王 帆,齐 月,方 锋,等.河西走廊制种玉米高温热害时空特征及风险区划[J].干旱气象,2026,44(2):200-207,[WANG Fan, QI Yue, FANG Feng, et al. Spatio-temporal characteristics and risk zonation of high temperature damage for seed maize in the Hexi Corridor[J]. Journal of Arid Meteorology,2026,44(2):200-207], DOI:10.11755/j.issn.1006-7639-2026-02-0200

河西走廊制种玉米高温热害时空特征及风险区划

王 帆[1],齐 月[2],方 锋[1],贾建英[1],王 兴[1],房子云[4],贾亦阳[3],任淑媛[3],张雅馨[1]

(1. 兰州区域气候中心,甘肃 兰州 730020;2. 中国气象局兰州干旱气象研究所,甘肃 兰州 730020;3. 兰州市气象局,甘肃 兰州 730101;4. 中电万维信息技术有限责任公司,甘肃 兰州 730020)

摘 要:甘肃省是中国三大国家级玉米制种基地之一,河西走廊是制种玉米的主要产区。受气候变暖影响,区域高温事件频发,严重威胁制种玉米高产稳产。利用甘肃省河西地区制种玉米主产区14个气象观测站2004—2025年逐日、逐时气温资料及制种玉米产量资料,确定制种玉米高温热害指标,分析热害时空分布特征,构建制种玉米高温热害风险评估指数并进行风险区划。结果表明:综合日高温时长的热害指标与气象产量的相关性更强,因此以35 ℃及以上日高温时长≥4 h的高温日数及对应高温积热作为高温热害致灾因子指标;2004—2025年制种玉米主产区高温日数和高温积热整体呈增加趋势,年际变化幅度大,空间分布上整体呈西北向东南减少的趋势;根据高温热害风险评估指数进行风险区划,河西走廊制种玉米高温热害极高和高风险区主要分布在酒泉市瓜州县、金塔县,张掖市甘州区、高台县、临泽县,金昌市金川区,武威市民勤县等地,种植面积较大的县区需加强对高温热害的防范。

关键词:河西走廊;制种玉米;高温热害;风险区划

文章编号:1006-7639(2026)02-0200-08 DOI:10. 11755/j. issn. 1006-7639-2026-02-0200

中图分类号:P49 **文献标志码:**A

0 引 言

粮食安全事关国运民生,种优则粮丰。种业是国家战略性、基础性核心产业,是促进农业长期稳定发展、保障国家粮食安全的根本。玉米是中国第一大作物,约占粮食总产量的40%,玉米在保障国家粮食安全中占据重要位置,种子质量直接影响玉米的生长和最终产量,玉米种业的发展与粮食安全息息相关。甘肃省是国家级育种制种基地,对保障国家种业安全发挥着重要作用,2023年甘肃省玉米制种面积达11.03×10^4 hm^2,玉米种子产量为6.8亿kg,种子产量占全国总需种量的比重超过55%。河西走廊是甘肃省主要制种玉米种植区,受青藏高原大地形作用影响,该区域大陆性温带干旱气候明显,光照充足、昼夜温差大、病虫害轻、灌溉条件良好、土地肥沃,具备得天独厚的玉米制种优势,酒泉市的肃州区,金昌市的永昌县,张掖市的甘州区、高台县和临泽县,武威市的凉州区和古浪县等地2013年被认定为国家级杂交玉米种子生产基地。

制种玉米的生长发育与气候条件关系密切(殷雪莲等,2022;马玉平等,2025;米娜等,2025),影响制种玉米生产的主要气象灾害有高温、干旱、大风、低温冻害等(王大和等,2004;张东昱等,2016;袁成福,2019;于庭高,2020)。其中,高温热害是影响制种玉米的主要气象灾害之一,35 ℃以上高温可加速制种玉米花粉死亡,造成父本雄穗败育、授粉困难

收稿日期:2025-12-09;**改回日期:**2026-03-18

基金项目:甘肃省科技重大专项计划(25ZDFA011)、甘肃省重点研发计划(25YFFA093)、中央引导地方科技发展资金项目(25ZYJA035)、甘肃省气象局创新团队(GSQXCXTD-2026-01)、中国气象局创新发展专项(CXFZ2024J056)、甘肃省青年科技基金计划项目(21JR7RA708、24JRRA1181、25JRRA850)、干旱气象科学研究基金项目(IAM202302)及甘肃省气象局项目(Qn2025-D-20)共同资助

作者简介:王帆(1993—),女,甘肃静宁人,工程师,主要从事农业气象灾害监测预报及风险评估研究。E-mail: wangfan19930201@163. com。

通信作者:齐月(1988—),女,山东章丘人,副研究员,主要从事气候变化对农业影响研究。E-mail: goodqiyue@163. com。

(李继辉等,2023),高温也会影响灌浆期持续时间及灌浆速率,进而影响产量(Li et al.,2022)。在气候变暖背景下,中国西北地区极端高温事件的发生频次和强度明显增加(王倩等,2025),高温胁迫风险持续加剧(张祯祯等,2025)。地处干旱半干旱区的河西走廊常面临高温与干旱相互叠加的复合灾害,其对水资源、生态系统、粮食及能源安全造成的负面影响,远大于单一干旱或高温事件(Zscheischler et al.,2018)。该区域以灌溉农业为主,水分供应相对可控,因此高温对其影响更为突出。

目前,关于河西走廊高温热害研究多集中于其演变特征、成因机理及对作物生理影响等方面。已有研究表明,河西大部极端高温日数整体呈增多趋势(孔祥伟和陶健红,2012;王有恒等,2012),南亚高压、西太平洋副热带高压、副热带西风急流中心等大气环流系统出现异常,且各系统相互叠加、协同作用,导致区域持续性高温过程发生(叶培龙等,2019;刘洪兰等,2025)。高温热害会对作物生长发育存在明显抑制作用,高温日数与玉米果穗长度、百粒重等产量性状均呈显著负相关(杨华等,2023;殷雪莲等,2025)。目前该区域对高温热害风险评估的研究尚未充分开展,尤其是针对制种玉米,现有研究成果不能有效满足河西走廊制种玉米高温热害防灾减灾的实际需求。因此,亟待开展河西走廊制种玉米高温热害特征及灾害风险研究,为高温热害的风险预警及防灾减灾提供理论依据。本文利用2004—2025年河西走廊制种玉米主产区的气象数据,结合产量资料,构建制种玉米高温热害致灾因子指标,分析气候变化背景下该区域高温热害时空分布特征,并对主产区高温热害进行风险评估,为制种玉米关键生长期高温灾害的防御提供科学依据。

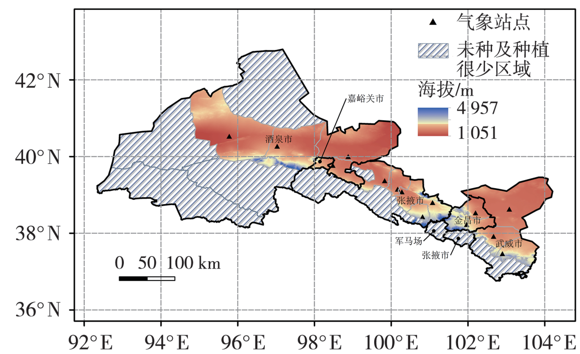
1　研究区概况、资料与方法

1.1　研究区概况

河西走廊深居西北内陆地区,属于干旱气候区,其南部为祁连山地,北部为北山山地。年平均气温为0.7~10.4 ℃、降水量为44.6~431.3 mm、日照时数为2 651~3 404 h、平均相对湿度为40%~59%,河西走廊内有石羊河、黑河和疏勒河三大内陆河,各水系孕育形成了相对独立的绿洲灌溉区(张钰,2018)。

1.2　资　料

选取2004—2025年河西走廊制种玉米主产区14个气象观测站(图1)6—8月(制种玉米生长发育关键期)逐日最高气温、逐小时气温资料,以及制种玉米产量数据和DEM(Digital Elevation Model)高程等数据,分析该区域制种玉米高温热害风险并进行区划。其中,气象数据来源于甘肃省气象信息与技术装备保障中心;制种玉米产量数据来源于甘肃省种子总站;DEM高程数据源于ALOS(Advanced Land Observing Satellite)数字地表模型数据,空间分辨率为30 m×30 m,本文中重采样为90 m×90 m。



注:基于自然资源部标准地图服务网站下载的标准地图[审图号:GS(2024)0650号]制作,底图边界无修改,下同。

图1　河西走廊制种玉米主产区地形(填色)及气象站点(黑色三角)空间分布

Fig. 1　Spatial distribution of topography (the color shaded) and meteorological stations (black triangles) in the main maize seed production areas of the Hexi Corridor

1.3　方　法

1.3.1　高温热害致灾因子指标

高温热害是指超出适宜范围的高温对作物正常生长发育、产量及品质造成的损害(中国气象局,2008),玉米种业气象服务指南①中以持续3 d及以上日最高气温≥35 ℃作为制种玉米高温热害的监测指标。据此,本文选取35 ℃为致灾温度阈值。

农业气象研究中,常以高温日数和高温积热作为表征高温热害的致灾因子指标(王丽君,2018;刘盼等,2022)。当某日温度大于致灾温度阈值时,计为1个高温日,作物生长发育关键期内高温日的累计天数即为高温日数;将关键期内所有高温日的温度累积值(单位:℃·d)定义为高温积热,该指标综合考虑了热害时间与强度,可用来表征高温热害的严重程度(田俊等,2021;徐延红等,2021)。此外,日高温时长(即每日气温高于致灾阈值的持续小时数)能直观反映植物器官单日受高温胁迫的累积时长,同样可作为高温热害的重要评价指标(刘哲等,

①玉米种业气象服务指南(试行).中国气象局应急减灾与公共服务司,2023年6月1日印发。

2015；代立芹等，2022；胡莉婷等，2024）。

综上所述，本文分别采用3种方法判定高温日：1）日最高气温≥35 ℃且持续3 d及以上记为1次高温过程，过程内单日记为1个高温日；2）将某日35 ℃及以上日高温时长≥4 h判断为1个高温日；3）将某日35 ℃及以上日高温时长≥5 h判断为1个高温日。其中，后2种临界时长的设定参考代立芹等（2022）对玉米高温热害指标的研究结果。在此基础上，分别计算对应高温日数和高温积热，构建高温日数、高温积热两类6项致灾因子指标（表1），然后与气象产量进行相关分析，最终确定制种玉米高温热害致灾因子指标，分析高温热害特征，进行风险评估及区划。

表1　高温热害致灾因子及其定义

Tab. 1　High temperature damage indicators and their definitions

致灾因子简称	定义	单位
dmt35	日最高气温≥35 ℃且持续3 d及以上的高温日数	d
amt35	日最高气温≥35 ℃且持续3 d及以上的高温积热	℃·d
dhd35_4	35 ℃及以上日高温时长≥4 h的高温日数	d
athd35_4	35 ℃及以上日高温时长≥4 h的高温积热	℃·d
dhd35_5	35 ℃及以上日高温时长≥5 h的高温日数	d
athd35_5	35 ℃及以上日高温时长≥5 h的高温积热	℃·d

1.3.2　高温热害风险评估指数

基于上述方法筛选的高温积热和高温日数，分别计算各站点年热害平均强度和高温热害年频率。将各站点年热害平均强度和高温热害年频率相乘得到各站点高温热害风险评估指数。

年热害平均强度：将各站点每个热害年高温积热累加值，除以当年高温日数，得到每个高温日的高温积热平均值，再计算热害年的高温积热平均值，得到每个站的年热害平均强度，计算公式如下：

$$S_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j}(A_{ij}/d_{ij})}{n_j} \tag{1}$$

式中：S_j是j站点年热害平均强度；A_{ij}是j站点第i个热害年的高温积热累加值，单位为℃·d；d_{ij}是j站点第i个热害年的高温日数，单位为d；n_j是j站点自统计年以来发生热害的年数。

高温热害年频率：将各站统计年份中的热害年进行计数，计数结果除以该站点统计总年份得到热害年频率，计算公式如下：

$$P_j = \frac{n_j}{Y_j} \tag{2}$$

式中：P_j是j站点热害年的频率；n_j是j站点自统计年以来发生热害的年数；Y_j是j站点资料的总年数。

高温热害风险评估指数：风险评估指数用强度乘以频率表示，计算公式如下：

$$I_j = S_j \times P_j \tag{3}$$

式中：I_j是j站点高温热害风险评估指数；S_j是年热害平均强度；P_j是j站点热害年的频率。

1.3.3　气象产量

作物产量是在各种自然和非自然因素综合影响下形成的，因此可将制种玉米的实际单产分解为趋势产量（主要由社会生产力决定）、气象产量（主要由天气气候条件决定）和随机因素（钱永兰等，2016；方锋等，2025）。其中，趋势产量表征作物产量的历史演变趋势，利用5 a滑动平均法分离制种玉米趋势产量；气象产量表征气象条件对作物产量的影响，为实际单产和趋势产量的差值，该值反映了气候条件的优劣，正值越大，表明气象条件越有利，负值则表明发生了不利的灾害性天气。具体公式如下：

$$Y = Y_t + Y_w + e \tag{4}$$

$$Y_w = Y - Y_t \tag{5}$$

式中：Y、Y_t、Y_w分别为实际单产、趋势产量、气象产量，单位均为$kg \cdot hm^{-2}$；e为其他随机产量，因影响较小可忽略不计。

1.3.4　Spearman相关系数

Spearman相关系数是一种基于秩（排名）的非参数统计方法，用于衡量两个变量之间的单调关系强度。与皮尔逊相关系数不同，其对原始数据的分布类型、相关形式、数据选取没有严格限制（周永江等，2020）。

1.3.5　滑动t检验

滑动t检验是通过检验两组子序列平均值差异的显著性来识别序列突变点的统计方法。其基本原理：将时间序列按某一滑动点划分为两组子序列，再将二者均值差异视为两个总体均值的差异进行显著性检验，若差异超过特定显著性水平，则判定该点存在均值突变（魏凤英，2007）。

1.3.6　小网格推算

由于大地形因子（经度、纬度、高度）与致灾因子有较好的线性关系，可建立各指标因子的空间分布模型，计算公式如下：

$$Z = f\left(\lambda, \phi, h\right) + \varepsilon \tag{6}$$

式中:Z为致灾因子;λ为经度;ϕ为纬度;h为海拔高度,单位:m;ε为残差项,可视为小地形因子(坡度、坡向等)及下垫面对气候的影响(张雪芬等,2007;蔡哲等,2010)。

2　结果分析

2.1　制种玉米高温热害致灾因子指标确立

表2为2004—2025年河西走廊制种玉米气象产量。可以看出,2010、2016、2017、2023年气象产量负值尤为明显,反映这些年份遭遇了较为严重的灾害性天气,对作物产量产生不利影响。表3为2004—2025年河西走廊制种玉米气象产量与6个高温热害致灾因子的相关系数。可以看出,气象产量与6个致灾因子均呈负相关关系。气象产量与dhd35_4、dhd35_5、athd35_4、athd35_5的负相关程度高于其与dmt35、amt35的相关性,说明综合日高温时长的高温热害指标更能反映对制种玉米的影响,这与刘哲等(2015)、代立芹等(2022)研究结论一致。制种玉米气象产量与dhd35_4、athd35_4的相关性最高,均为−0.492 9,且通过0.05的显著性检验。因此,将dhd35_4、athd35_4作为制种玉米高温热害的致灾因子指标,进行高温热害时空分布特征分析及风险评估与区划。

表2　2004—2025年河西走廊制种玉米气象产量

Tab. 2　Meteorological yield of seed maize in the Hexi Corridor from 2004 to 2025

单位:kg·hm^{-2}

年份	气象产量	年份	气象产量
2004	−105. 4	2015	182. 3
2005	−106. 9	2016	−299. 8
2006	18. 0	2017	−271. 1
2007	36. 1	2018	115. 6
2008	−59. 3	2019	49. 4
2009	172. 8	2020	172. 9
2010	−162. 1	2021	−24. 4
2011	118. 1	2022	−51. 0
2012	261. 5	2023	−135. 1
2013	−106. 1	2024	116. 8
2014	−81. 7	2025	216. 7

表3　2004—2025年河西走廊制种玉米气象产量与高温热害致灾因子相关系数

Tab. 3　Correlation coefficients between meteorological yield of seed maize and disaster-inducing factors of high temperature heat damage in the Hexi Corridor from 2004 to 2025

致灾因子	相关系数
dmt35	−0. 371 1
amt35	−0. 368 7
dhd35_4	−0. 492 9*
athd35_4	−0. 492 9*
dhd35_5	−0. 492 7*
athd35_5	−0. 473 7*

注:*表示通过0.05的显著性检验。

2.2　制种玉米高温日数、高温积热时空变化

2.2.1　时间变化

2004—2025年河西走廊制种玉米关键期高温日数年际变化呈增加趋势[图2(a)],气候倾向率为1.3 d·(10 a)$^{-1}$,平均值为2.6 d。采用滑动t检验法进行均值突变检验,发现2016年发生突变(图略),2004—2015年平均高温日数为1.8 d,2016—2025年平均高温日数为3.6 d。2010—2011年、2016—2018年、2021—2022年及2025年高温日数大于等于3.0 d,热害相对较重,其中2016年高温日数最多,为5.9 d。

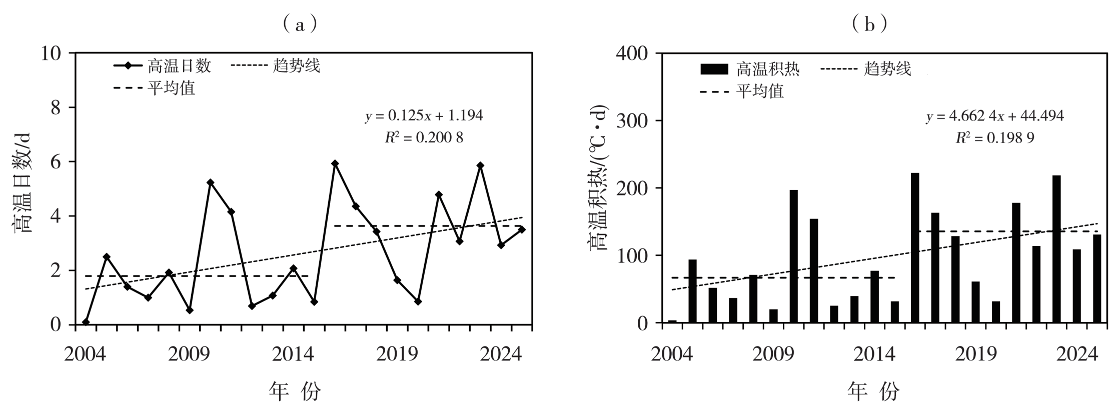


图2　2004—2025年河西走廊制种玉米关键期高温日数(a)、高温积热(b)年际变化

Fig. 2　The interannual variation of high temperature days (a) and high temperature accumulated heat (b) during the key growth period of seed maize in the Hexi Corridor from 2004 to 2025

2004—2025年河西走廊制种玉米关键期高温积热年际变化呈增加趋势[图2(b)],气候倾向率为46.6 ℃·d·(10 a)$^{-1}$,多年平均值为98.1 ℃·d。采用滑动t检验法进行均值突变检验,结果显示也在2016年发生突变(图略),2004—2015年平均高温积热为66.8 ℃·d,2016—2025平均高温积热为135.7 ℃·d。2010—2011年、2016—2018年、2021—2025年高温积热≥100 ℃·d,热害相对较重,其中2016年高温积热最多,为222.3 ℃·d。

2.2.2 空间变化

图3为2004—2025年河西走廊制种玉米关键期高温日数、高温积热空间分布。可以看出,河西走廊制种玉米关键期高温日数自西北向东南呈减少趋势[图3(a)],瓜州县高温日数最多为9.4 d,其次为金塔县,为7.1 d,甘州区、高台县、临泽县、金川区、民勤县等地为2.9~3.8 d,其余地区在2.0 d以下。

河西走廊制种玉米关键期高温积热和高温日数空间变化大致相同,也自西北向东南呈减少趋势[图3(b)],瓜州县高温积热最多为351.9 ℃·d,其次是金塔县为267.6 ℃·d,高台县、临泽县、甘州区、金川区、民勤县等地为110.0~141.4 ℃·d,其余地区在110.0 ℃·d以下。

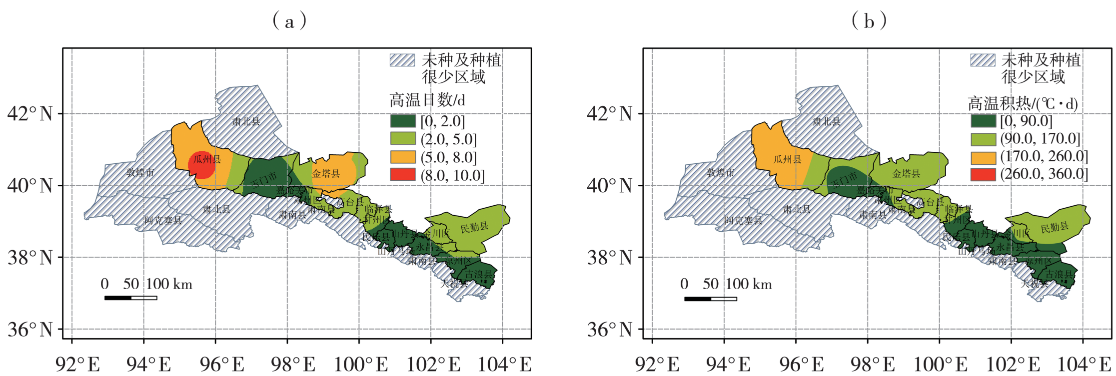


图3 2004—2025年河西走廊制种玉米关键期高温日数(a)、高温积热(b)空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of high temperature days (a) and high temperature accumulated heat (b) during the key growth period of seed maize in the Hexi Corridor from 2004 to 2025

表4列出2004—2025年河西走廊制种玉米主产县(区)(种植面积在666.67 hm^{2}以上)的平均高温日数和高温积热。其中种植面积在6 666.67 hm^{2}以上的酒泉市肃州区及张掖市甘州区、临泽县、高台县高温日数为0.4~3.3 d,高温积热为13.8~122.0 ℃·d,且甘州区、临泽县、高台县高温日数和高温积热均多于肃州区。6 666.67 hm^{2}以下县(区)中瓜州县高温日数和高温积热均最多,分别为9.4 d、351.9 ℃·d,其余县(区)高温日数为0~1.9 d、高温积热为0~69.3 ℃·d。

表4 2004—2025年河西走廊制种玉米主产县(区)平均高温日数和高温积热

Tab. 4 The average high temperature days and high temperature accumulated heat in major maize seed-producing counties (districts) in the Hexi Corridor from 2004 to 2025

市	县(区)	种植面积/hm^2	高温日数/d	高温积热/(℃·d)
酒泉市	瓜州县	714.4	9.4	351.9
	玉门市	675.0	0.6	21.5
	肃州区	15 124.1	0.4	13.8
张掖市	高台县	6 672.8	3.3	121.4
	临泽县	19 636.5	2.9	110.0
	甘州区	44 937.1	3.3	122.0
	民乐县	816.7	0.0	0.0
金昌市	永昌县	3 315.9	0.0	0.0
武威市	凉州区	4 421.0	1.9	69.3
	古浪县	1 446.9	0.0	0.0

2.3 制种玉米高温热害风险评估及区划

利用公式(1)、(2)、(3)计算各站点高温热害风险评估指数,结果显示:河西走廊风险评估指数最高值为37.3,出现在金川区;最低值为0,出现在民乐县、永昌县、古浪县等地。采用自然断点法(唐雪莲等,2024)划分风险等级:风险评估指数为0~5.0时为低风险区,>5.0~20.0时为中风险区,>20.0~30.0时为高风险区,>30.0~37.3时为极高风险区。

图4为基于克里金插值和小网格推算方法的河西走廊制种玉米高温热害风险区划。克里金插值结果显示,极高风险区主要分布在金塔县、金川区、瓜州县西部、高台县西部、临泽县北部、民勤县西部等;高风险区主要分布在高台县东部、临泽县南部、瓜州县东部、甘州区、民勤县东部等;中风险区主要分布在玉门市、嘉峪关市、肃州区、山丹县、凉州区、

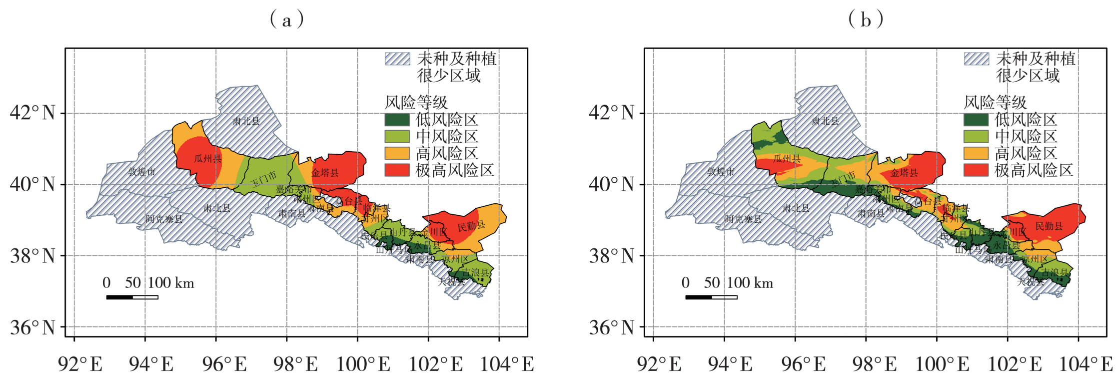


图4　基于克里金插值(a)、小网格推算(b)的河西走廊制种玉米高温热害风险区划

Fig. 4　The high temperature heat damage risk zoning of seed maize in the Hexi Corridor based on Kriging interpolation (a) and small grid estimation (b) methods

古浪县等;低风险区主要分布在民乐县、永昌县等。

小网格推算结果显示,极高风险区主要分布在民勤县、金塔县东部、金川区东部、瓜州县中部;高风险区主要分布在临泽县、甘州区、凉州区北部、瓜州县部分地区、玉门市北部、金塔县西部、高台县等;中风险区主要分布在肃州区、玉门市中部、山丹县北部、永昌县东部、凉州区南部、古浪县北部、瓜州县部分地区等;低风险区主要分布在嘉峪关市、民乐县、瓜州县北部、玉门市南部、山丹县南部、金川区西部、永昌县西部、古浪县南部等。

对比两种方式空间精细化方法得到的风险等级,基于小网格推算的结果表现更为细腻、真实。该结果能够更准确地反映地形地貌对高温热害分布的影响,尤其在高海拔区域,其风险等级的模拟效果明显更优。但同时缩小高风险区范围,扩大低风险区范围,可能原因是小网格结合地形做推算时,通过影响极值点拟合、微地形捕捉,改变高低风险区范围。

3　结论与讨论

本文基于甘肃省河西走廊制种玉米主产区14个气象观测站2004—2025年逐日最高气温、逐小时气温资料及甘肃省制种玉米产量数据,确定制种玉米高温热害指标,分析热害发生时空分布特征,构建制种玉米高温热害风险评估指数并进行风险区划,得到以下主要结论。

1)制种玉米气象产量与dhd35_4、dhd35_5、athd35_4、athd35_5的相关性高于dmt35、amt35,且相关系数均通过0.05的显著性检验,说明综合高温时长的致灾因子,具有更高的稳定性。dhd35_4、athd35_4与气象产量的相关性更高,因此以dhd35_4、athd35_4作为制种玉米高温热害致灾因子指标,进行灾害时空特征分析及风险评估和区划。

2)2004—2025年制种玉米主产区35 ℃及以上高温日数及高温积热整体均呈增加趋势,尤其是进入2010年之后,高温日数和高温积热增加明显。空间上呈西北向东南减少趋势,瓜州县、金塔县、民勤县等地高温热害日数多、强度大,玉门市、民乐县、山丹县、永昌县、凉州区、古浪县等地高温热害日数少、强度弱。

3)制种玉米高温热害极高和高风险区主要分布在瓜州县、金塔县、高台县、临泽县、甘州区、金川区、民勤县等;中、低风险区主要分布在玉门市、肃州区、山丹县、民乐县、永昌县、凉州区、古浪县等。

总体来看,受河西走廊气候、地形地貌等影响,制种玉米高温热害中低风险区多处于祁连山或周边区域,海拔较高,降水量相对较多,热量条件一般,高温热害相对较少发生;极高和高风险区主要分布在海拔相对低的川区,地表热容小,白天吸热,高温热害更易发生,高风险区域与热量资源丰富区域较为一致(鲍文中等,2018)。由于制种玉米涉及粮食安全,种植信息、灾损信息获取难度较大,对承载体暴露度、脆弱性的评估有所限制,因此本文主要针对高温热害危险性进行评估和区划,今后在资料充足的情况下,对制种玉米高温热害风险评估进行更深入的研究。

研究表明,制种玉米种植面积较大的甘州区、临泽县、高台县等区域,高温热害风险也整体偏高。随着气候变暖,高温热害日数增多、胁迫强度增大,制种玉米安全生产面临更严峻的挑战。为此,需立足区域气候特征,多措并举强化灾害综合防控。在品种选择和优化布局方面,可考虑将耐热性较强的品种向风险偏高区域倾斜布局;在种植制度方面,通过科学调整播期,使制种玉米关键生育期避开高

温热害严重时段;在生产管理方面,利用"留茬免耕+秸秆覆盖"、水肥协同调温等方式,降低田间温度,增施有机肥,锌、钾等微量元素,增强植株耐热性;在灾害风险管理方面,应提升高温热害监测及风险预警能力,积极推广高温热害气象指数保险。通过这些综合性的管理措施,有效降低高温热害损失,并为制种玉米产业的可持续发展提供有力支撑。

参考文献:

鲍文中,张强,陶健红,等,2018. 甘肃省气候影响评估[M]. 北京:气象出版社:254-263.

蔡哲,刘冬梅,辜晓青,等,2010. 基于GIS的江西省农业气候资源小网格推算研究[J]. 江西农业大学学报,32(4):842-846.

代立芹,康西言,姚树然,等,2022. 河北省玉米高温热害监测与定量化评估指标研究[J]. 干旱区资源与环境,36(4):171-176.

方锋,王静,贾建英,等,2025. 中国区域作物气象产量统计预报研究进展[J]. 干旱区研究,42(4):730-753.

胡莉婷,杨光仙,李梦夏,等,2024. 河南香菇越夏高温气候特征及其与菌棒坏袋率的关系分析[J]. 中国瓜菜,37(5):98-106.

孔祥伟,陶健红,2012. 近51 a甘肃夏季气温和降水极端事件变化[J]. 干旱区研究,29(6):965-971.

李继辉,向导,杨明凤,2023. 北疆制种玉米关键生育期气象指标研究[J]. 中南农业科技,44(7):82-86.

刘洪兰,张强,张庭嘉,等,2025. 2023年河西走廊中部异常高温干旱特征及其成因[J]. 气象学报,83(5):1 229-1 240.

刘盼,尹宝重,吴云龙,等,2022. 近48年河北平原夏玉米季花期高温时空分布特征[J]. 玉米科学,30(3):94-99.

刘哲,乔红兴,赵祖亮,等,2015. 黄淮海夏播玉米花期高温热害空间分布规律研究[J]. 农业机械学报,46(7):272-279.

马玉平,沈伟,伊里亚尔·叶克木江,等,2025. 伊犁河谷制种玉米种植气候适宜性分析[J]. 沙漠与绿洲气象,19(4):162-168.

米娜,蔡福,吴航,等,2025. 高温干旱对玉米生长发育及产量构成影响的研究进展[J]. 沙漠与绿洲气象,19(2):1-9.

钱永兰,毛留喜,周广胜,2016. 全球主要粮食作物产量变化及其气象灾害风险评估[J]. 农业工程学报,32(1):226-235.

唐雪莲,火勋国,王雪姣,等,2024. 新疆阿克苏地区棉花苗期低温灾害风险评估及区划研究[J]. 棉花学报,36(5):396-407.

田俊,杨军,姚俊萌,等,2021. 江西省早稻高温热害灾损评估模型[J]. 中国农业大学学报,26(2):32-39.

王大和,姜泉庆,樊华,2004. 2003年甘肃河西地区玉米制种冻害问题分析[J]. 中国种业(8):41-42.

王丽君,2018. 黄淮海平原夏玉米季干旱、高温的发生特征及对产量的影响[D]. 北京:中国农业大学.

王倩,翟盘茂,张强,2025. 1961年以来中国区域性气候与极端事件变化格局[J]. 气象学报,83(4):980-989.

王有恒,谭丹,赵红岩,2012. 近50 a来甘肃省极端高温事件变化特征[J]. 干旱气象,30(3):410-414.

魏凤英,2007. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 2版. 北京:气象出版社:63-65.

徐延红,刘天学,方文松,等,2021. 河南省夏玉米花期高温热害风险分析[J]. 中国农业气象,42(10):879-888.

杨华,蒋菊芳,丁文魁,等,2023. 河西地区高温对春玉米生长的影响[J]. 中国农学通报,39(3):1-10.

叶培龙,刘新伟,赵文婧,等,2019. 2016年8月甘肃省持续性高温过程及其异常大气环流特征[J]. 高原气象,38(6):1 283-1 292.

殷雪莲,褚超,白青华,等,2022. 张掖制种玉米生长期气候条件分析及气候品质认证[J]. 中国农学通报,38(2):71-77.

殷雪莲,王兴,郭萍萍,等,2025. 河西走廊中部夏季高温气候特征及对玉米生产的影响[J]. 农学学报,15(7):65-73.

于庭高,2020. 西北旱区制种玉米生长及水分生产力对水氮胁迫的响应与模拟[D]. 杨凌:西北农林科技大学.

袁成福,2019. 水盐胁迫条件下制种玉米水盐生产函数参数的推求[J]. 节水灌溉(12):42-47.

张东昱,宋学林,陈修斌,等,2016. 不良因素对河西绿洲玉米制种生产的影响及克服途径[J]. 种子科技,34(4):46-49.

张雪芬,王春乙,陈东,等,2007. 基于位温的小麦发育期的小网格推算方法[J]. 应用气象学报,18(6):865-869.

张钰,2018. 生态共同体视域下河西走廊生态治理研究[D]. 西安:陕西师范大学.

张祯祯,王靖,尹红,等,2025. 华北平原夏玉米花期前后高温时空分布及其对产量影响[J]. 农业工程学报,41(17):101-110.

中国气象局,2008. 主要农作物高温危害温度指标:GB/T 21985—2008[S].北京:中国标准出版社.

周永江,姚宜斌,熊永良,等,2020. 基于Spearman秩相关系数的PWV与$PM_{2.5}$相关性研究[J]. 大地测量与地球动力学,40(3):236-241.

LI T, ZHANG X P, LIU Q, et al, 2022. Yield penalty of maize (*Zea mays* L.) under heat stress in different growth stages: A review[J]. Journal of Integrative Agriculture, 21(9): 2 465-2 476.

ZSCHEISCHLER J, WESTRA S, VAN DEN HURK B J J M, et al, 2018. Future climate risk from compound events[J]. Nature Climate Change, 8(6): 469-477.

Spatio-temporal characteristics and risk zonation of high temperature damage for seed maize in the Hexi Corridor

WANG Fan[1], QI Yue[2], FANG Feng[1], JIA Jianying[1], WANG Xing[1], FANG Ziyun[4], JIA Yiyang[3], REN Shuyuan[3], ZHANG Yaxin[1]

(1. *Lanzhou Regional Climate Center*, *Lanzhou* 730020, *China*;
2. *Lanzhou Institute of Arid Meteorology*, *China Meteorological Administration*, *Lanzhou* 730020, *China*;
3. *Lanzhou Meteorological Bureau*, *Lanzhou* 730101, *China*;
4. *China Telecom Wanwei Information Technology Co. Ltd*, *Lanzhou* 730020, *China*)

Abstract: Gansu Province is one of China's three national-level seed maize breeding bases, with the Hexi Corridor being a major production area for seed maize. Under climate warming, frequent regional high temperature events seriously threaten the high and stable yield of seed maize. Therefore, heat disaster prevention for seed maize is crucial to national seed industry development and food security. Using daily and hourly temperature data from 14 meteorological stations in the main seed maize producing areas of the Hexi Corridor, Gansu Province during 2004−2025, combined with seed maize yield data, this study determined high temperature damage indicators for seed maize, analyzed the spatio-temporal distribution characteristics of heat damage, constructed a high temperature damage risk assessment index, and carried out risk zoning. The results show that the heat damage indicators considering daily high temperature duration have a stronger correlation with meteorological yield. The high temperature days, defined as days with a daily cumulative high temperature (≥35 ℃) duration greater than or equal to 4 hours, and the corresponding high temperature accumulated heat were selected as the hazard factors of high temperature heat damage. From 2004 to 2025, both high temperature days and high temperature accumulated heat generally showed an increasing trend with obvious interannual variations in the main seed maize production areas, and their spatial distribution decreased from the northwest to the southeast. Based on the high temperature heat damage risk assessment index, risk zoning was carried out. The extremely high-risk and high-risk areas of seed maize heat damage in the Hexi Corridor are mainly concentrated in Guazhou County and Jinta County of Jiuquan City, Ganzhou District, Gaotai County and Linze County of Zhangye City, Jinchuan District of Jinchang City, and Minqin County of Wuwei City. Counties and districts with large planting areas should strengthen targeted prevention measures against high temperature heat damage.

Key words: the Hexi Corridor; seed maize; high temperature damage; risk zoning

(责任编辑:黄小燕;校对:王涓力)