

基于 GIS 的云南省 1km 精细化暴雨灾害风险评估

胡颖^{1,2} 殷娴² 陈剑桥¹ 袁华^{1*} 段志方¹

(1 中山大学大气科学学院, 珠海 519082; 2 云南省气象灾害防御技术中心, 昆明 650034)

摘要 为了加强暴雨相关的防灾减灾工作的科学性, 本文基于云南省 126 个国家气象站 2010—2019 年 10 年的逐时降水资料 and 基础地理信息数据, 从暴雨灾害致灾因子危险性、孕灾环境敏感性和承灾体易损性 3 个方面, 建立暴雨灾害风险评估模型, 利用熵值法、自然断点法、ArcGIS 插值和栅格分析方法, 实现云南省暴雨灾害风险的区划评估。结果显示: ①暴雨灾害高风险区主要集中于云南南部, 包括西双版纳州、普洱市、红河南部、德宏州及北部地区; ②迪庆州、怒江州、丽江市北部等地暴雨灾害风险等级较低; ③全省暴雨灾害高风险区、次高风险区面积占比分别为 7.05%、25.22%, 低风险区、次低风险区面积占比分别为 10.32%、21.86%。使用 2020 年暴雨灾害次数、暴雨日对区划评估结果进行检验表明, 区划评估结果具有科学合理性。

关键词 暴雨灾害; 风险评估; ArcGIS; 熵值法; 相关性分析

中图分类号: P49 **DOI:** 10.19517/j.1671-6345.20210513 **文献标识码:** A

引言

气象上将 24 h 降水量大于 50 mm 以上的降雨定义为暴雨^[1]。暴雨灾害是云南省最主要的气象灾害之一, 具有普遍性、季节性、区域性和交替性的特点^[2], 历史上常年都有暴雨事件发生^[3], 造成洪涝、山体滑坡、泥石流等次生灾害^[4]。马志敏等^[5]指出, 云南省暴雨具有典型的地域特征, 来势猛、强度大、历时短、局地性强。许美玲等^[6]通过分析云南 4 次特大暴雨的成因, 指出云南地形复杂, 地形抬升作用容易形成强对流和暴雨, “喇叭口”等地形会使气流辐合上升, 可引发特大暴雨发生。武敬峰等^[7]、吴丽姬等^[8]针对暴雨都进行了单次过程或多次过程的暴雨成因过程诊断分析或暴雨分型, 指出了各天气系统和动力条件下暴雨发生的条件和可能性。马志敏等^[9]通过对丽江市华坪县的一次特大暴雨过程的水汽条件进行详细分析, 指出在一定水汽条件下局地暴雨的发生取决于当地的热力条件和动力抬升机制。李强等^[10]通过对重庆地区暴雨空间分布及分时雨量进行研究, 得出了重庆地区暴雨时空分布规

律。虽然关于暴雨及其灾害研究已有不少成果, 但云南省系统地开展暴雨灾害风险评估的研究较少, 为了有效规避风险、合理利用救灾资源、布局防洪物资和救援力量等, 开展暴雨灾害风险评估是非常有必要的。

田红等^[11]研究气象灾害风险评估方法, 主要考虑致灾因子危险性、孕灾环境敏感性和承灾体易损性 3 个方面。近年来, 随着 GIS 技术和测绘技术的应用和提高, 气象灾害风险评估更为准确合理, 也更加精细化。轩春怡等^[12]利用基础地理信息、晴空遥感影像等完成了北京市 1 km 网格的暴雨洪涝灾害风险区划。杨忠恩等^[13]利用 GIS 和层次分析法完成了浙江省高速公路大雾灾害风险区划, 对沿线城市开展大雾灾害防御工作提供了较好的参考依据。梁凤娟等^[14]、梁玉莲等^[15]、田艳婷等^[16]也利用 GIS 技术完成了内蒙古雪灾风险区划、南宁市暴雨洪涝灾害风险评估与区划、河北省雷电灾害易损性综合评估与区划, 但针对全云南省的精细化暴雨灾害风险评估尚未见报道。借鉴前人的研究方法和经验, 本文综合考虑了暴雨日最大小时降水量、暴雨日累

<http://www.qxkj.net.cn> 气象科技

云南省气象局自筹科研项目“云南省气象防灾减灾地图集编制与应用研究”(YZ202110)资助

作者简介: 胡颖, 女, 1990 年生, 研究方向为气象灾害风险评估、气象灾害风险区划等, Email: 271847796@qq.com

收稿日期: 2021 年 11 月 22 日; 定稿日期: 2022 年 7 月 19 日

* 通信作者, Email: yuanyh25@mail.sysu.edu.cn

积降水量、暴雨日降水 ≥ 16 mm 小时数、暴雨日数、河网密度、海拔高度、地形标准差、地质灾害点密度、地质灾害点等级、人口密度、土地利用类型、河网密度等12个因子,利用ArcGIS软件和数学分析工具,进行了精度为1 km的云南省暴雨灾害风险评估。

1 资料及来源

1.1 气象资料

采用云南省126个国家气象站2010—2019年10年的逐时降水资料,筛选了2413个暴雨日过程,统计每个暴雨过程的最大小时降水量、累积降水量及小时降水量 ≥ 16 mm 小时数。降水资料来源于云南省气象信息中心。

1.2 地理信息数据

采用云南省1:250000地理信息边界数据、河网数据和道路数据,地形数据及土地利用类型数据来源于中国科学院地理科学与资源研究所(<https://www.resdc.cn/data.aspx?DATAID=335>);社会经济数据来源于“全球变化科学研究数据出版系统”(<http://www.geodoi.ac.cn/WebCn/doi.aspx?Id=131>);地质灾害点数据来源于云南省气象局统计的云南省地质灾害群测群防点基本信息表(2020)。

1.3 暴雨灾情资料

采用云南省暴雨灾害资料,包括了暴雨灾害发生的时间、造成人员伤亡人数、经济损失等信息,资料来源为中国气象局气象灾害管理系统及中国气象灾害年鉴(2019)^[17]。

2 分析方法

2.1 数据无量纲化

由于各项指标的大小及单位均不同,在确定与致灾因子危险性、孕灾环境敏感性和承灾体易损性相对应的指标时,为了消除各指标的量纲和大小差异,需对每一个指标值进行无量纲化处理^[18]。数据无量纲化的处理方法为生成标准化矩阵 $\mathbf{R} = (r_{ij})_{m \times n}$,其中,对于大值为优的参数:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_{1 \leq j \leq n} x_{ij}}{\max_{1 \leq j \leq n} x_{ij} - \min_{1 \leq j \leq n} x_{ij}} \quad (1)$$

对于小值为优的参数:

$$r_{ij} = \frac{\max_{1 \leq j \leq n} x_{ij} - x_{ij}}{\max_{1 \leq j \leq n} x_{ij} - \min_{1 \leq j \leq n} x_{ij}} \quad (2)$$

式中, r_{ij} 为无量纲化后的参数, n 为元素个数, x_{ij} 为标准化矩阵 $\mathbf{R} = (r_{ij})_{m \times n}$ 中的元素, $\min_{1 \leq j \leq n} x_{ij}$ 为矩阵元素中的最小值, $\max_{1 \leq j \leq n} x_{ij}$ 为矩阵元素中的最大值。

2.2 熵值法加权

熵值法加权的原理为:假设有 m 个评价指标, n 个评价样本,形成原始数据矩阵 $\mathbf{X} = (x_{ij})_{m \times n}$,对于第 i 个指标中的某项参数值 x_i ,其在第 j 个样本中的参数值 x_{ij} 的差异越大,则该指标在综合评价中所起的作用越大。若某个指标中的参数值全部相等,则该指标在综合评价中几乎不起作用^[19]。

熵值法加权计算步骤:先计算第 i 个指标的特征

$$\text{比重 } p_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{j=1}^n r_{ij}}; \text{ 然后计算熵值 } e_i = -k \sum_{j=1}^n p_{ij} \ln p_{ij}$$

(式中 $k = 1/\ln n$);定义差异系数 $g_i = 1 - e_i$, g_i 越大则该指标的作用越大,当 x_{ij} 全部相等时, $e_i = 1$,此时对于样本间的比较,指标 x_i 毫无作用,最后计算

$$\text{权重 } w_i = \frac{g_i}{\sum_{i=1}^m g_i}。$$

用熵值法分别计算表征暴雨灾害致灾因子危险性、孕灾环境敏感性及承灾体易损性中各项指标的权重。用无量纲化后的指标值乘以各自权重再相加,得到致灾因子危险性、孕灾环境敏感性和承灾体易损性的综合指标;再用ArcGIS栅格计算器生成致灾危险性、孕灾环境敏感性、承灾体易损性及暴雨灾害综合评估图层。

2.3 自然断点法

ArcGIS软件是美国环境系统研究所公司(ESRI)开发的一款地理信息系统软件,可以对空间数据进行采集、输入、编辑、储存,并完成气象数据的分析、可视化和出图^[20]。用ArcGIS中的栅格计算器将危险性(致灾因子)、敏感性(孕灾环境)、易损性(承灾体)3个因子层进行加权叠加后得到全省暴雨灾害风险指数值。采用ArcGIS中自带的自然断点法(Natural Breaks)进行分级,其原理与聚类分析法类似,是根据数据序列本身的统计规律,按要求设定等级断点的个数,使同一等级内方差最小,不同等级间方差最大的最优化数据分组方法。自然断点法的计算方法为:

$$D_{i-j} = \sum_{k=1}^j A[k]^2 - \frac{(\sum_{k=1}^j A[k])^2}{j-i+1} \quad (1 \leq i < j \leq N) \quad (3)$$

式中, i 表示某一等级内有 i 个元素, j 表示另一等级内有 j 个元素, D_{i-j} 表示不同等级间方差; A 表示长度为 N 的数组, k 为 i 和 j 中间的数, 表示 A 组中的第 k 个元素。

设高危险、次高危险、中等危险、次低危险和低危险等级的格点个数分别为 a 、 b 、 c 、 d 、 e , 各等级内的方差分别为 D_a 、 D_b 、 D_c 、 D_d 和 D_e , 则各等级划分标准如表 1 所示。

表 1 自然断点法划分等级标准

等级	等级名称	划分标准
1	高危险区	$D_a \leq D_a + 1$ 且 $ D_a - D_b > D_a + 1 - D_b - 1 $
2	次高危险区	$D_b \leq D_b + 1$ 且 $ D_b - D_c > D_b + 1 - D_c - 1 $
3	中等危险区	$D_c \leq D_c + 1$ 且 $ D_c - D_d > D_c + 1 - D_d - 1 $
4	次低危险区	$D_d \leq D_d + 1$ 且 $ D_d - D_e > D_d + 1 - D_e - 1 $
5	低危险区	$D_e \leq D_e + 1$

2.4 相关分析

在验证最终暴雨灾害风险评估结果时, 分别采用 2020 年暴雨灾害资料及 2020 年暴雨日数与评估结果做相关性分析, 采用皮尔森相关系数法进行计算, 根据统计学中大样本定理, 样本量大于 30 才有统计意义。当样本量较小时, 计算所得相关系数可能会与总体相关系数偏离较大。此时可以计算无偏相关系数加以校正^[21], 无偏相关系数 r^* 的计算公式为:

$$r^* = r \left[1 + \frac{1 - r^2}{2(n - 4)} \right] \quad (4)$$

式中, r^* 为无偏相关系数, r 为皮尔森相关系数, n 为样本个数。

3 暴雨灾害风险评估

根据自然灾害风险形成理论^[22], 气象灾害风险由危险性(致灾因子)、敏感性(孕灾环境)、易损性(承灾体)组成。危险性表示引起灾害的致灾因子强度及概率特征, 是灾害产生的先决条件; 敏感性表示在气候条件相同的情况下, 某个孕灾环境的地理地貌条件与致灾因子配合, 在较大程度上能加剧或减轻气象灾害; 易损性表示承灾体的整个社会经济系统易于遭受灾害威胁和损失的性质和状态。

上述危险性、敏感性和易损性指数考虑的相关

因子如图 1 所示。致灾因子危险性包括暴雨强度和暴雨日数 2 个因子; 孕灾环境敏感性包括河网密度、地形因子和地质灾害危险度 3 个因子; 承灾体易损性包括人口密度、土地利用类型和路网密度 3 个因子。暴雨灾害风险指数 MDRI(M_{DRI}) 评估模型的公式为:

$$M_{DRI} = V_E^{\omega_e} V_H^{\omega_h} V_S^{\omega_s} \quad (5)$$

式中, M_{DRI} 为暴雨灾害风险指数, 其值越大, 则暴雨灾害风险程度越大; V_E 、 V_H 、 V_S 表示暴雨致灾危险性、承灾体暴露度、承灾体脆弱性的指数; ω_e 、 ω_h 、 ω_s 分别为 3 个综合评价指标的权重; 本文采用熵值法加权来确定各评价因子的权重。

最后根据评估区域灾害风险指数 MDRI 的大小, 利用 ArcGIS 自然断点法, 将区域暴雨灾害风险等级划分为高风险区、次高风险区、中等风险区、次低风险区、低风险区。

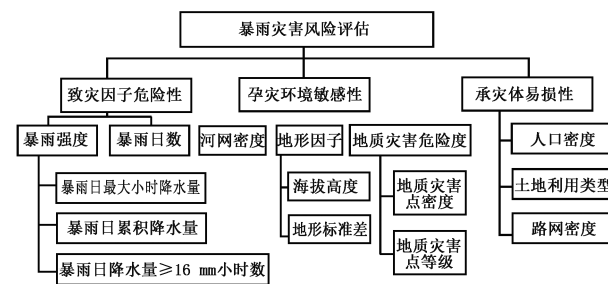


图 1 暴雨灾害风险评估结果模型

3.1 致灾因子危险性评估

暴雨灾害的致灾因子危险性与暴雨过程雨量及降雨时长密切相关。本文用暴雨过程强度指数来表征暴雨强度。根据《降水量等级(GB/T 28592—2012)》, 将 1 次降水过程中至少有 1 天的日累积降水量 ≥ 50 mm 定义为 1 次暴雨过程。统计云南 126 个国家站 2010—2019 年逐日降水资料, 筛选暴雨过程及暴雨日。用暴雨日的最大小时降水量(I_{1pre})、累积降水量(I_{pre})、1 h 降水量 ≥ 16 mm 小时数($H_{1pre \geq 16mm}$)这 3 个指标表征每个暴雨日的暴雨强度。将 3 个指标值进行无量纲化处理, 如表 2 所示, 用熵值法计算 3 个指标的权重分别为 0.1886、0.3995、0.4119, 加权合成得到每个暴雨日的暴雨强度。

表 2 暴雨强度各影响因子的权重

指标因子	信息熵值 e	信息效用值 d	权重系数 $w/\%$
暴雨日最大 小时降水量($I_{1\text{pre}}$)	0.9712	0.0288	18.86
暴雨日累积 降水量(I_{pre})	0.9390	0.0610	39.95
暴雨日内 1 h 降水量 ≥ 16 mm 小时数 ($H_{1\text{pre}\geq 16\text{mm}}$)	0.9371	0.0629	41.19

从图 2 可看出,云南省暴雨强度与暴雨日数的空间分布基本一致,二者相关系数达 0.9481,为显著相关($P<0.01$)。从暴雨日数来看,红河州河口、金平两个站 10 年间(2010—2019 年)的暴雨日数都在 70 d 以上,普洱市江城站其次,为 64 d,迪庆州香格里拉站最少,10 年间没有暴雨过程发生。暴雨强度指数最高的为河口站,达 16.61,江城、金平站的暴雨强度都在 10.0 以上。暴雨致灾危险性指数基本呈南高北低的趋势,最高的为河口县和金平县,均在 0.8 以上,最低的为香格里拉和德钦,危险性指数都在 0.02 以下。德宏州、西双版纳州、普洱市西南部、红河州南部、文山州东部、曲靖市罗平县、丽江市华坪县、昭通市盐津县的暴雨致灾因子危险性都较高。此结果与此前解明恩等^[23]和周鹏康等^[24]分析的云南暴雨或短时强降水结果一致。

3.2 孕灾环境敏感性评估

暴雨灾害孕灾环境主要考虑河网密度、地形因子和地质灾害危险度对暴雨灾害形成的综合影响。河网越密集,或距离河流、湖泊、大型水库越近的区域遭受暴雨灾害的风险越大^[25]。河网密度通过云南省基础地理信息河网资料进行线密度计算得到。俞布等^[26]提出,地形因子主要包括海拔高度和地形标准差:地势越低、地形标准差越小的平坦低洼地区不利于积水的排泄,越容易造成暴雨灾害。如表 3 所示,利用自然断点法将海拔高度和地形标准差各分为 5 级并进行赋值,得到每个格点的地形因子对暴雨孕灾环境的影响值。云南地处高原地区,地质灾害频繁发生,本文在孕灾环境中加入了地质灾害危险度因子进行分析。地质灾害危险度是通过将地质灾害害点进行点密度计算,再乘以各自的地质灾害等级所得。

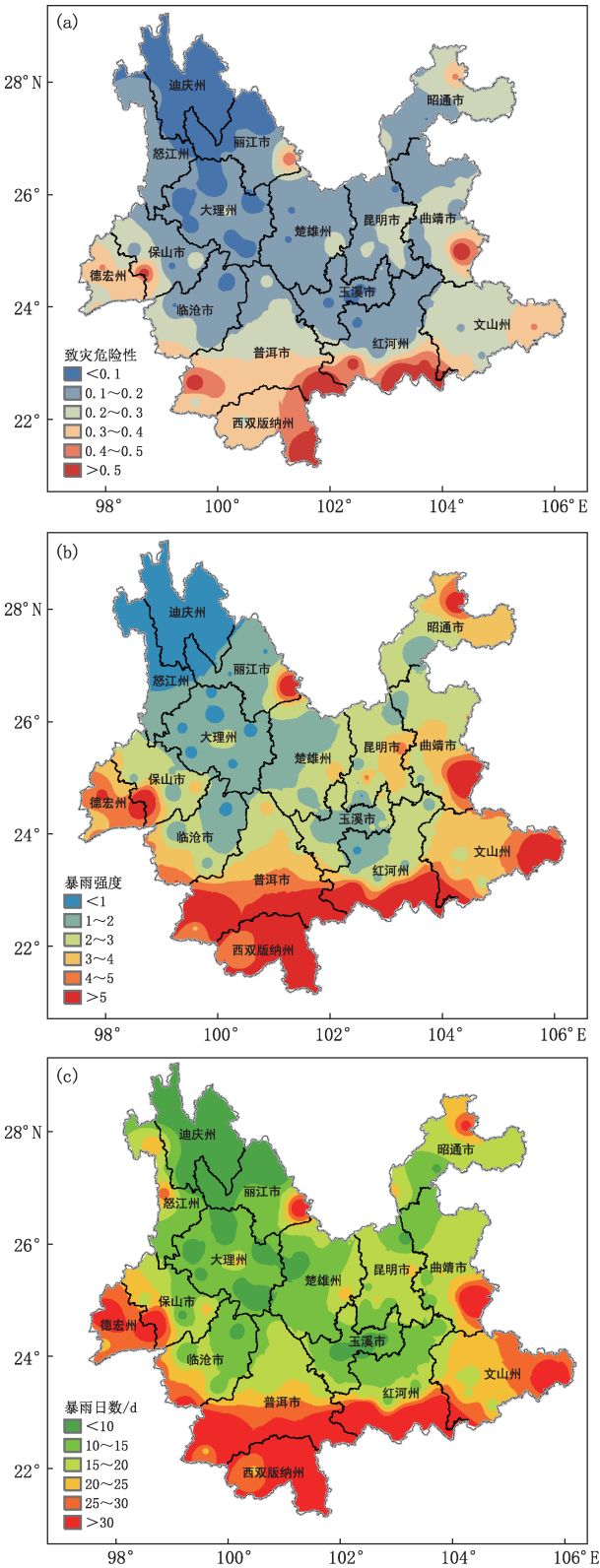


图 2 2010—2019 年云南省暴雨致灾危险性指数(a)及其影响因子暴雨强度指数(b)和暴雨日数(c)的空间分布

表3 综合地形因子赋值表

海拔高度/m	地形标准差				
	高 危险性 (<42)	次高 危险性 ($42\sim76$)	中等 危险性 ($76\sim113$)	次低 危险性 ($113\sim163$)	低 危险性 ($163\sim378$)
高危险性 (<1254)	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5
次高危险性 ($1254\sim1790$)	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4
中等危险性 ($1790\sim2416$)	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3
次低危险性 ($2416\sim3287$)	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2
低危险性 ($3287\sim5790$)	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1

以 $1\text{ km}\times 1\text{ km}$ 为单元统计云南全省共计 342756 个格点的河网密度、地形因子和地质灾害危险度的计算结果,用熵值法计算此 3 个因子的权重分别为 0.2822、0.4010、0.3168,将此 3 个影响因子的值用栅格计算器加权合成得到暴雨孕灾环境敏感性指数(图 3a)。

从图 3 可以看出,迪庆州、怒江州由于海拔高、地形起伏大,平均综合地形因子值较低,为 0.2996 和 0.3255。德宏州、文山州和西双版纳州海拔较低、地势平坦的地区较多,平均综合地形因子都在 0.7 以上,西双版纳最高,为 0.7666。西双版纳州南部、德宏州、丽江市华坪县、昭通市东北部、文山州东部等暴雨易发地区的河网密度也较高,迪庆州和怒江州河网密度较小,均在 0.1 以下。根据地质灾害

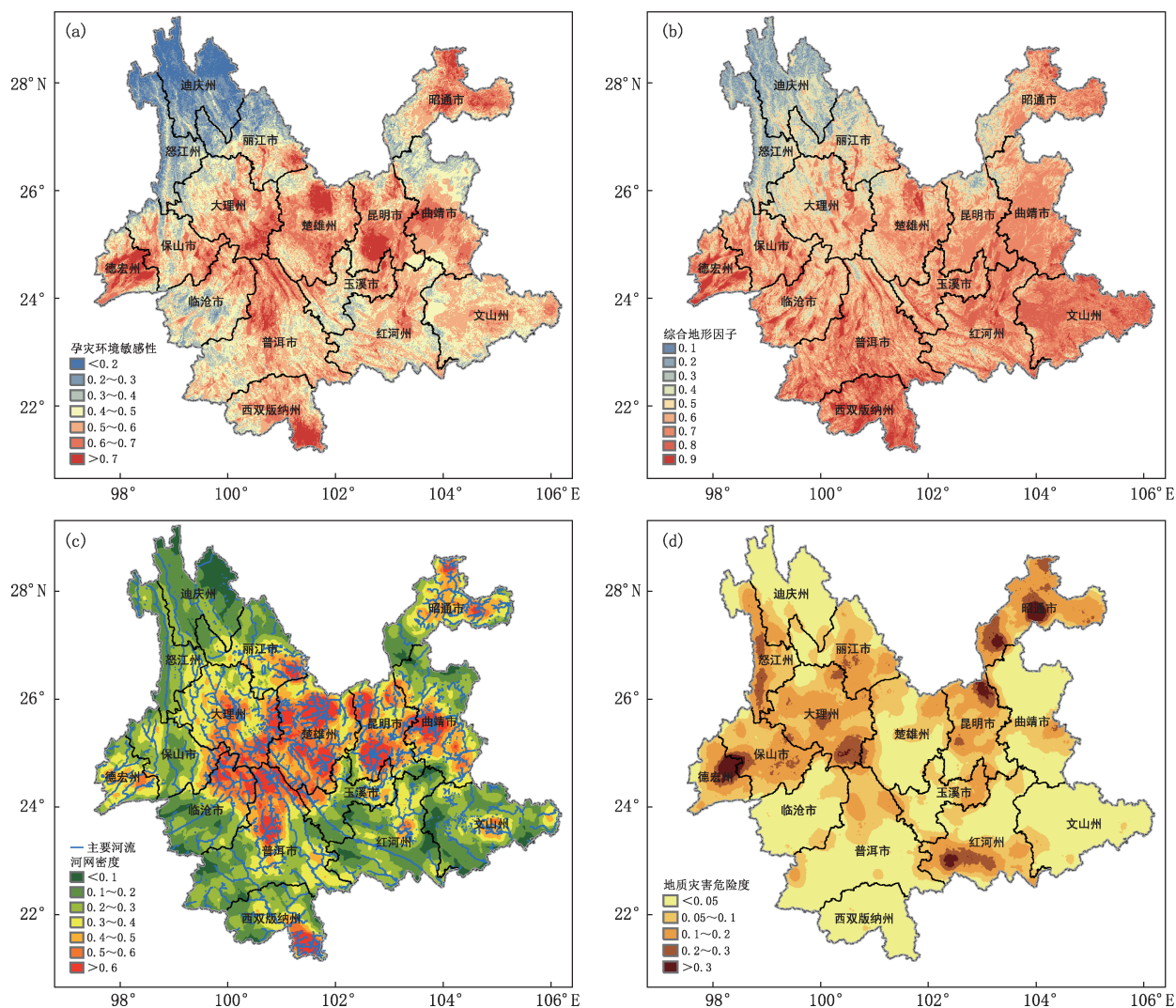


图3 2010—2019年云南省暴雨孕灾环境敏感性指数(a)及其影响因子综合地形因子(b)、河网密度(c)和地质灾害危险度(d)的空间分布

点统计资料所得的计算结果,昭通市中部大关县、昭通市南部巧家县和鲁甸县、德宏州西北部梁河县、怒江州怒江河谷地带、大理州南涧县和弥渡县、昆明市东北部东川区、丽江市和大理市交界、红河州南部绿春县、元阳县的地质灾害密度和危险等级都较高,暴雨来临时易发生山洪泥石流滑坡等次生灾害。

由以上 3 个图层综合所得的暴雨灾害孕灾环境敏感性指数如图 3a 所示,孕灾环境敏感性较高的地区有德宏州、西双版纳州中部及南部、昆明市主城区、曲靖市中部、昭通市东北部、楚雄州北部、红河河谷地区、怒江河谷地区等。

3.3 承灾体易损性评估

用人口密度^[27]、土地利用类型及路网密度表示承灾体的易损性。为了识别不同土地利用类型对暴雨灾害承灾体易损性的影响,需对原始数据进行重新分类赋值,越容易遭遇暴雨灾害的土地利用类型,赋值越大。按不同的土地利用类型进行赋值,其赋值结果如表 4 所示。路网密度通过云南省基础地理信息路网资料进行线密度计算得到。易损性评估因子及结果如图 4 所示。

表 4 土地利用类型赋值表

类型	编号	说明	格点数	赋值
耕地	11	水田	14109	0.5
	12	旱地	45933	0.5
林地	21	有林地	76435	0.1
	22	灌木林	75798	0.1
	23	疏林地	39899	0.1
	24	其它林地	4555	0.1
草地	31	高覆盖度草地	48057	0.2
	32	中覆盖度草地	25983	0.2
	33	低覆盖度草地	2903	0.2
水域	41	河渠	741	1.0
	42	湖泊	1097	1.0
	43	水库坑塘	1356	1.0
	44	永久性冰川雪地	143	0.1
	46	滩地	99	0.5
城乡	51	城镇用地	1418	0.8
	52	农村居民点	1573	0.9
	53	其它建设用地	1280	0.9
其他	64	沼泽地	53	0.1
	65	裸土地	41	0.1
	66	裸岩石质地	1283	0.1

从图 4 可以看出,人口密度较大的地区主要集中在昭通市东部及南部、曲靖市中部、昆明市主城区、玉溪市东部、大理州中部、红河州中部及北部、保山市中部等地区,迪庆州和怒江州的人口密度较小。

土地利用类型赋值较高的地区为昭通市南部、曲靖市中部、昆明市主城区、玉溪市北部、红河州中部及北部、文山州西部、大理州下关市、保山市等地。路网密度高值区主要集中在昆明市、玉溪市、红河州中部、文山州西南部、大理州东南部、丽江市西部、保山市中部及德宏州南部等地区。

由以上 3 个图层综合用熵值法计算 3 个因子的权重分别为 0.3333、0.3333、0.3333,将此 3 个因子的值用栅格计算器加权合成所得的暴雨承灾体易损性指数如图 4a 所示。承灾体易损性较高的地区为昆明市主城区、曲靖市沾益区、昭通市昭阳区、玉溪市红塔区、红河州蒙自市、文山州文山市、西双版纳景洪市、大理州下关市、保山市隆阳区、德宏州盈江县等地区。

3.4 暴雨灾害风险评估

利用 ArcGIS 格点分析软件,分别提取 342756 个格点的致灾因子危险性、孕灾环境敏感性和承灾体易损性的无量纲化值,利用熵值法计算 3 个指标的权重分别为 0.4047、0.3605、0.2348(表 5)。用 ArcGIS 中的栅格计算器将 3 个图层按各自权重计算加权值,利用自然断点法分为五级,按风险值从高到低排序依次为:高风险区、次高风险区、中等风险区、次低风险区、低风险区,得出云南省暴雨灾害综合风险评估(图 5)。

从图 5 中可以看出,暴雨灾害风险最高的区域主要分布于西双版纳州南部的勐腊县南部、景洪市南部、普洱市东南的江城县,德宏州全州,红河州南部河口县、绿春县,昆明市主城区,曲靖市东南部罗平县、丽江市华坪县等地区;暴雨灾害风险评估结果最高值为 0.7142,在河口县南端。保山市东部、普洱市南部、红河州南部、文山州西部、曲靖市中部、楚雄州北部、昭通市北部等区域为次高风险区。中等风险区主要分布于曲靖市中部、昆明市北部、文山州西部、红河州西部、楚雄州南部、普洱市北部、大理市东南部、保山市西部等区域。怒江州、玉溪市大部地区、曲靖市北部、临沧市中部、大理州西北部、丽江市南部基本为次低风险区。迪庆州、丽江市北部为低风险区。计算暴雨灾害各风险等级分区的面积占比(表 6),高风险区占全省面积的 7.05%,次高风险区占 25.22%,面积最多的为中等风险区,面积比重为 35.55%,次低风险区和低风险区的面积比重分别为 21.86%和 10.32%。

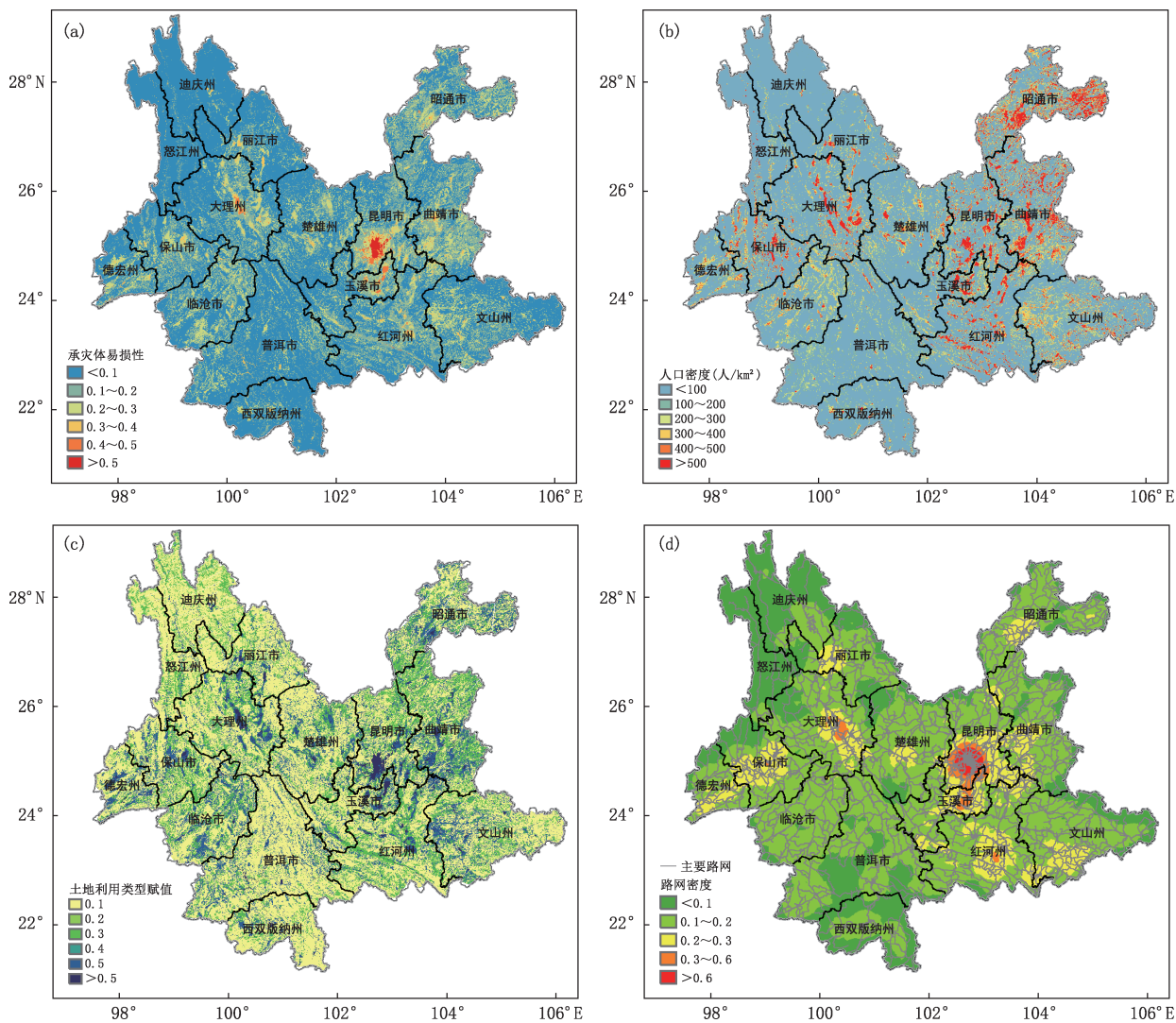


图 4 2010—2019 年云南省暴雨承灾体易损性指数(a)及其影响因子人口密度(b)、土地利用类型赋值(c)和路网密度(d)的空间分布

表 5 云南省暴雨灾害熵值法计算权重结果

指标	信息熵值 e	信息效用值 d	权重系数 $w/\%$
致灾因子危险性	0.9295	0.0705	40.47
孕灾环境敏感性	0.9372	0.0628	36.05
承灾体易损性	0.9591	0.0409	23.48

表 6 云南省暴雨灾害各风险等级分区的面积占比

风险区	高风险区	次高风险区	中等风险区	次低风险区	低风险区
格点数	24180	86450	121851	74913	35362
占比/%	7.05	25.22	35.55	21.86	10.32

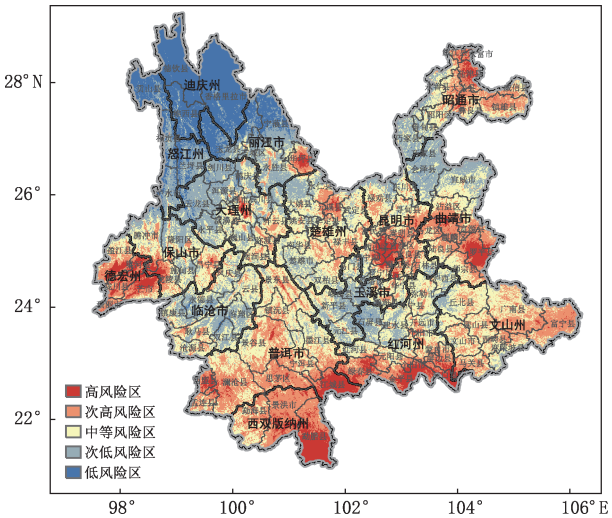


图 5 云南省暴雨灾害综合风险评估区划

4 评估结果检验

用云南省16个州市2020年暴雨灾害次数分布与评估结果进行对比,验证评估结果与成灾结果的相关性(图6)。其中,横坐标暴雨灾害综合风险值是利用GIS统计了每一个州市的评估结果总栅格数值的平均值,纵坐标是各州市2020年暴雨灾害次数的累积值。同时,由于灾害资料统计的局限性,为验证评估结果实用性,将各州市的暴雨灾害风险评估结果值与2020年各州市暴雨日数做相关性分析,

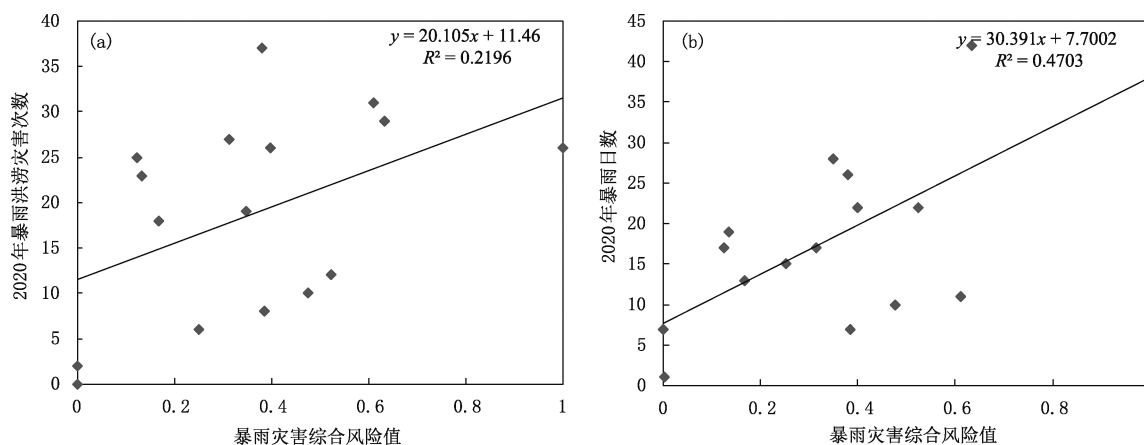


图6 2020年云南省各州市暴雨洪涝灾害次数(a)及2020年各州市暴雨日数(b)与暴雨灾害风险值相关性

5 结论与讨论

利用云南省126个国家气象站2010—2019年10年的逐时降水资料及基础地理信息数据资料,从暴雨灾害致灾因子危险性、孕灾环境敏感性和承灾体易损性3个方面,建立了云南省暴雨灾害风险评估模型。利用熵值法确定权重,通过ArcGIS插值分析和栅格分析计算暴雨灾害风险综合值;使用自然断点法将全省划分为暴雨灾害5个等级风险区。结果显示:

(1)高风险区主要集中于云南省南部,包括西双版纳、普洱市、红河州南部、德宏州,以及昭通市北部、昆明市主城区、曲靖市东南部等地区;迪庆州、怒江州、丽江市北部等地区暴雨灾害风险等级较低。全省暴雨灾害高风险区、次高风险区面积占比分别为7.05%、25.22%,低风险区、次低风险区面积占比分别为10.32%、21.86%。

(2)利用16个州市2020年暴雨灾害次数、2020年暴雨日数分别与区划评估结果进行对比验证。两

主要是为了验证评估结果与致灾因子的相关性,也从预测的角度验证评估结果的合理性,从而对未来的防灾减灾工作提供科学依据。

从图6a可看出,把各州市的暴雨灾害风险评估结果值与2020年暴雨灾害次数做相关性分析, R 为0.4686,通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验。另外,将各州市的暴雨灾害风险评估结果值与2020年各州市暴雨日数做相关性分析, R 值为0.6858,通过 $\alpha=0.01$ 的显著性检验,其结果比暴雨灾害次数更优。说明该评估结果是合理的。

者与评估结果的相关性都较好,说明全省暴雨灾害风险区划评估结果有较好客观性,可作为暴雨灾害防御和减灾的重要依据,同时也为云南省防灾减灾救灾工作和抗灾物资合理储备利用提供了科学的参考。

参考文献

- [1] GB/T 28592—2012 降水量等级[S].
- [2] 谢应齐,黄华秋,赵华柱. 云南洪涝灾害初步研究[J]. 云南大学学报(自然科学版),1994,16(增刊1):77-81.
- [3] 邹旭恺. 山西广西秋旱严重 云南南部暴雨成灾—2006年10月[J]. 气象,2007,33(1):123-125.
- [4] 陶云,唐川,段旭. 云南滑坡泥石流灾害及其与降水特征的关系[J]. 自然灾害学报,2009,18(1):180-186.
- [5] 马志敏,杨素雨,王志国,等. 云南局地暴雨分型研究[J]. 云南大学学报(自然科学版),2020,42(1):108-118.
- [6] 许美玲,尹丽云,金少华,等. 云南突发性特大暴雨过程成因分析[J]. 高原气象,2013,32(6):1062-1073.
- [7] 武敬峰,徐晓芳,赵巍燃,等. 川西高原持续性暴雨特征和水汽输送[J]. 气象科技,2020,48(5):704-716.
- [8] 吴丽姬,温之平,贺海晏,等. 华南前汛期区域持续性暴雨的分

- 布特征及分型[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2007, 46(6): 108-113.
- [9] 马志敏, 闵颖, 朱莉. 滇西北高原一次突发性特大暴雨过程水汽输送特征分析[J]. 气象科技, 2018, 46(5): 951-957.
- [10] 李强, 吉莉, 徐前进, 等. 重庆地区暴雨及雨量分时特征[J]. 气象科技, 2019, 47(5): 859-865.
- [11] 田红, 谢五三, 卢燕宇, 等. 安徽省气象灾害风险区划方法与实践[M]. 北京: 气象出版社, 2017.
- [12] 轩春怡, 刘勇洪, 杨晓燕, 等. 基于 1 km 网格的北京暴雨洪涝灾害风险区划[J]. 气象科技, 2020, 48(4): 579-589.
- [13] 杨忠恩, 顾婷婷, 潘娅英. 基于 GIS 的浙江省高速公路大雾灾害风险区划[J]. 气象科技, 2017, 45(4): 756-760.
- [14] 梁凤娟, 孟雪峰, 王永清, 等. 基于 GIS 的雪灾风险区划[J]. 气象科技, 2014, 42(2): 336-340.
- [15] 梁玉莲, 黄丹萍, 黎美宏, 等. 基于 GIS 的南宁市暴雨洪涝灾害风险评估与区划[J]. 气象科技, 2013, 41(5): 934-939.
- [16] 田艳婷, 吴孟恒, 史锋旗, 等. 河北省雷电灾害易损性综合评估与区划[J]. 气象科技, 2012, 40(3): 507-512.
- [17] 中国气象局. 中国气象灾害年鉴(2019)[M]. 北京: 气象出版社, 2020.
- [18] 李兴奇, 高晓红. 无量纲化方法的有效性评价[J]. 统计与决策, 2021, 579(15): 24-28.
- [19] 陈华友. 嫡值法及其在确定组合预测权重系数中的应用[J]. 安徽大学学报(自然科学版), 2003, 27(4): 1-6.
- [20] 李俊晓, 李朝奎, 殷智慧. 基于 ArcGIS 的克里金插值方法及其应用[J]. 测绘通报, 2013(9): 87-97.
- [21] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 2 版. 北京: 气象出版社, 2007.
- [22] 章国材. 自然灾害风险评估与区划原理和方法[M]. 北京: 气象出版社, 2014.
- [23] 解明恩, 程建刚. 云南气象灾害特征及成因分析[J]. 地理科学, 2004, 24(6): 721-726.
- [24] 周鹏康, 秦金梅. 云南 1981~2010 年雨季暴雨时空分布特征[J]. 云南地理环境研究, 2016, 28(4): 63-69.
- [25] 陈靖, 高强, 李培彦, 等. 基于暴雨内涝模型的天津市西青区中小河流暴雨洪涝灾害评估[J]. 气象科技, 2019, 47(1): 147-153.
- [26] 俞布, 缪启龙, 潘文卓, 等. 杭州市台风暴雨灾害风险评估结果与评价[J]. 气象, 2011, 37(11): 1415-1422.
- [27] 王敏, 孔尚成, 王秀英. 青海东部地区雷电灾害易损性分析与区划[J]. 气象科技, 2018, 46(2): 412-417.

Rainstorm Disaster Risk Assessment in Yunnan Based on 1 km Grid in GIS

HU Ying^{1,2} YIN Xian² CHEN Jianqiao¹ YUAN Hua¹ Duan Zhifang¹

(1 School of Atmospheric Sciences, Sun Yat-sen University, Zhuhai 519082;

2 Yunnan Meteorological Disaster Prevention Technology Center, Kunming 650034)

Abstract: In order to reinforce the scientific part of the prevention and mitigation of rainstorm disasters, based on the hourly precipitation data of 126 national weather stations from 2010 to 2019 and basic geographic information, we build the model of risk assessment of rainstorm disasters through three aspects: the danger factor of disaster-inducing, the sensitivity of disaster-pregnant environment and the vulnerability of the disaster-bearing body. To realize the division of risk areas relating to rainstorm disasters in Yunnan, we apply four methods: maximum entropy, natural break point, ArcGis interpolation and grid analysis. Results show that the high-risk areas of rainstorm disasters centre in the southern Yunnan, including Xishuangbanna, Pu'er, the southern Honghe and Dehong. However, Diqing, Nujiang and the northern Lijiang are lower-risk areas. Throughout the whole rainstorm disaster in Yunnan, high-risk and secondary high-risk areas account for 7.05% and 25.22%, and low-risk and secondary low-risk areas account for 10.32% and 21.86%. Using the data, such as the times of rainstorm disasters in 2020 and the testing results of area-division of rainstorm disasters, it is shown that the area-division assessment is scientific and rational.

Keywords: rainstorm disaster risk assessment; ArcGIS; entropy method; correlation analysis