

Study on the Disaster Causing Capacity of Rainstorm in Sichuan Province Based on the Principle of Maximum Entropy

Tingxiao Yang¹, Meng Yuan^{2*}, Li Ma³

¹Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan

²Sichuan Meteorological Service Center, Sichuan Rural Economy Comprehensive Information Center, Sichuan Province Key Laboratory of Plateau and Basin Storm and Drought/Waterlogging Disasters, Chengdu Sichuan

³Sichuan Meteorological Bureau

Email: aringy1997@163.com, *nikki147@163.com

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

Abstract

Based on the principle of maximum entropy and the distribution law of meteorological elements derived from it, this paper selects the duration of a rainstorm process, the total area of the area with precipitation greater than 25 mm, the area rainfall and the average intensity as the meteorological evaluation elements, the calculated rainstorm disaster causing capacity index used the weight coefficient calculated by the correlations between meteorological elements of several regional rainstorms in Sichuan Province from 2017 to 2019 and their corresponding disaster losses, and the index could be used to measure a disaster-causing capacity of a rainstorm process. It is found that this index can well reflect the disaster causing ability of a rainstorm disaster by using a rainstorm process test with large disaster loss. It can be used to measure the disaster causing ability of Rainstorm in Sichuan Province, help to explain the rainstorm disaster intensity clearly and objectively from the meteorological point of view, so as to help the follow-up work carry out accurately and efficiently.

Keywords

Rainstorm Disaster, Maximum Entropy Principle, Disaster Assessment

基于最大熵原理的四川省暴雨致灾能力研究

杨庭潇¹, 袁梦^{2*}, 马力³

¹成都信息工程大学, 四川 成都

²四川省气象服务中心, 四川省农村经济综合信息中心, 高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室, 四川 成都

*通讯作者。

³四川省气象局, 四川 成都

Email: aringy1997@163.com, *nikki147@163.com

收稿日期: 2020年7月6日; 录用日期: 2020年7月20日; 发布日期: 2020年7月27日

摘要

本文运用最大熵原理及其所推导得出的气象要素分布规律, 选取一次暴雨过程的持续时间、降水量大于25毫米区域总面积、面雨量、平均强度作为气象评估要素, 使用四川省2017~2019年数次区域性暴雨的气象要素与其相应的灾害损失的关联度所计算出的权重系数计算出暴雨致灾能力指数以衡量一次暴雨过程的致灾能力大小。利用一次有较大灾害损失的暴雨过程检验发现, 此指数能很好的反映出一次暴雨灾害的致灾能力情况, 可用此指数衡量四川省暴雨致灾能力大小, 帮助清晰客观的从气象角度定量的说明暴雨灾害强度情况, 以助于后续灾后工作精准高效进行。

关键词

暴雨灾害, 最大熵原理, 灾害评估

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

我国位于世界两大自然灾害带上, 各种自然灾害频发, 其中包括地质灾害和气象灾害。目前对于地质灾害的研究较为成熟, 有清晰的能量指标对其强度进行评估, 而气象灾害方面研究较之更不成熟, 因为气象灾害更为丰富的种类和复杂的触发机制, 暂无相应的可以清晰客观对灾害强度进行定量说明的成熟评估模型。四川省位于我国西南内地, 受高原涡和季风影响夏季多暴雨, 制定出四川省暴雨致灾能力指数, 能够从气象角度清晰客观的定量说明一次暴雨过程的灾害强度与影响大小, 能够对于当地下一步防灾减灾研究、暴雨灾害保险产品设计和精准高效的灾后工作起到非常重要的帮助。

文献[1]-[6]中, 过去国内外学者对于气象灾害评估的研究多采用灰色关联度、信息扩散理论、模糊模式识别等方法, 综合气象参数与灾情、易损度等社会经济参数进行评估模式制定。但这些方法没有从气象角度对一次灾害过程的强度进行清晰客观的定量说明, 对后续救灾工作帮助较为模糊。2007年, 陈艳秋等人开始探索仅采用气象要素对暴雨灾害进行评估, 认为此方法能快速有效的对暴雨灾害进行预评估和灾后速评估, 以辽宁区域的暴雨灾害为研究对象, 他们选取了平均降水量、降水强度、覆盖范围三个指标, 并根据距离函数建立评估模型, 结果检验对辽宁暴雨适用度高, 并提高了辽宁暴雨的灾后处置工作效率[7]。此后有少数学者延续此思路, 对当地暴雨灾害制定相应的评估模式[8]。此外, 也有不少学者对暴雨的强度综合评估进行研究, 如2014年邹燕等学者对福建区域暴雨进行了综合强度定量评估研究, 但这些研究很少结合暴雨的灾害损失, 多注重于暴雨的时空特征与形成机制, 对暴雨的致灾能力情况没有做出能定量说明的指标[9][10]。

世间万物所呈现的最终形态皆符合最大熵原理, 即为熵最大、出现概率最大时的状态。气象中的各种现象也如此, 例如天气系统如何将一定量的雨量随机的洒在一定区域内也是遵循最大熵原理。且根据

最大熵原理, 当熵达最大时所构成系统的微粒所具有的能量可以呈现出一定的分布规律。最大熵原理是普遍适用原理, 对每次降水过程均适用, 故可根据最大熵原理利用较少的个例来得到更为通用的暴雨灾害评估模式[11]。本文运用最大熵原理, 根据其所推导得出的降水强度与持续时间的分布规律, 在对暴雨评估的气象要素选取上进行了进一步改良, 选取了熵气象学中能更好反映一次暴雨过程情况的持续时间、降水大于 25 毫米覆盖面积、面雨量、平均雨强四个要素, 通过对四川省 2017~2019 年的十次影响大小各不相同的区域性暴雨参数进行灾情数据相关度计算得到权重系数用于暴雨致灾能力指数后, 通过一次产生较大灾害影响的暴雨过程检验所定义的暴雨致灾能力指数, 能够很好的反映出这次暴雨过程的强度。

2. 资料与方法

2.1. 研究资料

四川省对区域暴雨的定义为四个市州所在地的国家站 24 小时降雨量大于 50 毫米的过程。本文所用气象资料为四川省气象中心的全省 4123 个加密自动站 2017~2019 年的逐小时降水观测资料, 并选取其中十次符合四川省区域暴雨定义的过程时段数据与造成重大伤亡和经济损失的 820 汶川泥石流对应的 2019 年 8 月 19 至 8 月 22 日区域暴雨时段数据。本文分析所使用灾情数据来源于四川省气象台决策服务中心的每日灾情统计数据。

2.2. 参数说明

本文对资料中数次暴雨过程选取其中累积降水大于 25 毫米的站点, 计算过程的持续时间、降水大于 25 毫米的覆盖总面积、面雨量、平均雨强。其中持续时间为过程开始到结束降水持续时间最长站点的持续时间, 过程开始时间为该站在过程中第一次出现降水的时间, 过程结束时间为该站在过程中最后一次出现降水的时间, 过程中没有降水的时刻忽略不考虑, 使持续时间为单纯的该站点起始时刻之间时差。本文所用资料为站点资料, 每个站点代表的面积范围各不相同, 故将其进行网格插值后计算出各累积雨量的覆盖面积后, 累积降水量从 25 毫米起每 25 毫米划分一个等级, 利用公式 $\bar{R} = \frac{\sum_1 r_i \times s_i}{s}$ (r_i 为该等级累积降水量平均值, $r_1 = 37.5$; s_i 为该等级区间对应的覆盖面积; s 为降水大于 25 毫米的所有覆盖面积) 计算所得即为面雨量, 也就是一次天气过程中总降水量按最混乱的方式洒在各点的分布方式。站点数据插值后, 所有大于 25 毫米的范围面积相加即为降水大于 25 毫米的覆盖总面积。张学文、马力等学者在过去已用最大熵原理方法对降水与其持续时间关系进行分析总结, 发现降水强度与其降水时间呈负指数关系, 而与时间的对数呈线性关系[12], 故选取小时雨强与其降水时间的对数的线性拟合的斜率的倒数 k , 即为过程雨量最大点的过程平均雨强作为反映过程平均雨强情况的要素。

2.3. 致灾能力指数定义

本文定义致灾能力指数为 I , $I = R_1 \times Q_1 + R_2 \times Q_2 + R_3 \times Q_3 + R_4 \times Q_4$ (Q_1 、 Q_2 、 Q_3 、 Q_4 为无量纲标准化后的一次过程的持续时间、降水量大于 25 毫米的总面积、面雨量、平均雨强四个评估要素, R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 为多个例四个要素和灾害损失求关联度后使用关联度计算的权重系数)。其中无量纲标准化使用方法为 z-score 标准化法, 关联度计算使用序列关联度方法, 权重系数计算使用常用的比例系数计算方法。

3. 致灾能力指数计算和检验

3.1. 致灾能力指数计算

四川省多山地, 山区夏季强降水往往会造成泥石流等次生灾害, 对当地居民带来财产损失和人身危险。了解一次暴雨过程的致灾能力不仅可以帮助山区在以后灾前及时做出预警, 也可以更好的对灾后救

助工作提供清晰帮助，尽可能减少灾害带来的各项损失。

根据最大熵原理的基本原理，一次降水过程的降水量与面积分布是随机的，假设雨以最随机的方式洒在该区域内，则区域内每个雨量筒里所收集的降水量都有所不同，而雨量恰为某一特定值的可能性取决于区域内为该降水量的面积总和，面积越大概率越大。由此可以建立一个概率分布函数，再依据熵应是最大，可推导得出降水强度与时间应是呈负指数关系，而与时间的对数则为线性关系。通过使用上述资料和方法，首先对符合四川省区域暴雨定义的十次过程的降水强度与持续时间的对数拟合，得到降水强度和持续时间对数的线性关系求得它们的斜率 k 作为反映过程平均雨强的要素，例如图 1 所示一次过程中的小时雨强与对应持续时间的对数的线性拟合情况。

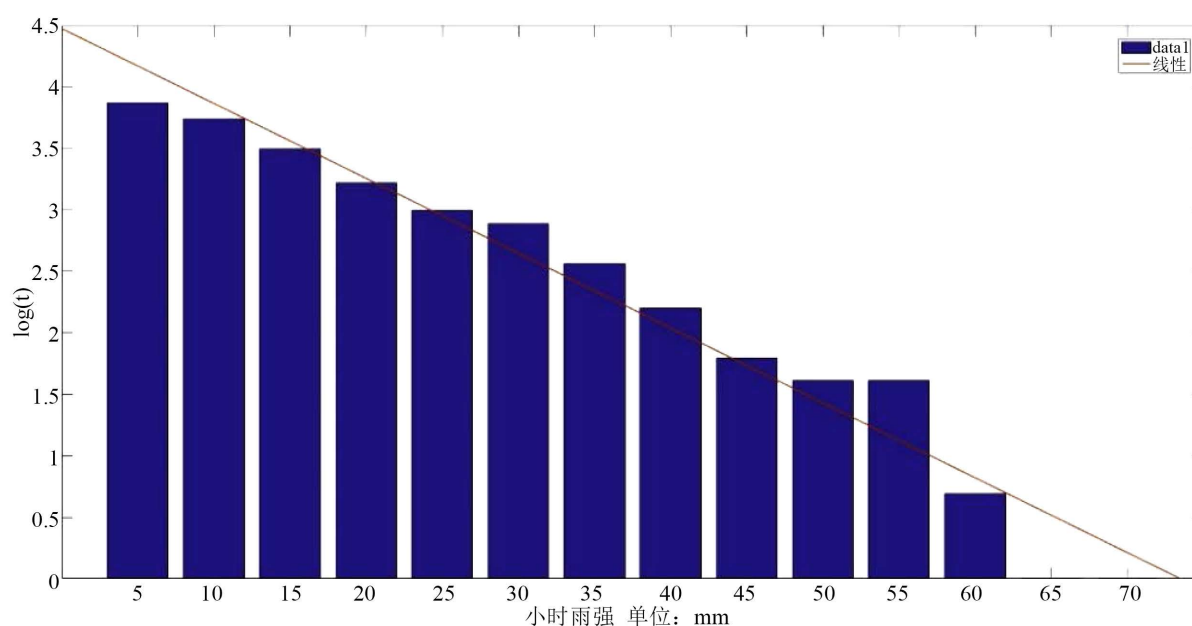


Figure 1. Linear fit of the hourly rain intensity to the logarithm of the corresponding duration

图 1. 小时雨强与对应持续时间的对数的线性拟合

选取资料中符合四川省区域暴雨定义的降水强度和灾害损失情况不同的十次暴雨过程，首先使用上述方法分别计算得到十次暴雨过程的持续时间、降水量大于 25 毫米区域总面积、面雨量、平均强度四个要素，再将其以及过程造成的相应灾害损失均进行标准化处理，得到如表 1 所示几组序列数据。

Table 1. Four elements and disaster loss data after dimensionless normalization of ten selected cases

表 1. 所选十个个例无量纲标准化后四要素及灾害损失数据

| | | | | | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 持续时间 | -0.63 | 0.51 | -0.29 | 0.51 | -0.09 | 0.53 | 0.61 | 0.62 | -0.09 | -0.08 |
| 总面积 | -0.83 | 0.36 | -0.07 | 0.39 | 0.15 | -0.06 | 0.16 | 0.42 | -0.48 | 0.08 |
| 面雨量 | -0.55 | -0.31 | 0.55 | 0.51 | -0.2 | -0.18 | -0.29 | 0.31 | 0.29 | -0.11 |
| 平均雨强 | 0.14 | 0.20 | 0.49 | -0.01 | -0.83 | -0.14 | -0.21 | -0.02 | 0.13 | 0.24 |
| 灾害损失 | -0.45 | 0.24 | -0.24 | 0.75 | -0.35 | 0.19 | -0.28 | 0.17 | -0.41 | 0.31 |

使用标准化后的数据分别计算四个气象要素序列与灾害损失序列的关联度，发现所选用暴雨参数中，持续时间与灾害损失序列关联度最大，达 2.568，面雨量与灾害损失序列的关联度最小，为 1.888，降水大于 25 毫米总面积和平均雨强与灾害损失序列的关联度分别为 2.371 和 2.100，根据序列关联度的定义，

计算所得的序列关联度值越高，参考序列与比较序列之间的关联度越大。再利用所得气象要素与灾害损失的关联度，根据权重系数计算方法得到四个参数的权重系数分别为： $R_1 = 0.2877$ 、 $R_2 = 0.2656$ 、 $R_3 = 0.2115$ 、 $R_4 = 0.2352$ ，则可根据上文提出的暴雨致灾能力指数定义以得到相应的四川省暴雨致灾能力指数为： $I = 0.2877 \times Q_1 + 0.2656 \times Q_2 + 0.2115 \times Q_3 + 0.2352 \times Q_4$ (Q_1 、 Q_2 、 Q_3 、 Q_4 为无量纲标准化后的一次过程的持续时间、降水量大于 25 毫米的总面积、面雨量、平均雨强四个评估要素，无量纲化后值域为[-1, 1])。

将一次暴雨过程无量纲标准化后的四项参数带入所得的暴雨致灾能力指数中计算所得的致灾能力指数能客观清晰的反映一次区域暴雨过程的致灾能力大小，所得指数越大其致灾能力也越大。再将所用数据中四川省 2019 年五次区域暴雨的四项参数经行无量纲标准化处理后，分别计算其平均值，利用所得致灾能力指数公式计算出四川省 2019 年区域暴雨的平均致灾能力指数为 $\bar{I} = -0.023$ 。

3.2. 指数运用检验

2019 年 8 月 19 日至 8 月 22 日，在四川省阿坝州发生了强降水，20 日 0 时至 7 时，汶川县累积降水量达 65 毫米，短时强降水导致 22 个危险山区发出山洪预警。本次暴雨过程导致汶川县多处爆发泥石流灾害，其中三江镇、银杏乡等地灾情较重。暴雨引发的泥石流灾害导致卧龙镇足木山沟自来水厂被冲毁，国道 213、317、350 及漩三公路中断；同时暴雨还导致多处大坝被淹，影响电力输送。本次强降水及其引发的次生灾害导致汶川县全县经济损失达 14 亿多元，强降水发生区域共 3 人受伤，4 人死亡，区域直接经济损失高达 101.5978 亿元。本次过程降水量分布如图 2。

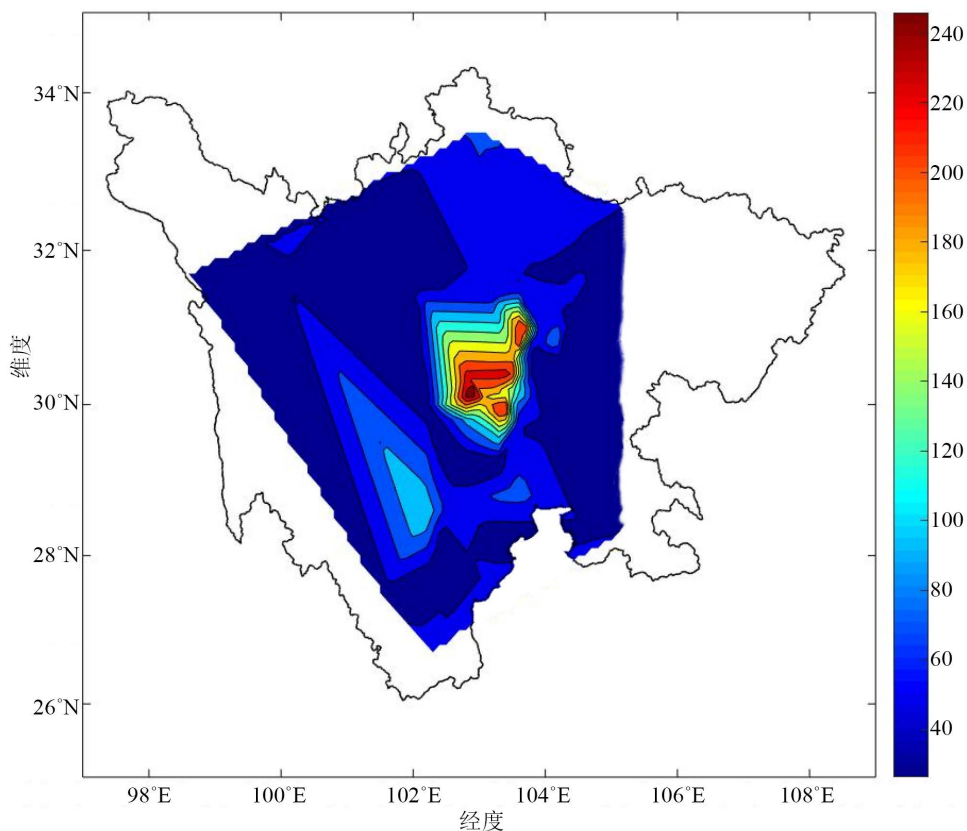


Figure 2. Precipitation distribution from August 19 to August 22

图 2. 8 月 19 日至 8 月 22 日降水量分布

本次过程持续时间高达 94 小时，降水量大于 25 毫米的总面积为 24.64 万平方千米，过程的面雨量为 63.05 毫米，过程小时雨强变化和雨强与对应降水时间的对数的线性拟合如图 3、图 4。本次过程的雨强与对应降水时间的对数的线性拟合斜率的倒数 $k = 2.02$ 。

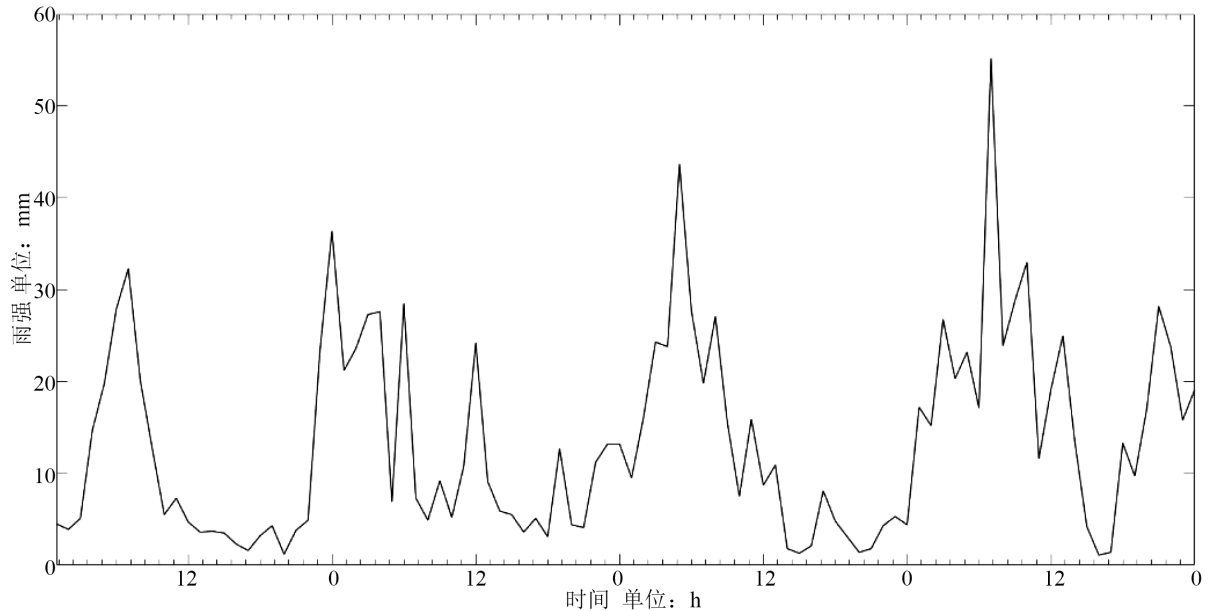


Figure 3. Changes in hourly rain intensity from August 19 to August 22

图 3. 8 月 19 日至 8 月 22 日小时雨强变化

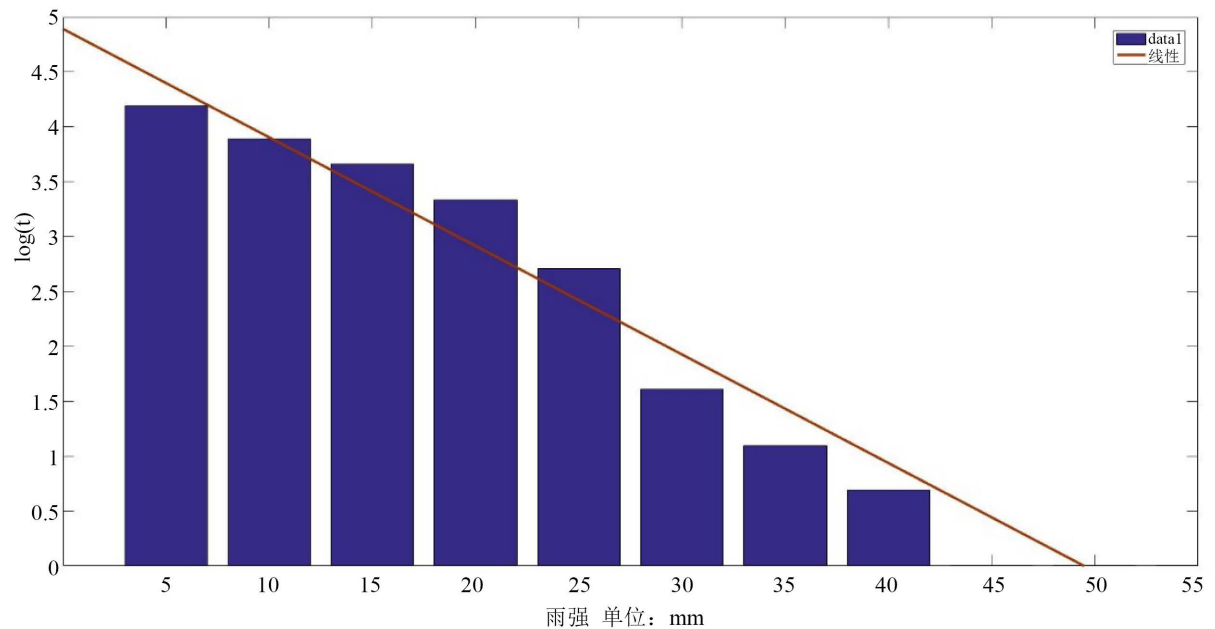


Figure 4. Linear fitting of the logarithm of rainfall intensity and corresponding precipitation time from August 19 to August 20

图 4. 8 月 19 日至 8 月 20 日雨强与对应降水时间的对数的线性拟合情况

本次区域暴雨灾害降水过程的持续时间在 2019 年数次区域暴雨过程中为较长者，且降水量大于 25

毫米的范围面积较大, 面雨量与平均雨强与其他过程相比也较大, 综合本次过程持续时间、降水量大于 25 毫米范围面积、面雨量、平均雨强四项参数, 将其无量纲标准化后得到序列[0.6802 -0.2921 0.24 -0.628] 带入上文所得暴雨致灾能力指数公式后计算得到本次过程的暴雨致灾能力指数为 $I = 0.021$ 。

根据暴雨灾害致灾能力指数定义, 其能客观反映一次区域暴雨过程的致灾能力大小, 所得指数越大表示过程的致灾能力越大所带来的灾害损失相应也会较大, 而本次过程暴雨致灾能力指数与 2019 年四川省数次区域暴雨灾害平均致灾能力指数相比, 本次过程指数远大于平均值 $\bar{I} = -0.023$, 而实际灾害损失数据显示本次暴雨过程所带来的灾害影响也远大于 2019 年其余暴雨过程, 通过与平均值的较大差异, 指数很好的展现出了本次过程强大的致灾能力, 符合过程的实际灾害影响情况。

4. 结论

通过运用最大熵原理对暴雨致灾能力指数的制定与计算, 成功制定出了四川省暴雨致灾能力指数, 经过一次灾害影响较大暴雨过程和平均水平的对比检验发现, 该指数能很好的反映出其强大的致灾能力。综上本文主要得到以下几点主要结论:

1) 运用最大熵原理推导的概率分布规律, 使用暴雨过程的持续时间、降水量大于 25 毫米影响范围面积、面雨量、平均强度四个气象要素能更好的说明暴雨过程的强度情况, 适用于与灾情数据结合制定暴雨致灾能力指数。

2) 一场暴雨过程的参数用制定的暴雨致灾能力指数计算后, 指数越大说明该次过程强度更大, 致灾能力更强, 应对其引起更多重视。通过一次过程的检验发现, 所得暴雨致灾能力指数能很好的反映出一次过程所带来的强大灾害影响。

3) 制定的暴雨致灾能力指数能清晰客观的定量的对四川省的暴雨灾害进行强度说明, 能够清晰的用具体数据对后续灾后系列工作做出客观有用的指示, 提高灾后工作效率, 同时还能够减轻的当地气象服务效益评估和暴雨灾害保险产品难度。

后期指数若要达到大范围使用目标, 须对更大范围更多不同影响大小个例进行权重系数计算, 使不同强度的暴雨灾害可以进行定量比较分析研究, 对于我国大范围防灾减灾工作可以起到较大帮助。

基金项目

中国气象科学研究院基本科研业务项目(2017Z017)。

参考文献

- [1] Shao, M.L., Gong, Z.W. and Xu, X.X. (2014) Risk Assessment of Rainstorm and Flood Disasters in China between 2004 and 2009 Based on Gray Fixed Weight Cluster Analysis. *Natural Hazards*, 71, 1025-1052. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0664-4>
- [2] Thomas, V., Albert, J.R.G. and Hepburn, C. (2014) Contributors to the Frequency of Intense Climate Disasters in Asia-Pacific Countries. *Climate Change*, 126, 381-398. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1232-y>
- [3] 刘伟东, 扈海波, 程从兰, 李青春. 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, 35(4): 563-566.
- [4] 张丽娟, 李文亮, 张冬有. 基于信息扩散理论的气象灾害风险评估方法[J]. 地理科学, 2009, 29(2): 250-254.
- [5] 杨思全, 陈亚宁. 基于模糊识别理论的灾害损失等级划分[J]. 自然灾害学报, 1999, 8(2): 56-61.
- [6] 李万志, 余迪, 冯晓莉, 张调风. 基于风险度的青海省暴雨洪涝灾害风险评估[J]. 冰川冻土, 2019, 41(3): 680-689.
- [7] 陈艳秋, 袁子鹏, 盛永, 戴廷仁. 辽宁暴雨事件影响的预评估和灾后速评估[J]. 气象科学, 2007, 27(6): 626-633.
- [8] 吴振玲, 史得道, 吕江津, 杨煜, 汪靖. 利用欧氏距离函数评估海河流域暴雨灾害[J]. 灾害学, 2012, 27(3): 48-54.
- [9] 邹燕, 叶殿秀, 林毅, 刘爱鸣. 福建区域性暴雨过程综合强度定量化评估方法[J]. 应用气象学报, 2014, 25(3):

360-364.

- [10] 甘薇薇, 范江琳, 肖天贵, 敬枫蓉, 詹兆渝, 汪丽. 四川省暴雨过程综合评估模型的研究及建立[J]. 冰川冻土, 2017, 39(6): 1316-1343.
- [11] 张学文, 马淑红, 马力. 从熵原理得出的雨量时程方程[J]. 大气科学, 1991, 15(6): 14-23.
- [12] 马力, 张学文. 最大熵原理与概率分布函数[J]. 数理统计与应用概率, 1993, 8(4): 78-84.