 为降雨量的均值, mm。

2) 长周期旱涝急转指数(LDFAI)

$$\text{LDFAI} = (R_{89} - R_{67}) \cdot (|R_{67}| + |R_{89}|) \cdot 1.8^{-|R_{67} + R_{89}|} \quad (2)$$

式中: R_{67} 为夏季 6—7 月标准化降雨量; R_{89} 为夏季 8—9 月标准化降雨量; $|R_{67}| + |R_{89}|$ 代表旱涝程度; $1.8^{-|R_{67} + R_{89}|}$ 为权重系数, 旨在提高旱涝急转事件的重要性, 减少全旱(涝)事件的占比^[4]。当

LDFAI > 1, 代表“旱转涝”事件; 当 LDFAI < -1 代表“涝转旱”事件。

3) 短周期旱涝急转指数(SDFAI)

$$\text{SDFAI} = (R_j - R_i) \cdot (|R_i| + |R_j|) \cdot 3.2^{-|R_i + R_j|}, \quad j=i+1 (i=6, 7, 8) \quad (3)$$

式中: R_i 为单位月标准化降水量, R_j 为后邻单位月标准化降水量; $3.2^{-|R_i + R_j|}$ 为权重系数。

4) 旱涝急转现象分析方法

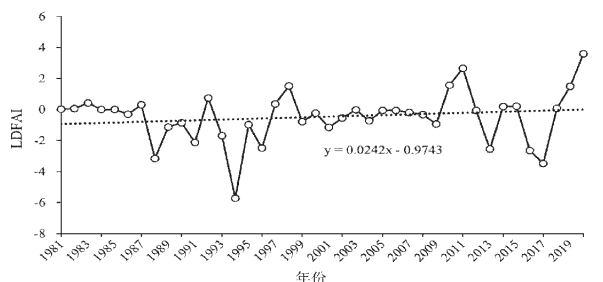
使用 Mann-Kendall(M-K)趋势分析法和移动平均法对历史长/短周期旱涝急转指数进行趋势性分析。采用 R/S 分析法, 通过计算 Hurst 指数来预测旱涝急转未来变化的持续性。

3 研究结果

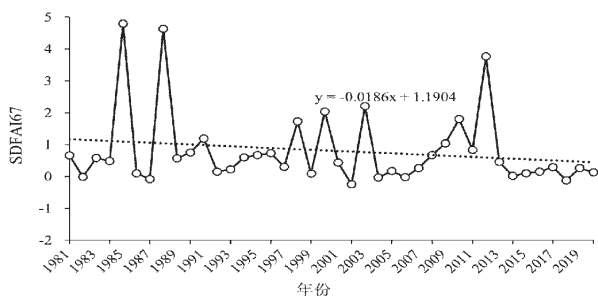
3.1 旱涝急转事件时空特征

根据式(1)~(3)识别位山灌区长周期和短周期旱涝急转事件, 并根据分类标准识别“旱转涝”及“涝转旱”年份。图 1(a)为位山灌区长周期旱涝急转指数时间序列, 在位山灌区 1981—2020 年间, 共发生 15 次旱涝急转现象, 平均每 8 年出现一次“旱转涝”事件, 平均每 4 年出现一次“涝转旱”事件。由图 1 可见, 旱涝急转指数线性趋势线逐渐接近 0.0, 长周期旱涝急转事件发生概率逐渐降低。图 1(b)为位山灌区 6—7 月旱涝急转指数时间变化序列, 灌区 1980—2020 年间无“涝转旱”事件, 全是“旱转涝”事件, 共发生 8 次, 平均每 5 年发生一次, 尤其 1985 年、1988 年两次最为严重, 1999—2004 年间隔几年发生一次“旱转涝”事件。近 10 年以来仅发生一次严重的“旱转涝”事件, 旱涝急转事件发生概率随时间推移逐渐降低, 短周期旱涝急转指数变化呈下降趋势。图 1(c)为位山灌区 7—8 月旱涝急转指数时间变化序列, 位山灌区 1980—2020 年间 7—8 月 SDFAI 只发生 3 次, 分别一次“旱转涝”事件和 2 次“涝转旱”事件, SDFAI 规律不明显且强度不高。在 1987 年、1988 年分别发生 1 次“旱转涝”事件和 1 次“涝转旱”事件, 之后 7—8 月 SDFAI 随时间发生频率低且变化平缓。图 1(d)为位山灌区 8—9 月旱涝急转指数时间变化序列, 位山灌区 1980—2020 年间 8—9 月 SDFAI 以“涝转旱”事件为主(发生 15 次), 仅一年出现“旱转涝”事件(1983

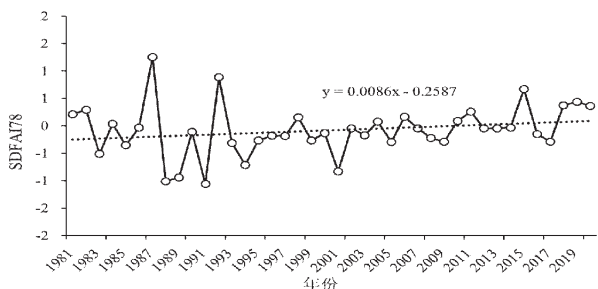
年),在 2005—2012 年 SDFAI 相对平缓,事件频率 2.67 年/次,“涝转旱”事件平均每 2.86 年发生一次。8—9 月 SDFAI 变化呈现下降趋势,“涝转旱”事件发生更加频繁密集。



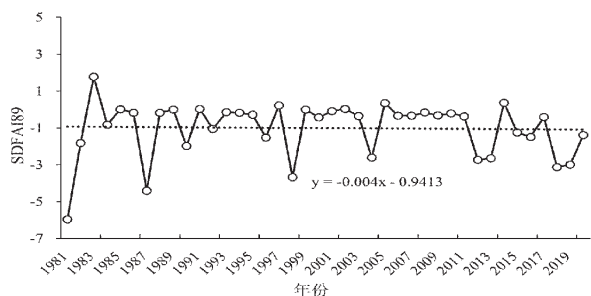
(a)长周期 6—9 月 LDFAI



(b)短周期 6—7 月 SDFAI



(c)短周期 7—8 月 SDFAI



(d)短周期 8—9 月 SDFAI

图 1 位山灌区旱涝急转指数时间序列

3.2 旱涝急转强度演变趋势

LDFAI/SDFAI 可以对位山灌区的旱涝急转事件进行识别,分析其时间变化特征,但不能体现位山灌区夏季旱涝急转强度变化趋势,因此研

究将 LDFAI/SDFAI 取绝对值,并分别绘制出二者 1980—2020 年旱涝急转指数强度随时间变化折线图,如图 2 所示。

移动平均法是一种时间序列分析方法,是对一段时间内数据的平均值进行计算,以反映数据的趋势变化^[9]。在移动平均法中,每个时点的数据都被赋予相同的权重,因此它可以消除数据中的随机波动,反映数据的长期趋势,同时消除远期数据的影响^[6]。图 2(a)为位山灌区 40 年间长周期旱涝急转指数强度时间序列,可以看出,长周期旱涝急转指数强度呈现阶段性,1989—1999 年 10 年间强度连续相对偏强,2000—2009 年 10 年间强度连续偏弱,2010—2020 年 10 年间强度呈现波动上升状态。对长周期旱涝急转指数强度以 5 年为周期进行移动平均,可以看到长周期旱涝急转强度序列呈现上升趋势。图 2(b)为位山灌区短周期 6—7 月旱涝急转指数强度时间序列,可以看出其具线性趋势性。以 5 年为周期移动趋势线分析,1981—2020 年 40 年 6—7 月短周期旱涝急转指数强度序列呈现下降趋势,旱涝急转指数强度逐年减弱,仅在 2013 年强度有轻微反弹。图 2(c)为位山灌区短周期 7—8 月旱涝急转指数强度时间序列,可以看出其具线性趋势性。以 5 年为周期移动趋势线分析,1981—2020 年 40 年 7—8 月短周期旱涝急转指数强度原本就平缓,旱涝急转事件特征微弱,其强度序列亦呈现下降趋势。图 2(d)为位山灌区短周期 8—9 月旱涝急转指数强度时间序列,可以看出其具线性趋势性。以 5 年为周期移动趋势线分析,40 年 8—9 月短周期旱涝急转指数强度序列移动平均呈现上升趋势,线性趋势呈现缓慢下降趋势。

3.3 未来趋势预测与持续性

利用 M-K 趋势检验计算旱涝急转指数强度的未来变化趋势,再使用 R/S 分析法评估旱涝急转强度在时间上的连续性,结果见表 1。

M-K 趋势检测法是一种非参数统计方法,常用于分析时间序列数据中的趋势性,用于检测数据序列中的单调趋势。利用 Matlab 对位山灌区的旱涝急转强度进行计算,可见 LDFAI 强度表现为上升趋势,SDFAI67 强度表现为下降趋势,SDFAI78 强度表现为下降趋势,SDFAI89 强度表现为上升趋势。

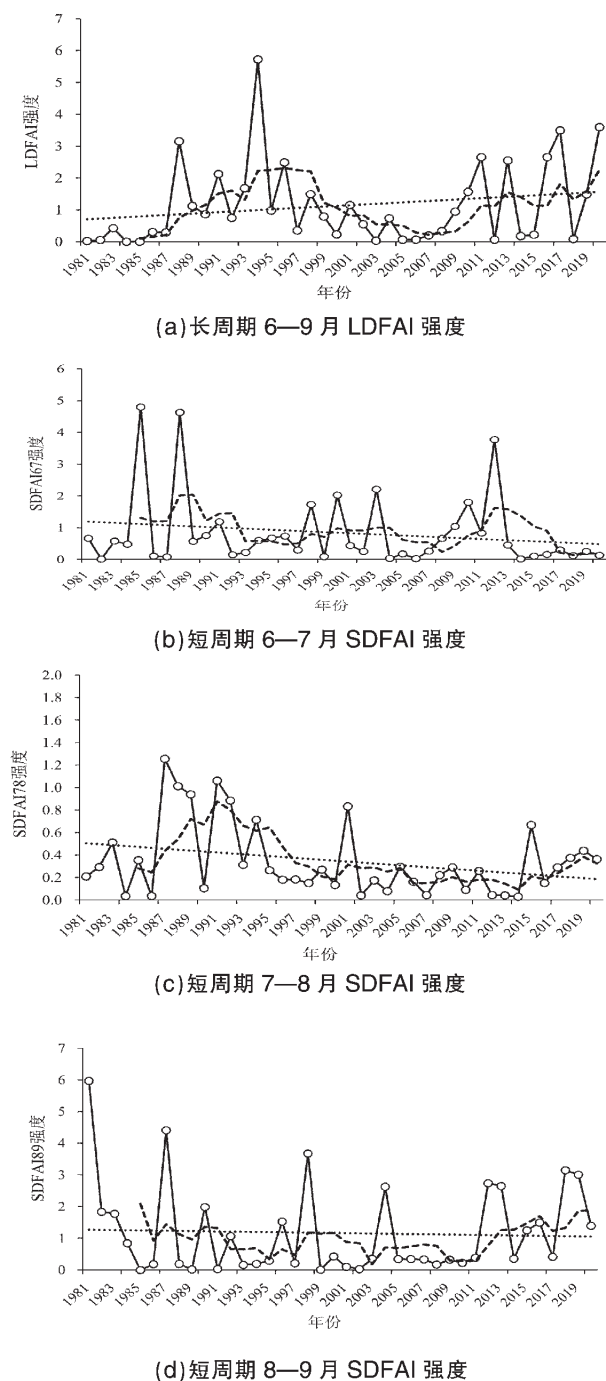


图 2 位山灌区旱涝急转指数强度时间序列

表 1 未来旱涝急转强度趋势变化特征

项目	长周期	短周期		
	6—9 月	6—7 月	7—8 月	8—9 月
U 值	1.50	-0.92	-1.39	1.32
趋势	上升	下降	下降	上升
H 值	0.45	0.30	0.32	0.37
连续性	逆持续性	逆持续性	逆持续性	逆持续性
未来趋势	下降	上升	上升	下降

R/S (Re-scaled Range)分析法是一种用于分

析时间序列的方法, 也被称 Hurst 指数分析, 以此来评估该样本在时间上的连续性。利用 M-K 趋势检验计算旱涝急转指数强度的未来变化趋势, 再使用 R/S 分析法评估旱涝急转指数强度在时间上的连续性。由表 1 可知, 位山灌区未来一段时间内 LDFAI 强度变化呈现下降趋势, SDFAI67 强度呈上升趋势, SDFAI78 强度呈上升趋势, SDFAI89 强度呈下降趋势, 但是强度趋势的显著性水平都不高。

4 结 论

该研究基于位山灌区 1981—2020 年夏季 6—9 月的降水信息, 对旱涝急转事件及强度进行识别与分析, 结论如下:

1) 在长周期旱涝急转指数中, 位山灌区共有 15 次旱涝急转现象发生, 其中 5 次“旱转涝”事件, 10 次“涝转旱”事件; 在短周期旱涝急转指数中, 6—7 月共发生 8 次“旱转涝”事件, 0 次“涝转旱”事件; 7—8 月旱涝急转事件规律不明显, 仅出现 1 次“旱转涝”事件和 2 次“涝转旱”事件; 8—9 月旱涝急转事件主要是“涝转旱”事件, 共有 15 次“涝转旱”事件, 仅有 1 次“旱转涝”事件。

2) 位山灌区未来一段时间内 LDFAI 强度变化呈现下降趋势, 6—7 月 SDFAI 强度变化呈上升趋势, 7—8 月 SDFAI 强度变化呈上升趋势, 8—9 月 SDFAI 强度变化呈下降趋势, 但显著性水平都不高。

参考文献

- [1] 张利平, 夏军, 胡志芳. 中国水资源状况与水资源安全问题[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(2): 116-120.
- [2] 岳艳琳. 气候变化下长江流域未来径流与旱涝变化特征研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2022.
- [3] 张治昊, 姜海波, 孙庆锋, 等. 位山灌区渠系泥沙淤积的主要问题与治理措施[J]. 水利经济, 2009, 27(3): 59-60, 76.
- [4] 罗蔚, 张翔, 邓志民, 等. 近 50 年鄱阳湖流域入湖总水量变化与旱涝急转规律分析 [J]. 应用基础与工程科学学报, 2013, 21(5): 845-856.
- [5] 李云刚. 基于移动平均法的改进[J]. 统计与决策, 2009(19): 158-159.
- [6] 段利忠, 刘思峰, 卢奇. 移动平均法中移动步长的确定(英文)[J]. 北京工业大学学报, 2004(3): 378-381.

(责任编辑 赵其芬)