

金沙江流域（云南段）人居自然环境质量时空分异研究

鄢 垚, 夏既胜, 王宇彤

(云南大学地球科学学院, 昆明 650500)

摘要: 基于2010、2015、2020年3期遥感影像和其他多源数据, 从自然环境的角度, 选取地貌、土壤、植被覆盖等10个环境质量因子作为人居自然环境质量评估指标, 将熵权法、欧式距离函数等多方法复合建立流域人居自然环境质量的综合度量模型, 通过GIS趋势面、Moran's I指数及冷热点分析揭示流域人居自然环境质量时空分异规律。结果表明: 流域人居自然环境质量受坡度、地貌和植被覆盖度的影响较大, 环境质量优异地区的空间分布与坡度平缓、地貌适宜且植被良好的区域具有较高的重叠性; 流域三期人居自然环境质量时空演变规律表现为: 空间维上, 南部>北部、中部>东部>西部, 从南到北, 环境质量下降, 中下游优于上游; 时间维上, 呈现出先下降后回升的趋势, 尤其是中游以南的滇中地区表现尤为明显; 流域整体呈正相关集聚分布, 置信度高的热点区以中下游以南的楚雄州及昆明地区为主; 而置信度高的冷点区覆盖整个迪庆藏族自治州。研究得出的人居自然环境质量度量模型及空间异质性分析方法为开展类似研究提供参考, 揭示的人居自然环境时空变异规律为区域进行灾害搬迁选址和环境保护治理提供科学依据。

关键词: 金沙江流域; 人居自然环境质量度量模型; Moran's I指数; 冷热点分析

中图分类号: X821

文献标志码: A

DOI: [10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2022070013](https://doi.org/10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2022070013)

Study on temporal and spatial differentiation of human settlement natural environment quality in Jinsha River Basin (Yunnan section)

YAN Yao, XIA Jisheng, WANG Yutong

(School of Earth Sciences, Yunnan University, Kunming 650500, China)

Abstract: Based on 2010, 2015, 2020, three remote sensing images and other multi-source data, from the perspective of the natural environment, landscape, soil, vegetation, and so on, 10 environmental quality factors as living environment quality evaluation indicators were used to build a composite basin residential environment quality comprehensive measurement model by using the entropy weight method and the Euclidean distance function method. Through GIS trend surface, Moran's I index and cold and hot spot analysis, the spatial and temporal differentiation rules of natural environment quality of human settlements in the watershed were revealed. The results showed that the natural environment quality of human settlements in the watershed was greatly affected by slope, geomorphology and vegetation coverage, and the spatial distribution of areas with excellent environmental quality had a high overlap with areas with gentle slope, suitable geomorphology and good vegetation. The spatial and temporal evolution of the natural environment quality of human settlements in the three stages of the watershed is as follows: from the spatial dimension, south > north, central > east > west. From south to north, the environmental quality decreases, and the middle and lower reaches are better than the upper reaches. In the time dimension, it showed a trend of first declining and then rising, especially in the central Yunnan region in the south of the middle reaches. The overall basin is positively correlated with the cluster distribution, and the hotspots with high confidence are mainly Chuxiong Prefecture and Kunming region in the south of the middle and lower reaches. The cold spot area with high confidence covers the whole Diqing autonomous Prefecture. The measurement model and spatial heterogeneity analysis method of human settlement natural environment obtained in this study provide a reference for similar research. And the spatial-temporal variation law of human settlement natural environment revealed can provide a scientific basis for the regional disaster relocation site selection and environmental protection and governance.

Keywords: Jinsha River Basin; human settlements natural environment measurement model; Moran's I index; cold and hot

收稿日期: 2022-07-08

录用日期: 2022-10-27

基金项目: 国家自然科学基金资助(42061038)

作者简介: 鄢 垚(1998—), 女, 硕士研究生。研究方向: 遥感与GIS应用等方面研究。E-mail: yanyao0206@163.com

通信作者: 夏既胜(1974—), 男, 博士、教授。研究方向: GIS应用、流域生态环境信息化、地质环境等。
E-mail: xiajsh@ynu.edu.cn

引用格式: 鄢 垚, 夏既胜, 王宇彤. 金沙江流域(云南段)人居自然环境质量时空分异研究[J]. 环境保护科学, 2023, 49(4): 57-63.

spot analysis

CLC number: X821

人居自然环境,是指与人类生命活动有关的地表空间系统,是人类在大自然中赖以生存与发展的物质基础,是人们利用自然、改变自然界状态的理想主场之所^[1-3]。自然环境质量的高低关乎人们生活质量的^{高低},同时也是一个区域能否实现健康稳定发展的关键。人居环境的研究学科交叉性强,涉及地理学、环境科学、城市规划、社会学等诸多学科。随着 3S 技术的广泛应用,人居自然环境也是目前地学研究的一个重要领域^[2]。

目前已有诸多学者借助 GIS 和遥感技术,将地理学、生态学、统计学等相关学科应用于人居环境的研究中。许长军等^[4]选取气温、蒸发量、海拔等多个自然环境因素,运用 ArcGIS 和 SPSS 统计分析软件进行主成分分析,探讨了青藏高原人居环境自然适宜性特征及其空间差异。李大伟等^[5]基于多源数据结合 GIS 技术,采用综合指数法定量评估了安徽省人居环境人文适宜性。刘海旭等^[6]对长江经济带 110 个城市,运用层次分析法对各城市人居环境进行了测度评估,并借助 GIS 可视化方法揭示了城市人居环境空间格局与集聚特征。朱媛媛等^[7]通过构建生产、生活、生态子系统对长江中游城市群的农村区域进行了人居自然环境质量评估。崔世华等^[8]以湖北省为研究区采用熵权 TOPSIS 法对湖北省 2013—2018 年的城市人居环境质量时空分异及贡献因素进行了研究。

上述关于人居环境的研究大都仅采用层次分析法、熵权法或综合指数法进行影响因子权重的确定,未见有将其结合距离函数法和最小信息熵法的研究。而且目前的研究针对流域尺度的研究较少,尤其是地形复杂、生态空间差异明显的地区。因此,本文因循地理学视角以地貌多样、地形复杂、上下游海拔差异较大的云南金沙江流域为研究区,综合分析流域生态环境状况并参考类似研究,确定从地质地貌、气候、地表覆盖、地质灾害 4 个方面,通过灰色关联、熵权以及欧式距离函数等多方法相结合来评价流域 2010、2015、2020 年 3 期人居自然环境质量情况,采用空间自相关、冷热点分析等方法综合探讨人居自然环境质量的时空分异规律并分析其成因。本研究对改善流域人居自然环境现状,提高人们生活环境质量,促进流域各地区全

面可持续发展具有重要意义;得出的人居自然环境质量分析方法,也可为其他具有高山峡谷特点的类似流域的人居自然环境研究提供借鉴。

1 研究区与数据

1.1 研究区概况

金沙江流域(云南段),位于云南省西北部、北部和东北部边缘,地处 24°30'~29°15'N 与 98°40'~105°15'E 之间,西北部、北部与西藏自治区、四川省相连,东北部与四川、贵州两省毗邻,全域流经 7 个市州,涵盖 48 个区县,总面积 109 984 km²,占云南省土地面积的 28.94%^[9]。河流主干从迪庆藏族自治州德钦县的德拉附近进入云南,经昭通市的水富县流入四川省全长 1 560 km^[10]。流域从上游的极高山峡谷地貌区,到中游的丘状高原、高原湖盆地貌区,再到下游的喀斯特中山丘陵地貌区,由于自然环境要素差异大,导致人类居住的自然生态环境差异明显^[11]。流域的气候环境、植被情况、地形地貌等自然条件复杂特殊,导致区域内生态环境条件相对脆弱。

1.2 数据来源

采用金沙江流域(云南段)2010、2015、2020 年 3 期遥感影像和地形、地质、土壤、气候等基础数据进行研究。具体包括:(1)云南省 1:100 万地形图、1:25 万地质图;(2)从中国科学院资源环境科学与数据中心获取云南省 30 m×30 m DEM 数据、1:100 万水系和土壤侵蚀数据;(3)通过历年云南省统计年鉴获得各区县的年均温度和降水数据;(4)在地理空间数据云平台下载流域范围 12 景 Landsat 系列影像,经辐射定标、波段组合、影像拼接等一系列预处理得到研究区 30 m×30 m 的遥感影像。

2 研究方法

2.1 质量评估指标体系构建

金沙江流域(云南段)上、中、下游各部分地区地貌差异大,地形复杂,海拔落差较大,地震、滑坡等地质灾害频发,降水、温度等气候因素也因地处位置不同有着明显变化。并且已有研究表明^[12-15],虽然影响人居自然环境的因素众多,但其中发挥根

本作用的主要包括地形地貌、气候条件、水文条件和土地覆盖。因此，根据流域境内的自然环境特征，结合层次分析法选择地质地貌(坡度、海拔和地貌)、地质灾害(地震烈度、断层、土壤侵蚀和岩石类型)、气候(年均降雨量和温度)、土地覆被(植被覆盖度)4 大类(10 小类)自然要素作为影响金沙流域人居自然环境质量的因子，根据层次分析法的原理，将指标分为目标层(A)、准则层(C)和指标层(P)3 层结构^[16]，构建环境质量评估指标体系层次结构图，见图 1。

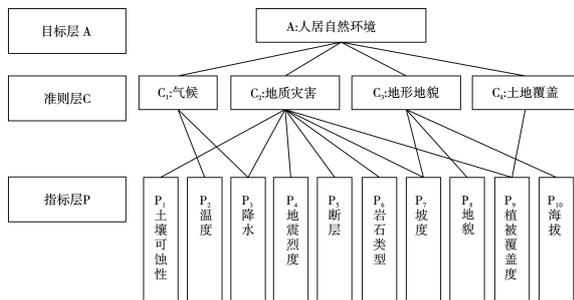


图 1 金沙江流域（云南段）人居自然环境质量评估指标体系

Fig. 1 Evaluation index system of human settlements natural environment quality in Jinsha River Basin (Yunnan section)

2.2 方法组合确定指标权重

确定指标因子权重的方法众多，主要包括层次分析法(AHP)、主成分分析法、熵权法、标准离差法等，这些方法又分为主观赋权法和客观赋权法^[17]。为了增加权重分配的准确性和可信度，本文通过层次分析法与熵权法组合赋权能避免前者主观确定指标相对重要性和后者极值干扰所导致的误差^[18]，并基于欧式距离函数法(式 1)和最小信息熵原理(式 2)相结合的方式最终确定各类指标的最终的权重，见表 1。

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^n (W_i - W_j)^2}$$

$$d_{ij}^2 = (A - B)^2, A + B = 1 \quad (1)$$

$$W_1 = AW_i + BW_j$$

$$W_2 = \frac{\sqrt{W_i W_j}}{\sum_{k=1}^n \sqrt{W_i W_j}} \quad (2)$$

式中， W_i 、 W_j 分别表示两种方法计算得到的权重值， $n=10$ 表示 10 个指标因子， A 、 B 是权重系数， W_1 是距离函数法组合得到的权重， W_2 是最小信息熵原理得到的组合权重。

表 1 组合权重分配表
Table 1 Combined weight allocation table

指标 (P)	权重 (W)
P1	0.023 7
P2	0.044 6
P3	0.064 7
P4	0.069 4
P5	0.029 8
P6	0.069 4
P7	0.235 9
P8	0.160 2
P9	0.190 4
P10	0.111 9

2.3 环境质量因子量化

本研究选取的 10 个质量指标因子中分为定量和定性两类，其中定量因子包括土壤可蚀性、地震烈度、坡度、海拔、降水、温度和植被覆盖度 7 个因素，这些定量因子有具体的实测值，采用灰色关联法计算评估；断层、岩石类型和地貌 3 类属于定性因子，则采用专家打分法(德尔菲法)进行排序后再通过灰色关联法计算评估。其中，灰色关联度计算，见式(3)：

$$\xi(k) = \frac{\min_i \min_k |X^*(k) - X'_i(k)| + R \times \max_i \max_k |X^*(k) - X'_i(k)|}{|X^*(k) - X'_i(k)| + R \times \max_i \max_k |X^*(k) - X'_i(k)|} \quad (3)$$

式中： $\xi(k)$ 介于 0 和 1 之间，是表示第 i 个栅格第 k 个评估因子与其最优值的关联度； $X^*(k)$ 代表第 k 个评估系数的最优值(各指标的最优值见表 2)； $X'_i(k)$ 代表第 i 个网格的第 k 个评估因子的属性值； $\min_i \min_k |X^*(k) - X'_i(k)|$ 是两级极小差值； $\max_i \max_k |X^*(k) - X'_i(k)|$ 是两级极大差值； R 为分辨系数，在本研究中其值确定为 0.5^[19]。

2.4 人居自然环境质量综合度量模型

结合表 1 中的权重分配，对单因子评估结果依照权重进行栅格加权叠加，实现人居自然环境质量综合度量模型构建，见图 2。

得到 3 个时期的人居自然环境质量综合评估结果图，见式(4)：

$$S_i = \sum_{k=1}^n W_k \times \xi(k) \quad (4)$$

式中: i 是栅格编号; k 是评估因子编号; n 是评估因子的总数; S_i 为第 i 个栅格单元的人居自然环境得分; W_k 为第 k 个因子的权重; $\xi(k)$ 表示第 i 个栅格第 k 个评估因子与其最优值之间的相关程度^[20]。

表 2 各指标量化范围及最优值

Table 2 Quantitative range and optimal value of each index

因子名称	量化范围	最优值 ($X^*(k)$)
土壤可蚀性	0 ~ 0.516	0
地震烈度	6 ~ 9	0
坡度	0 ~ 73.1°	0°
海拔	267 ~ 5 596 m	2 000 m
降水	421.6 ~ 1 320.2 mm	788 mm
温度	6.5 ~ 23.2 °C	18 ~ 20 °C
植被覆盖度	-1 ~ 1	1
断层	0 ~ 1	0
岩石类型	2.2 ~ 10	10
地貌	1 ~ 6	6

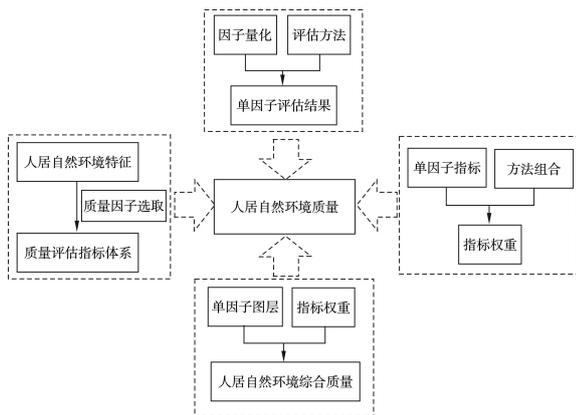


图 2 人居自然环境质量综合度量模型框架

Fig. 2 Comprehensive measurement model framework of human settlements natural environment quality

3 结果与分析

3.1 人居自然环境质量总体时空演变规律

利用上述方法通过 ArcGIS 软件分别计算 2010、2015 和 2020 年 3 个时期的金沙江流域(云南段)人居自然环境质量评分结果,将其分段划分为好(>0.8)、较好(0.7~0.8)、中等(0.6~0.7)、较差(0.5~0.6)、差(<0.5)5 个等级,生成空间分布图,见图 3(a、b、c)。为了更加直观地呈现其整体空间分布规律,综合 3 期人居自然环境质量评估结果,利用渔网工具在流域空间范围内均匀抽出 481 个栅格点,携带属性值转换成点文件,采用 ArcGIS 地统计学分析模块中的趋势分析工具,经 3 次多项式拟

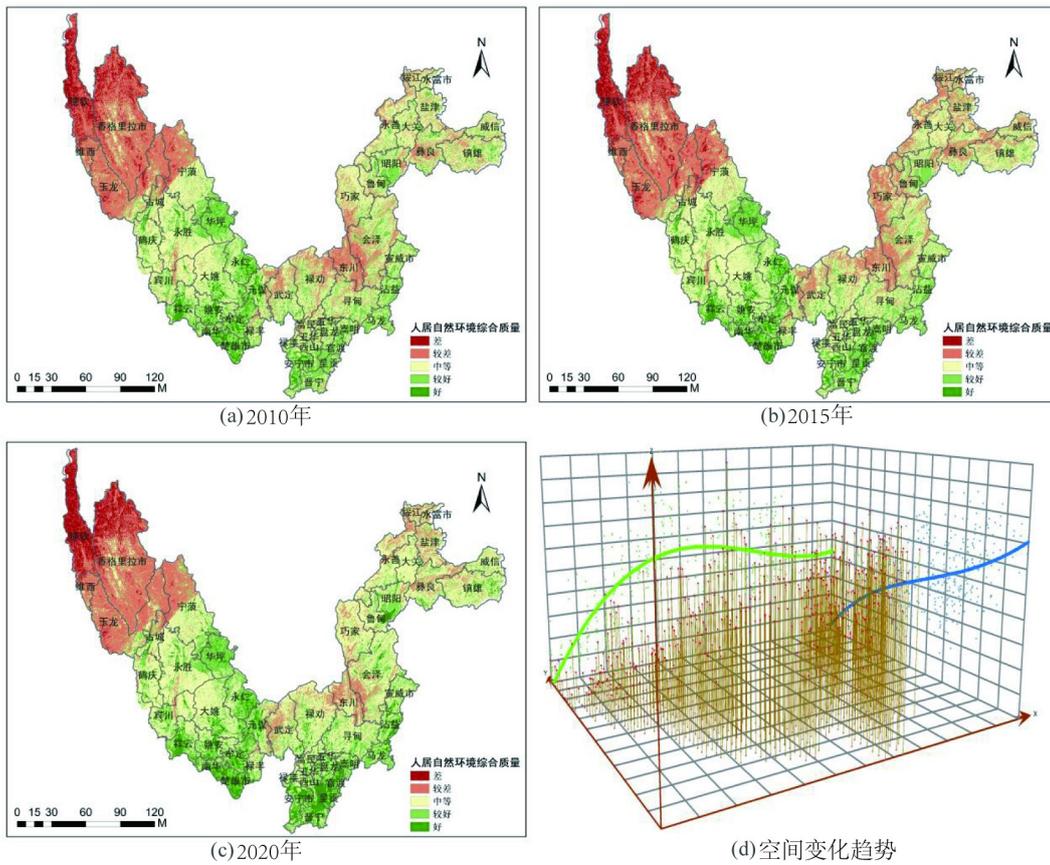
合生成三维趋势图,见图 3(d)。

流域人居环境质量的空间分布是自然生态环境特点的综合反映结果。从图 3(a、b、c)可以看出,流域人居自然环境优劣程度总体表现为:中游>下游>上游。从图 3(d)发现,从 XZ 平面,即东西方向预测趋势线(绿色线)来看,沿着 x 轴方向,评估值先逐渐增大,达到最大值后又轻微下降,然后趋于平稳,也即变化规律为:中部>东部>西部。从 YZ 平面,即南北方向预测趋势线(蓝色线)来看,沿着 y 轴方向,随着坐标值增大,评估值急剧下降,也即南部地区明显高于北部地区。区域人居最佳自然环境出现在中游以南南部地区,从南到北自然环境质量下降,中下游生态环境质量优于上游。究其原因,上游迪庆州地处高山峡谷地区,断层密集,海拔较高,人居自然环境质量最差;中游大部分地区属于丘陵高原和湖盆地区,地形较为平坦、植被茂密、水源充足,生态环境相对较好;下游地区多属于中山喀斯特峡谷地区,部分地方由于植被遭到破坏,所以环境质量差异明显。

结合图 4 进一步分析,研究区 10 年来人居自然环境质量评分在 0.6 以上的中等偏好区域占比最多,占总像元的 70% 以上,像元数量先减后增;而评分小于 0.5 的部分仅占总体的 5% 左右,其像元数量轻微波动且有逐渐减少趋势,由此可见流域的整体环境质量良好,但仍然存在改善和提升的潜在空间。呈现上述变化的原因是云南省 2002 年全面启动退耕还林工程,持续 10 年的退耕还林工程使得大部分地区生态状况逐渐好转,但仍有少数区域环境质量不乐观,随着 2016 年新一轮退耕还林还草工作的开展,使得近年来流域的环境情况持续向好。

3.2 空间分布格局

利用数据转换工具将综合叠置后的人居自然环境质量评估栅格结果转化成矢量点图层,以此为数据源,通过空间自相关分析计算全局 Moran's I 指数,反映各空间单元在整体区域及其周边的平均关联度,值大于 0 说明空间正相关,值越大,空间相关度越高。经计算得 Moran's I 指数大于 0.5,且正态统计量 Z 得分(>1.65)和 P 值(<0.05)通过显著性检验,见表 3,即流域人居自然环境质量呈正相关集聚分布,且相关性较强。



注：底图是在全国地理信息资源目录服务系统下载的 2020 年生产的 G47、G48、H47 和 H48 四个图号图幅，经拼接裁剪得到的图 3

图 3 2010—2015—2020 金沙江流域人居自然环境质量时空变化

Fig. 3 Spatial-temporal variation of natural environment quality of human settlements in Jinsha River Basin during 2010 - 2015 - 2020

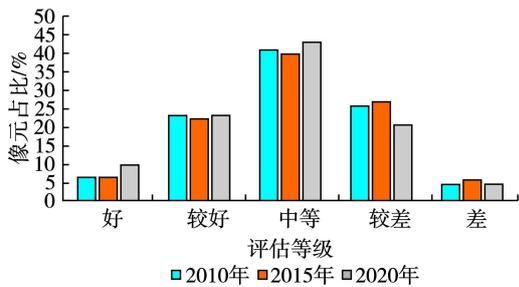


图 4 2010—2015—2020 金沙江流域人居自然环境各等级像元统计

Fig. 4 2010-2015-2020 Human settlements natural environment pixel statistics of each grade in Jinsha River Basin

为进一步探究流域人居自然环境质量在空间上的强弱变化规律,通过热点分析,计算人居自然环境质量的 $Getis-Ord G_i^*$ 指数,然后将其按置信度百分比划分为 7 个等级,得到冷热点空间分布,见图 5(a)。

总体来看,区域冷热点空间分布大致表现为冷点区分布在流域上游及中下游北部;热点区出现在中游大部分地区以及中下游以南区域;流域下游和中游部分地区冷热表现不显著。结合区域地貌

(b)、坡度(c)、海拔(d)对比分析得,流域人居自然环境质量会受到地质、地形地貌、植被和气候等多因素的影响,其中,受地地貌、坡度、海拔等自然条件的影响较大。上游迪庆州海拔高、坡度较大,且发育为高山峡谷地貌,因此集中出现了环境质量较差的区域,出现了置信度极高的冷点区;以丽江北部、楚雄中部以及昆明南部为代表的中游地区主要为湖盆地貌,地形相对平缓、气候温和,人居自然环境质量较高,形成了置信度极高的热点区。

表 3 流域人居自然环境质量的 Moran's I 指数

Table 3 Moran's I index of natural environment quality of human settlements

Moran's I 指数	方差	Z得分	P值
0.782	0.000	2 538.777	0.000

3.3 时间变化特征

根据 3 期人居自然环境质量评估结果,通过 3 次卷积采样形成流域 48 个县市地区的质量评估值统计图,见图 6。

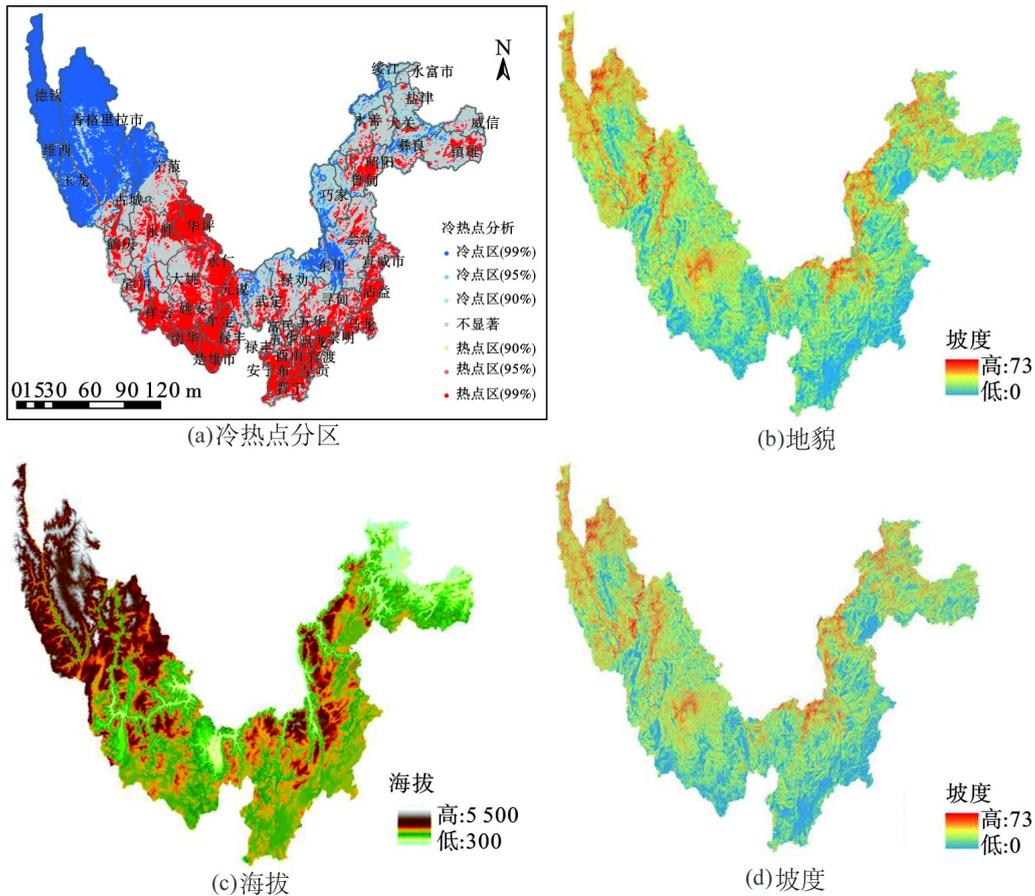


图 5 区域冷热点及相关自然条件空间分布

Fig. 5 Spatial distribution map of cold and hot spots and related natural conditions in the region

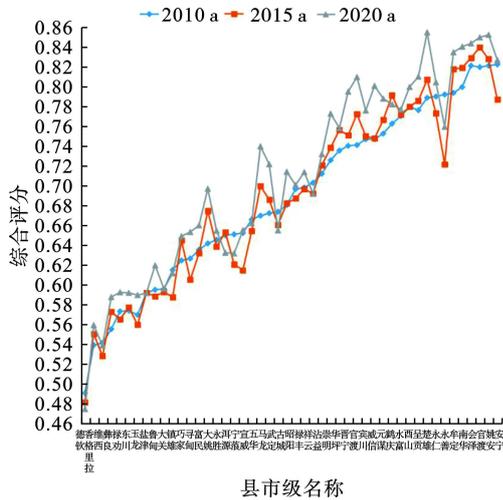


图 6 48 个县市级 3 期人居环境质量变化折线图
Fig. 6 Line chart of quality change of human settlements environment of 48 counties and cities in 3 periods

对比 3 期城市环境质量变化情况,可以看出 10 年间流域大部分地区分值波动较大,但总体呈现上升趋势,以巧家、富民、宁蒍、龙马、昆明主城区、楚雄和永善 7 个地区表现最为显著。其中,巧家、宁蒍和永善出现了明显下降后回升的势态,其

余几个地区环境质量持续见好。这是由于云南省自 2011 年“十二五”规划至如今的“十四五”规划十来年的时间里,各地方政府及相关部门在自然环境保护方面做出了强有力的干预与引导工作,如开展违法土地专项整治、提出流域生态环境保护修复和绿色发展工作、抓好环保督察反馈问题整改、开展全民义务植树活动等,随着各项工作的全面落实与稳步推进,环境质量较差地区开始出现回暖,而环境质量较好的区域在保持状态的基础上越变越好,流域整体环境质量逐渐变好。

4 结论与讨论

4.1 结论

本研究借助 GIS 相关技术及模型对云南金沙江流域的人居自然环境质量时空特征进行探究,主要结论如下。

(1)流域人居自然环境质量的时空分异规律表现为中游>下游>上游,南部>北部。其中,上游迪庆州的人居自然环境质量最差,中游地区以丽江北部、楚雄州中部和昆明南部表现最好,下游地区巧

家县、东川县和会泽县交界地带环境质量较差,整体来看,70%以上地区环境质量中等偏上,但仍然存在改善和提升的潜在空间。

(2)10年来,流域总体人居自然环境质量逐步转好,其中,上下游偏北地区环境质量在2015年出现略微下降,到2020年又逐步回升,中游以南地区环境质量持续向好,其中发生明显变化的地区主要是昆明主城区、楚雄市、龙马县、永善县及宁蒗县。

(3)采用熵权、距离函数以及灰色关联在内的多种方法结合来确定人居自然环境质量评估因子的权重,避免了单一方法导致的主客观性,提高了最终评估结果的精确度和可信度。

(4)研究所得的人居自然环境质量评估指标、度量模型和分析方法,不仅适用于金沙江流域,也可为其他类似地质条件复杂、地质灾害频发的高山峡谷流域地区的人居自然环境研究工作提供参考;研究结果也能为区域产业空间布局、灾害搬迁选址和环境保护治理等提供科学依据。

4.2 讨论

深入剖析10年来云南金沙江流域的人居自然环境质量的时空分异状况并结合地区自然、人口相关条件,本文提出以下建议。

(1)虽然上游地区人口相对较为稀少,但由于地处上游,人类产生活动带来的负面效应极易对整个河流流域产生不良影响,因此,在保持现有种群密度的情况下,应减少大规模的人为干扰活动,加强植被保护,以期逐步改善区域环境质量状况。

(2)中游大部分地区拥有良好的人居自然环境,但人口分布不均,如东川、会泽等地人口密度较大但人居环境相对较弱,宣威、马龙等地人口相对较少生态环境却较良好,即该区域仍有较大的开发利用空间,因此,可以在人口较少的地区合理规划一些工厂企业吸引外来人员,在保证地区经济稳定发展的同时实现对区域人口的隐形调控。

(3)流域大部分下游地区地形比较陡峭,地貌破碎程度较高,植被稀疏,人口密度持续升高,人居环境势态不容乐观,应对该地区进行生态保护,合理规划城镇空间布局,保障下游地区的可持

续发展。

参考文献

- [1] 刘娟. 城市人居自然环境质量评估研究[D]. 武汉: 华中师范大学, 2002.
- [2] 吴良镛. 人居自然环境科学导论[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.1-200.
- [3] 莫霞. 农村可持续发展的人居环境建设研究[D]. 上海: 同济大学, 2006.
- [4] 许长军, 金孙梅, 王英. 基于GIS的青藏高原人居环境自然适宜性评估[J]. 生态科学, 2020, 39(6): 93-103.
- [5] 李大伟, 黄薇薇, 沈非, 等. 基于栅格的安徽省人居环境人文适宜性评估[J]. 地球信息科学学报, 2021, 23(6): 1017-1027.
- [6] 刘海旭, 余斌, 张加磊, 等. 长江经济带城市人居环境空间格局研究[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(12): 2795-2805.
- [7] 朱媛媛, 周笑琦, 罗静, 等. 长江中游城市群乡村人居环境质量评估及其时空分异[J]. 经济地理, 2021, 41(4): 127-136.
- [8] 崔世华, 于婧, 陈艳红, 等. 基于熵权TOPSIS的湖北省城市人居环境质量时空分异研究[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2022, 56(4): 695-702.
- [9] 夏既胜, 杨树华, 万晔, 等. 基于GIS的金沙江流域(云南段)生态潜力空间分布特征[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(09): 865-870.
- [10] 夏既胜, 陈佩妍, 蒋顺德. 金沙江流域(云南段)典型露天矿区开采条件生态适宜性评估[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(4): 459-465.
- [11] 朱勋克. 建设世界级高质量绿色发展先行区——金沙江流域可持续发展战略布局前瞻[J]. 昭通学院学报, 2018, 40(2): 15-23.
- [12] 封志明, 唐焰, 杨艳昭, 等. 基于GIS的中国人居环境指数模型的建立与应用[J]. 地理学报, 2008, 63(12): 1327-1336.
- [13] 李月臣, 刘春霞, 张虹, 等. 基于RS与GIS的三峡库区(重庆段)人居环境适宜性评价(英文)[J]. Journal of Geographical Sciences, 2011, 21(2): 346-358.
- [14] 沈非, 黄艳萍, 王芳, 等. 基于GIS与栅格数据的安徽省人居环境自然适宜性测评[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(3): 535-543.
- [15] 游珍, 封志明, 杨艳昭, 等. 栅格尺度的西藏自治区人居环境自然适宜性综合评价[J]. 资源科学, 2020, 42(2): 394-406.
- [16] 胡静. 马鞍山市居住区绿地景观评估的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2011.
- [17] 李帅, 魏虹, 倪细炉, 等. 基于层次分析法和熵权法的宁夏城市人居环境质量评估[J]. 应用生态学报, 2014, 25(9): 2700-2708.
- [18] 王富强, 马尚钰, 赵衡, 等. 基于AHP和熵权法组合权重的京津冀地区水循环健康模糊综合评估[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2021, 19(1): 67-74.
- [19] 周建飞. 基于RS和GIS的红壤丘陵区城市生态功能区划研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2007.
- [20] 杨涛. 沿海地区新农村建设的重点领域及战略选择[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.