

1961—2022 年江西省高温致灾因子危险性分析

陈新玉^{1,2} 李翔翔³

(1 江西省九江市气象局, 九江 332000; 2 江西省防灾减灾工程技术研究中心, 南昌 330096;

3 江西省农业气象中心, 南昌 330096)

摘要 高温危险性评价是高温灾害风险评估的基础工作。本文基于江西省 1961—2022 年 79 个气象站逐日最高气温资料, 采用最小二乘法和核密度估计方法, 分析了江西省近 62 年高温日数、极端最高气温和高温强度等 3 个致灾因子的变化趋势, 五年一遇、十年一遇、二十年一遇和五十年一遇 4 种重现期下各高温致灾因子取值; 并结合 K-means 聚类分析, 对江西省高温综合危险性进行了评估; 最后, 探讨了高温对农业影响的风险等级。结果表明: ①近 62 年江西省三类高温致灾因子整体呈增加趋势, 但存在 1997 年以前下降的阶段性特征; ②各致灾因子的单一危险性均较高, 高危险性区域占全省面积比例达到 41.7%~61.4%; ③高温综合危险性呈南北低中间高的空间分布格局, 高危险区域主要集中在上饶东部和吉安大部; ④高温对农业影响的中、高风险区与高温综合危险性分布一致, 而低风险区有所扩大, 主要集中在赣州南部、新余大部、南昌中北部以及九江东部。本文能够为气象灾害综合风险评估提供一定参考。

关键词 致灾因子; 重现期; 危险性; 风险评估

中图分类号: P49 **DOI:** 10.19517/j.1671-6345.20230327 **文献标识码:** A

引言

以显著增温为主要特征的气候变化导致的极端高温事件频率、强度和影响范围不断增加, 是当前社会经济、生态平衡和农业生产等方面可持续发展的关键气候胁迫因子之一^[1-2]。同时, 持续高温导致大气蒸发能力增加, 加速陆面失水, 导致干旱发生发展, 影响水资源平衡和水利工程正常运转^[3-4]。以 2022 年为例, 长江流域夏秋季异常高温干旱导致 $442.13 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 耕地受灾, 植被净初级生产力显著偏低, 鄱阳湖、洞庭湖水体面积创历史同期最小值, 严重影响社会经济正常秩序^[5]。因此, 开展高温风险评估是气候变化影响评估领域的重点方向之一。

高温危险性评价是高温灾害风险评估的重要组成部分和基础工作^[6-7]。当前, 关于高温危险性的研究多采用趋势分析结合地理空间插值的方法, 针对农业^[8-9]、生态^[10-11]、城市^[12-13]等不同承灾体开展

高温危险性指标的时空演变规律分析。例如 Yang 等^[14]通过水稻热指数, 分析了 1981—2015 年江西省水稻关键生育期高温热害发生概率和主要发生区域。付含聪等^[15]利用多源卫星遥感数据, 分析了长江中下游城市群高温热浪风险空间分布特征。舒章康等^[16]利用 CMIP6 的 11 种气候模式, 分析了我国历史和未来两个时段极端暖夜日数和暖昼日数的变化情况。上述研究结果揭示了气候变暖背景下高温危险性增加的事实。然而, 这些研究仅揭示了高温危险性指标的变化趋势和热点区域, 而对高温强度的危险性分析较少。研究表明, 采用合理的概率分布模型计算不同发生概率下的气象灾害强度, 可在一定程度上反映灾害发生潜在危险^[17-18]。这种方法对概率分布模型的依赖度较高。当前大多学者选用参数估计法对高温指标序列进行概率函数估计。例如何亮等^[19]利用极值概率分布理论, 分析了水稻高温热害天数和热害有害积温两个指标的不同重现

<http://www.qxkj.net.cn> 气象科技

江西省防灾减灾工程技术研究中心专项(JX2023M01)资助

作者简介: 陈新玉, 女, 1968 年生, 正高级工程师, 主要从事中短期天气预报研究, Email: 1553722802@qq.com

收稿日期: 2023 年 10 月 8 日; 定稿日期: 2024 年 7 月 1 日

©《气象科技》编辑部 (CC BY-NC-ND 4.0)

期的空间分布规律;刘广海等^[20]采用耿贝尔分布对北京市夏季高温参数进行拟合,分析了不同保证率下夏季高温分布图。然而,不同站点所满足的概率分布模型可能不同,以某种固定分布模型开展区域高温危险性分析必然带来误差^[6]。核密度估计是求解随机变量的概率函数的非参数估计方法之一,其不利用变量分布的先验知识,已广泛应用于气候变化研究领域。如郭春华等^[6]使用核密度函数估算了高温日数、最高温度、高温强度的概率密度函数,计算得到了不同重现期下三个指标的高温危险性等级分布图,对我国不同气候区的综合高温危险性进行了评估。

江西省属亚热带季风湿润气候,盛夏常受西太平洋副热带高压控制,高温事件频发。当前关于江西省高温气候变化特征分析主要集中在时空演变规律分析。例如胡菊芳等^[21]分析了 1961—2018 年江西省高温日数、高温持续时间和极端最高气温的时空变化特征;汪建军等^[22]利用茶树高温热害指标,统计分析了 1971—2019 年江西茶树高温热害时空分布规律;杨建莹等^[8]结合历史灾情资料和气象资料,分析了早稻高温热害发生的时间分布特征。上

述研究成果有助于揭示江西高温的变化趋势和热点区域,然而少有研究通过概率分布理论来揭示高温发生的危险性。因此,本文基于 1961—2022 年日最高气温数据,统计高温日数、极端最高气温和高温强度等三个致灾因子数值,在分析上述因子的气候变化趋势基础上,采用核密度函数分析不同重现期下三个致灾因子的空间分布,并结合 K-mean 非监督聚类法,对江西省综合高温危险性进行评估,最后以土地利用和国内生产总值公里网格数据分别量化农业暴露度和脆弱性,开展了农业高温综合风险评估。

1 资料和方法

1.1 资料来源与高温致灾因子指标

本文使用的江西省 93 个国家气象观测站 1961—2022 年逐日最高气温资料来源于江西省气象信息中心,经过数据质量及有效性检查后,筛选出数据较齐全的 79 个气象站点(图 1)。某日最高气温数据缺失时,采用相邻 2 d 平均值替代^[4,23]。用于高温综合风险评估的土地利用数据和国内生产总值公里网格数据来源于国家青藏高原数据中心^[24-25],数据时间为 2015 年。

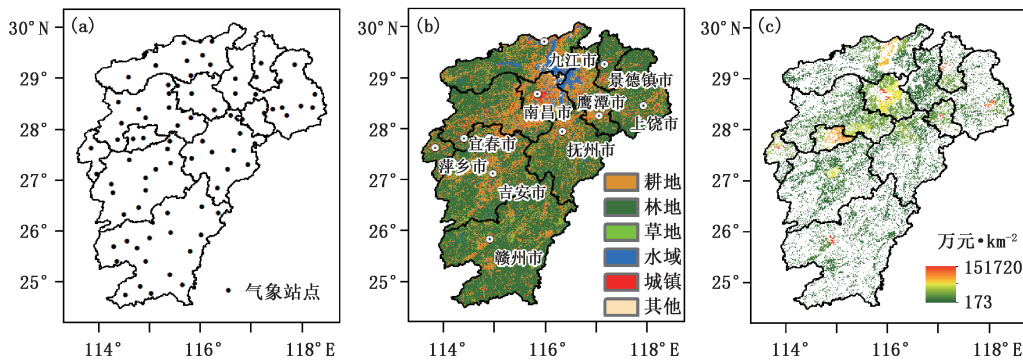


图 1 江西省国家气象站(a)、土地利用(b)和耕地尺度国内生产总值(c)空间分布

Fig1 Spatial distribution of meteorological stations (a), land use cover (b) and gross domestic product of crop land (c) in Jiangxi Province

本文分析的高温致灾因子包括高温日数、极端最高气温和高温强度,其中高温日数为某个站点上每年日最高气温 $\geq 35^\circ\text{C}$ 的累计天数,单位为d;极端最高气温为最高气温的最大值,单位为 $^\circ\text{C}$;高温强度为每年日最高气温 $\geq 35^\circ\text{C}$ 的累积值除以高温日数,单位为 $^\circ\text{C}/\text{d}$ ^[6]。

1.2 趋势分析

本文采用最小二乘法量化高温日数、极端最高

气温、高温强度等致灾因子的线性变化趋势,并采用 *t* 检验法对变化趋势显著性进行检验。

1.3 重现期计算与危险性分析

本文首先采用非参数拟合的核密度函数方法,得到逐站点高温日数、极端最高气温和高温强度的概率密度函数;然后计算不同重现期下(五年一遇、十年一遇、二十年一遇和五十年一遇)各高温致灾因子的数值;最后采用反距离权重插值法得到不同重

现期下各高温指标的空间分布图。

本文采用 K-means 聚类法对高温危险性进行划分。由于高温日数、极端最高气温和高温强度的量纲不同,首先对不同重现期下高温日数、极端最高气温和高温强度的空间栅格数据进行归一化处理;然后将归一化结果进行聚类,将每个高温致灾因子危险性分为 1 级、2 级和 3 级;最后将高温日数危险性、极端最高气温危险性和高温强度危险性等权重叠加(叠加结果范围为 3~9 级),得到高温综合危险性等级:低危险性(3 级)、中危险性(4~6 级)、较高危险性(7~8 级)和高危险性(9 级)。为方便进行高温综合风险评估,采用等比例划分方法,将危险性等级由低到高分别量化为 0.25、0.5、0.75 和 1,即为危险性指数 H , H 越高,表示高温危险性越高。

1.4 高温综合风险分析

参考气象行业标准《农业气象灾害风险区划技术导则》^[26],本文在分析高温致灾因子危险性的基础上,综合考虑承灾体暴露度和脆弱性,开展高温对农业生产影响的综合风险。承灾体暴露度表示农作物的格点面积与该格点总耕地面积的比值。本文通过土地利用数据,认为土地利用类型为耕地时,承灾体暴露度指数 E 为 1。脆弱性表示农作物抗性和自恢复力。本文首先采用“最大-最小值”法对耕地网格的国内生产总值(G)进行归一化处理,归一化指数即代表农业生产的脆弱性指数 V :

$$V_i = \frac{G_{\max} - G_i}{G_{\max} - G_{\min}} \quad (1)$$

式中, G_i 表示第 i 个网格的国内生产总值; G_{\min} 和 G_{\max} 分别表示所有耕地网格国内生产总值的最小值和最大值;第 i 个网格脆弱性指数 V_i 越高,则农业

生产的脆弱性越低。

农业高温综合风险由高温危险性、承灾体暴露度和脆弱性三方面构成:

$$R_i = H_i E_i V_i \quad (2)$$

式中, H_i 、 E_i 、 V_i 分别为第 i 个网格的危险性、暴露度和脆弱性, R_i 表示第 i 个网格的综合风险指数。对该综合风险指数序列进行从大到小排序,以 $>75\%$ 分位数以上指数为高风险, $50\% \sim 75\%$ 为较高风险, $25\% \sim 50\%$ 为中风险, $<25\%$ 为低风险。

2 结果与分析

2.1 高温致灾因子变化趋势分析

图 2 是 1961—2022 年江西省年均高温日数(图 2a)、极端最高气温(图 2b)和高温强度(图 2c)的演变趋势。江西省年均高温日数为 31.4 d,平均极端最高气温为 $38.0\text{ }^\circ\text{C}$,平均高温强度为 $36.2\text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{d}^{-1}$;但是年际波动较大,各致灾因子的最大值均出现在 2022 年,高温日数、极端最高气温以及高温强度分别为 59.9 d、 $40.2\text{ }^\circ\text{C}$ 和 $37.2\text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{d}^{-1}$;最低值均发生在 1997 年,各致灾因子数值分别为 4.5 d、 $35.5\text{ }^\circ\text{C}$ 和 $35.4\text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{d}^{-1}$ 。

从趋势分析结果来看,1961 年以来,各致灾因子均表现为先降后升的特点。1997 年以前,高温日数以下降趋势为主,下降速率为 $-0.36\text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$ ($\alpha < 0.05$);1997 年以后转为增加趋势,增加速率为 $1.01\text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$ ($\alpha < 0.05$)。对于极端最高气温和高温强度,亦表现为先降后升趋势,然而无论是 1961—1997 年的下降还是 1998—2022 年的上升,变化趋势均不显著。

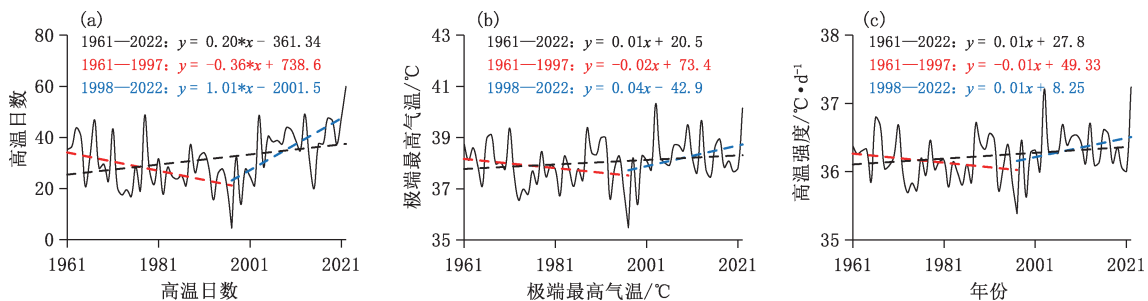


图 2 1961—2022 年江西省高温日数(a)、极端最高气温(b)和高温强度(c)的 annual 演变特征及其趋势分析

(回归系数中的“*”表示该回归系数所代表的变化趋势达到 $\alpha < 0.05$ 显著性水平)

Fig. 2 Interannual evolutionary characteristics of the numbers of high-temperature days (a), the extreme maximum temperature (b) and the high-temperature intensity (c) and their tendencies in Jiangxi Province from 1961 to 2022.

(“*” in the linear regression model indicates the slope reaches the significant level of $\alpha < 0.05$)

从变化趋势的空间分布来看(图 3),各致灾因子在 1997 年前后由降转升的特点在研究区内普遍存在,并且高温日数的变化趋势较极端最高气温和高温强度更为显著。总体上看,1961 年以来大部分区域均表现为增加趋势,高温日数、极端最高气温和高温强度呈增加趋势的站点占比分别达到 95%、85%和 91%,并且分别有 46 个、18 个和 23 个站点达到 $\alpha < 0.05$ 显著性水平(分别占总站数的 58%、23%和 29%)(图 3a、图 3d 和图 3g);而在 1961—

1997 年,各致灾因子均呈下降趋势,高温日数、极端最高气温和高温强度下降站数占比分别为 99%、90%和 81%(图 3b、图 3e 和图 3h),其中高温日数有 33 个站点显著下降($\alpha < 0.05$),极端最高气温和高温强度仅有 6 个站点显著下降($\alpha < 0.05$);1998—2022 年,各致灾因子转为上升趋势,其中高温日数有 33 个站呈显著增加趋势(图 3c),大部分站点极端最高气温和高温强度的增加趋势不显著(图 3f 和图 3i)。

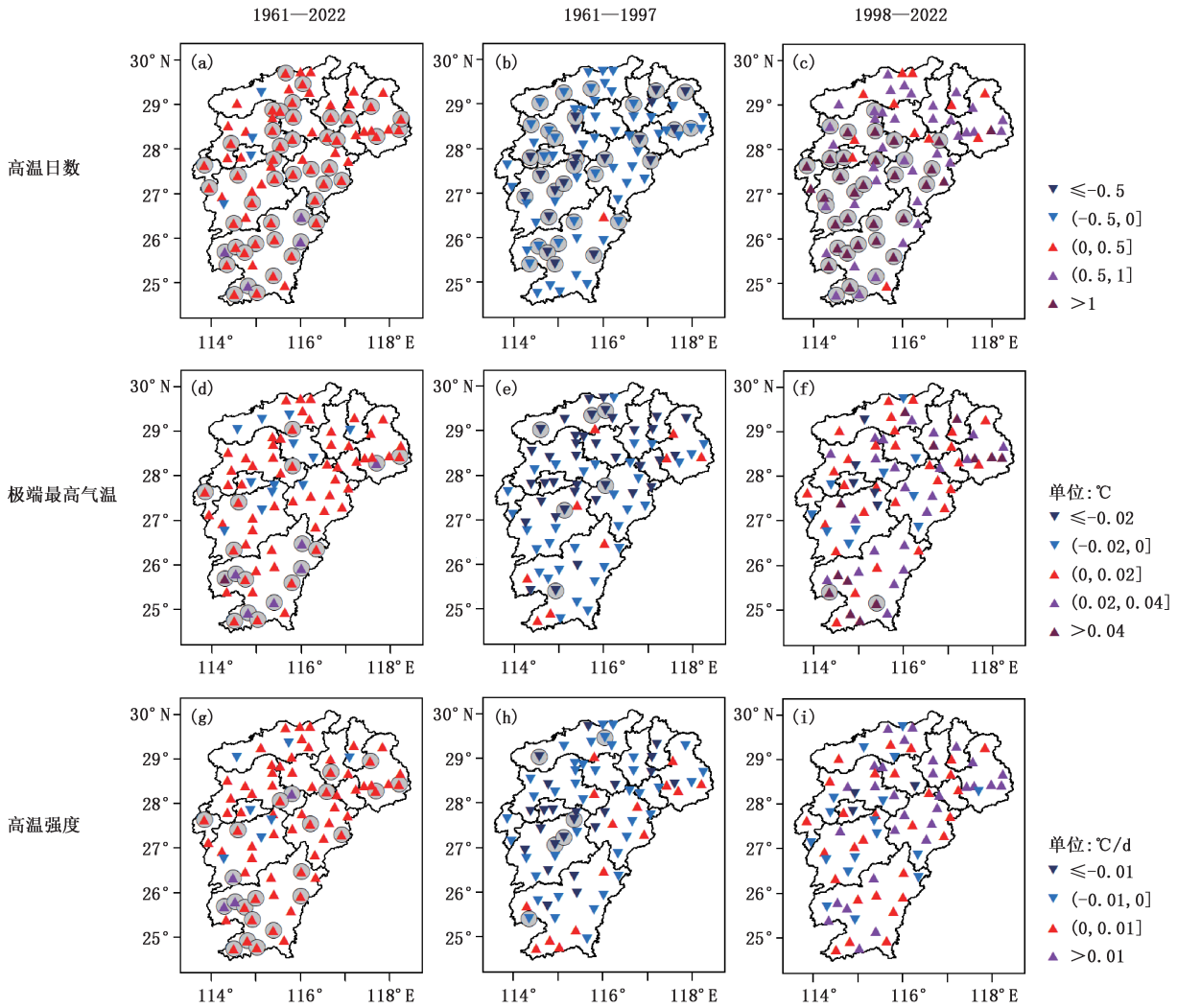


图 3 各致灾因子在 1961—2022、1961—1997 和 1997—2022 年不同时间段变化趋势空间：
 (a~c)高温日数,(d~f)极端最高气温,(g~i)高温强度
 (“○”表示该站点变化趋势达到 $\alpha < 0.05$ 显著性水平)

Fig. 3 Spatial distribution of the trend of high-temperature disaster-inducing factors in Jiangxi Province in 1961—2022, 1961—1997 and 1997—2022: (a—c) the trends of the number of high temperature days, (d—f)extreme maximum temperature, (g—i) intensity of high temperature (“○” represents the trend of the station reached the significant level of $p < 0.05$)

2.2 高温致灾因子重现期分析

2.2.1 高温日数

采用核密度估计方法对各站点 1961—2022 年高温日数进行概率密度函数拟合,计算各站点不同重现期下的高温日数值,并采用反距离权重法进行插值,结果见图 4。由图可知,高温日数随重现期年限增加而增加,五年一遇、十年一遇、二十年一遇和五十年一遇的全省平均高温日数分别为 43.9 d、50.8 d、56.5 d 和 62.7 d。各重现期下的高温日数空间分布均表现出一致的格局,即九江东部和赣州南

部的高温日数较低,上饶东部、吉安以及赣州北部的高温日数较高。五年一遇情况下,上饶东部和吉安东部的高温日数在 50~60 d 之间,全省其他区域低于 50 d,其中九江东部和赣州南部低于 40 d,部分地区低于 30 d;十年一遇情况下,上饶东部的高温日数普遍大于 50 d,其中上饶东南部超过 60 d;二十年一遇情况下,上饶东部、吉安大部以及赣州北部高温日数在 60~70 d 之间,而九江东部和赣州南部低于 50 d;五十年一遇情况下,上饶东部、吉安南部以及赣州北部超过 70 d,而九江东部以及赣州南部低于 50 d。

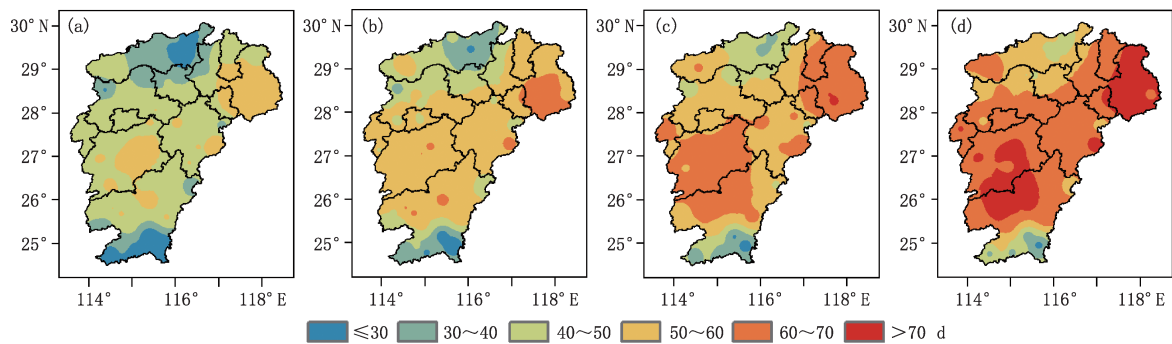


图 4 江西省五年一遇(a)、十年一遇(b)、二十年一遇(c)和五十年一遇(d)高温日数空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of the number of high temperature days of one-in-five-years (a), one-in-ten-years (b), one-in-twenty-years (c) and one-in-fifty-years (d) in Jiangxi Province

2.2.2 极端最高气温

图 5 为不同重现期下极端最高气温的空间分布图,五年一遇、十年一遇、二十年一遇以及五十年一遇的全省平均极端最高气温分别为 39.1 °C、39.7 °C、40.2 °C 以及 40.6 °C。与高温日数的空间分布类似,各重现期的极端最高气温在九江东部以及赣州南部较低,而在上饶东部、吉安东部以及九江西部较高。五年一遇情况下,除九江东部以及赣州南部低

于 39 °C,全省其他地区均在 39~40 °C 之间;十年一遇情况下,赣州南部低于 39 °C,而上饶东部、吉安东部以及九江西部相对较高,在 40~41 °C 之间;二十年一遇情况下,除赣州大部、九江东部低于 40 °C 外,全省其他地区在 40~41 °C 之间;五十年一遇情况下,赣州南部低于 40 °C,全省其他地区超过 40 °C,其中上饶东部、吉安东部以及九江西部超过 41 °C。

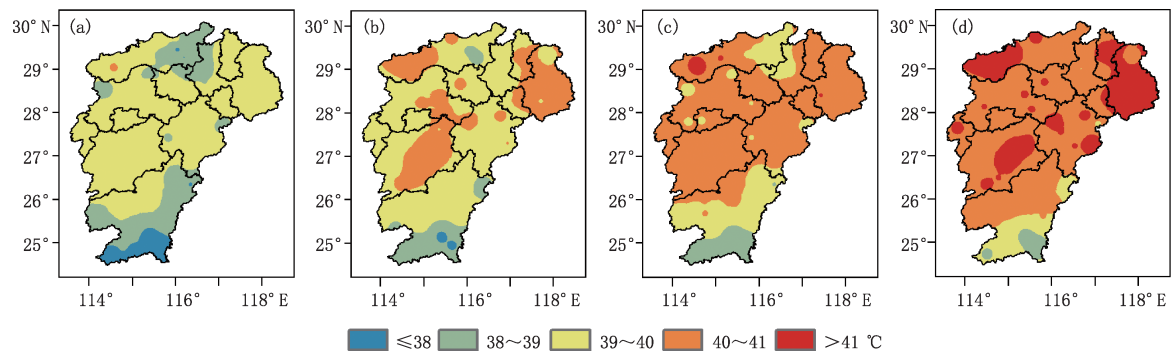


图 5 江西省五年一遇(a)、十年一遇(b)、二十年一遇(c)和五十年一遇(d)极端最高气温空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of extreme maximum temperature of one-in-five-years (a), one-in-ten-years (b), one-in-twenty-years (c) and one-in-fifty-years (d) in Jiangxi Province

2.2.3 高温强度

从高温强度来看(图 6),五年一遇、十年一遇、二十年一遇以及五十年一遇的全省平均值分别为 $36.6\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{d}$ 、 $36.8\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{d}$ 、 $37.0\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{d}$ 以及 $37.3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{d}$, 并且其空间格局亦表现为九江东部和赣州南部偏小, 而上饶东部、吉安以及九江西部偏高。五年一遇情况下, 赣州大部和九江东部的高温强度低于 $36.5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{d}$, 全省其他地区在 $36.5\sim 37.0\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{d}$ 之间; 十年一遇情

况下, 赣州南部仍低于 $36.5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{d}$, 而上饶东部、吉安中东部以及九江西部在 $37.0\sim 37.5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{d}$ 之间; 二十年一遇情况下, 赣州大部、九江东部低于 $37.0\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{d}$, 全省其他低于在 $37.0\sim 37.5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{d}$ 之间; 五十年一遇情况下, 赣州南部低于 $37.0\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{d}$, 全省其他地区超过 $37.0\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{d}$, 其中上饶东部、吉安东部以及九江西部超过 $37.5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{d}$ 。

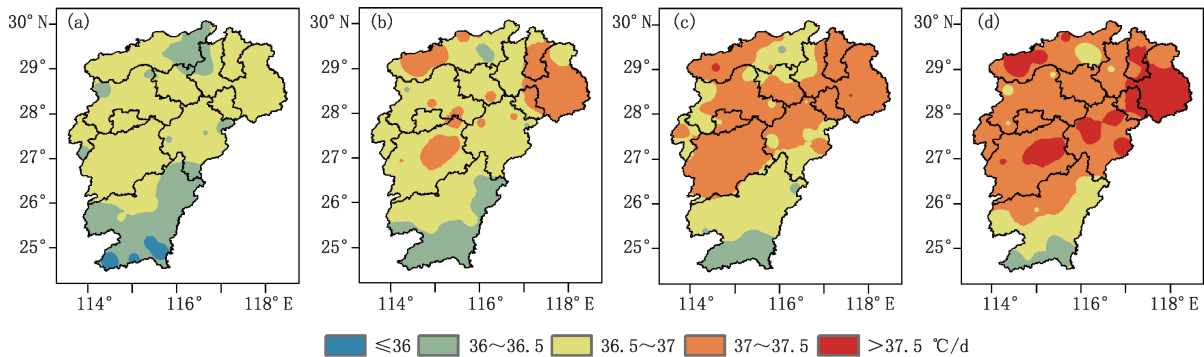


图 6 江西省五年一遇(a)、十年一遇(b)、二十年一遇(c)和五十年一遇(d)高温强度空间分布

Fig. 6 Spatial distribution of high temperature intensity of one-in-five-years (a), one-in-ten-years (b), one-in-twenty-years (c) and one-in-fifty-years (d) in Jiangxi Province

2.3 高温危险性综合分析

采用 K-means 聚类法, 将各致灾因子的危险性分为 1~3 级。由图 7 可知, 不同高温致灾因子危险性的空间分布情况和面积占比有所不同。从空间分布来看, 各致灾因子的危险性均表现为南北低、中间高的空间格局。极端最高气温和高温强度的危险性分布较为类似(图 7b、c), 差异主要集中在宜春中西部、南昌西部以及抚州中南部, 上述地区极端最高气

温危险性以 3 级为主, 而高温强度危险性以 2 级为主。从面积占比来看, 高温日数和高温强度各危险性等级的面积占比较为接近(表 1), 但 3 级危险性的分布差异较大。对于高温日数, 3 级危险性主要分布在上饶东部、吉安大部以及赣州北部; 而高温强度的 3 级危险性主要分布在上饶东部、吉安大部、抚州北部、宜春东南部以及九江西部。

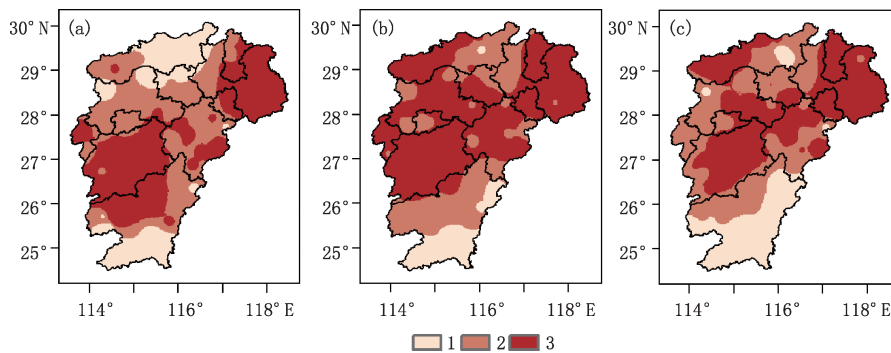


图 7 高温日数(a)、极端最高气温(b)和高温强度(c)的危险性等级分布

Fig. 7 Dangerousness distribution of high-temperature days (a), the extreme maximum temperature (b) and the high-temperature intensity (c)

表 1 不同高温致灾因子的危险性等级面积占比
 Table 1 Area proportion of dangerousness classes for high-temperature disaster-inducing factors %

危险性等级	高温日数	极端最高气温	高温强度
1	19.7	8.7	17.3
2	38.6	29.9	37.7
3	41.7	61.4	45.0

采用等权法,将上述危险性栅格进行求和,进一步将得到的 3~9 级求和结果划分为:低危险性(3 级)、中危险性(4~6 级)、较高危险性(7~8 级)和高危险性(9 级),结果见图 8。由图可知,江西省高温灾害危险性表现为南北低中间高的空间分布格局,九江东部、上饶西部、南昌北部、赣州中南部以中度以下危险性为主,其中赣州南部为低危险性区域;全省其他地区为较高—高危险性,其中上饶东部和吉安大部为高温灾害高危险性区域。

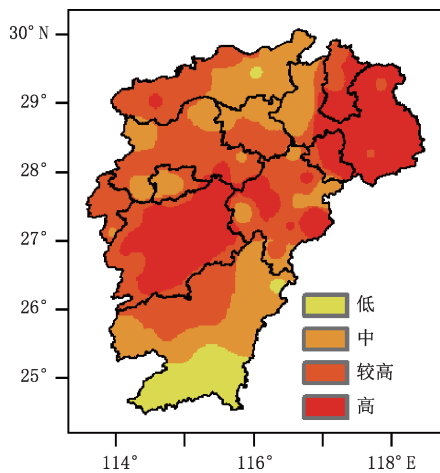


图 8 江西省高温综合危险性分布
 Fig. 8 Dangerousness distribution of heat hazard in Jiangxi Province

2.4 农业高温综合风险评估

以耕地作为承灾体,综合考虑高温危险性、承灾体暴露度和脆弱性,分析高温对江西省农业影响的整体风险,见图 9。由图可知,农业高温综合风险分布(图 9)与高温危险性分布(图 8)整体一致,表现为南北低中间高的空间分布格局,高风险区域主要分布在上饶东部和吉安大部。风险分布与危险性分布的主要差异在低风险区。在引入脆弱性指数前,低危险性主要分布在赣州南部(图 8);引入脆弱性指数后,低风险区域由赣州南部扩大至新余大部、南昌

中北部以及九江东部(图 9)。这表明本文采用国内生产总值作为农业生产脆弱性指标,能够在一定程度上增加低风险区域,而对高风险区域的影响不大。这主要是由于耕地尺度的国内生产总值的空间差异较大、脆弱性分布不均导致的,高值区(即低脆弱性区域)主要集中在城市周边耕地(图 1c),以新余、南昌和九江东部的覆盖范围最大,因此降低了上述区域的农业高温风险等级;而其他耕地偏低(即脆弱性较高),因而对风险等级影响不大。

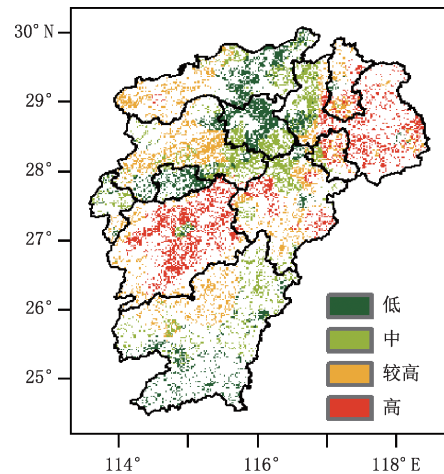


图 9 江西省农业高温综合风险分布
 Fig. 9 Risk distribution of agricultural heat in Jiangxi Province

3 结论

基于 1961—2022 年江西省 79 个气象站逐日最高气温资料,结合核密度函数和 K-means 聚类分析法,分析了江西省高温日数、极端最高气温、高温强度和高温综合危险性;并利用土地利用数据和国内生产总值公里网格数据分别表征高温暴露度和脆弱性,评估了高温对农业影响的整体风险。

(1)1961 年以来江西省各高温致灾因子整体呈增加趋势,但变化趋势具有阶段性特征,在 1997 年以前和以后分别呈下降和增加的趋势。

(2)基于 4 种重现期的各高温致灾因子聚类分析结果表明,江西省高温日数、极端最高气温和高温强度危险性均较高,最高危险性等级(3 级)的全省面积占比分别达到 41.7%、61.4%和 45.0%。

(3)江西省高温综合危险性表现为南北低中间高的空间分布格局,高风险区域主要分布在上饶东部和吉安大部,低风险区域主要集中在赣州

南部。

(4)在引入暴露度和脆弱性指标后,江西省农业高温低风险区域有所增加,新余大部、南昌中北部以及九江东部由中危险性转为低风险,其他区域农业高温风险与危险性分布整体一致。

参考文献

- [1] Argueso D, Di L A, Perkins-Kirkpatrick S E, et al. Seasonal mean temperature changes control future heat waves [J]. *Geophysical Research Letters*, 2016, 43(14): 7653-7660.
- [2] Wang J X, Huang J K, Yang J. Overview of impacts of climate change and adaptation in China's agriculture [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2014, 13(1): 1-17.
- [3] Mukherjee S, Mishra A, Trenberth K E. Climate change and drought: a perspective on drought indices [J]. *Current Climate Change Reports*, 2018, 4(2):145-163.
- [4] 秦晓晨, 戴志健, 陈兴鹏, 等. 1981—2019年鄱阳湖流域潜在蒸散变化特征及气候成因分析[J]. *农业工程学报*, 2021, 37(7): 94-102. Qin X C, Dai Z J, Chen X J, et al. Variation characteristics and cause analysis of potential evapotranspiration in Poyang Lake Basin from 1981 to 2019 [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (in Chinese)*, 2021, 37(7): 94-102.
- [5] 夏智宏, 刘敏, 秦鹏程, 等. 2022年长江流域高温干旱过程及其影响评估[J]. *人民长江*, 2023, 54(2): 21-28. Xia Z H, Liu M, Qin P C, et al. Development process of high temperature and drought events over Yangtze River Basin in 2022 and assessment on its influences [J]. *Yangtze River (in Chinese)*, 2023, 54(2): 21-28.
- [6] 郭春华, 朱秀芳, 孙劭, 等. 中国不同气候区的高温危险性分析[J]. *热带气象学报*, 2023, 39(1): 66-77. Guo C H, Zhu X F, Sun S, et al. Analysis of high temperature hazard in different climate regions of China [J]. *Journal of Tropical Meteorology (in Chinese)*, 2023, 39(1): 66-77.
- [7] 邹瑾, 李君, 高理, 等. 山东区域性高温的变化特征及其对增暖的响应[J]. *气象科技*, 2022, 50(6): 802-811. Zou J, Li J, Gao L, et al. Variation characteristics of regional high-temperature in Shandong and its response to warming [J]. *Meteorological Science and Technology (in Chinese)*, 2022, 50(6): 802-811.
- [8] 杨建莹, 霍治国, 王培娟, 等. 江西早稻高温热害发生时间分布特征[J]. *应用气象学报*, 2020, 31(1): 42-51. Yang J Y, Huo Z G, Wang P J, et al. Occurrence characteristics of early rice heat disaster in Jiangxi Province [J]. *Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese)*, 2020, 31(1): 42-51.
- [9] 李世刚, 王东仙, 刘可群, 等. 基于灾害风险理论的湖北水稻高温热害风险分析及区划[J]. *气象科技*, 2024, 52(2): 288-296. Li S G, Wang D X, Liu K Q, et al. Analysis and regionalization of rice high-temperature harm risk in Hubei province based on disaster risk theory [J]. *Meteorological Science and Technology (in Chinese)*, 2024, 52(2): 288-296.
- [10] 梅梅, 高歌, 李莹, 等. 1961—2022年长江流域高温干旱复合极端事件变化特征[J]. *人民长江*, 2023, 54(2): 12-20. Mei M, Gao G, Li Y, et al. Change characteristics in compound high temperature and drought extreme events over Yangtze River Basin from 1961 to 2022 [J]. *Yangtze River (in Chinese)*, 2023, 54(2): 12-20.
- [11] 尹德震, 李芳, 林中达. 中国生态脆弱区高温热浪和干旱历史变化特征分析[J]. *气候与环境研究*, 2022, 27(5): 604-618. Yin D Z, Li F, Lin Z D. Historical changes of high temperature, heat waves, and drought in ecological fragile zones in China [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 2022, 27(5): 604-618.
- [12] 黄群芳. 北京夏季高温变化特征及对城市热岛强度的影响[J]. *气象科技*, 2023, 51(1): 66-74. Huang Q F. Characteristics and amplified effect of summer high temperature on urban heat islands in Beijing [J]. *Meteorological Science and Technology (in Chinese)*, 2023, 51(1): 66-74.
- [13] 杨续超, 陈葆德, 胡可嘉. 城市化对极端高温事件影响研究进展[J]. *地理科学进展*, 2015, 34(10): 1219-1228. Yang X C, Chen B D, Hu K J. A review of impacts of urbanization on extreme heat events [J]. *Progress in Geography (in Chinese)*, 2015, 34(10): 1219-1228.
- [14] Yang J Y, Huo Z G, Li X X, et al. Hot weather event-based characteristics of double-early rice heat risk: A study of Jiangxi province, South China [J]. *Ecological Indicators*, 2020, 113(1).
- [15] 付含聪, 邓帆, 杨欢, 等. 基于遥感的长江中下游城市群高温热浪风险评估[J]. *长江流域资源与环境*, 2020, 29(5): 1174-1182. Fu H C, Deng F, Yang H, et al. Assessing heat wave risk of urban agglomeration in the Middle-Lower Yangtze River based on remote sensing [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin (in Chinese)*, 2020, 29(5): 1174-1182.
- [16] 舒章康, 李文鑫, 张建云, 等. 中国极端降水和高温历史变化及未来趋势[J]. *中国工程科学*, 2022, 24(5): 116-125. Shu Z K, Li W X, Zhang J Y, et al. Historical changes and future trends of extreme precipitation and high temperature in China [J]. *Strategic Study of CAE (in Chinese)*, 2022, 24(5): 116-125.
- [17] Yin Z E, Yin J, Zhang X W. Multi-scenario-based hazard analysis of high temperature extremes experienced in China during 1951-2010 [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2013, 23(3): 436-446.
- [18] 邵佳丽, 王新, 郑啸. 长江-淮河流域短时暴雨洪涝灾害危险性预警评估及验证[J]. *气象科技*, 2023, 51(5): 738-746. Shao J L, Wang X, Zheng X. Evaluation and verification of short-term rainstorm flood hazard warning in Yangtze River and Huaihe River basin [J]. *Meteorological Science and Tech-*

- nology (in Chinese), 2023, 51(5): 738-746.
- [19] 何亮, 吴门新, 侯英雨, 等. 基于极值概率分布函数的中国早稻高温热害时空分布统计特征[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(11): 1601-1612. He L, Wu M X, Hou Y Y, et al. Statistical characteristics of heat stress in early rice based on extreme value distribution in China [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture (in Chinese), 2018, 26(11): 1601-1612.
- [20] 刘广海, 谢如鹤. 基于耿贝尔分布的高温参数模型的分析与确定[J]. 广州大学学报(自然科学版), 2009, 8(4): 83-86. Liu G H, Xie R H. Study on Gumbel distribution model of high temperature parameter [J]. Journal of Guangzhou University (Natural Science Edition) (in Chinese), 2009, 8(4): 83-86.
- [21] 胡菊芳, 李芬, 赵冠男, 等. 江西高温天气时空变化特征分析[J]. 南昌大学学报(理科版), 2022, 46(4): 416-422. Hu J F, Li F, Zhao G N, et al. Temporal and spatial distribution of high temperature weather in Jiangxi province [J]. Journal of Nanchang University (Natural Science) (in Chinese), 2022, 46(4): 416-422.
- [22] 汪建军, 杨爱萍, 张坤, 等. 气候变化对江西茶树高温热害的影响[J]. 江西农业学报, 2020, 32(11): 94-98. Wang J J, Yang A P, Zhang K, et al. Effects of climate change on tea heat injury in Jiangxi province [J]. Acta Agriculturae Jiangxi (in Chinese), 2020, 32(11): 94-98.
- [23] 周秋雪, 冯良敏, 陈朝平, 等. 2022年8月四川盆地持续性极端高温特征及不同模式预报误差分析 [J]. 气象科技, 2024, 52(2): 243-251. Zhou Q X, Feng L M, Chen C P, et al. Characteristics and model error analysis of persistent extreme heat of Sichuan basin in August 2022 [J]. Meteorological Science and Technology (in Chinese), 2024, 52(2): 243-251.
- [24] 中国科学院资源环境科学数据中心. 中国土地利用数据(1980-2015). 2019. 国家青藏高原科学数据中心. Resource and environment science data platform of Chinese Academy of Science. 2019. Landuse dataset in China (1980-2015) (in Chinese). National Tibetan Plateau / Third Pole Environment Data Center.
- [25] 王灿, 王嘉琛. 中国历史 GDP 空间分布公里网格数据集(1990-2015). 2022. 国家青藏高原科学数据中心. Wang C, Wang J C. 2022. Kilometer grid dataset of China's historical GDP spatial distribution (1990-2015) (in Chinese). National Tibetan Plateau/Third Pole Environment Data Center.
- [26] 中国气象局. 农业气象灾害风险区划技术导则[M]. 北京: 气象出版社, 2019. China Meteorological Administration. Technical directives for risk zoning of agrometeorological disasters (in Chinese) [M]. Beijing: China meteorological press, 2019.

Dangerousness Analysis of High-Temperature Disaster-Inducing Factors in Jiangxi Province

CHEN Xinyu^{1,2} LI Xiangxiang³

(1 Jiujiang Meteorological Observatory, Jiangxi, Jiujiang 332000; 2 Agro-Meteorological Center of Jiangxi Province, Nanchang 330096; 3 Jiangxi Provincial Agricultural Meteorological Center, Nanchang 330096)

Abstract: The increasing frequency, intensity and scope of extreme heat events due to climate change, which is mainly characterised by significant warming, is one of the current key climate stressors for sustainable development in terms of socio-economics, ecological balance and agricultural production in Jiangxi Province. High-temperature dangerousness evaluation is the basic work of high-temperature disaster risk assessment. However, in Jiangxi Province, the current research on high-temperature hazards mainly focuses on the analysis of trends and spatial distribution patterns, and few studies are conducted to reveal the risk of high-temperature occurrence through disaster risk theory. In this paper, based on the daily maximum temperature data of 79 meteorological stations in Jiangxi Province from 1961 to 2022, the trends of three disaster-inducing factors (the number of high-temperature days, the extreme maximum temperature and the high-temperature intensity) and their values under four return periods (1 in 5 years, 1 in 10 years, 1 in 20 years, and 1 in 50 years, respectively) are analysed using the least square method and the Kernel density estimation method, respectively. Then, through K-mean cluster analysis, the dangerousness distribution of each disaster-causing factor is obtained and a comprehensive high-temperature dangerousness map is produced. Finally, according to the disaster risk theory, the agricultural heat risk is assessed by the product of high-temperature dangerousness, agricultural exposure (quantified by land use cover) and agricultural fragility (quantified by gross domestic product kilometre gridded data). The results show that: (1) The overall trend of the number of high-temperature days, extreme maximum temperature and high-temperature intensity in Jiangxi Province during 1961–2022 shows an increasing trend, but the trend has a phased character, with a decreasing trend before 1997. (2) The dangerousness of each disaster-inducing factor is relatively high, with the proportion of high-risk areas in the province ranging from 41.7% to 61.4%. (3) The comprehensive dangerousness shows a spatial distribution pattern of low in the north and low in the centre, and the high-risk areas are mainly concentrated in the eastern part of Shangrao and most parts of Ji'an. (4) Agricultural medium-high risk zones are consistent with the spatial distribution of the dangerousness map. However, due to the uneven distribution of agricultural fragility, the low-risk zone is more surrounded by cities, and is mainly concentrated in southern Ganzhou, most of Xinyu, north-central Nanchang, and eastern Jiujiang. This paper can provide some reference for the comprehensive risk assessment of meteorological disasters.

Keywords: disaster factors; recurrence period; dangerousness; risk assessment

Received: 2023-10-8 Accepted: 2024-7-1

© Editorial Office of *Meteorological Science and Technology* (CC BY-NC-ND 4.0)