

宋惠敏, 张雪艳, 马欣. 黄土高原北部地区榆林市旱涝急转特征及其对作物产量的影响[J]. 灾害学, 2022, 37(4): 173–177, 192. [SONG Huimin, ZHANG Xueyan, MA Xin. Characteristics of Drought–flood Abrupt Alternation and its Effect on Crop Yield of Yulin in Northern Part of the Loess Plateau[J]. Journal of Catastrophology, 2022, 37(4): 173–177, 192. doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2022.04.027.]

黄土高原北部地区榆林市旱涝急转特征及其对作物产量的影响^{*}

宋惠敏^{1,2}, 张雪艳², 马欣¹

(1. 中国农业科学院 农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081;

2. 中国科学院地理科学与资源研究所 陆地表层格局与模拟院重点实验室, 北京 100101)

摘要: 黄土高原北部的榆林地区是我国北方典型的农业生态环境脆弱区。基于榆林市 1981—2018 年作物生育期(5—8 月)的逐日降水资料, 采用长周期旱涝急转指数(LDFAI)对旱涝急转进行趋势分析, 采用 M–K 进行突变检验验证, 比较不同类型旱涝急转事件下作物产量的变化特征。结果表明: ①在时间尺度上, 1981—2018 年间榆林市作物生育期旱涝急转事件的发生频率为 34.37%, 旱涝急转强度从 1990 年代逐年降低。②在空间尺度上, 榆林市 1981—2018 年多年平均旱涝急转指数及强度在空间上分布一致, 均呈现为“东高西低”的特征, 多年平均高值区分布在东部地区, 多年平均低值区分布在西部山区。③涝转旱事件对作物产量影响显著, 发生涝转旱事件, 粮食单产、大豆单产、薯类单产分别显著减少 17.85% ($P < 0.05$)、16.63% ($P < 0.05$)、19.46% ($P < 0.01$)。根据榆林市农业生产特点提出旱涝急转农业综合应对措施建议, 包括加强作物灌溉管理、作物品种优化和丰富农业气象灾害保险体系。

关键词: 旱涝急转; 作物产量; 长周期旱涝急转指数; 降水; 榆林市

中图分类号: X43; X915.5; R821.31; P426.616; S157 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2022)04–0173–06

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2022.04.027

旱涝急转事件发生规律及其灾损评估具有重要意义。国内外关于旱灾或涝灾发生规律的研究很多, 对旱涝急转事件性规律的研究较少^[1–2]。近年, 以 2011 年春夏季长江中下游地区严重的旱涝急转事件为契机, 对长江中下游地区旱涝急转特征^[3]和成因^[4]进行了探索, 提出大气环流异常为主的归因结果。在淮河流域, 程智等^[5]揭示了淮河流域旱涝急转的气候特征, 唐明等^[6]和张效武等^[7]提出了安徽省旱涝急转发生规律和淮北地区旱涝急转的应对措施建议。孙小婷等^[8]还对我国西南地区的旱涝急转事件长周期规律进行了分析。在旱涝急转事件的评估方法方面, 主要有基于气候因素中降水量设计的长周期旱涝急转指数(LDFAI)^[9]、标准化降水指数(SPI)^[5]、旬降水距平百分率(Pa)^[10]、标准降水蒸发指数(SPEI)^[11], 或采用降水距平和一组降水阈值^[12]等对区域旱涝急转事件进行分析。其中, LDFAI 的绝对值可以反映旱涝急转事件的强度, Pa 能反映作物生育期内的

旱涝情况^[13–14]。然而, 当前对旱涝急转事件发生规律的研究主要集中在长流流域、淮河流域和西南地区, 对我国北方地区的旱涝急转事件规律关注较少。

水旱灾害是农业生产最主要的挑战之一, 每年因干旱和洪涝灾害造成的农业减产在 10% 以上, 在极端的条件下可以接近 20%^[15]。在我国北方地区, 5—6 月是玉米、大豆和薯类的播种期、出苗期和三叶期, 作物需水量较少, 7—8 月是作物的开花期和成熟期, 作物需水量较高, 旱涝急转事件的发生会对作物产量产生一定影响^[16–17]。研究表明, 旱涝急转对南方水稻产量具有正/负补偿效应^[18], 水稻生育后期重旱下的旱涝急转会导致作物严重减产^[19–20]。但对于北方地区, 特别是生态脆弱地区的农业生产, 旱涝急转给作物产量带来的影响仍未进行深入的研究。

黄土高原北部的榆林市位于陕西省北部, 水

^{*} 收稿日期: 2022–06–02 修回日期: 2022–08–19

基金项目: 国家重点研发计划“多灾种重大自然灾害综合风险防范技术”项目(2018YFC1508805)

第一作者简介: 宋惠敏(1994–), 女, 汉族, 新疆库尔勒人, 硕士研究生, 主要研究方向为极端灾害对农业影响评估。

E-mail: songhm2020@163.com

通信作者: 张雪艳(1979–), 女, 汉族, 浙江绍兴人, 副研究员, 主要研究方向为灾害对农业影响评估和环境遥感研究。

E-mail: xyzhang@igsrr.ac.cn

土流失严重、农业用地破碎、多种作物混种,是我国北方地区典型的农业生态环境脆弱区^[21],夏季降水的异常会给当地农业生产带来较大影响^[22],严重的旱涝急转灾害会使农业生产遭受巨大损失。历史上榆林市曾多次发生旱涝急转事件^[23-25],但发生规律尚不清楚^[14,26-28]、对农业的影响尚不明确^[28-29]。鉴于此,本研究选择榆林市作为北方农业生态环境脆弱区的代表,开展旱涝急转事件发生规律和对农业影响评估的研究,以期对北方地区生态脆弱区应对旱涝急转事件提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

榆林市位于陕西省北部(36°57′~39°35′N, 107°28′~111°15′E),是典型的温带季风气候,多年平均降水量约为429 mm,受季风影响,降水主要集中在夏季,常以暴雨形式出现^[30]。榆林市主要作物有玉米、大豆、薯类等,2018年榆林市玉米总产量占榆林市粮食总产量的56.52%,大豆在榆林市粮食作物总产量中排名第三,榆林市马铃薯占全陕西省马铃薯播种面积的50%以上^[31],这三类作物在榆林市的农业发展中有着至关重要的地位。

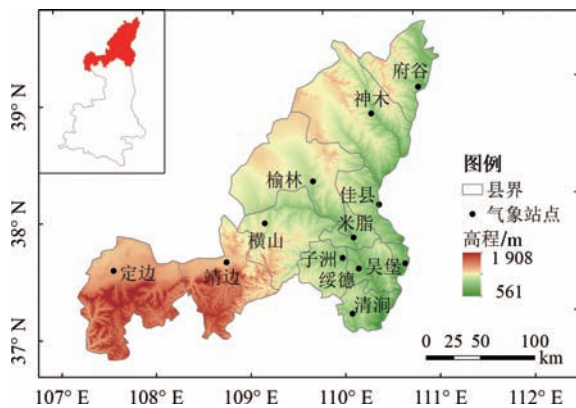


图1 研究区及气象站点分布示意图

1.2 资料来源与处理

榆林市降水量数据来自中国气象数据共享网(<http://data.cma.cn/>),研究区内站点包括府谷、神木、佳县、米脂、子洲、绥德、吴堡、清涧、榆林、横山、靖边和定边。对原始数据进行质量整理和补差,将1981—2018年作物生育期(5—8月)逐日降水量整理成逐月降水量,对1981—2018年的主要作物玉米、大豆和薯类的产量进行标准化处理。

榆林市干旱、洪涝灾害历史数据来源于1981—2018年的《神木县志》^[32]《子洲县志》^[24]《府谷县志》^[33]《佳县志》^[34]《米脂县志》^[25]《靖边县志》^[35]《吴堡县志》^[36]《清涧县志》^[23]《定边县志》^[37]《绥德县志》^[38]《中国气象灾害大典·陕西卷》^[39]。

1.3 方法

本研究中长周期变化的时间尺度为2个月,“旱转涝”事件通常指5—6月发生较长时间连续无降水的干旱事件,7—8月突发强降水或连阴雨,发生水涝事件;反之,则为“涝转旱”^[9]。榆林市典型作物生育期主要在5—8月,故对每个气象站点5—6月和7—8月的降水量标准化后计算长周期旱涝急转指数(LDFAI):

$$LDFAI = (R_{78} - R_{56}) \times (|R_{56}| + |R_{78}|) \times 1.8^{-|R_{56} + R_{78}|} \quad (1)$$

式中: R_{56} 为5—6月标准化降水量; R_{78} 为7—8月标准化降水量; $(|R_{56} - R_{78}|)$ 是旱涝急转强度项; $(|R_{56}| + |R_{78}|)$ 是旱涝强度项; $1.8^{-|R_{56} + R_{78}|}$ 为权重系数,其作用是增加旱涝急转事件所占权重,降低全旱或全涝事件权重。采用LDFAI值的绝对值(I_{LDFAI})表达旱涝急转事件的强度, I_{LDFAI} 值越大,说明旱涝急转事件越严重^[40]。根据榆林市气候及农业特征,使用降水距平百分率(Pa)辅助判断旱涝情况,定义 $Pa > 25\%$ 为偏涝,定义 $Pa < -25\%$ 为偏旱^[29]。

计算榆林市12个气象站点1981—2018年逐年作物生育期LDFAI,采用线性倾向法、M-K突变检验分析时间序列变化,使用ARCGIS软件运用反距离权重插值法(IDW)对旱涝急转事件进行空间演变分析,基于非旱涝急转事件,使用SPSS对不同旱涝急转类型的作物产量进行独立性T检验。分析过程中将各年代依次表示为1980年代(1981—1990)、1990年代(1991—2000)、2000年代(2001—2010)、2010年代(2011—2018)。

2 结果与分析

2.1 榆林市作物生育期旱涝急转事件时间变化及趋势分析

1981—2018年,榆林市LDFAI在时间上以0.148/10年的速率变化(图2a), I_{LDFAI} 以0.076/10年的速率变化(图2b)。LDFAI在年代上变化幅度逐渐减小,在1上下波动; I_{LDFAI} 在年代上具有一定的阶段性,1980年代平均强度相对较弱,1990年代平均强度相对最高,从1990年代往后逐年代降低。图2c和2d可以看出,LDFAI和 I_{LDFAI} 的正序列曲线UF在1981—1994年间的年份均为负值,这表明LDFAI和 I_{LDFAI} 在1981—1994年间波动下降,其中1983—1987年超过-1.96($\alpha = 0.05$ 的显著性水平信度线),表明1983—1987年后榆林市“旱转涝”事件发生频率显著减少,“涝转旱”事件显著增多,旱涝急转发生强度显著降低;1994年以后在显著性水平信度线的正值区间内平稳波动,表明1994年以后“旱转涝”事件发生频率趋于增多,旱涝急转强度升高。UF_k和UB_k序列在显著水平信度线内交叉点的数量可确定突变^[41],榆林市38年间LDFAI和 I_{LDFAI} 的UF、UB正反序列曲线在显著性水平信度线($\alpha = 0.05$)之间有多个交点,表明旱涝急转事件及强度未发生突变。

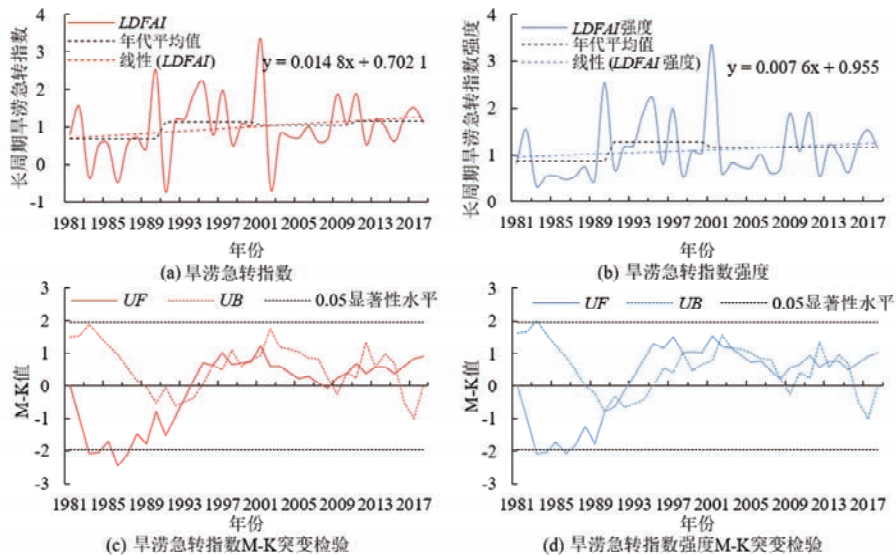
图2 1981—2018年榆林市作物生育期内长周期旱涝急转指数(LDFAI)及强度(I_{LDFAI})的变化及M-K检验结果

表1 1981—2018年榆林市作物生育期内旱涝急转事件特征

年份	LDFAI	旱涝性质	降水距平百分率/%			5—6月Pa和7—8月Pa之差的绝对值
			5—8月	5—6月	7—8月	
1994	1.92	旱转涝	25.44	-32.95	49.33	82.28
1995	2.08	旱转涝	13.13	-56.71	41.70	98.41
2001	3.32	旱转涝	-5.65	-77.70	23.83	101.53
2009	1.87	旱转涝	14.04	-30.82	32.40	63.22
1983	-0.29	涝转旱	-34.36	30.38	-60.85	91.23
1984	0.53	涝转旱	7.20	46.50	-8.88	55.38
1986	-0.48	涝转旱	-1.05	101.48	-42.99	144.47
1987	0.46	涝转旱	-5.91	31.39	-21.18	52.57
1991	-0.68	涝转旱	-5.23	103.33	-49.64	152.97
1998	0.52	涝转旱	-6.67	30.45	-21.86	52.31
2002	-0.62	涝转旱	-0.67	109.25	-45.64	154.89

2.2 榆林市典型年份作物生育期旱涝及LDFAI特征

根据表1中的LDFAI结果,结合《中国气象大典·陕西卷》和榆林市各县县志中查到的在5—8月有旱灾、又发生涝灾的年份,选出旱转涝、涝转旱发生典型年份如下:①对于旱转涝年,1994—1995年最为典型。1994年前半年大旱,到7月26日和8月5日出现两次历史罕见大暴雨,定边县经济损失达1亿元以上^[37];1994年秋至1995年7月,榆林市连旱300 d,1995年8月底至9月上旬,大部分地区出现了十多天的连阴雨天气,数万公顷马铃薯就地腐烂^[39]。②对于涝转旱年,其中1991年最为严重,5月下旬榆林市部分地区突发暴雨,7月底榆林市大部分沟溪断流,万余公顷耕地绝收^[36]。综上,旱涝急转年的5—6月Pa和7—8月Pa之差的绝对值在50%以上,典型旱转涝年份5—8月降水量偏多,但5—6月偏少30%以上,7—8月偏多30%以上,LDFAI均大于1.8;典型涝转旱年份除1983年外其余年份5—8月降水量偏少但接近正常,5—6月偏多30%以上,旱情严重的年份7—8月偏少40%以上,LDFAI绝对值小于0.7。可见,LDFAI和降水距平的组合可以较好地识别出榆林市长周期旱涝急转事件的典型年份。

2.3 作物生育期旱涝急转事件空间分布特征

从图3a和图3b可得,榆林市1981—2018年多年平均旱涝急转指数及强度在空间上分布一致,

均呈现为“东高西低”的特征。多年平均高值区分布在以吴堡、神木为代表的东部地区,低值区分布在以定边、靖边、横山为代表的西部山区。图3c和图3d可得,榆林市旱转涝事件与涝转旱事件发生频率相当,且分布规律相对一致,整体呈现“南高北低”的特点。其中,旱转涝事件发生频率最高的是子洲,发生频次为10次,府谷和佳县发生频次相对较少,为5次;涝转旱事件子洲发生频次较高,为9次,府谷发生频次最少,为5次。总体来看,子洲旱涝急转事件总发生频次为19次,发生频率全区最高,超过平均值的35.71%,府谷发生频次为10次,低于全区发生平均次数的28.57%,发生频率全区最低。

2.4 榆林市作物生育期内旱涝急转事件对作物产量的影响

在表2中,按旱涝急转事件划分标准,将1981—2018年榆林市12个区县的旱涝急转事件进行统计发现,12个区县累计发生“旱转涝”事件74次,“涝转旱”事件76次。将作物总产量和单产按照旱转涝(D—F)、涝转旱(F—D)、非旱涝急转分为三类,基于非旱涝急转比较不同类型旱涝急转事件下作物产量的变化。遭遇旱转涝事件,作物产量变化不明显($P>0.05$);遭遇涝转旱事件,粮食单产、大豆单产、薯类单产分别显著减少17.85% ($P<0.05$)、16.63% ($P<0.05$)、19.46% ($P<0.01$)。

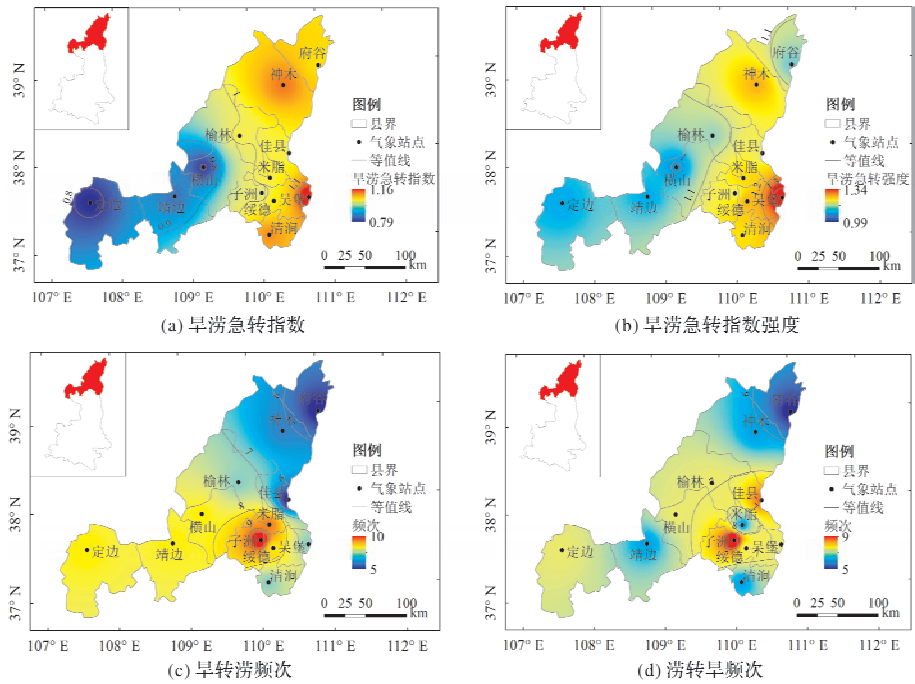


图3 1981—2018年榆林市作物生育期平均 $LDFAI$ 、 I_{LDFAI} 及旱涝急转事件发生频次的空间分布示意图

表2 榆林市作物生育期内旱涝急转事件对作物产量的影响

产量	非旱涝急转	旱涝急转事件	t	n	P	变化/%
粮食总产	0.19 ± 0.15	0.21 ± 0.16 (D - F)	0.681	74	0.496	
	$n = 279$	0.16 ± 0.13 (F - D)	-1.821	76	0.070	
粮食单产	0.35 ± 0.21	0.36 ± 0.23 (D - F)	0.482	73	0.630	
	$n = 279$	0.28 ± 0.20 (F - D)	-2.283	76	0.023	-17.85
玉米总产	0.11 ± 0.14	0.12 ± 0.15 (D - F)	0.686	70	0.493	
	$n = 263$	0.08 ± 0.12 (F - D)	-1.417	70	0.158	
玉米单产	0.50 ± 0.22	0.51 ± 0.24 (D - F)	0.426	70	0.671	
	$n = 262$	0.50 ± 0.22 (F - D)	-1.807	68	0.072	
大豆总产	0.19 ± 0.16	0.20 ± 0.16 (D - F)	0.402	65	0.688	
	$n = 266$	0.16 ± 0.11 (F - D)	-1.904	74	0.059	
大豆单产	0.25 ± 0.16	0.27 ± 0.20 (D - F)	0.711	66	0.478	
	$n = 267$	0.21 ± 0.14 (F - D)	-1.999	73	0.046	-16.63
薯类总产	0.17 ± 0.15	0.18 ± 0.16 (D - F)	0.417	74	0.677	
	$n = 275$	0.14 ± 0.15 (F - D)	-1.643	74	0.101	
薯类单产	0.36 ± 0.19	0.36 ± 0.19 (D - F)	-0.052	74	0.959	
	$n = 269$	0.29 ± 0.18 (F - D)	-2.842	74	0.005	-19.46

3 讨论

通过榆林市5—8月降水变化发现,作物生育期旱涝急转发生频率为34.37%。其成因机制异常复杂,南部丘陵沟壑区复杂的地形必然会加强对流天气的发生和发展程度^[40]。榆林市5—8月的水汽主要来源于印度洋和太平洋,深受西太平洋副热带高压和南边界的水汽输送影响^[40,42]。在涝转旱年涝期(5—6月),榆林市位于副高西侧和蒙古低压底部,偏弱的西风带使中高纬度冷空气南下,西南暖湿气流充足北上,降水激增;旱期(7—8月),副高虽然偏强但在西太平洋上,西风带偏强阻止了中高纬度冷空气南下,使榆林市降水偏少。

旱涝转旱年机制则相反。
由表2可知,粮食单产、大豆单产、薯类单产分别显著减少17.85% ($P < 0.05$)、16.63% ($P < 0.05$)、19.46% ($P < 0.01$)。遭遇涝转旱事件,前期降水过多导致植株芽期的分化与根系养分的积累都无法达到正常水平,生育期长的大豆播种时间越晚其产量损失越严重^[16],宜选育短生育期品种大豆保证作物产量。马铃薯结薯期对温度较敏感,且需水量占全生育期耗水量的50%以上,干热的天气会严重抑制块茎生长^[17],应对马铃薯进行阴坡种植,控温保水,并选择早熟品种以避免气象灾害威胁。大豆、马铃薯和玉米前期幼苗期以地下根系生长为主,需水量较少^[17,43],前期轻微的干旱在一定程度上能缓解、补偿后期湿涝对

大豆的胁迫^[44], 后期结实期需水量较高, 因此大豆、马铃薯和玉米受旱转涝事件产量变化不显著 ($P > 0.05$), 为避免前期旱情对玉米、大豆的影响, 宜选择抗旱品种进行覆膜湿播, 生育期后期及时补充灌溉。为保障农民收入, 需进一步丰富政策性农业气象灾害保险体系。现有政策性农业气象灾害保险仅针对单一作物设保, 间种或套种的其他作物暂未纳入其中^[45], 因此可考虑将玉米、马铃薯、大豆的混种比例纳入气象灾害保险产品设计参考范围。

4 结论

经过对 1981—2018 年间榆林市作物生育期旱涝急转事件进行分析, 发现榆林市旱涝急转事件的发生频率为 34.37%。旱涝急转强度具有阶段性特征, 1980 年代平均强度相对较弱, 1990 年代平均强度相对最高, 从 1990 年代往后逐年代降低。榆林市多年平均旱涝急转指数及强度在空间上分布一致, 均呈现为“东高西低”的特征, 多年平均高值区分布在东部地区, 多年平均低值区分布在西部山区。涝转旱事件对作物产量影响显著, 发生涝转旱事件, 粮食单产、大豆单产、薯类单产分别显著减少 17.85% ($P < 0.05$)、16.63% ($P < 0.05$)、19.46% ($P < 0.01$)。根据榆林市农业生产特点提出旱涝急转农业综合应对措施建议, 包括加强作物灌溉管理、作物品种优化和丰富农业气象灾害保险体系, 以期对北方地区生态脆弱区应对旱涝急转事件提供参考。

参考文献:

- MARENGO J A, ALVES L M, SOARES W R, et al. Two contrasting severe seasonal extremes in tropical South America in 2012: flood in Amazonia and drought in Northeast Brazil [J]. *Journal of climate*, 2013, 26(22): 9137–9154.
- MODARRES R, SARHADI A, BURN D H. Changes of extreme drought and flood events in Iran [J]. *Global and Planetary Change*, 2016, 144: 67–81.
- 沈柏竹, 张世轩, 杨涵涓, 等. 2011 年春季长江中下游地区旱涝急转特征分析 [J]. *物理学报*, 2012, 61(10): 530–540.
- 李迅, 袁东敏, 尹志聪, 等. 2011 年长江中下游旱涝急转成因初步分析 [J]. *气候与环境研究*, 2014, 19(1): 41–50.
- 程智, 徐敏, 罗连升, 等. 淮河流域旱涝急转气候特征研究 [J]. *水文*, 2012, 32(1): 73–79.
- 唐明, 邵东国, 姚成林. 沿淮淮北区旱涝急转的成因及应对措施 [J]. *中国水利水电科学研究院学报*, 2007, 5(1): 26–32.
- 张效武, 徐维国, 施宏江, 等. 安徽省旱涝急转规律的认识与研究 [J]. *中国水利*, 2007(5): 40–42.
- 孙小婷, 李清泉, 王黎娟. 我国西南地区夏季长周期旱涝急转及其大气环流异常 [J]. *大气科学*, 2017, 41(6): 1332–1342.
- 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.
- 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.
- BEGUERIA S, VICENTE-SERRANO S M, REIG F, et al. Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring [J]. *International Journal of Climatology*, 2014, 34(10): 3001–3023.
- 张屏, 汪付华, 吴忠连, 等. 淮北市旱涝急转型气候规律分析 [J]. *水利水电快报*, 2008, 29(S1): 139–140, 151.
- 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.
- 徐玉霞. 基于 GIS 的陕西省洪涝灾害风险评估及区划 [J]. *灾害学*, 2017, 32(2): 103–108.
- 李海成. 水旱灾害对粮食生产的影响及风险管理研究 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2016: 11.
- 梁鸡保. 榆林小粒大豆旱作高产栽培技术研究与推广 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017: 4.
- 刘敏, 马锋, 薛小宁. 榆林市马铃薯种植气候条件分析 [J]. *安徽农业科学*, 2016, 44(1): 268–271, 284.
- 熊强强, 沈天花, 钟蕾, 等. 分蘖期和幼穗分化期旱涝急转对超级杂交早稻产量和品质的影响 [J]. *灌溉排水学报*, 2017, 36(10): 39–45.
- 熊强强, 钟蕾, 沈天花, 等. 穗分化期旱涝急转对双季超级杂交稻物质积累和产量形成的影响 [J]. *中国农业气象*, 2017, 38(9): 597–608.
- DENG Y, ZHONG L, CHEN X R, et al. Effects of drought-floods abrupt alternation on physiological and yield characteristics in super hybrid early rice during panicle differentiation stage [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2017, 31(4): 768–776.
- 徐桂珍. 基于自然灾害风险理论的陕西省典型作物干旱灾害风险评估与区划 [J]. *中国农村水利水电*, 2017(7): 179–184, 188.
- 高茂盛. 气象灾害对陕西省粮食生产的影响 [J]. *陕西气象*, 2017(4): 1–5.
- 清涧县志编纂委员会. 清涧县志 [M]. 西安: 陕西人民出版社, 2001: 139–148.
- 张俊道. 子州县志 [M]. 西安: 陕西人民教育出版社, 1993: 109–114.
- 米脂县志编纂委员会. 米脂县志 [M]. 西安: 陕西人民出版社, 1993: 73–75, 78–79.
- 覃丽华. 榆林市干旱特征与旱灾风险分析 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2020: 5.
- 李英杰. 陕西省旱涝灾害多时空尺度特征与趋势判断 [D]. 西安: 陕西师范大学, 2017: 6.
- 李红梅. 4 种干旱指标在陕西的适用性比较分析 [J]. *中国农村水利水电*, 2014(11): 50–54, 58.
- 徐玉霞, 许小明, 杨宏伟, 等. 基于 GIS 的陕西省干旱灾害风险评估及区划 [J]. *中国沙漠*, 2018, 38(1): 192–199.
- 郑亚云. 榆林 NDVI 时空变化及驱动因子研究 [D]. 西安: 长安大学, 2015: 12.
- 钟钰. 榆林统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2019: 200–209.
- 杨和春. 神木县志 [M]. 西安: 陕西人民出版社, 1990: 60–62.
- 杨占华. 府谷县志 [M]. 西安: 陕西人民出版社, 1994: 131–134.
- 李仲杰, 李宪夫. 佳县志 [M]. 西安: 陕西旅游出版社, 1994: 47–48, 50–51.
- 温怀德. 靖边县志 [M]. 西安: 陕西人民出版社, 1993: 62–64.
- 慕生峻. 吴堡县志 [M]. 西安: 陕西人民出版社, 1995: 127–129.
- 陈兴旺. 定边县志 [M]. 北京: 方志出版社, 2003: 117–119.
- 刘华荣, 李林, 南国伦. 绥德县志 [M]. 西安: 三秦出版社, 2003: 77–79.
- 翟佑安. 中国气象灾害大典, 陕西卷 [M]. 北京: 气象出版社, 2005: 27–41, 64–87.
- 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.
- 李红梅, 周天军, 宇如聪. 近四十年我国东部盛夏日降水特性变化分析 [J]. *大气科学*, 2008, 32(2): 358–370.
- 李栋梁, 谢金南, 王文. 中国西北夏季降水特征及其异常研究 [J]. *大气科学*, 1997, 22(3): 76–85.
- 刘京宝, 田甫焕, 杜世凯, 等. 中国不同熟制地区玉米栽培 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2018: 32.
- 许浒, 袁宏伟, 张辉, 等. 分枝期旱涝急转对大豆生长发育的影响 [J]. *节水灌溉*, 2021(12): 70–74, 80.
- 陕西省政府. 陕西省人民政府办公厅关于转发省金融办等部门 2017 年陕西省政策性农业保险试点工作实施方案的通知 [EB/OL]. (2017-06-23) [2022-06-07]. <http://jrb.xianyang.gov.cn/zcfg/sj/467974.htm>.

Hybrid EWM – TOPSIS and Neural Network for Flood Risk Evaluation of Xiamen City

LUO Ziyuan¹, TIAN Jian¹, DING Siyuan¹, WANG Ning^{1,2}, ZENG Jian¹

(1. *School of Architecture, Tianjin University, Tianjin 300072, China;*

2. *Xiamen Urban Planning and Design Institute, Xiamen 361012, China*)

Abstract: Based on Multi – year rainy season remote sensing images, a frequency – based inundation map is produced. The EWM – TOPSIS model and the neural network model are integrated to evaluate the flood risk of Xiamen city. The EWM – TOPSIS model is used to evaluate the flood vulnerability and risk exposure, and the neural network model is used to simulate the flood hazard of Xiamen city. Results show that: (1) Although landcover and precipitation contribute significantly to hazard, not all factors perform effectively in Xiamen city’s hazard assessment. (2) The total accuracy of the neural network model is 0.885, proving the frequency – based flood map could obtain actual risk mapping with well – performed regression accuracy. (3) 29.1% land of Xiamen City is under high vulnerability, mostly distributed in areas near the riverway and far from roads. 38.9% of Xiamen City is under high exposure, mainly in Tongan District and Xiang’an District. 56.7% area of Xiamen City is under low flood risk, yet 5.9% is facing high risk with 1.8% facing extremely high risk, mainly in the Xiangping block and Xike block of Tongan District and Maxiang county and Xindian county in Xiang’an District.

Keywords: hazard; vulnerability; exposure; geodetector; random forest; machine learning

(上接第 177 页)

Characteristics of Drought – flood Abrupt Alternation and its Effect on Crop Yield of Yulin in Northern Part of the Loess Plateau

SONG Huimin^{1,2}, ZHANG Xueyan², MA Xin¹

(1. *Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, CAAS, Beijing 100081, China;*

2. *Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China*)

Abstract: Yulin area in the northern part of the Loess Plateau is a typical fragile agroecological environment in the northern part of China. Based on the daily precipitation data of the crop growth period (May – August) from 1981 to 2018 in Yulin City, by using the long – cycle drought – flood abrupt alternation index (*LDFAI*) the trend of the drought and flood abrupt change is analyzed, and by using Mann – Kendall method mutation test verification is carried out, and the change characteristics of crop yield under different types of drought – flood abrupt change events are compared. The results show that: (1) In terms of time scale, the frequency of drought and flood sudden change events during the crop growth period in Yulin City from 1981 to 2018 was 34.37%, and the intensity of drought and flood sudden change decreased year by year from the 1990s. (2) On the spatial scale, the multi – year average drought – flood abrupt alternation index and intensity of Yulin City from 1981 to 2018 have the same spatial distribution, showing the characteristics of “high in the east and low in the west”. The multi – year average high value area is distributed in the eastern region, and the multi – year average low value area is distributed in the western mountainous region. (3) The event of changing from flood to drought had a specific impact on crop yield. In the event of changing from flood to drought, the unit yield of grain, soybean and potato decreased by 17.85% ($p < 0.05$), 16.63% ($p < 0.05$) and 19.46% ($p < 0.01$) respectively. According to the characteristics of agricultural production in Yulin City, we put forward some suggestions on the comprehensive countermeasures for the drought – flood abrupt alternation to agriculture, including strengthening the management of crop irrigation, optimize crop varieties and enrich the agrometeorological disasters insurance system.

Keywords: drought – flood abrupt alternation; crop yield; long – cycle drought – flood abrupt alternation index; precipitation; Yulin