

马耀绒,刘瑜,许伟峰,等.渭南夏玉米花期高温热害指标研究和风险区划[J].陕西气象,2025(6):53-58.

文章编号:1006-4354(2025)06-0053-06

# 渭南夏玉米花期高温热害指标研究和风险区划

马耀绒<sup>1,2</sup>,刘瑜<sup>1,2</sup>,许伟峰<sup>1,2</sup>,韩蓓蓓<sup>1,2</sup>,尹贞铃<sup>1,2</sup>

(1.渭南市气象局,陕西渭南 714000;

2.中国气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点开放实验室,西安 710016)

**摘要:**根据1971—2020年渭南市11个国家气象站夏玉米花期逐日最高温度和3个农业气象观测站夏玉米生育期数据,以 $\geq 32\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 38\text{ }^{\circ}\text{C}$ 作为轻度、中度和重度夏玉米花期高温热害发生阈值,选取花期日最高气温 $\geq 32\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 38\text{ }^{\circ}\text{C}$ 高温积热量和高温热害频率作为关键致灾气象因子,构建高温热害综合指数,开展渭南夏玉米花期高温热害风险区划,为夏玉米生产趋利避害和防灾减灾提供参考依据。研究发现:(1) $\geq 32\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 38\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高温积热量呈现出先下降后上升的趋势, $\geq 38\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高温积热量在近10a达到了顶峰。从空间分布上看,南部和中部的的高温热害相对频繁。(2)夏玉米花期高温热害频率同样遵循先减后增的特点, $\geq 32\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 及 $\geq 38\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高温热害年均发生率分别为45.9%、17.6%和1.9%。1980年是热害风险的低点,进入21世纪后,热害事件显著增加,2018年达到峰值。在空间分布上也呈现南部高北部低。(3)夏玉米花期高温热害综合风险指数呈现由南向北递减的趋势,高风险区域集中在中南部的临渭、华州、华阴、大荔、蒲城,低风险区域在白水、合阳、澄城。从渭南夏玉米种植面积来看,高风险区的夏玉米种植面积最大,其次是中风险区,低风险区则相对较小。

**关键词:**夏玉米花期;高温热害;指标和区划;渭南市

**中图分类号:**S513:S428

**文献标识码:**A

玉米作为中国三大主粮之一,其产量占据全国粮食总产量的40%<sup>[1]</sup>。渭南是陕西省的粮食大市,夏玉米又是渭南的主要粮食作物,其种植面积占渭南粮食面积的45%~55%,产量占渭南粮食总产量的55%~60%<sup>[2]</sup>。在气候变暖的影响下,玉米频遭高温热害侵袭,且其敏感程度远超小麦与水稻。据统计,1980—2008年间,全球及中国玉米分别因气候变暖减产3.1%与7.0%<sup>[3]</sup>。渭南地处陕西关中平原东部,夏季高温频发且强度高<sup>[4]</sup>。夏玉米的花期是全生育期中对高温热害最为敏感且最易受损的时期。高温可使花粉发育异常或败育,导致花粉数量减少,生命力减弱,甚至完全丧失受精能力,最终导致结实率降低和减

产<sup>[5-6]</sup>。鉴于此,深入研究并明确该阶段渭南夏玉米高温热害判断指标及其风险分布特征,可为夏玉米高温热害防控及农业减灾增效提供有力科学依据与参考。

《主要农作物高温危害温度指标》GB/T 21985—2008中规定,玉米花期若最高气温达到或超过 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或者 $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,且伴随开花数量减少或开花停止的现象,即为遭遇花期热害<sup>[5]</sup>;但不同地区因海拔和地理环境差异,各等级热害采用的最高气温阈值和评判标准存在差异。关于夏玉米高温热害分布特点和发生规律等方面的研究,近年来逐步增加。代立芹等<sup>[7]</sup>针对河北省玉米,采用日最高气温 $\geq 32\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的累积温度和天数作为指标,

**收稿日期:**2024-11-05

**作者简介:**马耀绒(1974—),女,陕西蒲城人,汉族,本科,高级工程师,从事农业气象工作。

**通信作者:**刘瑜(1976—),女,陕西渭南人,汉族,本科,工程师,从事农业气象防灾减灾工作。

**基金项目:**秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室开放基金课题(2024G-27);渭南市气象局科研项目(2024WK-5)

进行花期高温热害的研究与风险评估。陈怀亮等<sup>[8]</sup>以气温变暖为背景,将夏玉米花期日最高气温 $\geq 32\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 作为轻度和重度高温灾害阈值,对河南省夏玉米开花期高温热害风险进行分区评估。和骅芸等<sup>[9]</sup>则进一步细化,对华北平原相关特点进行了分析,将夏玉米开花期轻、中、重度高温热害气象指标定为日最高气温 $\geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 并分别持续 3、4、5 d,且相对湿度均 $\leq 70\%$ 。徐延红等<sup>[10]</sup>选取花期日最高气温 $\geq 32\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的发生频率和高温积热量作为关键致灾气象因子,对河南省进行深入研究,也分别以 $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为夏玉米花期的轻度和重度高温热害阈值。本研究聚焦渭南夏玉米,结合其花期气候特征,对花期高温热害的轻、中、重度综合风险及其时空分布特征进行了深入分析,为渭南夏玉米实现稳定高产提供依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料来源

气象数据选取 1971—2020 年渭南市 11 个县

家气象站 7—8 月逐日最高气温( $^{\circ}\text{C}$ ),夏玉米生育期数据为 2000—2020 年蒲城、大荔、临渭 3 个农业气象站观测数据。以上资料来源于渭南市气象局。

### 1.2 花期和高温热害指标的确定

渭南夏玉米通常在播种后的 60~90 d 迎来始花期;始花期后一般需要 10 d,雄穗花粉开始散尽、花丝褐变枯萎,田间 90% 以上植株完成授粉,进入末花期<sup>[11-13]</sup>。因此根据 2000—2020 年夏玉米生育期资料,蒲城、大荔、临渭三站分别取各站点 21 a 夏玉米始花期平均值作为该站夏玉米始花期,向后推算 10 d 为末花期。其余 8 站始花期,依据蒲城、大荔、临渭 3 个农业气象站夏玉米始花期和 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 活动积温,通过克里金插值法计算得出(表 1)。

参考河南省夏玉米高温热害指标<sup>[10]</sup>和降志兵等<sup>[12]</sup>对玉米花粉活力受高温影响的研究结果,综合考虑渭南夏玉米花期高温特点、热害发生时间、强度、频率等,并结合前期研究成果<sup>[13-16]</sup>,确定

表 1 渭南市各县(市、区)夏玉米始花期和末花期(月/日)

县(市、区)	临渭	华州	华阴	潼关	蒲城	大荔	富平	韩城	澄城	合阳	白水
始花期	7/28	7/28	7/28	8/02	7/30	7/30	8/02	8/04	8/06	8/08	8/10
末花期	8/07	8/07	8/07	8/12	8/09	8/09	8/12	8/14	8/16	8/18	8/20

渭南夏玉米花期以 $\geq 32\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 38\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高温积热量和高温热害频率作为渭南夏玉米花期高温热害指标。

1.2.1 高温积热量 高温积热量( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ )是指作物受高温危害过程中,高于临界温度的有害温度累积值。高温积热量综合考虑了作物所受热害持续时间和热害强度。利用开花期时段内,日最高气温 $\geq 32\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 38\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高温积热量,来精确量化并表征花期高温热害所呈现出的严重程度,计算公式为:

$$T_j = \sum_{i=1}^{10} T_{ji}, \quad (1)$$

$$T_{ji} = \begin{cases} 0, & T_{\max,i} < j \\ T_{\max,i} - j, & T_{\max,i} \geq j \end{cases} \quad (2)$$

式中, $T_j$ 表示某站点夏玉米花期 $\geq 32\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、

$\geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 38\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高温积热量; $j$ 分别为 $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $38\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; $i$ 表示高温日数; $T_{ji}$ 表示第 $i$ 日 $\geq 32\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 38\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高温积热量; $T_{\max,i}$ 为第 $i$ 日日最高气温。

1.2.2 高温热害频率 高温热害频率(%)指夏玉米开花期的高温日数与整个开花期的持续日数之比。分别统计 1971—2020 年 11 个县(市、区)的夏玉米花期各年份高温出现日数,并计算其与对应年份的花期总日数的比值,得出该年份夏玉米花期高温热害频率。

$$P_j = \frac{d_j}{D} \times 100\% \quad (3)$$

式中, $P_j$ 表示夏玉米花期 $\geq 32\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或 $\geq 38\text{ }^{\circ}\text{C}$ 高温热害频率, $d_j$ 为日最高气温 $\geq 32\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或 $\geq 38\text{ }^{\circ}\text{C}$ 高温日数, $D$ 为花期总日数。

### 1.3 高温热害风险综合指数

夏玉米花期高温热害风险综合指数可用发生概率乘以发生强度表示,计算公式<sup>[10]</sup>为:

$$f = \omega_1 \times P_{32} \times T_{32} + \omega_2 \times P_{35} \times T_{35} + \omega_3 \times P_{38} \times T_{38} \quad (4)$$

其中, $f$ 为夏玉米花期高温热害风险综合指数, $\omega_1$ 、 $\omega_2$ 和 $\omega_3$ 分别为 $\geq 32^\circ\text{C}$ 、 $\geq 35^\circ\text{C}$ 以及 $\geq 38^\circ\text{C}$ 高温影响权重系数,参考河南省夏玉米花期高温热害风险综合指数<sup>[10]</sup>中 $\omega_1$ 、 $\omega_2$ 和 $\omega_3$ 计算方法, $\omega_1$ 、 $\omega_2$ 和 $\omega_3$ 计算结果分别为0.18、0.35和0.47; $P_{32}$ 、 $P_{35}$ 和 $P_{38}$ 分别为 $\geq 32^\circ\text{C}$ 、 $\geq 35^\circ\text{C}$ 及 $\geq 38^\circ\text{C}$ 高温热害频率, $T_{32}$ 、 $T_{35}$ 和 $T_{38}$ 分别为 $\geq 32^\circ\text{C}$ 、 $\geq 35^\circ\text{C}$ 及 $\geq 38^\circ\text{C}$ 的高温积热量。

### 1.4 高温热害风险等级划分

参考陈怀亮等<sup>[8]</sup>对河南省夏玉米高温热害风险区划研究结果,将渭南夏玉米花期高温热害风险分为轻度、中度、重度三个等级,划分公式为:

$$f_k = k \times f_{\max} \quad (5)$$

式中, $f_k$ 为夏玉米花期高温热害风险分级阈值, $f_{\max}$ 为全区域最高高温热害风险综合指数, $k$ 为分级系数。若 $f_k < 0.4f_{\max}$ ,则判定为轻度高温风险;若 $f_k \geq 0.7f_{\max}$ ,则视为重度高温风险;中间过渡值判定为中度高温风险,其分级系数为 $[0.4, 0.7)$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 夏玉米花期高温积热量时空变化特点

**2.1.1 时间变化特点** 图1a为1971—2020年渭南夏玉米 $\geq 32^\circ\text{C}$ 高温积热量年际变化。从图1a可见, $\geq 32^\circ\text{C}$ 高温积热量在 $8.9 \sim 356.8^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ 范围变化,1980年高温积热量最小,2018年最大,多年平均为 $176.0^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ 。高温积热量呈现先减弱再增强的趋势,其中1971—1979年高温积热量增强,1980—1989年高温积热量减弱,1990年后开始上升,2010年高温积热量较1980年增加了 $218.2^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ 。1971—1973年、2013年、2016—2018年高温积热量较强,其中2018年最强,高温积热量达到 $356.8^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ 。图1b为1971—2020年渭南夏玉米 $\geq 35^\circ\text{C}$ 高温积热量年际变化。 $\geq 35^\circ\text{C}$ 高温积热量年际变化幅度较大,为 $0.0 \sim 231.5^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ ,多年平均为 $68.2^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ ;年际变化

趋势与 $\geq 32^\circ\text{C}$ 高温积热量变化趋势大体相似。1980—1989年 $\geq 35^\circ\text{C}$ 高温积热量降低,1980年最低。1990年高温积热量升高,2018年达到最高,高温积热量达到 $231.5^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ 。夏玉米花期 $\geq 38^\circ\text{C}$ 高温积热量年际变化如图1c所示。1971—2020年 $\geq 38^\circ\text{C}$ 高温积热量多年平均为 $6.8^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ 。2001—2010年高温积热量整体最弱,2011—2020年有明显提高,其中2017年高温积热量最高,达到 $49.5^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ 。

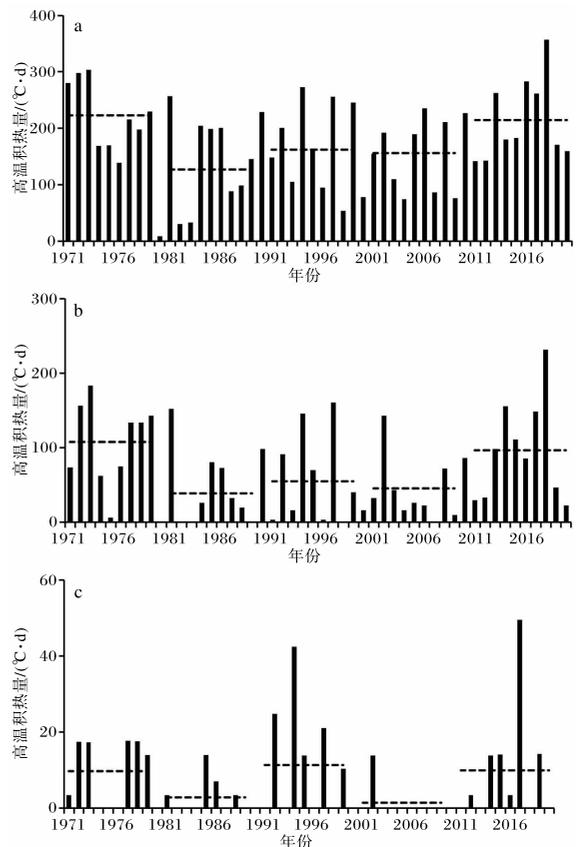


图1 1971—2020年渭南夏玉米花期高温(a  $\geq 32^\circ\text{C}$ , b  $\geq 35^\circ\text{C}$ , c  $\geq 38^\circ\text{C}$ )积热量年际变化

**2.1.2 空间变化特点** 图2a为渭南市夏玉米花期 $\geq 32^\circ\text{C}$ 高温积热量空间分布图。由图2a可见,全市 $\geq 32^\circ\text{C}$ 高温积热量在 $72.6 \sim 240.8^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ ,呈现出南高北低的空间分布特点。其中:高温积热量较高的地区集中在临渭、华州、华阴等地,达 $220.0^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ 以上;白水、合阳、澄城是全市高温积热量最低的地区,高温积热量达 $72.6 \sim 126.5^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ ;其余地区的高温积热量范围大多集中在 $150.0^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ 上下。夏玉米花期 $\geq 35^\circ\text{C}$ 高温积热量空间分布如

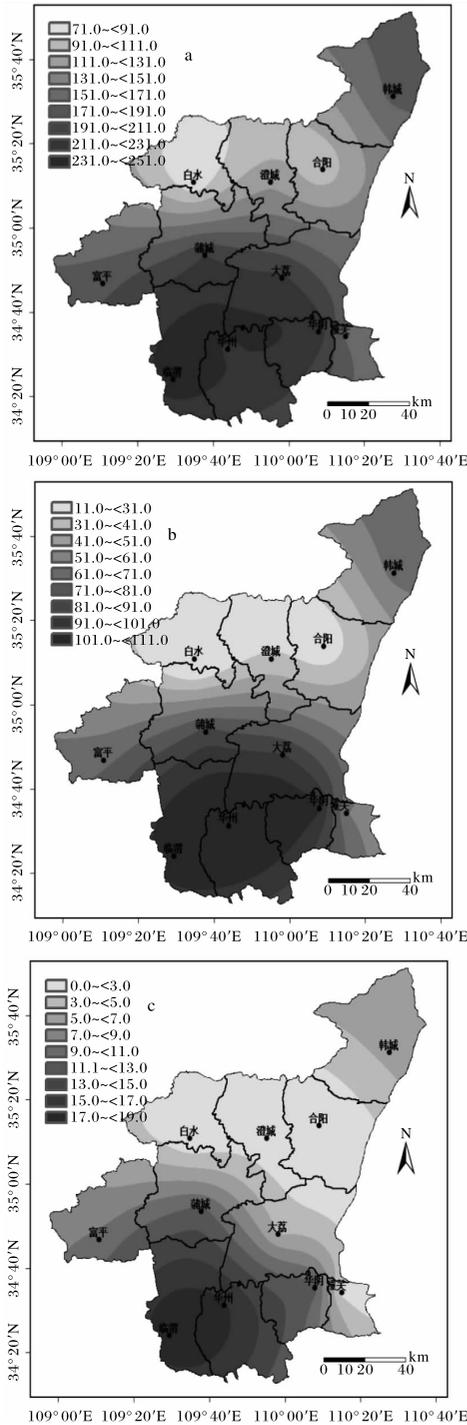


图2 1971—2020年渭南夏玉米花期高温(a  $\geq 32\text{ }^{\circ}\text{C}$ , b  $\geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ , c  $\geq 38\text{ }^{\circ}\text{C}$ )积热量(单位: $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ )空间分布(审图号:GS(2024)0650)

图2b所示,全市 $\geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 高温积热量在 $10.0\sim 108.9\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 区间,与 $\geq 32\text{ }^{\circ}\text{C}$ 高温积热量分布特点一致:临渭、华州、华阴等地高温积热量强度最强,均达到 $100.0\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 以上;白水、合阳、澄城强

度最弱,为 $10.0\sim 33.3\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ;其余地区较强,为 $60.8\sim 90.8\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 。 $\geq 38.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的积热量空间分布如图2c所示,全市范围在 $0.0\sim 17.8\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 之间,分布特征与 $\geq 35.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高温积热量特征基本相符,其中:高温积热量最高的地区在临渭、华州、华阴和蒲城,达到 $10.0\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 以上;高温积热量最低的是白水、合阳和澄城;其他地区较高,在 $5.0\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 左右。

## 2.2 夏玉米花期高温热害频率时空演变特征

### 2.2.1 时间变化特征

从图3可以看出,全市夏玉米开花期 $\geq 32\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 38\text{ }^{\circ}\text{C}$ 多年平均高温热害频率分别为45.9%、17.6%、1.9%,不同等级高温热害频率呈先减后增趋势,均在1980年降到最低, $\geq 32\text{ }^{\circ}\text{C}$ 发生频率为3.0%, $\geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以及 $\geq 38\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的发生频率为0.0%。高温热害频率在1990年后上升,21世纪后上升显著。 $\geq 32\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 高温热害频率在2018年达到最高值,分别为91.0%和57.0%。 $\geq 38\text{ }^{\circ}\text{C}$ 高温热害频率2017年最高,达13.0%。

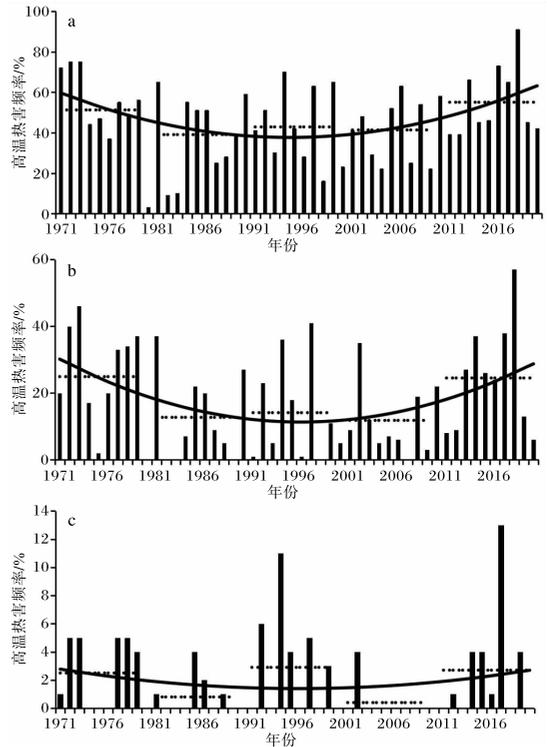


图3 1971—2020年渭南夏玉米花期高温热害频率(a  $\geq 32\text{ }^{\circ}\text{C}$ , b  $\geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ , c  $\geq 38\text{ }^{\circ}\text{C}$ )年际变化

### 2.2.2 空间变化特征

从图4可以看出,渭南市夏玉米花期 $\geq 32\text{ }^{\circ}\text{C}$ 高温热害频率为20.0%~

61.6%,  $\geq 35^\circ\text{C}$  高温热害频率为 2.8%~27.8%,  $\geq 38^\circ\text{C}$  的高温热害频率为 0.0~4.6%, 与高温积热量空间分布特征一致。全市夏玉米花期高温热害频率最高区域为临渭、华州、华阴, 最低区域为白水、合阳、澄城。

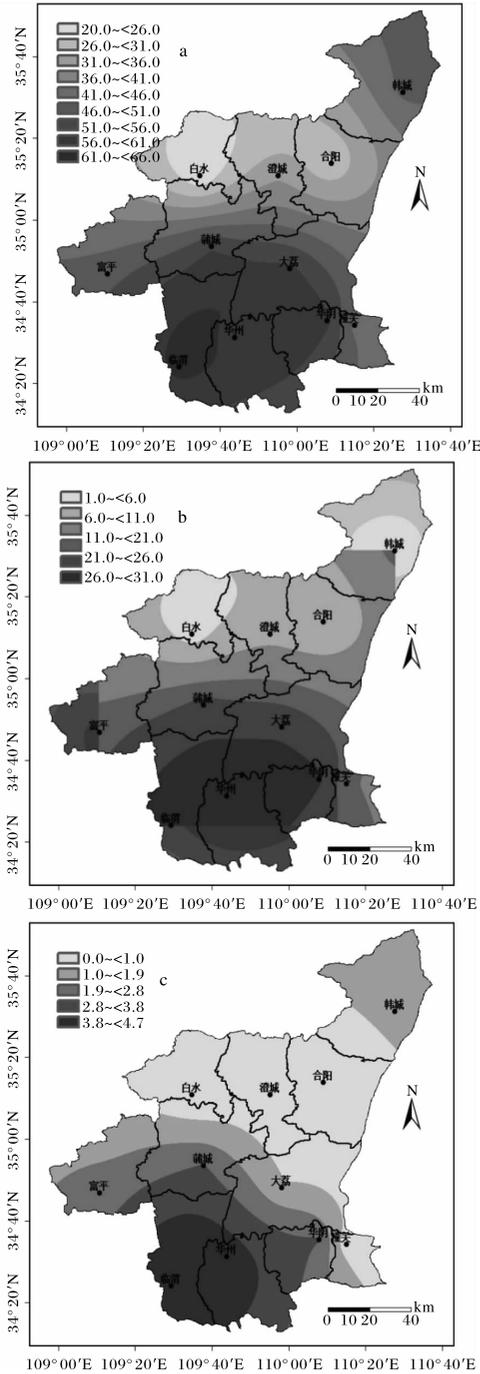


图4 1971—2020年渭南夏玉米花期高温热害频率(%; a  $\geq 32^\circ\text{C}$ ; b  $\geq 35^\circ\text{C}$ ; c  $\geq 38^\circ\text{C}$ )空间变化 (审图号:GS(2024)0650)

### 2.3 夏玉米花期高温热害综合风险评估与区划

综合风险指数是对夏玉米花期高温积热量和高温热害频率综合考量的指数。渭南夏玉米花期高温热害综合风险指数的最高值达到了 37.7, 出现在临渭; 最低的区域在白水, 仅为 2.7。按照风险等级划分方法和标准, 确定  $f$  值在  $[2.7, 15.1]$  区间为低风险区,  $f$  值位于  $(15.1, 26.4]$  区间为中风险区,  $f$  值位于  $(26.4, 37.7]$  区间为高风险区。

渭南夏玉米花期高温热害综合风险区划如图 5 所示。在全市范围内高温热害风险呈现出南部最高, 北部最低, 东部和西部相对较低的分布特点。盛夏时渭南易受副热带高压系统脊线位置南北摆动影响, 气温高、酷热天气持续时间长, 中南部区域因海拔低, 加之夏季气流越过秦岭山脉后, 在渭河平原下沉增温, 导致中南部地区气温相对较高, 进一步加剧了中南部区域的高温热害风险。临渭、华州、华阴、大荔、蒲城等中南部地区为热害发生的高危地区, 其夏玉米播种面积约占全市播种面积的 80%。中风险区分布在富平、韩城、潼关, 其夏玉米播种面积约占全市播种面积的 18%。北部白水、合阳和澄城为热害低发区, 面积约占全市夏玉米种植面积的 2%。北部地区气温相对较低, 热量条件一般, 高温热害危害较小。受海拔和地形等因素影响, 渭南夏玉米主要种植区域中, 高温热害面积高风险区最大, 其次为中风险区, 低风险区是面积最小的区域。

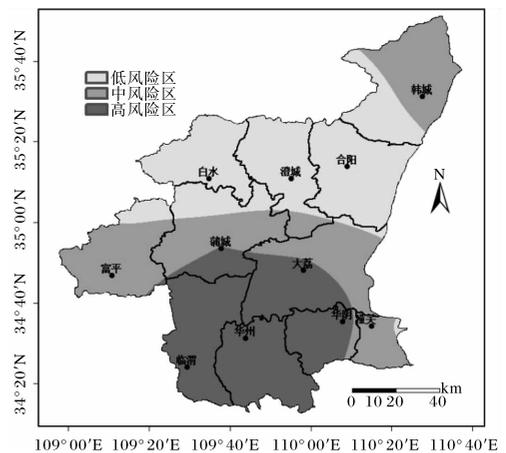


图5 渭南市夏玉米花期高温热害综合风险区划 (审图号:GS(2024)0650)

### 3 结论与讨论

(1)1971—2020年渭南市夏玉米花期高温积热量和高温热害频率均呈先减后增趋势,特别是2010年以后,夏玉米花期高温热害频率更高、强度更强。在空间上,高温热害南部比北部偏高,东部比西部偏高。高风险区在南部的临渭、华州、华阴和中部的华荔、蒲城;中风险区在富平、韩城、潼关;低风险区在白水、合阳、澄城。全市高风险区域是夏玉米种植面积最大的区域,其次为中风险区,低风险区种植面积最小。

(2)因无法获得渭南各县(市、区)历史时期夏玉米花期准确高温热害灾情数据,故采用了实地调查方式,对高温热害等级评定指标及分级体系进行初步验证,验证结果符合调查实情。后期将加强收集高温热害灾情准确数据,在服务中对该指标进一步验证或修订,以确保得到更加科学准确的本地化指标。

(3)随着全球气候变暖,渭南夏玉米花期高温热害逐渐增多,建议在种植布局上,可适当调整高、中、低风险区种植面积,北部低风险区可加大种植耐旱品种的夏玉米,中、南部可采取大、小行种植等方式加强对热害的防御。在栽培管理上,有条件的中、高风险区可通过人工帮助授粉、改善通风条件等,提高玉米植株的抗性;或通过优化种植制度,调整夏玉米播期,使夏玉米花期错过高温热害严重时期,从而减轻或规避热害风险。

#### 参考文献:

- [1] 霍治国,张海燕,李春晖,等. 中国玉米高温热害研究进展[J]. 应用气象学报,2023,34(1):1-14.
- [2] 马耀绒,淡会星,尹贞铃,等. 渭南市玉米产量气象条件分析与预报模型研究[J]. 陕西气象,2020(2):34-37.
- [3] 侯昕芳,王媛媛,黄收兵. 花期前后高温对玉米花粉发育及结实率的影响[J]. 中国农业大学学报,2020,25(3):10-16.
- [4] 王柳,熊伟,温小乐,等. 温度降水等气候因子变化对中国玉米产量的影响[J]. 农业工程学报,2014,30(21):138-146.
- [5] 中国气象局. 主要农作物高温危害温度指标:GB/T 21985—2008[S].
- [6] 马耀绒,许伟峰,韩蓓蓓,等. 近30年渭南夏玉米气候适宜度研究[J]. 陕西气象,2023(3):49-54.
- [7] 代立芹,康西言,姚树然,等. 河北省玉米高温热害监测与量化评估指标研究[J]. 干旱区资源与环境,2022,36(4):171-176.
- [8] 陈怀亮,李树岩. 气候变暖背景下河南省夏玉米花期高温灾害风险预估[J]. 中国生态农业学报,2020,28(3):337-348.
- [9] 和骅芸,胡琦,潘学标,等. 气候变化背景下华北平原夏玉米花期高温热害特征及适宜播期分析[J]. 中国农业气象,2020,41(1):1-15.
- [10] 徐延红,刘天学,方文松,等. 河南省夏玉米花期高温热害风险分析[J]. 中国农业气象,2021,42(10):879-888.
- [11] 马耀绒,韩蓓蓓,尹贞铃,等. 渭南高温时空变化特征及其量化评估[J]. 陕西气象,2024(3):38-43.
- [12] 降志兵,陶洪斌,吴拓,等. 高温对玉米花粉活力的影响[J]. 中国农业大学学报,2016,21(3):25-29.
- [13] 马杰,彭婷婷,陈若礼,等. 花期高温对玉米结实的影响[J]. 安徽农学通报,2014,20(1/2):39-40.
- [14] 陈朝辉,王安乐,王娇娟,等. 高温对玉米生产的危害及防御措施[J]. 作物杂志,2008(4):90-92.
- [15] 王海梅. 高温胁迫对河套灌区玉米生理指标及产量构成要素的影响[J]. 干旱气象,2015,33(1):59-62.
- [16] 任寒,刘鹏,董树亭,等. 高温胁迫影响玉米生长发育的生理机制研究进展[J]. 玉米科学,2019,27(5):109-115.