

贵州省土地利用变化频数分布及驱动因素

谢丽钧, 杨广斌, 王仁儒, 杨丽

(贵州师范大学 地理与环境科学学院, 贵州 贵阳 550025)

摘要: [目的] 研究贵州省土地利用动态转移变化频数的空间格局及驱动因素, 为该区土地调查工作与相关政策提供理论参考。[方法] 基于 2000—2020 年贵州省土地利用数据, 采用土地利用变化频数统计、核密度分析、空间自相关性等方法分析贵州省土地利用变化频率的时空分布特征, 并借助地理探测器对其影响因素进行研究。[结果] ①贵州省 2000—2020 年土地利用变化频数中土地发生变化的面积仅为 2%, 但资金和人力的投入却相对较高, 因此两者的投入关系极不协调。②贵州省 2000—2020 年土地利用变化频数中已变化的土地在空间分布上具有显著的空间异质性。③贵州省 2000—2020 年已变化土地核密度结果呈现“西高东低”的分布特征, 土地变化 1 次的分布密度最大, 土地变化 3 次的分布密度最小。④贵州省 2000—2020 年已变化土地和未变化土地皆呈显著空间集聚特征, 已变化热点区域为赫章、大方等, 未变化热点区域为威宁、从江等地区。⑤2000—2020 年贵州省土地利用变化频数驱动因素的交互探测结果显示, 坡度和坡向的交互作用对贵州省土地利用变化频数空间分异的解释力最强。[结论] 贵州省土地利用变化频率分布具有显著的空间异质性, 应建立贵州省土地利用变化频数监管机制, 实现有效利用社会资源和减轻社会财政负担。

关键词: 土地利用变化频数; 核密度分析; 地理探测器; 贵州省

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2024)04-0330-10

中图分类号: F301.5

文献参数: 谢丽钧, 杨广斌, 王仁儒, 等. 贵州省土地利用变化频数分布及驱动因素[J]. 水土保持通报, 2024, 44(4): 330-339. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2024.04.034; Xie Lijun, Yang Guangbin, Wang Renru, et al. Frequency distribution and driving factors of land use changes in Guizhou Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2024, 44(4): 330-339.

Frequency Distribution and Driving Factors of Land Use Changes in Guizhou Province

Xie Lijun, Yang Guangbin, Wang Renru, Yang Li

(College of Geography and Environmental Sciences,

Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 550025, China)

Abstract: [Objective] The spatial patterns and driving factors of the frequency of land-use dynamic transfer changes in Guizhou Province were analysed in order provide theoretical references for land survey work and related policies in the region. [Methods] Based on the land-use data of Guizhou Province from 2000 to 2020, the spatial and temporal distribution characteristics of the frequency of land-use change in Guizhou Province were analysed using land-use change frequency statistics, kernel density analysis, and spatial autocorrelation, and the influencing factors were studied using geographic probes. [Results] ① The area of land changed in the land use change frequency in Guizhou Province from 2000 to 2020 was only 2%, but the inputs of capital and manpower were relatively high; as a result, there was a relationship between the two inputs and discordance. ② The land that changed in land-use change frequency in Guizhou Province from 2000 to 2020 had significant spatial heterogeneity in spatial distribution. ③ The kernel density of changed land in Guizhou Province from 2000 to 2020 showed the distribution characteristic of “higher in the west and

收稿日期: 2023-12-02

修回日期: 2024-03-28

资助项目: 贵州省基础研究(自然科学)项目“基于深度学习与遥感的贵州省喀斯特地区水土保持碳汇能力评估的智能核算方法研究”(黔科合基础-ZK[2024]一般 445); 贵州省科技计划项目“基于遥感大数据的自然资源统计和资产价值评估”(黔科合重大专项[2022]001)

第一作者: 谢丽钧(1997—), 女(汉族), 贵州省贵阳市人, 硕士研究生, 研究方向为地理信息系统与遥感。Email: 1057323974@qq.com。

通信作者: 杨广斌(1973—), 男(汉族), 山东省聊城市人, 博士, 教授, 主要从事地理信息系统开发与应用方面的研究。Email: ygbyln@163.com。

lower in the east”, with the distribution density of one land change being the largest and the distribution density of three land changes being the smallest. ④ In 2000 to 2020, both changed and unchanged land in Guizhou Province showed significant spatial agglomeration characteristics, with changed hotspots in areas such as, Hezhang, and Dafang and unchanged hotspots in areas such as Xianning and Congjiang area. ⑤ The results of the interaction detection of the driving factors of land-use change frequency in Guizhou Province from 2000 to 2020 showed that the interaction of slope and slope direction had the strongest explanatory power for the spatial variation in land-use change frequency in Guizhou Province. [Conclusion] An obvious spatial heterogeneity exists in the distribution of land-use change frequency in Guizhou Province. A mechanism to regulate the frequency of land-use change in Guizhou Province should be established to realise the effective use of social resources and reduce the financial burden on society.

Keywords: frequency of land use change; kernel density analysis; geographical detectors; Guizhou Province

土地利用/覆被变化(land-use and land-cover change, LUCC)是全球气候变化和全球环境变化研究的重要内容^[1-2],掌握土地覆被变化并分析其驱动因素是解决土地利用与生态系统矛盾问题的基础^[3],对于全球变化、环境保护、资源管理和灾害风险评估等具有广泛的应用和重要意义。

土地覆被变化是当前国内外基于环境变化的热点问题,主流的研究内容包括土地覆被的分类、信息提取、变化格局与速率幅度^[4]、驱动机理、驱动力因素^[5]以及土地覆被变化情况未来预测与模拟等^[6-7],而其中关于土地覆被分类与监测的研究,在厘清和管理土地资源工作上尤为重要。目前关于土地覆被分类与监测的研究主要分为两类,第一类是基于遥感影像数据来获取土地覆被信息,融合不同的遥感影像如高光谱影像、多光谱影像^[8-10]来提高数据精度,运用支持向量机^[11]、随机森林^[12-13]以及深度学习方法^[14]模拟地表真实形态。第二类是由自然资源厅主持开展的各种土地资源调查工作,以内业目视解译高分遥感影像为主,外业举证为辅共同对区域展开土地调查。针对遥感影像上人工解译的疑惑区域,云雾遮挡区域以及原影像损坏而无法分辨地类的区域,以实地勘察的形式能更好地完成工作开展,但这需要耗费大量的人力、物力和财力。在第二次全国土地调查期间,全国投入大量资金开展工作,中央财政批复经费21.16亿元,地方各级财政批复130.9亿元,两者相加超过了150亿元。中国于1984年启动首次全国土地调查,历时13a之久,主要原因是调查经费紧缺。因此,本文以土地利用变化频数为抓手,从长时序挖掘土地利用内部动态转移信息,对区域内的土地变化进行次数统计,开展对高频次变化区域进行重点调查,对中低变化区域进行次要调查,对未变化区域保持监测工作,不仅可以有效利用社会资源,还可以减轻社会财力负担。在全国土地调查工作中,西南地区因其喀斯特地形和高覆盖云量一直是土地调查中的重难

点,贵州省作为西南地区对外发展重要门户,西南陆路交通枢纽,做好贵州省的土地调查工作可以对整个西南地区提供重要的参考价值。

贵州省是全国重要的生态旅游目的地、贵重矿产资源基地和民族文化宝库,随着绿色发展理念的推进和美好乡村建设政策的实施,经济高质量发展与生态文明建设协同共进成为必然,而高效的土地调查工作是经济发展和自然资源保护的基础。2017年的《第三次全国土地调查总体方案》强调,土地调查需对“已有内容的细化、变化内容的更新、新增内容的补充”。但由于贵州省的特殊地形与复杂气候,土地调查需面临着大量实地举证带来的人力和财力负担。在《贵州省2023年自然资源调查监测工作要点》中提到为提高工作效率,缓解集中变更工作压力等问题,将年度变更举证任务分解到日常工作中。但真正提高土地调查工作效率必须加强技术创新。在《贵州省“十四五”自然资源保护和利用规划》中提出,自然资源工作开展需提高地理信息服务能力、推动自然资源科技创新、强化自然资源大数据技术^[15]。因此,科学建立反映贵州省土地覆被动态变化转移频率的监测模型,不仅能提高土地调查效率,同时对贵州省未来发展具有重要意义。鉴于此,本文从县域角度深入研究土地利用动态转移变化频数空间格局及驱动因素,在丰富土地覆被变化研究模型基础上,以期对贵州省土地调查工作与相关政策提供理论参考。

1 研究区概况

贵州省位于中国西南部,介于东经103°36′—109°35′、北纬24°37′—29°13′之间,东靠湖南、南邻广西、西毗云南、北连四川和重庆等省市,东西长约595 km,南北相距约509 km,总面积为176 167 km²,地处喀斯特高原和丘陵山地的交错地带,是中国最大的喀斯特地貌区之一(图1)。

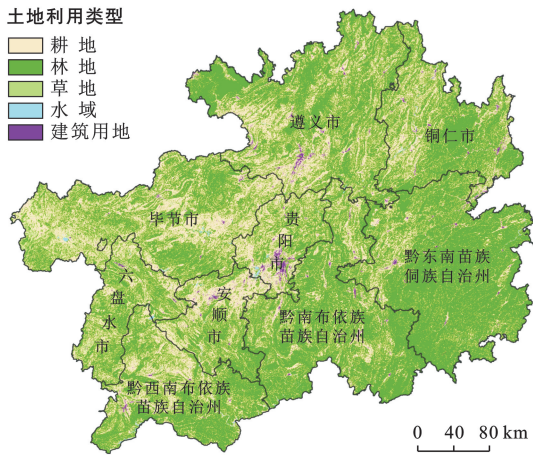


图 1 贵州省土地利用图

Fig.1 Land use map of Guizhou Province

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源及处理

本研究所使用的土地覆被数据为武汉大学黄昕团队公布的 CLCD (China land cover dataset) 数据集^[16], 该数据集是一个针对中国的高时空分辨率的土地覆被数据集, 总体准确率为 80%, 共分耕地、林地、灌丛、草地、水域、冰、荒漠、建筑用地和湿地 9 类, 该数据的空间分辨率为 30 m, 时间分辨率为每年, 时间范围现为 2000—2022 年 (<http://irsip.whu.edu.cn/resources/CLCD.php>); DEM 数据来源于地理空间数据云网站 (<http://www.gscloud.cn/search>) 下载 ASTER GDEM 30 M 产品, 空间分辨率为 30 m; 人口密度数据来自世界人口数据集 (<https://www.worldpop.org>) 时间为 2000—2020 年, 空间分辨率为 100 m; 1992—2019 年 GDP 数据来源于 Chen Jiandong 等^[17]学者发表的全球范围生产总值数据集, 2020 年的 GDP 数据来源于 Zhao Naizhuo 等^[18]发表的文章《Forecasting China's GDP at the pixel level using nighttime light time series and population images》发布的数据, 空间分辨率为 1 km; 气象数据来自中国气象科学数据中心 (<https://data.cma.cn/>), 时间为 2000—2020 年, 并通过 ANUSPLIN 进行空间插值, 空间分辨率为 500 m。

2.2 研究方法

2.2.1 土地利用变化频数统计 本文运用空间分析, 参考 Pontius 和 Zhang Yujia^[19]提出的基于时间序列上, 从土地发生变化的事件和状态来研究土地利用变化频数的方法, 以单个像元来计算转移次数, 即未发生变化的像元定义为 0, 即不变像元; 发生变化的定义为 1, 为扩张像元; 而变化两次以上的像元则被称为转变像元, 随着 t 时间发展, 转移次数发生为 t

—1 次, 扩张像元数量增加, 研究区域确定为扩张模式, $t-1$ 次累积和即为该地区 t 年土地利用变化频数, 反之, 扩张像元数量减少, 则被确定为转变模式。转移次数分布图可以用来可视化所有像元的转移次数分布情况, 即在图上表示为 $t-1$ 次转移次数分布情况, 而转移次数图谱则是指一系列 $t-1$ 次转移次数分布图累积, 随着时间的推移, 基于上下相邻时间点的土地利用图逐步生成。转移次数图谱可以与各种转移地类数相结合, 表示单个像元在时间序列变化中涉及的不同地类数量。转移地类数分布图用于可视化所有像元的转移地类数分布情况, 而转移地类数图谱则是一系列地类数分布图的总称。

2.2.2 核密度分析 核密度分析是一种用于确定特定区域内某一现象的密度分布情况的空间分析方法^[20], 用于计算点、线要素测量值在指定领域范围内的单位密度, 通过在领域范围内放置核, 以核的叠加来创建一个平滑的密度表面, 帮助识别空间上的高密度及低密度区域, 从而提供有关数据分布的洞察。本文基于已变化土地数据, 通过计算每个点周围领域范围内其他点的密度来揭示已变化土地空间分布特征, 计算公式为:

$$f(x, y) = \frac{1}{n h^2} \sum_i^n \left\{ \frac{d_i(x, y)}{h} \right\} \quad (1)$$

式中: $f(x, y)$ 为位于 (x, y) 位置的密度估计; n 为观测数值; h 为带宽或平滑指数; $k(\cdot)$ 是一个权函数; $d_i(x, y)$ 为 (x, y) 位置第 i 个观测位置的距离。

2.2.3 空间自相关性 全局空间自相关分析是一种用于衡量整个地理空间范围内的空间相关性的方法, 是确定地理空间数据集中的特征值是否表现出聚集或分散的模式; 局部空间自相关分析是一种用于识别地理空间中局部聚集或分散模式的方法, 相比于全局空间自相关分析, 局部空间自相关分析能够提供更详细的空间模式信息, 指示数据集中具体地区的聚集程度^[21]。为此, 本文利用全局 Moran' I 指数和局部 Moran' I 指数探究贵州省土地利用变化频数的空间自相关性, 并在 ArcGIS 10.8 中的空间分析模块中完成计算, 绘制出全局 Moran' I 和局部 Moran' I 图, 进一步展示贵州省土地利用变化频数的整体布局和局部热点与冷点分布情况。

2.2.4 地理探测器 在驱动因子分析中, 将贵州省土地利用变化频数与各驱动因子进行叠加分析, 得到不同程度的土地利用变化频数在各驱动因子中的空间分布^[22]。地理探测器由王劲峰等^[23]提出, 是一种用于分析空间分层异质性, 探测某种地理属性和其解释因子的统计学方法, 主要包括 4 个探测器, 因子探

测器、交互作用探测器、风险区探测器以及生态探测器。因子探测旨在探测 Y 的空间分异性以及探测某因子 X 多大程度上解释了属性 Y 的空间分异;交互作用探测器是用于识别不同风险因子之间的交互作用,即评估因子 X_1 和 X_2 共同作用时是否会增加或减弱对因变量 Y 的解释力,或这些因子对 Y 的影响是相互独立的。本文利用地理探测器中的因子探测模块和交互作用模块研究土地利用变化频数演化过程中各因子解释程度的大小及各因子间的交互探测作用。计算公式为:

$$m = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L n_h q_h^2}{nq^2} \quad (2)$$

式中: m 为分异性因子, m 越大表示数据的分异性在空间上更明显; L 为变量类别数; $h=1,2,\dots$ 为具体某一类型; n_h, n 分别表示 h 类别单元数和全区单元数; q_h, q 分别为 h 类别的方差和全区的方差。

3 结果与分析

3.1 时间变化特征

从图 2 可以看出,贵州省 21 a 各市州土地利用变化频数面积比例,其中各市州没有发生变化的土地面积所占比例最大,在 70%左右;发生变化的土地面积比例为 30%左右;各市州中,六盘水市已变化土地面积比例最多,达到 34%,黔东南州已变化土地面积比例最少,仅 15%。由此可见,在贵州省 21 a 各地区土地利用变化频数中,各市州没有发生变化的土地面积远大于发生土地变化的面积。根据以上数据可以推出贵州省每年变化的土地面积比例仅为 2%,而保持不变的 land 面积比例高达 98%。2019 年贵州省自然资源统计数据指出,在第 3 次全国国土调查期间,贵州省组织 23 支调查队伍、23 支监理队伍和 15 支质检队伍,全省动员近万人,省级财政投入 4.67 亿元,汇集 1 354.79 万个调查图斑数据。2021 的地理国情监测与土地变更调查投入 3 503 万元,占同级项目支出的 5.1%。以上数据说明在土地调查工作中,需要调查的土地范围有限,但资金和人力投入却相对较高,因此两者的投入关系极不协调。

3.2 空间分布特征

从图 3 可知,贵州省 21 a 土地利用变化频数中无变化土地面积占全省的面积比例为 76%,主要分布在遵义市西北部地区、铜仁市中部地区、黔西南州南部地区、黔东南州南部地区及黔南州东南地区;变化 1 次和变化 2 次的面积比例为 15%和 7%,尤以毕节市西南部、六盘水市、贵阳中部、遵义南部、铜仁西部,东部、黔西南部地区和安顺西部地区较为密集;变化

3 次及以上的在全省面积比例中仅为 2%,分布零散。由此可知,贵州省 21 a 土地利用变化频数中已变化的土地整体呈现西南部和中部密集,北部、东部、东南部和南部较稀疏的特点,在空间分布上呈现出显著的空间异质性。贵州地势西高东低,降水量大且集中,碳酸盐类岩石分布广,导致水土流失严重^[24],遭受严重水土流失的耕地变为荒地,土地稳定后植被覆盖,受人类活动影响恢复成耕地,因而水土流失加快土地利用变化次数;而北部、东部和南部变化次数较少是因为相比于西南部和中部而言,地势较为平坦,林地比例大,生态系统相对更稳定,不易发生变化。

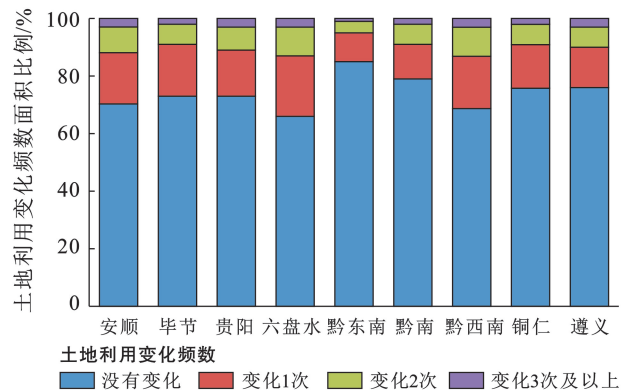


图 2 贵州省 2000—2020 年各地区土地利用变化频数面积比例
Fig.2 Proportion of area with frequency of land use change in each region of Guizhou Province during 2000—2020

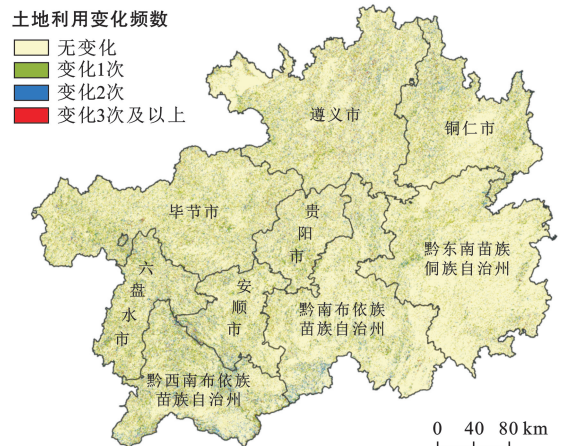


图 3 贵州省 2000—2020 年土地利用变化频数空间分布
Fig.3 Spatial distribution of land use change frequency in Guizhou Province during 2000—2020

3.3 密度分布特征

利用 ArcGIS 10.8 的核密度分析工具,对贵州省已变化土地进行核密度估计,探索其分布密度。结果(图 4)表明,已变化土地的核密度在不同区域差异显著,呈现出“西高、东低”的分布特征。从片区差异来看,贵州省已变化土地空间分布密度最高的单核中心集中在六盘水西南部地区、贵阳中部地区、安顺市和

黔西南州交接带,并以单核中心所在地向四周环状扩散;黔西北部地区、遵义东北部地区、铜仁北部地区,黔东南西北部地区、毕节西南部地区和六盘水北部地区交接带分布密度也较高;遵义西北部地区、铜仁中部地区、黔东南除西北部以外的其余地区分布密度最低。单核中心集中在六盘水西南部地区、贵阳中部地区、安顺市和黔西南州交接带的原因是,六盘水盘州市是重要的矿产开发地,周边土地因矿产开发而发生变化;贵阳市观山湖区是重要的经济开发区,以政策为导向,城镇以扩张的趋势向周边蔓延;安顺市和黔西南州交接带是北盘江所在地,因地势险峻导致交通不便,桥梁修建使其周边土地发生变化。进一步对贵州省不同变化频数的土地进行核密度分析(图 4),可以发现贵州省不同变化频数的土地分布密

度差异显著。土地变化 1 次的面积数量最多,总体分布密度最大,其密度最高的单核中心多分布在贵州省西部地区,这是由于贵州省西部地区具有较为复杂和多样的地理环境,这些地理环境可能对土地利用的变化产生一定的限制和影响。土地变化 2 次空间分布密度最高的单核中心集中在贵州省西南部地区,这是由于政策导向,贵州省黔西南州围绕农业产业高质量发展,根据市场需求和农作物轮作等因素进行土地利用的调整和转移。土地变化 3 次及以上的面积数量最少,总体分布密度最小,其密度最高的单核中心为贵州省西南部地区及东北部地区,随着城市化推进,该地区经历了由农业向工业建设和城市化转型的过程,这种转型过程通常涉及大规模的土地利用调整和转移,以适应城市发展和人口增长的需求。

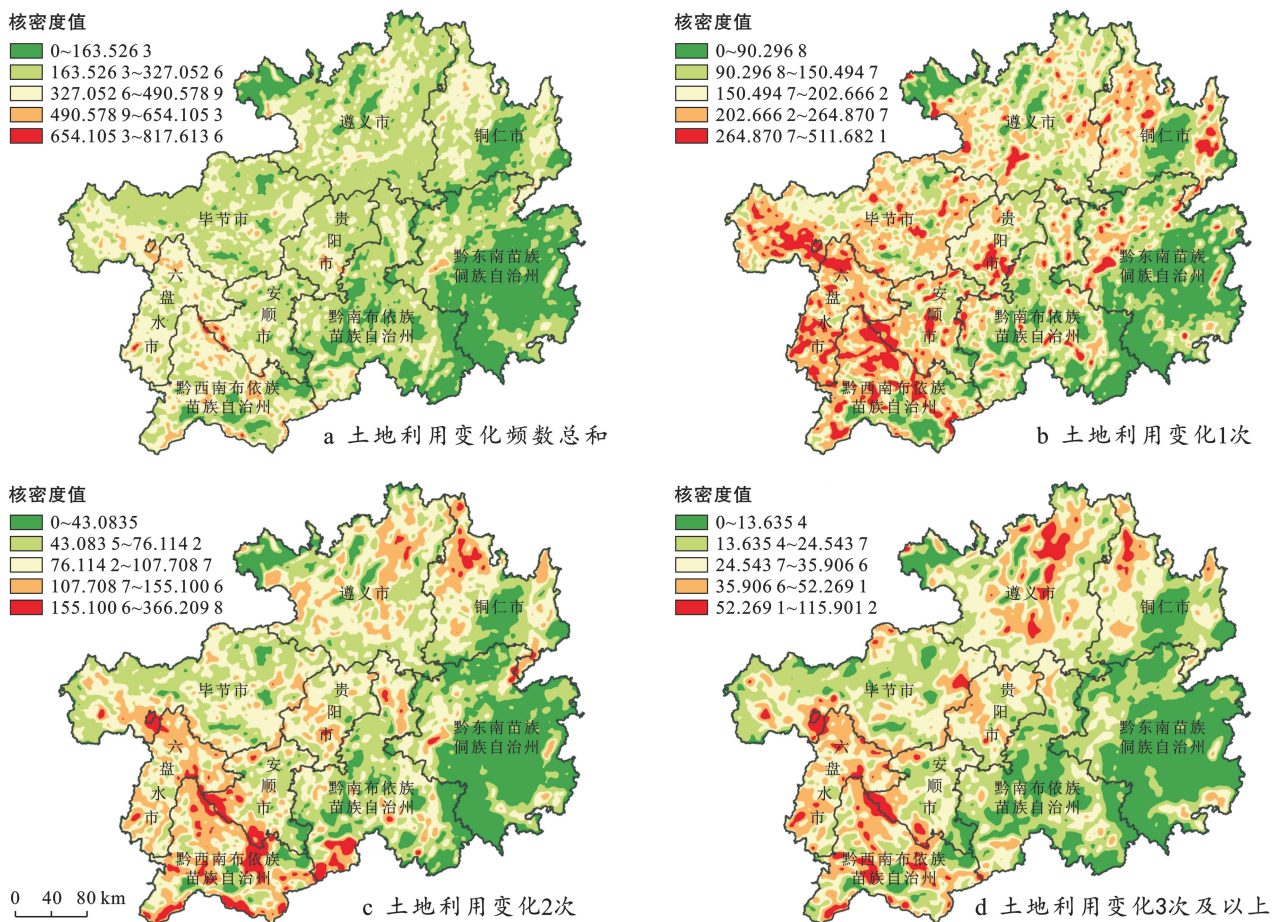


图 4 贵州省 2000—2020 年土地利用变化频数核密度值

Fig.4 Kernel density value of land use change frequency in Guizhou Province during 2000—2020

3.4 县域尺度土地利用变化频数空间自相关性

利用 ArcGIS 中 Spatial Statistics Tools 计算得到已变化土地的全局 Moran' I 值为 0.537,说明贵州省已变化土地具有较高的正相关性和空间集聚性。由图 5a 可知,具有显著空间相关性的评价单元中,低—低集

聚评价单元共 23 个,主要位于贵阳市,说明贵阳市土地变化呈现较低的空间自相关性,即土地变化趋向于集中在特定区域。高一高集聚评价单元为赫章县,说明赫章县呈现较高的空间自相关性,土地变化在该区域内呈现了更为明显的集聚性。低—低集聚和高—高

集聚均代表正相关,说明贵州省已变化土地呈现较高的正相关联系。从图 5b 可以看出,冲突冷点集中于贵阳市和万山—镇远—三穗—台江—雷山一带,由于贵阳市已经处于相对发展成熟的阶段,土地利用变化相对较为稳定;万山—镇远—三穗—台江—雷山一带

的地区自然资源优越,林地覆盖率高,以保护自然为主,所以土地变化趋于稳定。冲突热点区域主要为西北方向的威宁、赫章、大方、七星关、中山区域,以及西南方向的普安、晴隆、盘州、安龙区域,这些地区在土地利用变化方面具有较高的活跃度和集聚现象。

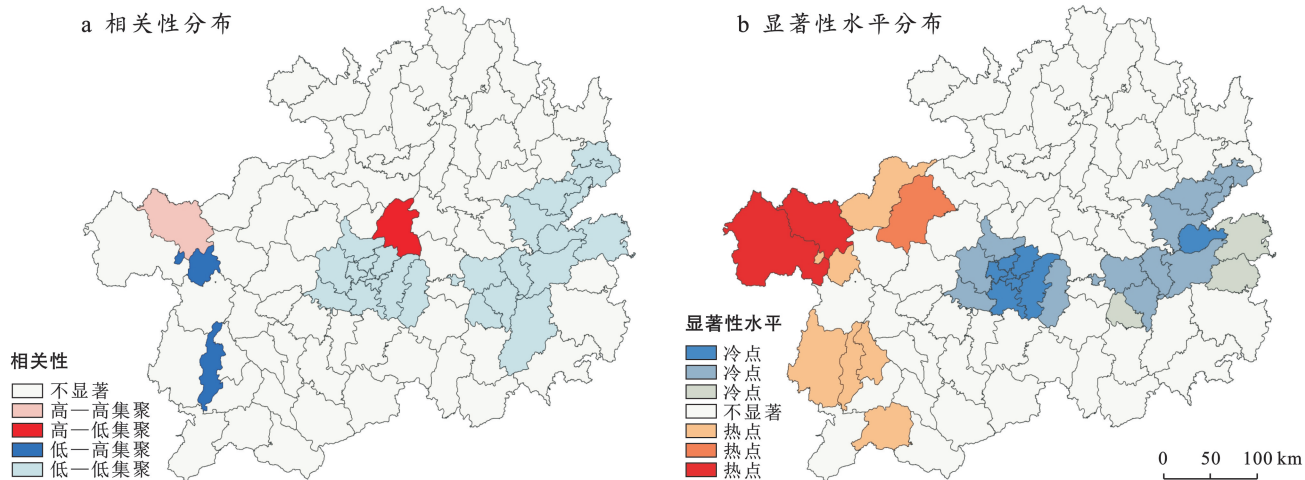


图 5 贵州省已变化土地相关性及其显著性水平分布格局

Fig.5 Correlation distribution patterns and significance levels of land use changes in Guizhou Province

未变化土地的全局 Moran' I 值为 0.658,表示贵州省未变化土地同样具有较高的正相关性和空间集聚性。由图 6a 可知,低—低集聚评价单元共 14 个,主要位于贵阳及贵阳周边地区、关岭、凯里和万山,说明这些土地没有发生显著变化;从江县为高一高集聚,说明该地区的土地利用保持了较高的稳定性。从图 6b 可以看出,冲突冷点集中于贵阳市及周围地区、关岭、凯里、万山。贵阳市在已变化土地和未变化土

地中均为冷点区域,说明贵阳市内不同区域发展方向不同,例如观山湖属于经济开发区,因政策扶持,城镇呈扩张趋势;花溪区自然资源禀赋优良,以发展旅游为主,土地多保护为湿地公园,处于相对稳定状态。冲突热点区域主要为威宁和从江,冲突次热点区域为赫章、七星关、大方、桐梓、黎平,说明这些地区在土地用途方面相对稳定,在经济发展中,土地政策对于这些地区的土地使用有较严格的限制。

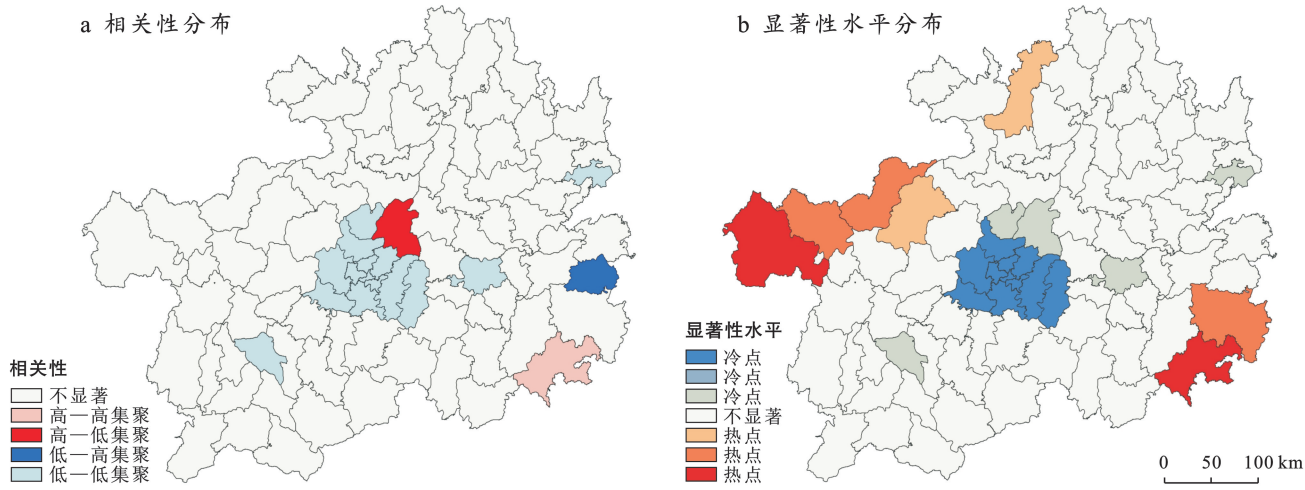


图 6 贵州省未变化土地相关性及其显著性水平分布格局

Fig.6 Schematic distribution pattern of correlation and significance level of unchanged land in Guizhou Province

3.5 土地利用变化频数驱动因素分析

将贵州省土地利用变化频数与各驱动因子进行

空间分析,得到其在各驱动因子上的分布情况,探究和分析其分布特征。

3.5.1 地形因素 ①高程因素。由图 7a 可知,土地利用变化频数中已变化的土地多发生在 500~1 500 m 区间,面积比例达到了 73%,其次是在 1 500~2 000 m 区间,平均面积比例为 13%,在 0~500 和 >2 000 m 区间面积比例最小,均是在 5%左右;而没有发生变化的土地在 500~1 500 m 区间上的面积比例最大,达到了 42%,其次是在 1 000~1 500 m 区间上,面积比例为 38%,在 >2 000 m 区间上的面积比例最小,仅为 4%。②坡度因素。从图 7b 可以看出土

地变化 1 次、2 次和 3 次及以上主要分布在坡度为 8°~15°和 15°~25°,二者总和占到不同程度的土地利用变化频数面积的 70%以上;而土地无变化的则较均匀分布在坡度为 3°~8°,8°~15°和 25°~35°,在 >35°的坡度上,无变化的土地面积比例达到 9%,发生变化的土地面积在此坡度上仅占 3%左右。土地利用变化频数中土地变化多发生在 >3°和 <35°的坡度上。③坡向因素。从图 7c 可以看出,土地利用变化频数在各坡向上的分布较均匀。

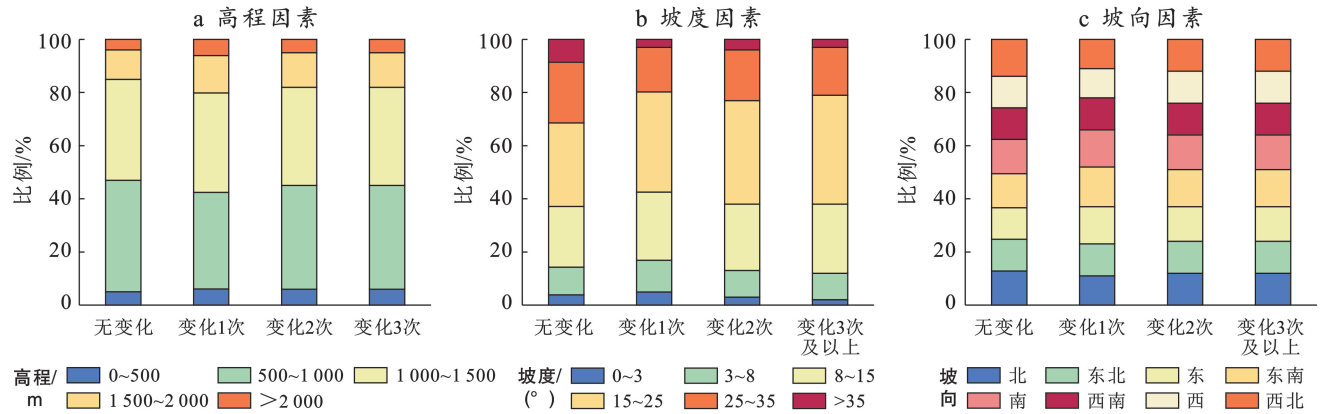


图 7 贵州省土地利用变化频数中各地形因素等级比例

Fig.7 Proportion of each terrain factor class in frequency of land use change in Guizhou Province

3.5.2 气象因素 ①温度因素。土地利用变化频数中没有发生变化的在温度 14~15 °C, 15~16 °C 和 16~18 °C 的区间上面积比例最大(图 8a),达到了 70%以上;已变化的土地多发生在温度 14~15 °C 和 15~16 °C 区间,面积比例达到了 50%以上,其次是分布在 13~14 °C 和 16~18 °C 区间,面积比例分别在 13%和 19%左右,在 8~13 °C 区间的面积比例最小;土地发生 2 次变化和 3 次变化及以上的在温度 18~22 °C 区间上的面积比例超过 10%,在高值温度区间,高频数面积比例较大。

②降水因素。从图 8b 可以看出,土地利用变化频数中已变化的土地主要分布在 1 000~1 100 mm, 1 100~1 200 mm 和 1 200~1 300 mm 的降水区域间,三者面积之和的所占比例达到 85%以上;1 100~1 200 mm 在不同程度的土地利用变化频数中面积比例最大,1 300~1 400 mm 在各频数中面积比例最小,其中在无变化中面积比例为 5%,在其他程度的变化频数中面积比例为 3%。土地变化在高降水区域发生频繁,但当年均降水超过 1 300 mm,土地变化概率急速下降。

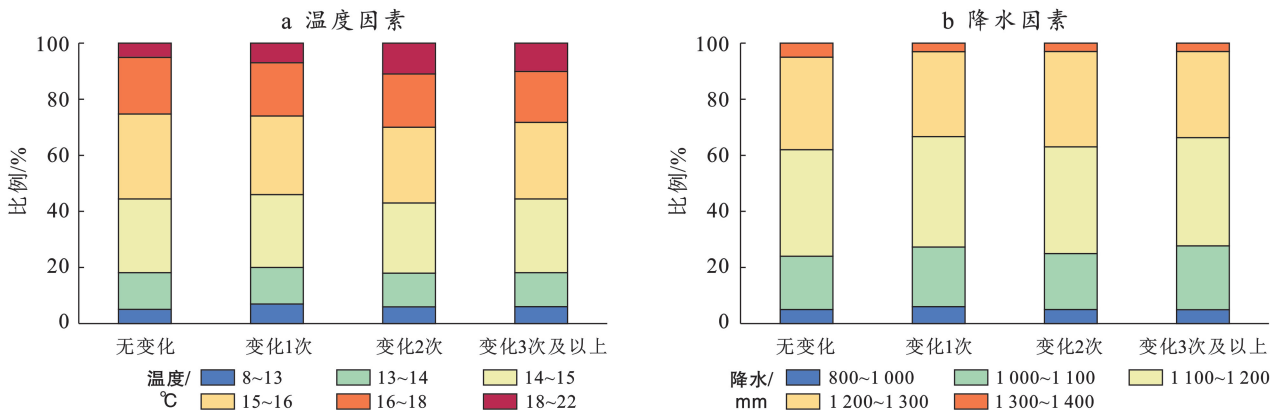


图 8 贵州省土地利用变化频数中各气象因素等级比例

Fig.8 Proportion of each meteorological factor class in frequency of land use change in Guizhou Province

著的空间集聚性,在已变化土地中,冷点集中分布于贵阳市和万山—镇远等一带;热点区域为威宁、赫章、大方、七星关、中山区域,以及普安、晴隆、盘州、安龙区域。未变化土地的热点区域为威宁和从江;冷点集中于贵阳市及周围地区、关岭、凯里、万山;贵阳市在已变化土地和未变化土地中均为冷点区域,说明贵阳市内不同区域发展方向不同。

(4) 土地变化在高程 500~1 500 m 区间和坡度为 3°~35°区间发生最为频繁;降水和气温对土地变化具有促进作用;土地变化多发生在低 GDP 地区和人口较少的地区。在交互探测结果中,坡度和坡向的交互作用对贵州省土地利用变化频数空间分异的解释力最强,其次是坡度和气温的交互、坡度和降水的交互。

5 政策建议

(1) 探索建立贵州省土地利用变化频数监管机制,开展对高频次变化区域进行重点调查,对中低变化区域进行次要调查,对未变化区域保持监测工作。从市州出发,对重点变化区域市州进行重点调查,对非重点变化区域进行次要调查,再以县域为单位进行单独排查,最后落到各个乡镇上的变化和未变化土地开展重点监测工作,层层递进,实行从上而下的土地调查工作。

(2) 加强对已变化土地热点区域的重点监测调查,主要以西北方向的威宁、赫章、大方、七星关、中山区域,以及西南方向的普安、晴隆、盘州、安龙区域。对未变化区域保持监测工作,如威宁、从江、赫章、七星关、大方、桐梓、黎平等地区。

参考文献 (References)

- [1] Mooney H A, Duraiappah A, Larigauderie A. Evolution of natural and social science interactions in global change research programs [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2013, 110(Suppl 1):3665-3672.
- [2] Sterling S M, Ducharne A, Polcher J. The impact of global land-cover change on the terrestrial water cycle [J]. *Nature Climate Change*, 2013, 3(4):385-390.
- [3] Verburg P H, Crossman N, Ellis E C, et al. Land system science and sustainable development of the earth system: A global land project perspective [J]. *Anthropocene*, 2015, 12:29-41.
- [4] 傅家仪, 臧传富, 吴铭婉. 1990—2015 年海河流域土地利用时空变化特征及驱动机制研究 [J]. *中国农业资源与区划*, 2020, 41(5):131-139.
- [5] Fu Jiayi, Zang Chuanfu, Wu Mingwan. Spatial and temporal variability characteristics and driving mechanism of land use in Haihe River Basin from 1990 to 2015 [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2020, 41(5):131-139.
- [5] 史涵, 李蒙, 王向东. 1980—2017 年吉林省土地利用变化及驱动力分析 [J]. *国土与自然资源研究*, 2019(4):14-16. Shi Han, Li Meng, Wang Xiangdong. Analysis of land use change and driving force in Jilin Province from 1980 to 2017 [J]. *Territory & Natural Resources Study*, 2019(4):14-16.
- [6] 杨梅, 张广录, 侯永平. 区域土地利用变化驱动力研究进展与展望 [J]. *地理与地理信息科学*, 2011, 27(1):95-100. Yang Mei, Zhang Guanglu, Hou Yongping. Advances and prospects of the driving force of regional land use change researches [J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2011, 27(1):95-100.
- [7] 卜祥, 张永福, 赵玉, 等. 资源型城市的土地利用变化及驱动力分析: 以克拉玛依市为例 [J]. *天津师范大学学报(自然科学版)*, 2023, 43(2):65-73. Bu Xiang, Zhang Yongfu, Zhao Yu, et al. Analysis of land use change and driving forces in resource-based cities: A case study of Karamay City [J]. *Journal of Tianjin Normal University (Natural Science Edition)*, 2023, 43(2):65-73.
- [8] 张倩, 黄昕, 张良培. 多尺度同质区域提取的高分辨率遥感影像分类研究 [J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2011, 36(1):117-121. Zhang Qian, Huang Xin, Zhang Liangpei. Multiscale image segmentation and classification with supervised ECHO of high spatial resolution remotely sensed imagery [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2011, 36(1):117-121.
- [9] 张倩, 黄昕, 张良培. 高分辨率遥感影像的全变分分割模型 [J]. *测绘科学*, 2012, 37(5):81-83. Zhang Qian, Huang Xin, Zhang Liangpei. Segmentation of high spatial resolution remote sensing image with total variation model [J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2012, 37(5):81-83.
- [10] 黄昕, 李平湘, 张良培. 基于多层形状特征提取与融合的城市高光谱影像解译 [J]. *测绘科学*, 2009, 34(6):62-64. Huang Xin, Li Pingxiang, Zhang Liangpei. Multilevel shape feature extraction and fusion for classification of urban hyperspectral imagery [J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2009, 34(6):62-64.
- [11] 张乐飞, 黄昕, 张良培. 高分辨率遥感影像的支持张量机分类方法 [J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2012, 37(3):314-317.

- Zhang Lefei, Huang Xin, Zhang Liangpei. Classification of high spatial resolution imagery using support tensor machine [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2012, 37(3):314-317.
- [12] 窦世卿, 宋莹莹, 徐勇, 等. 基于随机森林的高分影像分类及土地利用变化检测[J]. *无线电工程*, 2021, 51(9): 901-908.
- Dou Shiqing, Song Yingying, Xu Yong, et al. High resolution image classification and land use change detection based on random forest [J]. *Radio Engineering*, 2021, 51(9):901-908.
- [13] 梁锦涛, 陈超, 张自力, 等. 一种融合指数与主成分分量的随机森林遥感图像分类方法[J]. *自然资源遥感*, 2023, 35(3):35-42.
- Liang Jintao, Chen Chao, Zhang Zili, et al. A random forest-based method integrating indices and principal components for classifying remote sensing images [J]. *Remote Sensing for Natural Resources*, 2023, 35(3): 35-42.
- [14] 冯权龙, 牛博文, 朱德海, 等. 土地利用/覆被深度学习遥感分类研究综述[J]. *农业机械学报*, 2022, 53(3):1-17.
- Feng Quanlong, Niu Bowen, Zhu Dehai, et al. Review for deep learning in land use and land cover remote sensing classification [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2022, 53(3):1-17.
- [15] 省人民政府办公厅关于印发贵州省“十四五”自然资源保护和利用规划的通知[R]. 贵州省人民政府公报, 2022.
- Notice of the General Office of the Provincial People's Government on the Issuance of Guizhou Province's "14th Five-Year Plan" for the Protection and Utilization of Natural Resources [R]. *Gazette of the People's Government of Guizhou Province*, 2022.
- [16] Yang Jie, Huang Xin. The 30 m annual land cover dataset and its dynamics in China from 1990 to 2019 [J]. *Earth System Science Data*, 2021, 13(8):3907-3925.
- [17] Chen Jiandong, Gao Ming, Cheng Shulei, et al. Global 1 km \times 1 km gridded revised real gross domestic product and electricity consumption during 1992—2019 based on calibrated nighttime light data [J]. *Scientific Data*, 2022, 9:202.
- [18] Zhao Naizhuo, Liu Ying, Cao Guofeng, et al. Forecasting China's GDP at the pixel level using nighttime lights time series and population images [J]. *GIScience & Remote Sensing*, 2017, 54(3):407-425.
- [19] Zhang Yujia. Characterizing land changes over several points in time [D]. Massachusetts: Clark University, 2011.
- [20] 张杰, 唐根年. 浙江省制造业空间分异格局及其影响因素[J]. *地理科学*, 2018, 38(7):1107-1117.
- Zhang Jie, Tang Gennian. Spatial differentiation pattern of manufacturing industry in Zhejiang and its influencing factors [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(7):1107-1117.
- [21] 何钊全, 尚雪, 张铜会, 等. 近20年陕北黄土丘陵区景观生态风险时空变化及其冷热点格局[J]. *生态学杂志*, 2023, 42(10): 2514-2525.
- He Zhaoquan, Shang Xue, Zhang Tonghui, et al. Spatiotemporal variations of landscape ecological risk and its cold-hot spot pattern in the loess hills of northern Shaanxi over the past 20 years [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2023, 42(10):2514-2525.
- [22] 朱柏露, 杨奇勇, 谢运球, 等. 漓江流域土地石漠化空间分布及驱动因子分析[J]. *广西师范大学学报(自然科学版)*, 2021, 39(3):139-150.
- Zhu Bailu, Yang Qiyong, Xie Yunqiu, et al. Spatial distribution and driving factors of Karst rocky desertification in Lijiang River Basin [J]. *Journal of Guangxi Normal University (Natural Science Edition)*, 2021, 39(3):139-150.
- [23] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. *地理学报*, 2017, 72(1):116-134.
- Wang Jinfeng, Xu Chengdong. Geodetector: Principle and prospective [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(1):116-134.
- [24] 朱青, 崔宏浩, 张钦, 等. 绿肥阻控贵州山区坡耕地水土流失的应用[J]. *水土保持研究*, 2016, 23(2):101-105.
- Zhu Qing, Cui Honghao, Zhang Qin, et al. The application of green manure controlling soil erosion of slope farmland in Guizhou Mountain Area [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2016, 23(2):101-105.