

doi: 10. 6046/zrzyyg. 2021299

引用格式: 李益敏,吴博闻,刘师旖,等. 基于 AHP - 熵权法的瑞丽市边境线新冠疫情风险及防控部署研究[J]. 自然资源遥感,2022, 34(3):218 - 226. (Li Y M, Wu B W, Liu S Y, et al. Risks and the prevention and control deployment of COVID - 19 infection along the border of Ruili City based on the AHP - entropy weight method[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2022, 34(3):218 - 226.)

基于 AHP - 熵权法的瑞丽市边境线新冠 疫情风险及防控部署研究

李益敏^{1,2}, 吴博闻¹, 刘师旖¹, 李盈盈¹, 袁 静¹

(1. 云南大学地球科学学院, 昆明 650500; 2. 云南省高校国产高分
卫星遥感地质工程研究中心, 昆明 650500)

摘要: 目前中国的新冠疫情已经得到了控制,但国际上新冠病毒传播形势依然严峻,中国边境地区仍面临较高风险,瑞丽市作为中缅边境重要口岸城市,其国境线疫情防控难度较大。研究运用地理信息系统技术、遥感技术和 AHP - 熵权法,选取地形因子、交通因子、基础因子分析瑞丽市边境线上风险较高的空间位置部署防控点,提高防控的科学性。结果表明,瑞丽市需要重点防控的高风险地区位于靠近边境的西南地带及南部地带,这些地区具有以下特征:①地形平缓,植被覆盖度较高;②交通便利、靠近水系;③居民点密度较高。同时,基于集合覆盖模型并结合 ArcGIS 视域分析,部署了 35 个防控点,以达到完整观测边境线的目的,根据防控重要性从高到低将这些防控点分为 22 个一级防控点、8 个二级防控点和 5 个三级防控点。研究可为边境地区提高疫情防控能力提供参考。

关键词: 边境防控; 瑞丽市; 新冠疫情
中图法分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097 - 034X(2022)03 - 0218 - 09

0 引言

新冠病毒在全球爆发,中国政府采取及时有效的防控措施,使中国境内疫情基本得到控制,但国际上新冠病毒传播形势依然严峻。中国边境地区仍面临较高风险,防疫任务艰巨。瑞丽市作为中缅边境重要的口岸城市,2020 年 9 月、2021 年 3 月、2021 年 7 月、2021 年 11 月、2022 年 3 月接连爆发新冠疫情,导致瑞丽市多次对主城区实行封闭管理,实施全员免费核酸检测、居民居家隔离等措施以阻断疫情扩散传播路径,造成一定程度的经济损失和社会不安,也影响了云南省的经济、旅游及中国抗疫的稳定性。瑞丽市及时采取有效措施控制疫情,表明国家对疫情防控的高度重视,体现了中国制度的优越性。

瑞丽与缅甸山水相连,村寨相望,虽然瑞丽市目前已经实现对边境线 24 小时全覆盖、常态化巡逻值守,堵住一切可能导致疫情输入的漏洞,但边境疫情防控任务仍然艰巨,边境巡逻检查难度大,科学分析

优化边境线一带查缉部署非常重要和紧迫,开展边境线新冠疫情风险防控部署,对提高科学防控、调度布控水平具有重要意义。

地理信息系统(geographic information system, GIS)技术具有空间分析、综合分析和地图可视化能力,能为边境疫情防控发挥重要作用。将 GIS 应用于传染病疫情控制是地理信息科学中重要的研究分支之一。国外,Hernandez 等^[1]利用 GIS 对新奥尔良的新冠疫情轨迹进行了分析,以此对社区防控能力进行评价判断;Mas^[2]利用 GIS 软件对莫斯科新冠疫情的暴发进行了跟踪研究。程艺等^[3]构建了边境口岸地区传染病境外输入风险指数,以此评估中国边境口岸地区传染病境外输入风险,然而该研究对于单个口岸的研究尚不够深入。这些研究对疫情防控有很好的参考意义。当前,中国以瑞丽为代表的边境地区疫情形势较为严峻,疫情防控压力大。李益敏等^[4]曾利用 ArcGIS 软件开展中缅边境地区突发事件防控研究,但该研究在研究内容上主要侧重于缅甸国内发生冲突时大规模边民涌入边境避难

收稿日期: 2021 - 09 - 18; 修订日期: 2022 - 03 - 15

基金项目: 云南省科技厅 - 云南大学联合基金重点项目“‘天空地’协同的高山峡谷区重大地质灾害隐患识别监测预警研究”(编号: 2019FY003017)和中国地质调查局地质调查项目“中印边境东段和中缅边境地区遥感地质解译项目”(编号: DD20190545)共同资助。

第一作者: 李益敏(1965 -),女,研究员,主要从事 3S 技术在山地资源环境和地质灾害中的应用研究。Email: 648119611@qq.com。

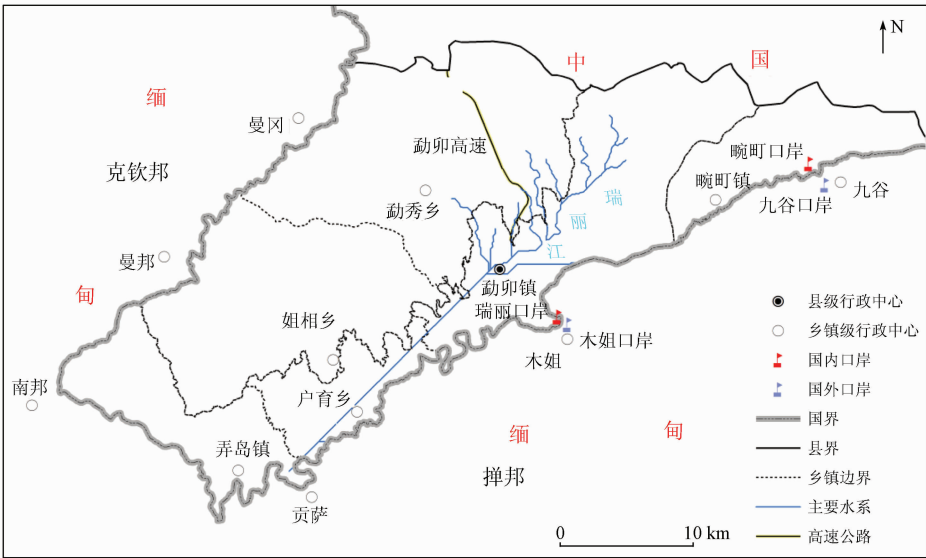
情景的模拟,与偷渡需要完全绕开边境防控潜入境内行为不同,指标选取有差异性;研究方法上,选取的指标和各指标间的权重确定上不够全面。本文在前人的研究基础上将 GIS 技术应用到瑞丽市边境疫情风险评价中,结合 ArcGIS 的可视化分析——视域分析、视点分析,选取主要防控点,在一定程度上可缓解瑞丽市疫情防控压力,增强疫情常态化防控能力,实现人防与技防有效结合,具有一定的社会效益与经济效益,能够为后续运用 GIS 技术进行疫情防控提供参考。

1 研究区概况及数据源

1.1 研究区概况

瑞丽市隶属云南省德宏傣族景颇族自治州,人口 21.05 万人,该市西北、西南、东南 3 面皆与缅甸相连,边境线长达 169.8 km(图 1),有界碑(附碑) 65 座、大小渡口和通道 36 个,是云南边境界碑最密集和渡口通道最多的地段。瑞丽市有 2 个国家级一

类口岸(瑞丽口岸、畹町口岸)和 2 个国家级边境经济合作区(瑞丽边境经济合作区、畹町边境经济合作区),瑞丽口岸是全国唯一实行“境内关外”海关特殊监管模式的边境贸易区。随着“一带一路”倡议的推进,瑞丽市正逐渐成为我国通向东南亚的重要经济枢纽。2020 年,新冠疫情暴发,作为边境重镇的瑞丽市边境防控能力也受到挑战。瑞丽市边境线区域村寨相连或以山地、河流为界,植被覆盖率高,具有易入境、易隐蔽等特点,为境外人员偷渡入境提供了便利条件,也加大了边境防控的难度。瑞丽市南部地形较平缓,中部存在较多高山,政治、经济、文化中心集中于瑞丽南部和西部的户育乡、勐卯镇和畹町镇。瑞丽市南部与缅甸掸邦相邻,北部与克钦邦接壤,土地覆被多为林地,居民点分布较为零散。瑞丽口岸及缅甸木姐口岸是南部边境线上中缅两国的主要居民点集聚地,畹町口岸及缅甸九谷口岸虽然人口经济发展程度不及瑞丽口岸及木姐口岸,但仍然是研究区内重要的居民点集聚地。



(审图号: 云 S(2019)061 号)

图 1 瑞丽市区位图
Fig.1 Location map of Ruili City

1.2 数据源及预处理

本文数据源主要包括瑞丽市 Landsat8 OLI 影像数据、瑞丽市土地利用数据、夜光遥感影像数据、数字高程模型(digital elevation model, DEM)数据(分辨率为 30 m)、行政边界矢量数据及路网数据。瑞丽市土地利用矢量数据由 Landsat8 OLI 数据决策树监督分类并实地验证得到;夜光遥感影像采用武汉大学的“珞珈一号”卫星影像,该影像数据相比美国的 NPP_VIIR 卫星数据对国内建筑物的提取信息效

果更好,能够较好地反映人口密度和夜光数值之间的正比关系;研究选取的瑞丽市行政区范围来源于国家地理信息公共服务平台(<http://www.tianditu.gov.cn>),审图号为云 S(2019)061 号的德宏傣族景颇族自治州地图。行政边界矢量数据来源于国家科技基础条件平台——国家地球系统科学数据中心(<http://www.geodata.cn>);统计数据来自《云南统计年鉴》(<http://stats.yn.gov.cn/tjsj/tjnj/>)和《中国口岸年鉴》(<https://data.cnki.net/Trade/year->

book/single/ N2018040123? z = Z029)。

2 中缅边境地区疫情防控风险指标构建及量化

2.1 疫情防控风险评价指标体系构建

传染病跨境传播与社会、经济、地理等各种因素息息相关,在中国当前境内防控制度完善的情况下,偷渡成为了陆地跨境传播的主要因素。以瑞丽市为例,边境地区自然屏障较少,具备了非法流动的条件,就业、通婚、迁居等目标都成为非法流动的推动因素^[5]。Dudas 等^[6]利用引力模型得出,即使在关闭边境的极端情况下,非法流动也会对疫情传播造成恶劣影响,而疫情的传播能力受边境地区的地理状况及边境地区的人口密度影响较大。同时跨境疫情传播也受到交通和水系影响^[7]。考虑到瑞丽市边境线地区地形和境内地区人口密度分布特征差异显著,结合上述学者的研究成果,且综合考虑偷渡者对偷渡行为需要考虑的隐蔽性和可达性,选取地形因子、交通因子、基础因子作为目标层,地形因子包括植被覆盖度、海拔、坡度,交通因子包括水系距离、交通密度,基础因子主要包括人口密度和管控基础设施,借助这些指标来构建中缅边境地区边民疫情防控指标体系(表 1)。利用 GIS 空间加权叠加分析技术得到疫情防控点时空分布格局,并进行分级,对风险程度最高的防控区加大关注。

表 1 瑞丽市边境防控风险评估指标体系
Tab.1 Risk assessment index system of border prevention and control in Ruili City

因子类型	指标	选取依据
地形因子	植被覆盖度(B_1)	植被覆盖指数越高的地区防控风险越高
	海拔(B_2)	海拔较高的地方难以入境
	坡度(B_3)	坡度较小、地势越平坦越容易入境
交通因子	水系距离(B_4)	距离水系距离越近的点越容易作为偷渡者的登陆点
	交通密度(B_5)	交通密度越大的地区防控风险越大
基础因子	人口密度(B_6)	人口密度越高的地区防控风险越大
	管控基础设施(B_7)	越靠近管控基础设施的地区防控风险越低

2.2 防控指标的提取和量化

利用 GIS 技术对坡度、植被覆盖度、海拔、水系距离、交通密度、人口密度和管控基础设施等指标进行了信息提取并量化,以用于熵值权重计算和风险确定。

2.2.1 坡度

中缅边界瑞丽段坡度不一,平坦的地方较适合偷渡者进入,因此本文选取坡度作为一项重要的衡量指标,坡度越小越易于偷渡者入境,防控风险越大。地形坡度分级标准为 $[0^{\circ}, 5^{\circ}]$ (平坡), $(5^{\circ}, 25^{\circ}]$ (斜坡), $(25^{\circ}, 35^{\circ}]$ (陡坡), $(35^{\circ}, 45^{\circ}]$ (急坡), $>45^{\circ}$ (险坡)。根据瑞丽市的 DEM(分辨率为 30 m)数据得到坡度图(图 2)。由图 2 可以看到,边界地区整体坡度较为平缓,东部部分地区存在陡坡。

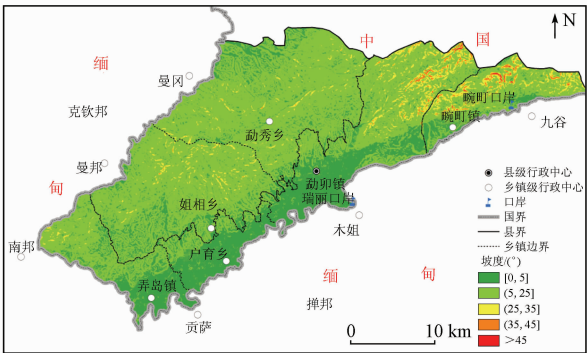


图 2 瑞丽市坡度分级
Fig.2 Slope classification map of Ruili City

2.2.2 植被覆盖指数

本文植被覆盖指数采用归一化植被指数(normalize difference vegetation index, NDVI)^[8],它能较好地反映植被生长状态及植被盖度,是当前比较常用的监测植被覆盖情况和生长状况的指数。植被覆盖度越高的地方隐蔽性越强,偷渡者倾向于选这些地方入境,防控风险大。利用遥感图像处理平台软件(ENVI)对 Landsat8 OLI 影像进行辐射定标、大气校正等预处理操作后,通过波段计算对研究区 NDVI 进行计算,得到研究区的 NDVI 值(图 3)。研究区内除了城市建成区植被覆盖度较低外,其余地区植被覆盖度较高,北部山区植被覆盖度是全区域植被覆盖度最高的区域。

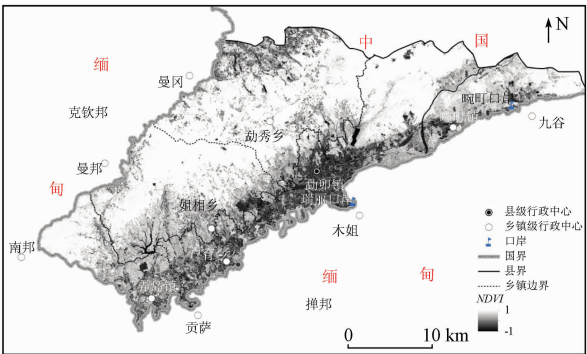


图 3 瑞丽市植被覆盖指数图
Fig.3 Vegetation coverage index map of Ruili City

2.2.3 交通密度及水系距离

交通发达的地区便于偷渡者入境,交通密度大

的地区防控风险大,因此将路网密度作为交通因子里一项重要指标进行分析,利用 ArcGIS 软件的欧式距离工具,可以计算出研究区内每一个点到邻近公路的距离(图 4)。水路具有一定的隐蔽性,偷渡者可能通过水路进入瑞丽境内,通过水文工具从瑞丽市 DEM 中提取水系,对提取的水系进行缓冲距离,以此体现水系在防控体系部署中的作用。

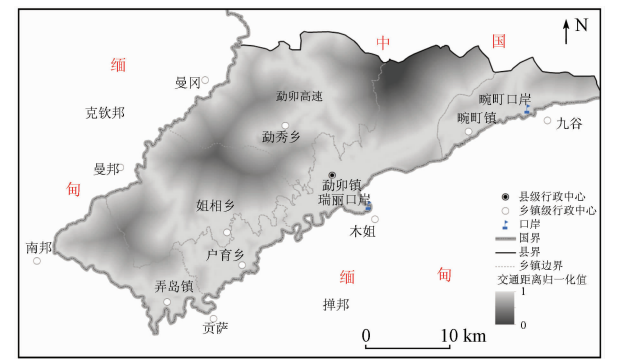


图 4 瑞丽市交通密度图

Fig. 4 Traffic density map of Ruili City

2.2.4 人口密度

参考瑞丽市 3 次疫情暴发案例,携带病情者都倾向于选择人口密度较高的地方藏匿,这也是导致防控压力增大的主要原因之一。由于统计年鉴上的人口按行政区划统计,难以表达出人口的空间分布特征,因此借助夜光遥感影像数据,对人口的空间关系进行表达。已有研究表明,夜光遥感数据与人口空间分布、经济发达程度具有较高的相关性^[9-10]。利用 ENVI 的波段计算功能完成“珞珈一号”科学实验卫星的夜光遥感影像的预处理,夜光遥感数据的 DN 值大小和当地人口密度成正比,因此通过夜光遥感数值对人口密度的强弱进行分析。通过 ENVI 对夜光遥感进行预处理后,采用重分类,以此得到的瑞丽市区人口密度如图 5 所示。

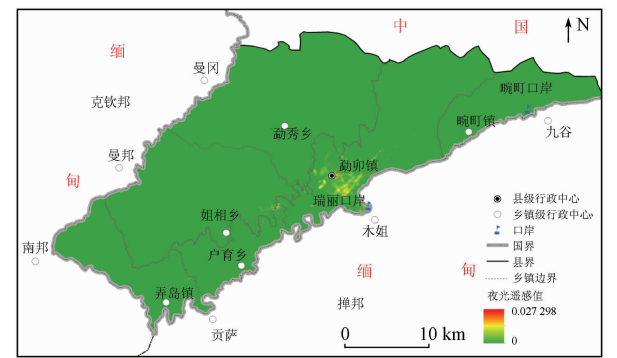


图 5 瑞丽市人口密度图

Fig. 5 Population density map of Ruili City

2.2.5 管控基础设施

管控基础设施(包括国门、公安局等)所在的位

置都能对偷渡者造成一定程度的威慑,具备较高的疫情防控能力,疫情防控风险相对较低。利用开源 wiki 地图(open street map, OSM)数据提取边防站点,对这些点建立缓冲区,得到以边防站点为中心形成的高警戒度区域。

2.3 基于 AHP – 熵权法的权重赋值方法

采用层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)和熵权法对各个因子进行权重赋值。其中 AHP 法属于主观赋值方法,主观赋值拥有较强的解释性,与客观音权重赋值方法相结合,可以得到既客观又符合常识判断的权重赋值^[11]。

AHP 法通过人为主观确定目标层和准则层,可以有效地对多目标进行决策分析。但是其具有一定主观性,会导致结果出现偏差。本研究的目标层为地形因子、交通因子、基础因子,准则层依照目标层被分为植被覆盖密度、海拔、坡度、水系距离、交通密度、人口密度、管控基础设施等 7 个因子,根据主观判断,两两比较两个因子之间相互的重要性,以此获取判断矩阵,并依据该矩阵获取各目标层和准则层的主客观权重。

熵权法属于客观赋值方法,相比主观赋值方法,获取的权重精度更高。熵是衡量系统无序程度的度量,通过衡量变量的无序程度,可以通过比较变量所拥有的信息量多少,获取指标变量的权重^[10]。防控疫情风险指标涉及多个因子,熵权法能准确获取各个因子所拥有的信息量大小,在生态风险评价、管道风险评价中均起到了重要作用^[12-13]。但是该方法容易因为某项指标离散程度过大导致权重失衡。

熵权法首先对原始数据进行标准化处理之后运用信息熵计算出指标的熵权,其中当指标为正向指标时,对其值 X_{ij} 进行标准化处理的公式为:

$$Y_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{i_{\min}}}{X_{i_{\max}} - X_{i_{\min}}} \quad (1)$$

当指标为负向指标时,其标准化处理公式为:

$$Y_{ij} = \frac{X_{i_{\max}} - X_{ij}}{X_{i_{\max}} - X_{i_{\min}}} \quad (2)$$

式中: $X_{i_{\max}}$ 和 $X_{i_{\min}}$ 分别为指标的最大值和最小值; Y_{ij} 为归一化后的结果设定第 j 个影响防控的影响因子。对于某一影响因子 j ,其信息熵计算公式 E_j 为:

$$E_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij} \quad (3)$$

$$P_{ij} = \frac{Y_{ij}}{\sum_{i=1}^m Y_{ij}} \quad (4)$$

式中 P_{ij} 为标准化数值 Y_{ij} 占标准化总值的比例。若影响防控的影响因子信息熵 E_j 越小,说明该因子变异性程度越小,样本数据越有序,对评价对象的区分能力越大,因子提供的信息效用值越大;对边境防控的影响越大,权重也越大;反之,信息熵 E_j 越大,说明该影响因子的变异程度大,因子提供的信息效用值越小,对边境防控的影响越小,权重也越小。

根据计算出来的各因子的信息熵 $E_1, E_2, \cdots, E_k$, 计算各个因子的权重 W_j , 公式为:

$$W_j = \frac{1 - E_j}{k - \sum_{j=1}^k E_j} \quad (5)$$

式中 k 为影响因子的个数。

在通过 AHP 法和熵权法分别获取主观权重和客观权重后,利用线性组合法得到边境防控评估的综合权重。即 AHP 法获得的权重 W_i 和熵权法获取的权重 W_j 通过综合,获得得到组合权重 W_{ij} 。该方法可以减少熵权法中波动较大的数据所带来的扰动^[14]。确定组合权重 W_{ij} 的表达式为:

$$W_{ij} = \alpha W_i + \beta W_j \quad (6)$$

式中: α 和 β 分别为主观权重与客观权重的值,且满足 $\alpha + \beta = 1$ 。同时引入主观权重与客观权重的距离函数 $D(W_i, W_j)$, 其表达式为:

$$D(W_i, W_j) = \left[\frac{1}{2} \sum_{m=1}^n (W_{im} - W_{jm})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

该式通过对第 m 个指标主观权重及客观权重之间的距离进行分析,确保主观权重与客观权重的差异程度与 α 和 β 的差异程度一致, $D(W_i, W_j)$ 应满足以下条件:

$$D(W_i, W_j) = (\alpha - \beta)^2 \quad (8)$$

再通过 $\alpha + \beta = 1$ 这一预设条件,联立方程组可以获取 α 和 β 的分配值: $\alpha = 0.61, \beta = 0.389$, 以该分配值代入主观权重和客观权重,可以获得各指标基于层次分析法和熵权法的综合权重。以该法获取的权重见表 2。

表 2 瑞丽市疫情防控指标综合权重

Tab.2 Comprehensive weight of COVID-19 prevention and control index in Ruili

防控指标因子	熵权法权重	AHP 法权重	综合权重
植被覆盖度(B_1)	0.011 3	0.165 8	0.071 4
海拔(B_2)	0.004 3	0.091 3	0.038 1
坡度(B_3)	0.003 4	0.301 3	0.119 3
水系距离(B_4)	0.036 2	0.030 5	0.034 0
交通密度(B_5)	0.244 0	0.091 5	0.184 6
人口密度(B_6)	0.365 7	0.255 7	0.322 9
管控基础设施(B_7)	0.338 0	0.063 9	0.231 4

从权重计算结果可以看出,人口密度、交通密度、管控基础设施的权重占比较大。人口密度权重较大与疫情传播的引力模型相符,交通密度权重较大符合前人的研究结果,管控基础设施权重较大符合常识判断。DEM, NDVI 和水系距离权重较低,说明疫情传播受到地形因子相对交通因子、基础因子较小,原因可能是因为该地区偷渡者入境目的主要是务工、通婚等,他们较多考虑交通、人口密度等因素,地形因素对其影响不大。

2.4 基于 ArcGIS 的边境防控点部署分析

边境防控点的部署需要综合考虑人力、效果和成本。防控点的选址隶属于覆盖类选址问题^[15]。该研究与前人的自然保护区监控研究具有共性,可以利用相似思路解决该问题^[16]。关于解决覆盖类选址问题,当前有最大覆盖模型、概率覆盖模型等多个模型。考虑到新冠肺炎疫情高传染性的特性,以及边境防控线过长,在常态防控的大背景下需要考虑防控成本等问题,因此本论文选用集合覆盖模型,该模型由 Toregas 等^[17]提出,用最少的数量点完成覆盖所有的需求点。集合覆盖模型通过建立目标函数,保证设施点数量最少,同时保证每一个需求点,至少有一个设施点可以对其进行服务。

利用 GIS 进行可视化视域分析有助于解决选址问题。本研究参考前人研究,设定视频监控点的视距范围为 3 km,监控点的相对高度在 5 ~ 50 m 以上,监控点的设置成本相同,基于该假设进行以下研究:①通过对边境线进行风险评价,获取边境风险点;②通过瑞丽市高程设置备选监控点;③通过 ArcGIS 视域可视化分析,基于集合覆盖模型确定监控点的选址,确保部署最少的设施点达到边境线全覆盖的目的。

3 边境地区防控部署评估

3.1 瑞丽市境内地区防疫风险评估

瑞丽市边境防控的目标是对边境高风险区域进行监控,考虑到目前瑞丽市的防控压力,不仅需要做到边界线监控,还需要对瑞丽市境内整体监控,实现突发公共卫生事件时,快速有效地推测偷渡者的活动轨迹或者藏匿地点。通过 AHP-熵权法综合获取各个指标的权重后,将归一化的指标栅格化并进行波段合成,通过 ArcGIS 软件的栅格计算器进行运算,得到边境地区境内防控风险评价结果,如图 6 所示。

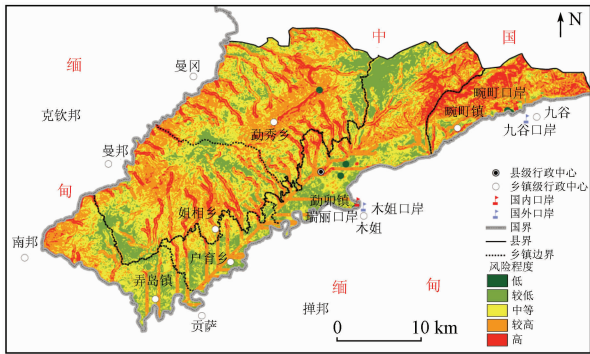


图 6 瑞丽市境内地区防疫风险评价

Fig. 6 Risk assessment map of epidemic prevention in Ruili City

图 6 结果显示：瑞丽市中部和南部地区风险较低,这是因为中部地区位于高山地带,该地区地形较为陡峭,不适宜入境；而南部地区有口岸,边防站点较多,风险较低。瑞丽市边境风险较高的区域为瑞

丽西南弄岛镇、姐相乡,北部的勐秀乡和东北畹町镇区域。这些区域的坡度和地形较为平缓,植被覆盖度良好,公路和水系相对密集,居民点密度较高适合藏匿,同时缺少边境管控基础设施,因此风险程度较高。东北畹町镇区域是瑞丽市通向云南省内乃至全国的重要关口,对其的防控更是重中之重。西北区域居民点覆盖度较高,坡度平缓,且该地区与瑞丽市中心城区有高山相隔,防控力度较弱,该区居民点较为分散,一旦偷渡者藏匿于该地区,搜寻成本较高,也需要重点防控。

3.2 瑞丽市边境线疫情风险评估

瑞丽市边境线疫情防控压力大。将瑞丽市边界与 AHP - 熵权法获取的结果进行相交并对结果评分值进行分级,得到瑞丽市边境线疫情评估结果图 (图 7)。

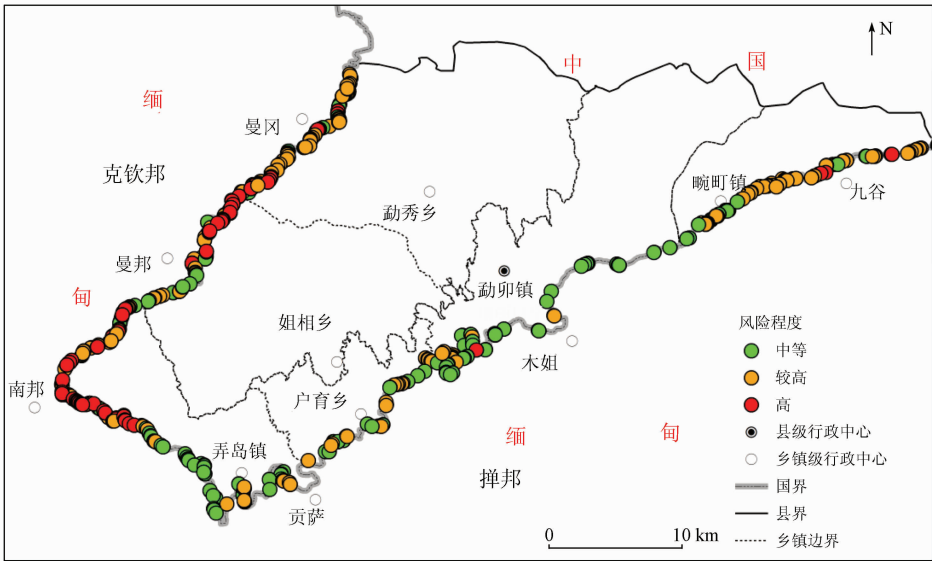


图 7 瑞丽市边境线疫情防控风险评价

Fig. 7 Risk assessment map of epidemic prevention and control along the border of Ruili City

图 7 结果显示,边境风险区域与境内风险区域相似,瑞丽市西北部和东南部皆为高风险区域;边防站点较为密集的瑞丽口岸处边境线风险较低,原因是因为该地区基础防控设施较为密集,起到了较好的控制作用。但是相比境内评价结果,边境风险评价结果表明西南部区域也存在较高的疫情防控风险。这种差异是因为西南部区域地形易于偷渡,但相比西北部,藏匿性较差。2020 年 9 月瑞丽市的新冠突发公共卫生事件中,偷渡的杨佐某等人便是经由缅甸贡萨(南坎)地区进入瑞丽弄岛镇再进入市区的亲戚家,该事件可佐证这一判断。因此瑞丽西南地区边境线上仍然需要重点防控。

边境防控边境线上风险度最高的区域为瑞丽市

西北地区 and 瑞丽市东南地区。其中瑞丽西北部区域毗邻缅甸克钦邦,此前克钦邦地区就由于民族政治原因战乱频繁^[18],导致大量边民试图通过非正常途径涌入中国境内;东南区域接壤的缅甸区域为掸邦高原地区,地形较高,且居民点较为破碎,交通较不发达,因此该地区相比瑞丽西北部地区,偷渡者选择经由该处偷渡的可能性较低。但是,边境交界区域地形平坦,植被覆盖度较高,适合偷渡者偷渡入境,同时该地区城镇虽然发达,但边防站点较少,可能给偷渡者可乘之机,因此东南地区也是需要重点防控的区域。

3.3 基于视域可视化的边境线防控点选址部署

上述研究表明,瑞丽市边境高风险点分布虽然

有集中趋势,但是目前新冠疫情高传染性、高危害性的特点决定了瑞丽抗疫仍需要做到全面有效防控,因此防控点的选址更加具有重要意义。

考虑到新型冠状病毒肺炎传染性强,变异能力强、风险程度高,因此选取的边境防控点需要实现对边境区域的监控全覆盖。因为瑞丽市边境线绵长,边境防控成本较高,所以本研究尽可能选用最少的点达到边境防控的目标,因此,利用 ArcGIS 软件的可视性分析完成边境线防空点选址部署。

由于当前的视频监控设备监控范围基本在 3 000 m 以上,因此将瑞丽市边境线分为数个 2 000 m × 2 000 m 的渔网,提取边境线区域山顶点作为备选监控点,将 DEM 转换为不规则三角网(triangulated irregular network,TIN)栅格,利用 TIN 栅格对备选防

控点进行可视化分析,确定所选防控点的视野不会受到其他山体高度遮挡。对筛选后的备选防控点进行缓冲区分析,以点数量最少为原则筛选备选点,最后确定了 35 个边境线防控点。

综合考虑各个防控点视域范围的边境线高风险点的数量和密度,将防控点按监控重要程度从高到低依次分为一级防控点、二级防控点和三级防控点。其中包括 22 个一级防控点,8 个二级防控点,5 个三级防控点。一级防控点主要分布于西部海拔较高地带和东部较为平缓地带。二级防控点与三级防控点主要位于户育乡和瑞丽口岸附近,这些地区已经有较好的边境防控能力,因此防控风险较低,结果如图 8。

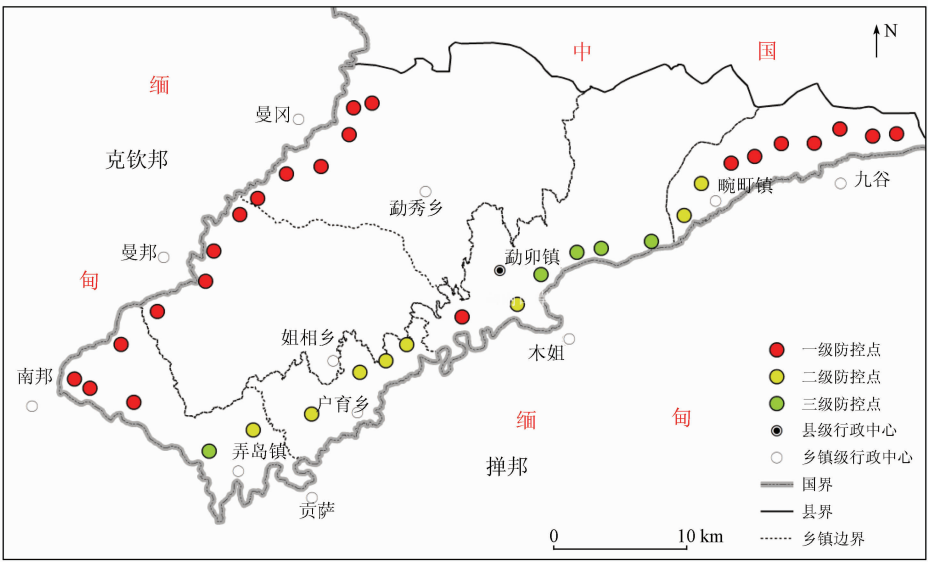


图 8 边境线防控点选址部署

Fig. 8 Location and deployment of border control points

4 讨论与结论

4.1 讨论

本文从地理因子、交通因子、基础因子 3 个角度,选取海拔、坡度、植被覆盖度、交通密度、水系距离、居民点密度、管控基础设施等 7 个指标,利用 AHP - 熵权法建立了瑞丽市疫情风险防控体系。该指标体系具有一定的科学性,能为云南以及中国其他边境地区疫情风险防控评价提供一定的参考作用。

AHP - 熵权法可以有效避免主观权重方法导致的权重失衡和空间分布过于平均,或者过于破碎导致客观权重失衡的缺点,该方法较为科学、合理。利用 ArcGIS 软件,基于地形分析和可视化分析工具,提取完整覆盖边境线的 35 个防控点作为瑞丽市疫

情防控监测部署点,具有很好的参考应用价值,可为瑞丽市乃至云南省边境风险防控点的部署提供参考。

偷渡是一种非正常入境行为,偷渡者的文化水平、社会观念、身体状况等不同,选择的偷渡行为可能具有较大的差异性,因此,在指标选取上,虽然综合考虑了多种因素选择了包含地形、交通、基础因子的 7 项指标,但肯定还存在遗漏的指标。该研究基于目前国外疫情依然严重的大环境,云南乃至中国边境地区外防输入任务依然艰巨的情况下,创新性地开展研究分析。相较于传统防控部署研究倾向于定性分析或者倾向于对某一具体因素进行研究,该研究利用 GIS 技术,综合多个因子综合分析,在一定程度上从地理空间上对防控部署进行了定量研究。本研究具有一定的抛砖引玉的作用,希望更多学者一起开展更深入的交流研究。

论文的研究不仅对新型冠状病毒肺炎疫情防控有借鉴意义,对于云南边境地区贩毒者入境、拐卖妇女儿童、非法移民入境等非法行为的防控也具有一定的借鉴和参考意义。

4.2 结论

本文利用 GIS 技术提取多项与防控相关的信息、数据的空间分布,并利用 AHP - 熵权法赋予各项指标用于计算其风险性的权重,利用 GIS 空间加权叠加分析技术,对瑞丽境内及边境线都进行了边境疫情防控风险分析,得到了以下结论:

1)瑞丽市境内西北部区域和东北部区域高风险区域密度较高,需要对这些区域进行重点防控。尤其是东北部区域,偷渡者可能从该地区进入境内,需要对这些地区进行严格防控,严防偷渡者藏匿。

2)考虑到缅甸地区目前的政治、经济情况,与缅甸克钦邦接壤的瑞丽市西北、西南地带均需要引起高度重视,避免偷渡者从这些地带进入瑞丽市境内。

3)从地理学可视化视角,基于 GIS 技术开展了可视化分析,在满足完整覆盖边境线且防控点可以完全观测边境线情况的前提下,建议部署 35 个防控点。其中,一级防控点占 62.9%,主要分布于畹町镇和弄岛镇区域。

参考文献 (References):

[1] Hernandez J H, Karletsos D, Avegno J, et al. Is Covid - 19 community level testing effective in reaching at - risk populations? Evidence from spatial analysis of New Orleans patient data at walk - up sites[J]. BMC Public Health, 2021, 21: 632.

[2] Mas J F. Spatio - temporal dataset of COVID - 19 outbreak in Mexico [J]. Data in Brief, 2021, 35: 106843.

[3] 程 艺, 刘 慧, 刘海猛, 等. 中国边境口岸地区传染病境外输入风险评估——以新冠肺炎疫情为例[J]. 地理研究, 2022, 41 (3): 851 - 866.

Cheng Y, Liu H, Liu H M, et al. Cross - border epidemic importation in China's border port area: Take COVID - 19 as an example [J]. Geographical Research, 2022, 41 (3): 851 - 866.

[4] 李益敏, 袁 静, 赵志芳. 基于 GIS 的中缅边境地区突发事件防控研究[J]. 云南地理环境研究, 2020, 32 (3): 1 - 7.

Li Y M, Yuan J, Zhao Z F. GIS - based study on prevention and control of frontier influx of emergencies in China - Myanmar border area [J]. Yunnan Geographic Environment Research, 2020, 32 (3): 1 - 7.

[5] 罗 刚. 云南边境民族地区人口非法流动法治对策研究[J]. 河北法学, 2011, 29 (9): 184 - 191.

Luo G. Research on legal counter - measures against unlawful movement of population on bordering ethnic habitat regions in Yunnan [J]. Hebei Science, 2011, 29 (9): 184 - 191.

[6] Dudas G, Carvalho L M, Bedford T, et al. Virus genomes reveal factors that spread and sustained the Ebola epidemic [J]. Nature,

2017, 7650 (544): 309 - 315.

[7] Palk L, Okano J T, Dullie L, et al. Travel time to health - care facilities, mode of transportation, and HIV elimination in Malawi: A geospatial modelling analysis [J]. Lancet Global Health, 2020, 12 (8): 1555 - 1664.

[8] 王正兴, 刘 闯, Alfredo H. 植被指数研究进展: 从 AVHRR - NDVI 到 MODIS - EVI [J]. 生态学报, 2003 (5): 979 - 987.

Wang Z X, Liu C, Alfredo H. From AVHRR - NDVI to MODIS - EVI: Advances in vegetation index research [J]. Acta Ecologica Sinica, 2003 (5): 979 - 987.

[9] 汪韬阳, 张 过, 李沛然, 等. 基于 DMSP/OLS 夜光遥感影像的城市扩张政策驱动因素分析[J]. 测绘学报, 2018, 47 (11): 1466 - 1473.

Wang T Y, Zhang G, Li P R, et al. Analysis on the driving factors of urban expansion policy based on DMSP/OLS remote sensing image [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2018, 47 (11): 1466 - 1473.

[10] 孙小芳. 夜光遥感支持下的城市人口核密度空间化及自相关分析[J]. 地球信息科学学报, 2020, 22 (11): 2256 - 2266.

Sun X F. Spatialization and autocorrelation analysis of urban population kernel density supported by nighttime light remote sensing [J]. Journal of Geoinformation Science, 2020, 22 (11): 2256 - 2266.

[11] 程启月. 评测指标权重确定的结构熵权法[J]. 系统工程理论与实践, 2010, 30 (7): 1225 - 1228.

Cheng Q Y. Structure entropy weight method to confirm the weight of evaluating index [J]. System Engineering - Theory & Practice, 2010, 30 (7): 1225 - 1228.

[12] 章 穗, 张 梅, 迟国泰. 基于熵权法的科学技术评价模型及其实证研究[J]. 管理学报, 2010, 7 (1): 34 - 42.

Zhang S, Zhang M, Chi G T. The science and technology evaluation model based on entropy weight and empirical research during the 10th five - year of China [J]. Chinese Journal of Management, 2010, 7 (1): 34 - 42.

[13] 熊俊楠, 曹依帆, 孙 铭, 等. 基于 GIS 和熵权法的滑坡作用下的长输油气管道易损性评价[J]. 山地学报, 2020, 38 (5): 717 - 725.

Xiong J N, Cao Y F, Sun M, et al. Vulnerability evaluation of long - distance oil and gas pipelines under landslide actions based on GIS and entropy weight method [J]. Mountain Research, 2020, 38 (5): 717 - 725.

[14] 刘媛媛, 王绍强, 王小博. 基于 AHP - 熵权法的孟印缅地区洪水灾害风险评估[J]. 地理研究, 2020, 39 (8): 1892 - 1906.

Liu Y Y, Wang S Q, Wang X B. Flood risk assessment in Bangladesh, India and Myanmar based on the AHP weight method and entropy weight method [J]. Geographical Research, 2020, 39 (8): 1892 - 1906.

[15] 乔联宝. 覆盖类选址问题分类及研究综述[J]. 物流科技, 2015, 38 (3): 59 - 66.

Qiao L B. Classification and review on the covering facility location problem [J]. Logistics Sci - Tech, 2015, 38 (3): 59 - 66.

[16] 吴明珠. 自然保护区视频监控点的优化选址研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2016.

Wu M Z. Research on the optimal location of video monitoring for nature reserves Example as Jiaozishan Nature Reserve in Yunnan,

China[D]. Shanghai:East China Normal University,2016.

[17] Toregas C, Swain R, ReVelle C, et al. The location of emergency services facilities [J]. Operations Research, 1971, 19: 1363 – 1373.

[18] 戴永红,刘金卫. 缅甸民地武新联盟的形成、发展与未来走向 [J]. 国际论坛,2016,18(4):64 – 71.

Dai Y H, Liu J W. Myanner’ s new alliance of ethinc armed groups:Formation,development and future trends [J]. International Forum,2016,18(4):64 – 71.

Risks and the prevention and control deployment of COVID – 19 infection along the border of Ruili City based on the AHP – entropy weight method

LI Yimin^{1,2}, WU Bowen¹, LIU Shiyi¹, LI Yingying¹, YUAN Jing¹

(1. School of Earth Sciences, Yunnan University, Kunming 650500, China; 2. Remote Sensing Geological Engineering Research Center for Domestic Gaofen Satellite of Yunnan Universities, Kunming 650500, China)

Abstract: Although the COVID – 19 pandemic has been contained in China presently, it remains a major threat to the international environment. The border areas of China remain at high risk of COVID – 19 infection, including Ruili, an important port city on the border between China and Myanmar, which still faces great challenges in pandemic prevention and control along the border. This study analyzed the topographic, traffic, and basic factors of Ruili using the GIS technology, the remote sensing technology, and the AHP – entropy weight method and identified locations with high risks of the pandemic along the border, aiming to achieve more scientific the pandemic prevention and control. The results showed that the high – risk areas in Ruili that need major pandemic prevention and control were in the southwestern and southern zones near the border and had the following characteristics: ① gentle terrain with high fractional vegetation cover; ② convenient transportation and proximity to water systems; ③ high settlement density. To achieve a complete observation of the border, a total of 35 prevention and control points were deployed based on the set covering location model combined with the ArcGIS viewshed analysis. They were divided into 22 primary, 8 secondary, and 5 tertiary prevention and control points, of which the importance of pandemic prevention and control increased gradually. This study can provide references for improving the pandemic prevention and control capacity of border areas.

Keywords: prevention and control along the border; Ruili City; COVID – 19 pandemic

(责任编辑: 李 瑜)