

四川省寒潮灾害致灾指数研究

曾翔宇¹, 马力²

¹成都信息工程大学, 四川 成都

²四川省气象局, 四川 成都

Email: 356579270@qq.com

收稿日期: 2020年11月6日; 录用日期: 2020年11月20日; 发布日期: 2020年11月27日

摘要

灾害性天气的致灾能力评估, 是指导精准防灾减灾行动, 提高防灾减灾效益的重要科学技术手段。本文以四川省4场寒潮天气过程为例, 根据熵最大原理, 拟合出表征寒潮灾害天气过程的概率分布特征, 并在此基础上, 利用灰色关联度法, 计算出寒潮灾害天气过程的致灾指数, 用来评估每一场寒潮天气过程的致灾能力。

关键词

四川省, 寒潮, 熵最大原理, 灰色关联度, 致灾指数

Research on the Disaster Index of Cold Wave Disaster in Sichuan Province

Xiangyu Zeng¹, Li Ma²

¹Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan

²Sichuan Provincial Meteorological Service, Chengdu Sichuan

Email: 356579270@qq.com

Received: Nov. 6th, 2020; accepted: Nov. 20th, 2020; published: Nov. 27th, 2020

Abstract

The assessment of the disaster-causing capability of severe weather is an important scientific and

文章引用: 曾翔宇, 马力. 四川省寒潮灾害致灾指数研究[J]. 气候变化研究快报, 2020, 9(6): 796-808.

DOI: 10.12677/ccrl.2020.96086

technological means to guide precise disaster prevention and mitigation actions and improve the benefits of disaster prevention and mitigation. In this paper, 4 cold wave weather processes in Sichuan Province are taken as examples. According to the principle of entropy maximization, the probability distribution characteristics of cold wave disaster weather processes are fitted. On this basis, the Grey Relational Analysis is used to calculate the cold wave disaster index. The disaster index is used to evaluate the disaster-causing ability of each cold wave weather process.

Keywords

Sichuan Province, Cold Wave, Principle of Entropy Maximization, Grey Relational Analysis, Disaster Index

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

气象灾害随着整个人类社会的发展,已经成为了影响人类生活、健康以及社会经济发展的关键性问题,全面认识气象灾害对于人类社会造成的危害已成为当务之急。现今,气象灾害占据自然灾害的70%以上,但是由于气象灾害种类较多,各种灾害性天气的致灾机制和致灾途径均不相同,所以至今缺少一个较为客观,且定量的评估方法和标准,也导致气象防灾减灾服务的效益难以评估,给气象灾害保险产品的设计也带来了困难。气象防灾减灾工作需要做到:对气象灾害进行有效防控,提前预估灾害可能达到的风险程度,努力实现从灾后救助向灾前预防的转变,从应对单一灾种向综合减灾转变,从减少灾害损失向减轻灾害风险转变;在灾后,科学合理地进行气象灾害风险评估,灾害评估是实施救灾行动和灾后重建的重要依据,是基础性工作,需防抗救相结合;最后,需对防灾减灾服务的效益进行评估。灾害性天气的致灾能力评估是当前采取精准减灾措施和行动的短板,需要在精准的天气监测和预报基础上向前继续探索,做出灾害性天气的致灾能力评估。因此,有必要对气象灾害致灾能力评估进行探索。

近年来,国内对于气象灾害评估进行了研究,许多专家也对此进行了大量探索[1] [2] [3] [4] [5],张学文[1]等利用熵最大原理为本研究提供了理论依据,其中物理学中一些重要的定律都是由熵最大原理推导出来的,即熵达到最大时系统达到最丰富状态,其空气微团所具有的能量可呈现出分布律,因此每一次灾害性天气过程可视为该天气过程熵达到最大时系统的空气微团所具有的能量释放过程,由此可推导出灾害性天气所释放能量的分布律。刘小艳[2]等分析了孕灾环境、致灾因子、承灾体和灾情4个气象灾害风险因素,提出了气象灾害风险评估的新思路,并探讨了专家打分法、德尔菲法、层次分析法3种常用风险评价方法的原理和优缺点。郭进修[3]等根据现有的气象灾害特征、致灾因子和天气现象类型,将我国的气象灾害划分为7大类20种,且提出需要加快大气监测、信息加工和气象灾害预警能力的气象现代化建设;加强气象灾害的机理研究;制定科学防灾减灾对策。汤伏全[4]等使用ArcGIS软件,采用反距离权重法、普通克里格法和泛克里格3种空间插值方法,对东北三省78个气象站点1999、2004年夏季平均气温数据进行了空间插值,并采用交叉检验的方法对插值结果进行了比较,所得插值结果均能大致反映气温分布状况,为本文的研究方法提供了参考。刘伟东[5]等应用灰色关联度方法,计算了北京地区近20年的19个大风和暴雨个例的灾情评估指标与关联度,并进行损失评估和比较,发现该方法对

灾情等级划分和灾情损失排序合理, 比较符合实际对灾情的评价, 能够对不同气象灾害和同一级别的气象灾害灾情差异尺度做比较, 是能够应用于实际工作中的一种科学方法, 并对本文的灾害指数计算提供了方法依据。

本次研究针对四川省寒潮灾害, 由于过去对于一场寒潮灾害过程强度的表述只采用降温幅度、站数, 导致评估结果不全面, 无法对寒潮灾害施行定量的防灾救灾行动, 因此本文对寒潮灾害致灾能力做出探索, 计算出寒潮灾害天气过程的致灾指数。

2. 数据来源及研究方法

2.1. 数据来源

本次研究所需气象数据均来自四川省 4123 个自动观测站的气温数据, 在 2011 年~2019 年中统计了 10 场寒潮灾害天气, 并从中筛选出 4 个个例, 个例之间的降温覆盖面积、最低气温、24 h 降温幅度等参量对比较为明显, 具有代表性。经济损失数据来自四川省气象局。

2.2. 研究方法

计算寒潮过程中的降温幅度, 以 20 时为日界, 计算各站寒潮过程开始前一日的日平均气温, 接着计算寒潮过程中各站每日的日平均气温, 各站寒潮前一日的日平均气温与各站寒潮过程中最低日平均气温之差, 及为寒潮过程降温幅度, 并选取各个个例中的最大值, 即为最大过程降温幅度。

采用 ArcGIS 软件中的反距离权重插值法将所有站点数据插值, 并绘制出每次寒潮过程四川省降温幅度分布图, 插值后计算不同色块的面积, 再根据比例尺, 以降温 2℃ 为边界, 计算寒潮过程的降温总面积 S , 并计算 $2^{\circ}\text{C} \leq \text{降温} < 3^{\circ}\text{C}$ 的面积、 $3^{\circ}\text{C} \leq \text{降温} < 4^{\circ}\text{C}$ 的面积、 $4^{\circ}\text{C} \leq \text{降温} < 5^{\circ}\text{C}$ 的面积、 $5^{\circ}\text{C} \leq \text{降温} < 6^{\circ}\text{C}$ 的面积以此类推。绘制出降温幅度与面积直方图, 再根据最大熵原理, 拟合出分布函数, 并进行 t 检验。计算直方图期望值, 各个分组降温的中间值乘以其所覆盖的面积, 再将其相加后除以降温总面积, 即为面平均降温幅度 \bar{T} , 再计算直方图方差。

统计 24 小时的降温幅度, 选择降温幅度最大的一日, 同样以降温 2℃ 为界, 以相同方法计算 24 小时降温幅度 $\geq 2^{\circ}\text{C}$ 的面积, 即 24 h 最大降温面积, 并找出 24 小时降温幅度最大的值, 即 24 h 最大降温幅度。

统计每个寒潮个例中日平均气温低于 0°C 的站点, 并采用相同方法计算其所占面积, 并找出最低日平均气温。

统计每次寒潮灾害时的经济损失, 以经济损失作为参考数据, 采用灰色关联度法, 计算面平均降温幅度、最大过程降温幅度、24 h 最大降温面积、24 h 最大降温幅度、日平均气温低于 0°C 面积、最低日平均气温、方差, 7 个统计参量之间的关联度以及其权重, 最终计算出致灾指数 (I 为致灾指数, 设 R 为参量, Q 为参量权重): $I = R_1 * Q_1 + R_2 * Q_2 + R_3 * Q_3 + R_4 * Q_4 + R_5 * Q_5 + R_6 * Q_6 + R_7 * Q_7$ 。

3. 寒潮个例分析

3.1. 寒潮个例 1 分析

2018 年 12 月 25 日, 四川省气象台发布了寒潮蓝色预警, 一直持续到 31 日。此次寒潮天气过程降温覆盖面积较大, 降温幅度高于 6°C 的强降温主要集中在四川东部地区, 以及南部部分地区, 全省大部分地区降温幅度均达到了 4°C 以上, 而最高降温幅度达到 15.0°C , 主要分布在西部部分区域, 直接经济损失达 62.6 万元, 降温分布图及降温幅度见图 1(a)。

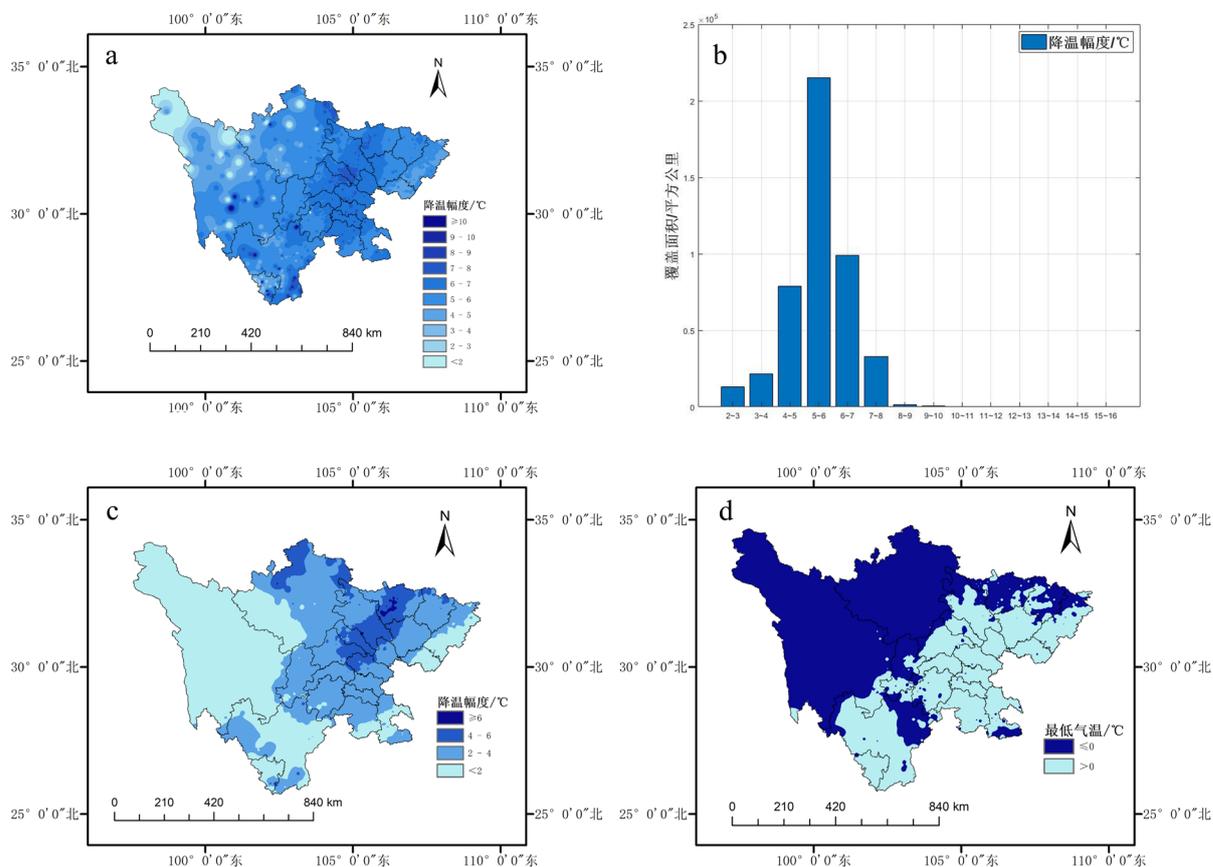


Figure 1. December 25, 2018 (a) Cooling 2D distribution, (b) Histogram of the relationship between cool down and area, (c) 24-Hours cooling 2D distribution (≥ 2), (d) 2D Distribution of 24-hour daily average low temperature ($< 0^{\circ}\text{C}$)

图 1. 2018 年 12 月 25 日, (a) 降温分布情况、(b) 降温幅度与面积直方图、(c) 24 h 降温幅度 $\geq 2^{\circ}\text{C}$ 分布情况、(d) 日平均气温低于 0°C 分布情况

本次寒潮过程降温总面积为 $463,157.83 \text{ km}^2$, 降温幅度与面积的分布情况呈单峰型, 见图 1(b), $4^{\circ}\text{C} \leq$ 降温 $< 6^{\circ}\text{C}$ 的面积占比最大, 占降温总面积的 63.53%, 降温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 占比最小, 占降温总面积的 0.12%, 总体呈现出 Gamma 分布, 面平均降温 \bar{T}_1 即期望值为 5.5°C , 方差为 28.29。24 h 最大降温幅度为 7.9°C , 24 h 降温最大的区域主要分布在四川东北部以及中部大部分地区, 所占面积为 $259,661.40 \text{ km}^2$, 图 1(c) 为 24 h 降温幅度 $\geq 2^{\circ}\text{C}$ 分布情况。最低日平均气温为 -16.9°C , 即 256.25 K , 日平均气温低于 0°C 所占面积为 $274,380.85 \text{ km}^2$, 图 1(d) 为日平均气温低于 0°C 分布情况, 主要集中在四川省西北部及北部大部分区域。

3.2. 寒潮个例 2 分析

2016 年 01 月 19 日, 四川省气象台发布了寒潮蓝色预警, 强冷空气南下, 全省遭受寒潮灾害侵袭, 此次寒潮降温强度较大, 全省大部分区域降温幅度高于 6°C , 降温幅度高于 8°C 主要集中在四川省中南部区域, 降温幅度高于 10°C 集中在四川省南部区域, 最高降温幅度达到 15.2°C , 直接经济损失达 $25,356.77$ 万元, 降温分布图及降温幅度见图 2(a)。

本次寒潮过程降温总面积 $480,571.84 \text{ km}^2$, 降温幅度与面积关系呈单峰型, 见图 2(b), $7^{\circ}\text{C} \leq$ 降温 $< 8^{\circ}\text{C}$ 的占比最大, $15^{\circ}\text{C} \leq$ 降温 $< 16^{\circ}\text{C}$ 占比最小, 总体呈现出 Gamma 分布, 面平均降温 \bar{T}_2 即期望值为 7.0°C , 方差为 20.33。24 h 最大降温幅度为 14.4°C , 24 h 降温最大的区域覆盖四川绝大部分地区, 所占面积为 $392,180.24 \text{ km}^2$, 其中四川北部区域 24 h 降温幅度 $> 10^{\circ}\text{C}$, 图 2(c) 为 24 h 降温幅度 $\geq 2^{\circ}\text{C}$ 分布情况。最

低日平均气温为 -18.9°C , 即 254.25 K , 日平均气温低于 0°C 所占面积为 $385,090.90\text{ km}^2$, 图 2(d) 为日平均气温低于 0°C 分布情况, 主要分布在四川省中部, 西部, 北部大部分区域。

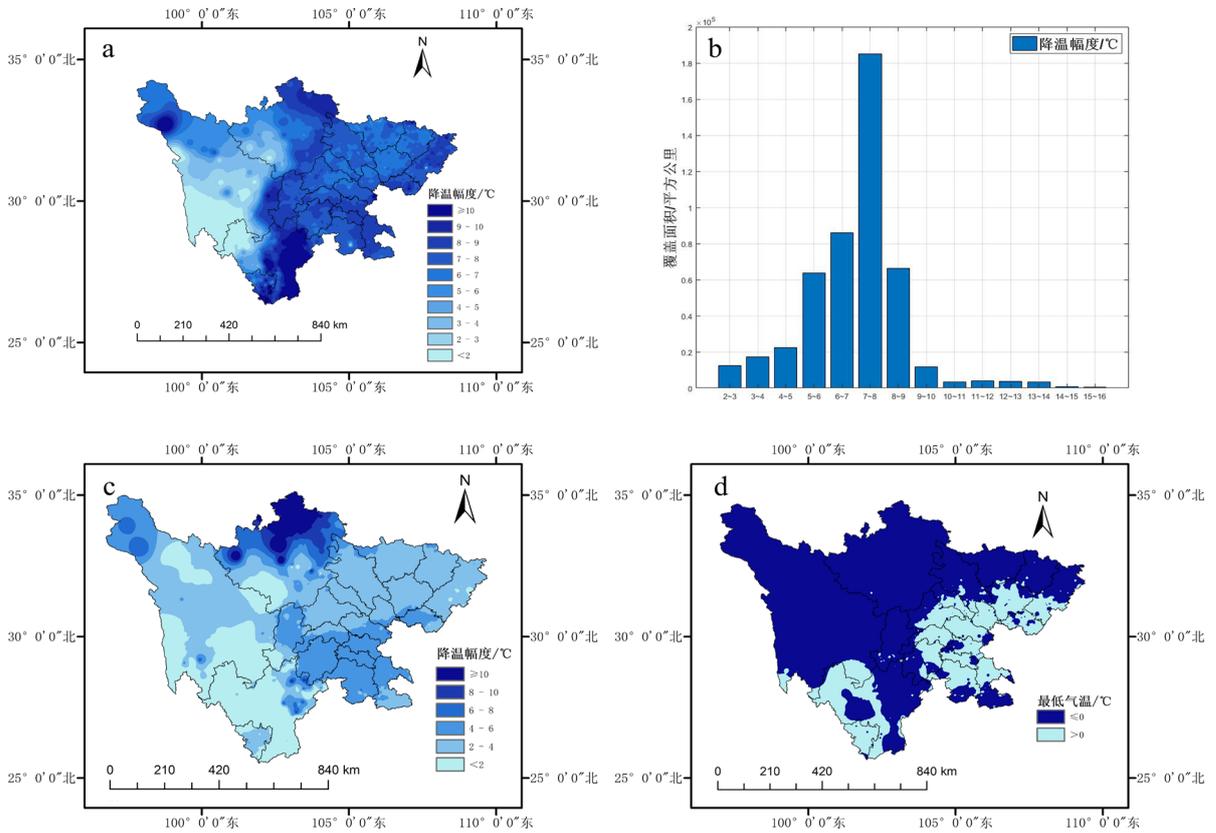
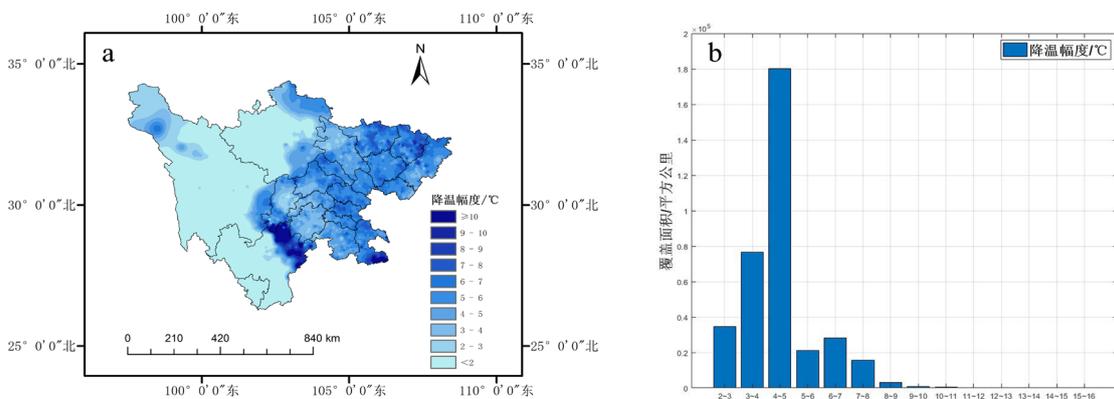


Figure 2. January 19, 2016 (a) Cooling 2D distribution, (b) Histogram of the relationship between cool down and area, (c) 24-Hours cooling 2D distribution ($\geq 2^{\circ}\text{C}$), (d) 2D Distribution of 24-hour daily average low temperature ($< 0^{\circ}\text{C}$)

图 2. 2016 年 01 月 19 日, (a) 降温分布情况、(b) 降温幅度与面积关系直方图、(c) 24 h 降温幅度 $\geq 2^{\circ}\text{C}$ 分布情况、(d) 日平均气温低于 0°C 分布情况

3.3. 寒潮个例 3 分析

四川省 2019 年 02 月 07 日至 10 日发布寒潮蓝色预警, 降温分布见图 3(a), 本次寒潮降温幅度高于 4°C 覆盖面积最广, 主要集中在四川省东部及中部, 降温幅度高于 8°C 区域主要集中在, 四川中南部及东南部, 最高降温幅度达到 15.8°C , 直接经济损失达 32.7 万元。



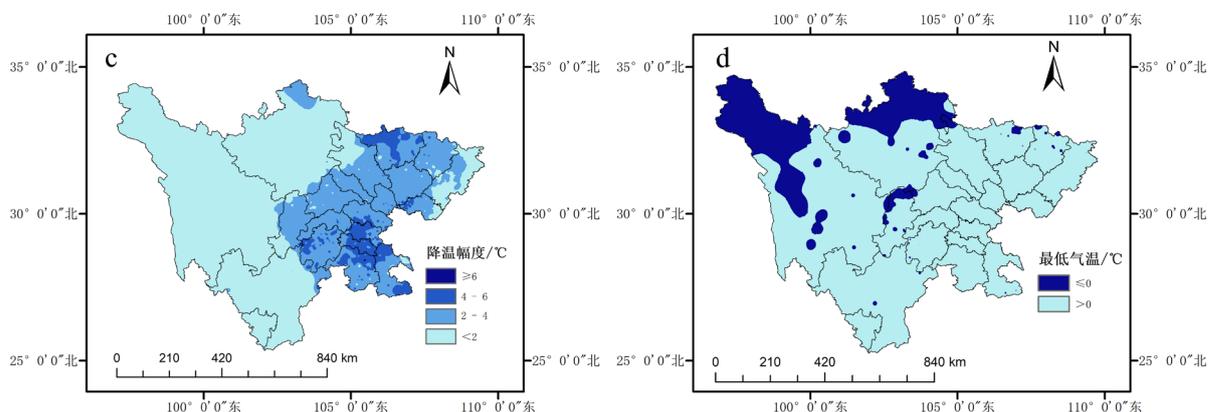


Figure 3. February 7, 2019 (a) Cooling 2D distribution, (b) Histogram of the relationship between cool down and area, (c) 24-Hours cooling 2D distribution ($\geq 2^{\circ}\text{C}$), (d) 2D Distribution of 24-hour daily average low temperature ($< 0^{\circ}\text{C}$)

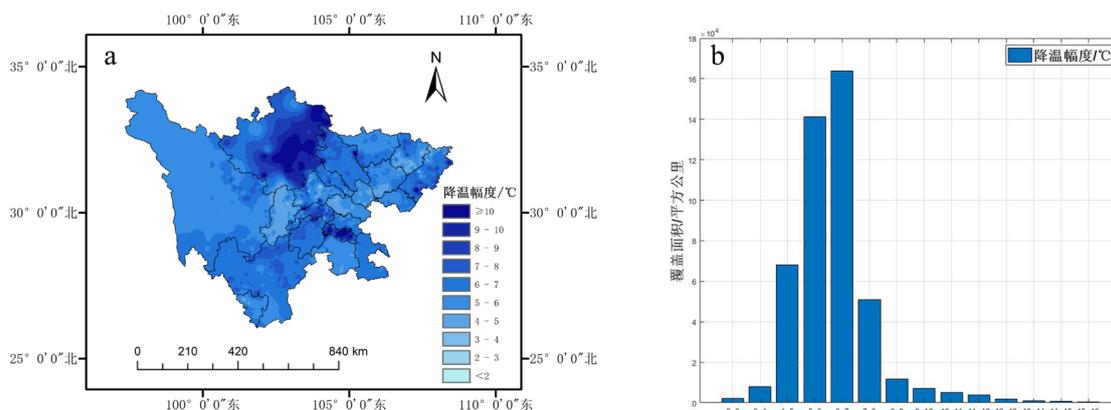
图 3. 2019 年 02 月 07 日 (a) 降温分布情况、(b) 降温幅度与面积关系直方图、(c) 24 h 降温幅度 $\geq 2^{\circ}\text{C}$ 分布情况、(d) 日平均气温低于 0°C 分布情况

本次寒潮过程降温总面积 $361,813.65 \text{ km}^2$, 降温幅度与面积关系呈单峰型, 见图 3(b), $4^{\circ}\text{C} \leq \text{降温} < 5^{\circ}\text{C}$ 所占比例最大, 其次为 $3^{\circ}\text{C} \leq \text{降温} < 4^{\circ}\text{C}$; $15^{\circ}\text{C} \leq \text{降温} < 16^{\circ}\text{C}$ 的占比最小。降温幅度与面积关系总体呈现出 Gamma 分布, 面平均降温 \bar{T}_3 即期望值为 4.5°C , 方差为 34.57。24 h 最大降温幅度为 8.0°C , 24 h 降温最大的区域主要分布在四川中东部地区, 所占面积为 $183,563.18 \text{ km}^2$, 其中四川东南部区域 24 h 降温 $> 6^{\circ}\text{C}$, 图 3(c) 为 24 h 降温幅度 $\geq 2^{\circ}\text{C}$ 分布情况。最低日平均气温为 -9.9°C , 即 263.25 K , 日平均气温低于 0°C 所占面积为 $46,304.43 \text{ km}^2$, 图 3(d) 为日平均气温低于 0°C 分布情况, 主要集中在四川西北部分区域, 以及北部部分区域。

3.4. 寒潮个例 4 分析

2016 年 11 月 05 日, 冷空气南下, 四川省将出现一次明显的降温天气过程, 日平均气温将累计下降 $7^{\circ}\text{C} \sim 9^{\circ}\text{C}$, 降温幅度分布图如图 4(a)。此次寒潮降温覆盖全省, 降温幅度 6°C 覆盖范围最大, 主要分布在四川北部与南部, 其中降温幅度高于 10°C 主要集中在四川北部部分区域, 最高降温幅度达到 15.4°C , 直接经济损失达 6500 万元。

本次寒潮过程降温总面积为 $465,772.50 \text{ km}^2$, 降温幅度与面积关系呈单峰型, 见图 4(b), $6^{\circ}\text{C} \leq \text{降温} < 7^{\circ}\text{C}$ 占比最大, $5^{\circ}\text{C} \leq \text{降温} < 6^{\circ}\text{C}$ 占比次之, $15^{\circ}\text{C} \leq \text{降温} < 16^{\circ}\text{C}$ 占比最小。降温幅度与面积关系总体呈现出 Gamma 分布, 面平均降温 \bar{T}_4 即期望值为 6.2°C , 方差为 24.20。24 h 最大降温幅度为 11.1°C , 24 h



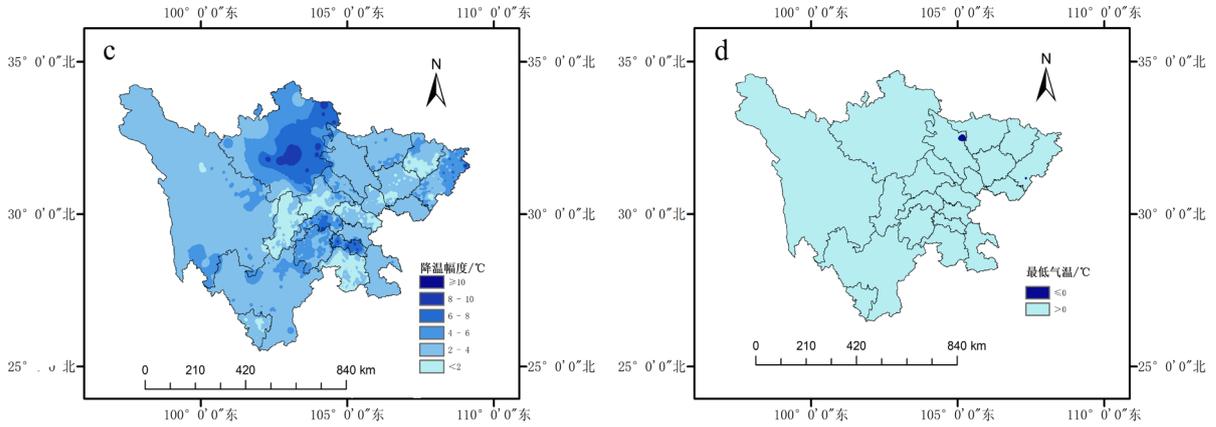


Figure 4. November 5, 2016 (a) Cooling 2D distribution, (b) Histogram of the relationship between cool down and area, (c) 24-Hours cooling 2D distribution ($\geq 2^{\circ}\text{C}$), (d) 2D Distribution of 24-hour daily average low temperature ($< 0^{\circ}\text{C}$)

图 4. 2016 年 11 月 05 日, (a) 降温分布情况、(b) 降温幅度与面积关系直方图、(c) 24 h 降温幅度 $\geq 2^{\circ}\text{C}$ 分布情况、(d) 日平均气温低于 0°C 分布情况

降温 $\geq 2^{\circ}\text{C}$ 区域覆盖四川中绝大部分地区, 所占面积为 $471,101.76 \text{ km}^2$, 四川北部区域 24 h 降温幅度最大, 图 4(c) 为 24 h 降温幅度 $\geq 2^{\circ}\text{C}$ 分布情况。最低日平均气温为 9.8°C , 即 263.35 K , 日平均气温低于 0°C 所占面积为 1818.52 km^2 , 图 4(d) 为日平均气温低于 0°C 分布情况, 大部分地区最低日平均气温均在 0°C 以上, 仅在中北部, 及东部小部分地区日平均气温达到了 0°C 以下。

4. 分布函数拟合及检验

结合上述寒潮灾害过程分析, 4 个寒潮灾害个例均呈现出 Gamma 分布, 根据 Gamma 分布函数进行函数拟合, 公式如下:

$$f(x) = \frac{\beta^n}{(n-1)!} (x-a)^{n-1} e^{-\beta(x-a)} \quad (x > a; \beta > 0; E(x) = n/\beta)$$

根据统计量所得结果, 对此次寒潮天气过程进行函数拟合; 计算各个寒潮灾害的面平均降温幅度 \bar{T} , 其结果为 Gamma 函数的期望值 $E(x)$, 及 $\bar{T} = E(x)$, a 为底数, 降温幅度边界为 2°C , 所以 $a = 2$, 带入计算, 拟合出相应 Gamma 分布函数。

将个例 1 的 \bar{T}_1 即 $E(x) \approx 5.53$ 代入, 得: $f(x) = \frac{\left(\frac{n}{5.53}\right)^n}{(n-1)!} (x-2)^{n-1} e^{-\left(\frac{n}{5.53}\right)(x-2)}$;

将个例 2 的 \bar{T}_2 即 $E(x) \approx 6.89$ 代入, 得: $f(x) = \frac{\left(\frac{n}{6.89}\right)^n}{(n-1)!} (x-2)^{n-1} e^{-\left(\frac{n}{6.89}\right)(x-2)}$;

将个例 3 的 \bar{T}_3 即 $E(x) \approx 4.52$ 代入, 得: $f(x) = \frac{\left(\frac{n}{4.52}\right)^n}{(n-1)!} (x-2)^{n-1} e^{-\left(\frac{n}{4.52}\right)(x-2)}$;

将个例 4 的 \bar{T}_4 即 $E(x) \approx 6.18$ 代入, 得: $f(x) = \frac{\left(\frac{n}{6.18}\right)^n}{(n-1)!} (x-2)^{n-1} e^{-\left(\frac{n}{6.18}\right)(x-2)}$;

令 $n = 2$, 将其代入上述分布函数, 所得结果如表 1:

Table 1. Fitting result of cold wave distribution function (not tested)**表 1.** 寒潮分布函数拟合结果(未检验)

个例	分布函数
个例 1	$f(x) = (0.36)^2 (x-2)e^{-0.36(x-2)}$
个例 2	$f(x) = (0.29)^2 (x-2)e^{-0.29(x-2)}$
个例 3	$f(x) = (0.44)^2 (x-2)e^{-0.42(x-2)}$
个例 4	$f(x) = (0.32)^2 (x-2)e^{-0.32(x-2)}$

对上述拟合出的分布函数进行 t 检验。将各个降温幅度及 x 取中位数, 代入拟合函数, 可得理论值(Y_2), 将其与降温幅度所占的面积值即实际值(Y_1)进行对比(表 2)。

Table 2. Comparison table of theoretical value and actual value**表 2.** 个例的理论值与实际值对比表

中位数	个例 1		个例 2		个例 3		个例 4	
x	Y_1	Y_2	Y_1	Y_2	Y_1	Y_2	Y_1	Y_2
2.5	13020.64	0.0541	12264.47	0.0364	34640.66	0.0777	2048.73	0.0436
3.5	21512.37	0.1132	17374.67	0.0816	76620.45	0.1500	7853.47	0.0950
4.5	78993.71	0.1317	22450.84	0.1018	180215.67	0.1610	68022.10	0.1150
5.5	215229.23	0.1286	63807.66	0.1066	21188.44	0.1451	141310.42	0.1169
6.5	98970.88	0.1153	85841.90	0.1025	28313.63	0.1201	163852.84	0.1091
7.5	32945.28	0.0983	184954.05	0.0938	15582.68	0.0945	50826.87	0.0968
8.5	1476.35	0.0810	66397.55	0.0829	2950.27	0.0719	11829.83	0.0830
9.5	567.83	0.0652	11635.38	0.0716	904.12	0.0534	7182.40	0.0696
10.5	229.37	0.0516	3521.18	0.0607	507.08	0.0390	5124.39	0.0572
11.5	86.01	0.0402	4181.40	0.0507	273.04	0.0281	3787.59	0.0464
12.5	31.54	0.0310	3741.28	0.0419	185.74	0.0200	1980.44	0.0373
13.5	31.54	0.0237	3301.13	0.0344	139.31	0.0141	990.22	0.0296
14.5	31.54	0.0179	660.21	0.0280	175.53	0.0099	642.14	0.0296
15.5	31.54	0.0135	440.14	0.0226	117.02	0.0069	321.07	0.0234
总和	463157.83	0.9653	480571.84	0.9154	361813.65	0.9917	465772.50	0.9525

根据 t 检验, 实际值与理论值做统一量纲化处理, 将 x 分别乘以对应实际值与理论值, 再分别除以其总和, 可得 y_1 、 y_2 , 并求得其平均值和方差, 即: $y_1 = \frac{x * Y_1}{Y_1 \text{总和}}$; $y_2 = \frac{x * Y_2}{Y_2 \text{总和}}$ (表 3)。

Table 3. Comparison table of theoretical value and actual value (Unified dimensioning)**表 3.** 统一量纲化后实际值与理论值对比表

中间值	个例 1		个例 2		个例 3		个例 4	
x	y_1	y_2	y_1	y_2	y_1	y_2	y_1	y_2
2.5	0.0703	0.1402	0.0638	0.0993	0.2394	0.1958	0.0110	0.1145

Continued

3.5	0.1626	0.4106	0.1265	0.3121	0.7412	0.5295	0.0590	0.3491
4.5	0.7675	0.6138	0.2102	0.5003	2.2414	0.7306	0.6572	0.5431
5.5	2.5558	0.7325	0.7303	0.6405	0.3221	0.8049	1.6686	0.6747
6.5	1.3890	0.7764	1.1611	0.7281	0.5087	0.7874	2.2866	0.7443
7.5	0.5335	0.7637	2.8865	0.7682	0.3230	0.7150	0.8184	0.7621
8.5	0.0271	0.7135	1.1744	0.7698	0.0693	0.6166	0.2159	0.7410
9.5	0.0116	0.6418	0.2300	0.7426	0.0237	0.5120	0.1465	0.6938
10.5	0.0052	0.5608	0.0769	0.6959	0.0147	0.4129	0.1155	0.6309
11.5	0.0021	0.4788	0.1001	0.6373	0.0087	0.3254	0.0935	0.5607
12.5	0.0009	0.4012	0.0973	0.5728	0.0064	0.2517	0.0531	0.4891
13.5	0.0009	0.3310	0.0927	0.5069	0.0052	0.1917	0.0287	0.4200
14.5	0.0010	0.2696	0.0199	0.4427	0.0070	0.1441	0.0200	0.4511
15.5	0.0011	0.2171	0.0142	0.3824	0.0050	0.1071	0.0107	0.3805
平均值	0.3949	0.5036	0.4989	0.5571	0.3226	0.4518	0.4418	0.5396
方差	0.5132	0.0423	0.5900	0.0361	0.3319	0.0589	0.4629	0.0321

根据公式, 计算 t 值: $t = \frac{\text{平均值}_2 - \text{平均值}_1}{\text{方差}_1 / \sqrt{\text{频数}}}$, 结果见表 4。

Table 4. Table of t value comparison
表 4. 个例 t 值对比表

个例	t	值
个例 1	t1	0.793
个例 2	t2	0.369
个例 3	t3	1.457
个例 4	t4	0.791

设自由度为 $n' = n - 1$ (n 为每个个例的分组数), 由于不确定数据均值是高于检验值还是低于检验值, 所以采用双侧检测, 设双侧检验水准 $\alpha = 0.05$, 则比较 $t_{\alpha=0.05}(n')$ 与 t 值大小, 查表 5 可知:

Table 5. Table of t-test critical value (partial)
表 5. t 检验临界值表(部分)

n'	P(2): 双侧	0.5	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	0.005	0.002
	P(1): 单侧	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0025	0.001
1		1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	127.321	318.309
2		0.816	1.886	2.92	4.303	6.965	9.925	14.089	22.327
3		0.765	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	7.453	10.215
4		0.741	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	5.598	7.173
5		0.727	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	4.773	5.893

Continued

6	0.718	1.44	1.943	2.447	3.143	3.707	4.317	5.208
7	0.711	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.029	4.785
8	0.706	1.397	1.86	2.306	2.896	3.355	3.833	4.501
9	0.703	1.383	1.833	2.262	2.821	3.25	3.69	4.297
10	0.7	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	3.581	4.144
11	0.697	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	3.497	4.025
12	0.695	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.428	3.93
13	0.694	1.35	1.771	2.16	2.65	3.012	3.372	3.852
14	0.692	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.326	3.787
15	0.691	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.286	3.733

$t_{\alpha=0.05}(13) > t_1$; $t_{\alpha=0.05}(13) > t_2$; $t_{\alpha=0.05}(13) > t_3$; $t_{\alpha=0.05}(13) > t_4$; 所以, 所得拟合函数可通过显著性检验, 寒潮灾害呈现出 Gamma 分布。

5. 致灾指数计算

由上述对于寒潮参量的计算, 可得以下统计参量(表 6):

Table 6. Table of statistical parameter

表 6. 统计参量表

经济损失/万元	面平均降温幅度/°C	最大降温幅度/°C	24 h 最大降温面积/km ²	24h 最大降温幅度/°C	最低日平均气温/K	最低日平均气温达到 0°C 面积/km ²	方差
62.6	5.5	15.0	259,661.40	7.9	256.25	274,380.85	28.29
25,356.77	7.0	15.2	392,180.24	14.4	254.25	385,090.90	20.33
32.7	4.5	15.8	183,563.18	8.0	263.25	46,304.43	34.57
6500	6.2	15.4	471101.76	11.1	263.35	1818.51	24.20

利用灰色关联度计算方法, 以经济损失作为参考数据, 计算各个参量之间的灰色关联度, 列出矩阵:

$$(X') = \begin{bmatrix} 25356.77 & 32.7 & 6500 & 62.6 \\ 7.0 & 4.5 & 6.2 & 5.5 \\ 15.2 & 15.8 & 15.4 & 15.0 \\ 392180.24 & 183563.18 & 471101.76 & 259661.40 \\ 14.4 & 8.0 & 11.1 & 7.9 \\ 254.25 & 263.25 & 263.35 & 256.25 \\ 385090.9 & 46304.43 & 1818.51 & 274380.85 \\ 20.33 & 34.57 & 24.20 & 28.29 \end{bmatrix}$$

将矩阵无量纲化 $X = X'_{ij}/X'_{i1}$ ($i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$; $j = 2, 3, 4$):

$$(X) = \begin{bmatrix} 1 & 0.0013 & 0.2563 & 0.0025 \\ 1 & 0.6812 & 0.8986 & 0.7681 \\ 1 & 1.0395 & 0.9935 & 0.9677 \\ 1 & 0.4681 & 1.2012 & 0.6621 \\ 1 & 0.5556 & 0.7708 & 0.5486 \\ 1 & 1.0354 & 1.0358 & 1.0079 \\ 1 & 0.1202 & 0.0047 & 0.7125 \\ 1 & 1.7004 & 1.1904 & 1.3915 \end{bmatrix}$$

确定参考数据列(经济损失):

$$X_0 = (1 \quad 0.0013 \quad 0.2563 \quad 0.0025)$$

计算 $|X_0 - X_i|$:

$$(\Delta) = \begin{bmatrix} 0 & 0.6799 & 0.6422 & 0.7656 \\ 0 & 1.0382 & 0.7372 & 0.9653 \\ 0 & 0.4668 & 0.9449 & 0.6596 \\ 0 & 0.5543 & 0.5145 & 0.5461 \\ 0 & 1.0341 & 0.7794 & 1.0054 \\ 0 & 0.1190 & 0.2516 & 0.7100 \\ 0 & 1.6992 & 0.9340 & 1.3891 \end{bmatrix}$$

得到最值:

$$\Delta \min |X_0(k) - X_i(k)| = 0$$

$$\Delta \max |X_0(k) - X_i(k)| = 1.6992$$

计算关联度系数:

$$\xi_i(k) = \frac{\Delta \min |X_0(k) - X_i(k)| + \rho \cdot \Delta \max |X_0(k) - X_i(k)|}{|X_0(k) - X_i(k)| + \rho \cdot \Delta \max |X_0(k) - X_i(k)|}$$

式中 ρ 为分辨系数, 在(0,1)内取值, 若 ρ 越小, 则关联系数间差异越大, 区分能力越强, 通常 ρ 取 0.5。可得表 7:

Table 7. Correlation coefficient calculation result

表 7. 关联度系数计算结果

ξ_1	ξ_2	ξ_3	ξ_4
1.0000	0.5555	0.5695	0.5260
1.0000	0.4500	0.5354	0.4681
1.0000	0.6454	0.4734	0.5629
1.0000	0.6052	0.6228	0.6087
1.0000	0.4510	0.5215	0.4580
1.0000	0.8772	0.7715	0.5447
1.0000	0.3333	0.4763	0.3795

根据关联度系数, 分别计算各个参量的关联度(r):

$$r_1 = (1 + 0.5555 + 0.5695 + 0.5260) / 4 = 0.6627$$

$$r_2 = (1 + 0.4500 + 0.5354 + 0.4681) / 4 = 0.6134$$

$$r_3 = (1 + 0.6454 + 0.4734 + 0.5629) / 4 = 0.6704$$

$$r_4 = (1 + 0.6052 + 0.6228 + 0.6087) / 4 = 0.7092$$

$$r_5 = (1 + 0.4510 + 0.5215 + 0.4580) / 4 = 0.6076$$

$$r_6 = (1 + 0.8772 + 0.7715 + 0.5447) / 4 = 0.7984$$

$$r_7 = (1 + 0.3333 + 0.4763 + 0.3795) / 4 = 0.5473$$

可得各个参量之间的灰色关联度, 见表 8:

Table 8. Grey correlation degree of each parameter

表 8. 各参量灰色关联度

面平均降温 幅度/°C	最大降温 幅度/°C	24 h 最大降温 面积/km ²	24 h 最大降温 幅度/°C	最低日平均 气温/°C	最低日平均气温 达到 0°C 面积/km ²	方差
0.6627	0.6134	0.6704	0.7092	0.6076	0.7984	0.5473

计算各个参量的权重(a 、 b 、 c 、 d 、 e 、 f 、 g 为参量):

$$\text{权重}_a = \frac{a}{a+b+c+d+e+f+g}$$

可得各个参量在灾害过程中所占权重, 见表 9:

Table 9. The weight of the parameter

表 9. 参量所占权重

面平均降温 幅度/°C	最大降温 幅度/°C	24 h 最大降温 面积/km ²	24 h 最大降温 幅度/°C	最低日平均 气温/°C	最低日平均气温 达到 0°C 面积/km ²	方差
0.1438	0.1331	0.1455	0.1539	0.1318	0.1732	0.1187

进行致灾指数(I)的计算(设 R 为参量, Q 为参量权重), 即:

$$I = R_1 * Q_1 + R_2 * Q_2 + R_3 * Q_3 + R_4 * Q_4 + R_5 * Q_5 + R_6 * Q_6 + R_7 * Q_7$$

Table 10. Disaster index

表 10. 个例致灾指数

个例	个例 1	个例 2	个例 3	个例 4
致灾指数 I	85,340.92	123,792.40	34,766.92	68,886.54

由表 10 可知, 4 个个例中, 个例 2 致灾指数最大, 即致灾能力最强, 个例 3 致灾指数最小, 即致灾能力最弱。

6. 结论

本文利用 4123 个自动观测站及加密自动观测站的气象数据, 根据熵最大原理, 以降温 2°C 为边界统计 4 个寒潮灾害个例发生时的降温面积, 并统计面平均降温幅度、最大过程降温幅度、24 h 最大降温面积、24 h 最大降温幅度、日平均气温低于 0°C 面积、最低日平均气温、方差 7 个参量, 拟合出寒潮灾害分布函数, 即四川省寒潮灾害整体呈现出 Gamma 分布, 并可通过 t 检验。拟合函数结果如表 11。

Table 11. Fitting results of cold wave disaster distribution function**表 11.** 寒潮灾害分布函数拟合结果

个例	分布函数
个例 1	$f(x) = (0.36)^2 (x-2)e^{-0.36(x-2)}$
个例 2	$f(x) = (0.29)^2 (x-2)e^{-0.29(x-2)}$
个例 3	$f(x) = (0.44)^2 (x-2)e^{-0.42(x-2)}$
个例 4	$f(x) = (0.32)^2 (x-2)e^{-0.32(x-2)}$

上述寒潮强度分布律可表征四川省 4 个寒潮灾害个例发生时的能量释放情况, 及寒潮强度分布律。根据灰色关联度法, 计算 7 个参量之间的关联度以及权重, 最终得出 4 个个例的致灾指数, 见表 12:

Table 12. Disaster index comparison**表 12.** 致灾指数对比

个例	个例 1	个例 2	个例 3	个例 4
致灾指数 I	85,340.92	123,792.40	34,766.92	68,886.54

由上表可知寒潮个例 2 的致灾指数最大, 即致灾能力最强, 寒潮个例 3 的致灾指数最小, 即致灾能力最弱。其中, 寒潮个例 2 的面平均降温, 即 \bar{T}_2 最大, 日平均气温低于 0°C 面积最大, 降温幅度 $\geq 6^\circ\text{C}$ 覆盖面积最大, 且总体经济损失最大, 故个例 2 致灾能力为 4 个个例中最强, 致灾指数符合预期。

灾害性天气的致灾能力评估, 是指导精准防灾减灾的重要科学技术手段, 相较于过去对于寒潮灾害过程只采用降温幅度、站数进行描述, 此次研究统计了寒潮灾害天气过程的 7 个参量, 根据熵最大原理, 以及灰色关联度法, 对寒潮灾害天气进行致灾指数计算, 得出寒潮灾害评估模型, 其表述更为客观、全面, 是对寒潮灾害致灾能力评估方法的一次探索和延展。

参考文献

- [1] 张学文, 马力. 熵气象学简介[J]. 气象, 1995(1): 52-56.
- [2] 刘小艳, 孙娴, 杜继稳. 气象灾害风险评估研究进展[J]. 江西农业学报, 2009, 21(8): 123-125.
- [3] 郭进修, 李泽椿. 我国气象灾害的分类与防灾减灾对策[J]. 灾害学, 2005(4): 106-110.
- [4] 汤伏全, 李庚新. 区域性夏季平均气温空间插值方法比较[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(8): 191-194+206.
- [5] 刘伟东, 扈海波, 程丛兰. 灰色关联度方法在大风和暴雨灾害损失评估中的应用[J]. 气象科技, 2007(4): 563-566.