

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2023.05.043.

程玉卓, 王志杰, 班先娅, 等. 城市化和生态文明建设对喀斯特山地城市景观生态风险的影响评价——以贵阳市花溪区为例[J]. 水土保持研究, 2023, 30(5): 351-357.

CHENG Yuzhuo, WANG Zhijie, BAN Xianya, et al. Evaluation of the Impact of Urbanization and Ecological Civilization Construction on Landscape Ecological Risk in Huaxi District of Guiyang Characterized as Karst Mountain City[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023, 30(5): 351-357.

城市化和生态文明建设对喀斯特山地城市 景观生态风险的影响评价 ——以贵阳市花溪区为例

程玉卓^{1,2}, 王志杰², 班先娅², 刘利萍², 焦菊英^{1,3}

(1.西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2.贵州大学 生命科学学院, 贵阳 550025; 3.中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要: [目的]探究喀斯特山地城市贵阳市花溪区近年来景观格局及景观生态风险动态变化,为喀斯特山地城市生态环境保护与改善和生态安全格局构建等提供基础和依据。[方法]以研究区2008年、2013年和2018年三期景观类型空间数据为主要数据源,根据景观生态风险评价的基本架构,基于ArcGIS ModelBuilder平台构建一体化景观生态风险综合评价模型,分析研究区近年来景观生态风险时空变化特征。[结果](1)2008—2018年,花溪区景观格局变化剧烈,耕地面积缩减216.00 km²,林地和建设用地面积分别扩大127.09 km², 82.80 km²。城市化和生态建设呈明显的空间异质性,总体表现出随距城市中心距离变化而呈现出“中心城市化、四方生态化”变化趋势。(2)2008—2018年,花溪区景观生态低风险区面积显著增大,约164.81 km²,与较低风险区缩减量大致相当,中等风险至高风险区波动变化,变化量较小。生态保护工程对研究区景观生态风险缓解做出贡献,城市化进程因其在喀斯特山地城市不同区域的发展形式不同,表现为城市中心缓解而城市边郊加剧。(3)基于ModelBuilder建立的景观生态风险计算工具可提升评价的效率,且具有通用性,可为不同地区景观生态风险评价提供技术支撑。[结论]花溪区呈典型的喀斯特“城—山”镶嵌格局,景观格局变化及其生态风险效应受快速城市化和生态工程建设影响较大,并存在明显的时空异质性。今后应着重于城镇布局合理规划和人类活动调控,并继续开展植被保护和生态重建,促进经济发展与生态改善“双赢”的可持续发展。

关键词: 景观格局; 景观生态风险; 喀斯特; ModelBuilder

中图分类号: X826

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2023)05-0351-07

Evaluation of the Impact of Urbanization and Ecological Civilization Construction on Landscape Ecological Risk in Huaxi District of Guiyang Characterized as Karst Mountain City

CHENG Yuzhuo^{1,2}, WANG Zhijie², BAN Xianya², LIU Liping², JIAO Juying^{1,3}

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. College of Life Sciences, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 3. Institute of Soil and

Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: [Objective] The aim of this study is to explore the dynamic changes of landscape pattern and landscape ecological risk in Huaxi District, Guiyang City, a karst mountain city, and provide a basis for the

收稿日期: 2021-09-21

修回日期: 2022-08-27

资助项目: 中国科学院战略性先导科技专项(XDA20040202)

第一作者: 程玉卓(1997—), 女, 贵州贵阳人, 硕士研究生, 主要从事土壤侵蚀研究。E-mail: cyz9711@163.com

通信作者: 焦菊英(1965—), 女, 陕西宝鸡人, 博士, 研究员, 主要从事流域侵蚀产沙、土壤侵蚀与植被关系及水土保持效益评价研究。

E-mail: jyjiao@ms.iswc.ac.cn

<http://stbcyj.paperonce.org>

protection and improvement of ecological environment and the construction of ecological security pattern of karst mountain cities. [Methods] The spatial data of landscape types in 2008, 2013, 2018 were selected as the main data sources. Integrated landscape ecological risk comprehensive assessment model was constructed based on ArcGIS ModelBuilder platform according to the basic framework of landscape ecological risk assessment. The spatial-temporal changes of landscape ecological risk in the study area in recent years were analyzed. [Results] (1) From 2008 to 2018, the landscape pattern of Huaxi District changed dramatically, the area of cultivated land decreased by 216.00 km², and the areas of forest land and construction land expanded by 127.09 km² and 82.80 km², respectively. Urbanization and ecological construction showed obvious spatial heterogeneity, so that the overall study area showed the change trend of ‘central urbanization and four-way ecology’ with the variation of distance from the city center. (2) From 2008 to 2018, the area of the lowest-risk landscape ecological area in Huaxi District significantly increased by 164.81 km², which was roughly equivalent to the reduction of the lower-risk area, and the fluctuation change of the range the medium-risk to highest-risk area was relatively small. Ecological protection projects had contributed to the mitigation of landscape ecological risk in the study area. The different forms of urbanization development in different areas of karst mountain cities made the landscape ecological risk manifested as the mitigation of urban centers and the intensification of urban suburbs. (3) The landscape ecological risk calculation tool has high efficiency and strong universality that is not restricted by regions and landscape types, can provide technical support for landscape ecological risk assessment in different regions. [Conclusion] Huaxi District presented a typical karst ‘city-mountain’ mosaic pattern, and the change of landscape pattern and its ecological risk effect were greatly affected by rapid urbanization and ecological engineering construction, and there was obvious spatiotemporal heterogeneity. In the future, more attention should be paid to the rational planning of urban layout and the regulation of human activities, vegetation protection and ecological reconstruction should be continually implemented, so as to promote the win-win benefits of sustainable development of economic development and ecological improvement.

Keywords: landscape pattern; landscape ecological risk; karst; ModelBuilder

生态风险评价是指对暴露于单个或多个胁迫因子下发生负面生态效应的可能性评估^[1]。基于景观格局的生态风险评价以景观为基础,关注景观异质性与空间定量表征,从“景观格局—生态过程”互馈角度探究其在景观尺度产生的潜在不利生态效应^[2-3],是区域生态风险评价的重要分支,广泛应用于城市^[4-5]、流域^[6-7]、区域等^[8-9]多个尺度的生态风险研究,是近年来城镇化进程和生态恢复工程共同作用下区域生态效应研究的热点,对于促进生态保护和环境管理及社会经济可持续发展具有重要实践意义和应用价值^[10]。我国西南喀斯特山地城市因喀斯特地貌分布,景观格局变化受人类活动影响及其所产生的生态效应存在高度空间异质性。然而,目前针对喀斯特山地城市的研究多集中于景观稳定性^[11]、生态脆弱性^[12]、土壤重金属生态风险^[13]、生态环境质量等^[14],对受快速城市化和生态建设双重因素驱动下,西南喀斯特城市景观格局及其生态风险变化特征的科学研究仍较为薄弱。

目前,基于景观格局的生态风险评价多借助 GIS、Fragstats、Patch analyst 和 Excel 等平台进行,流程冗杂且需要在不同软件间协同处理,易造成数据的混乱或损

失,目前仍需一个集成式的景观生态风险计算工具,以提高景观生态风险评价的效率和实践性。ModelBuilder 是 ArcGIS 提供的构造地理处理工作流和脚本的图形化建模工具,将空间数据及其分析与处理通过流程化结合在一起,具有可视性、快捷性、开放性等特点^[15],为建立景观生态风险计算工具提供了可能。

贵阳市是典型的喀斯特山地城市,受特殊地质背景制约,加之旅游开发和城市建设等人类活动干扰剧烈,生态环境脆弱、稳定性差^[16]。从 2007 年决定建设生态文明城市以来,贵阳市将生态环境建设提到前所未有的高度^[17]。花溪区既是贵阳市城市南延的前沿阵地和重要区域^[18],又是贵阳市全力打造的全域生态旅游示范区,其景观格局近年变化明显且还将受到强烈干扰,掌握其景观格局动态变化及景观格局演变的生态风险效应,对防范和化解生态环境风险具有重要意义。基于此,本研究通过对基于景观格局指数的景观生态风险评价流程的分解,运用 ModelBuilder 建立景观生态风险计算工具,以期实现景观生态风险评价的流程化、快速化、批量化,推进景观生态风险评价在行业应用中的发展;并以典型喀斯特山地城市贵阳市花溪区为研究对象,以

2008 年、2013 年和 2018 年 Landsat 遥感影像为主要数据源,基于喀斯特特色景观格局及其变化分析其景观生态风险效应,为喀斯特山地城市生态可持续管理、生态环境保护与改善和生态安全格局构建等提供基础和依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

花溪区(26°11′—26°34′N,106°27′—106°52′E)地处云贵高原东斜坡和苗岭山脉中段,位于贵阳市南部(图 1),为典型的喀斯特地质地区,国土面积 825.26 km²。全区地貌以山地和丘陵为主,地处长江、珠江分水岭,属亚热带湿润温和型气候,冬无严寒,夏无酷热,年均气温 14.3~15.8℃,雨量充沛,年均降雨量 1 100~1 200 mm,湿度较大,年均相对湿度为 78%。生态环境优越、文化底蕴深厚,自 2002 年确立“生态立区”战略以来,先后获得了“国家生态示范区”“国家全域旅游示范区”“全国绿色发展百强区”“国家生态文明建设示范区”等称号。

1.2 数据来源与处理

本研究以花溪区 2008 年 Landsat5 TM 遥感影像、2013 年及 2018 年 Landsat8 OLI 遥感影像为基础。在经过几何校正、图像镶嵌、图像剪裁和图像增强等预处理后,根据土地利用现状分类标准(GB/T21010—2007),结合研究区实际情况,将景观类型分为建设用地、林地、草地、耕地、水域和未利用地 6 类,分别建立解译标志,运用支持向量机法,对花溪区 2008 年、2013 年和 2018 年的遥感影像进行监督分类。并利用 Kappa 系数和随机采样对比对监督分类结果进行精度检验:三期影像总体精度均达到 85%,Kappa 系数 0.85 以上,满足本研究精度需要。为了避免图像分辨率不同造

成的误差,3 个时期的遥感图像在解译前统一重采样为 30 m×30 m 的空间分辨率。

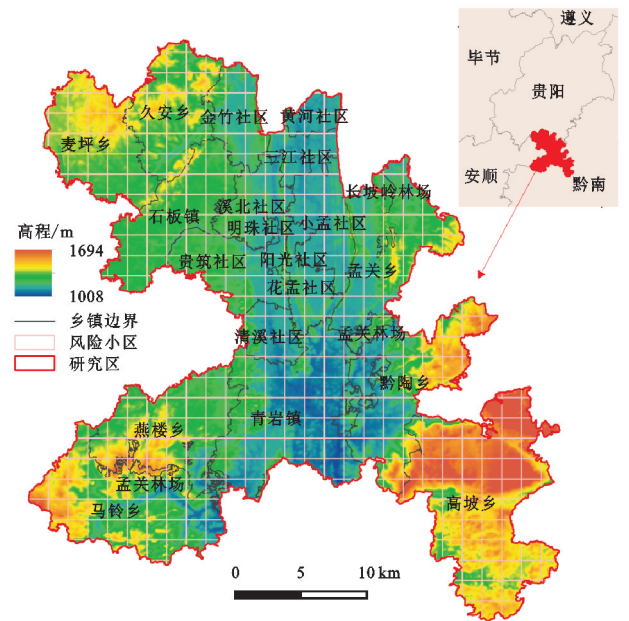


图 1 研究区位置和风险评价单元划分示意图

1.3 景观生态风险评价模型

景观生态风险评价从景观要素镶嵌、景观格局演变和景观生态过程的角度入手^[3]。根据景观与生态风险的联系,综合考虑生态系统受外界干扰的强弱及其内部抵抗力的大小^[6],利用景观干扰度指标和景观脆弱度指标获取景观损失度,从而构建景观生态风险指数模型(表 1)。为了实现景观生态风险指数的空间化,基于网格采样法,参考相关研究成果^[19],采用等间距系统采样法将研究区进行 1 500 m×1 500 m 的采样单元划分,得到风险小区 475 个(图 1),并计算每一小区内的景观生态风险指数,作为小区中心点的景观生态风险水平。

表 1 景观生态风险指数的相关指标和计算方法

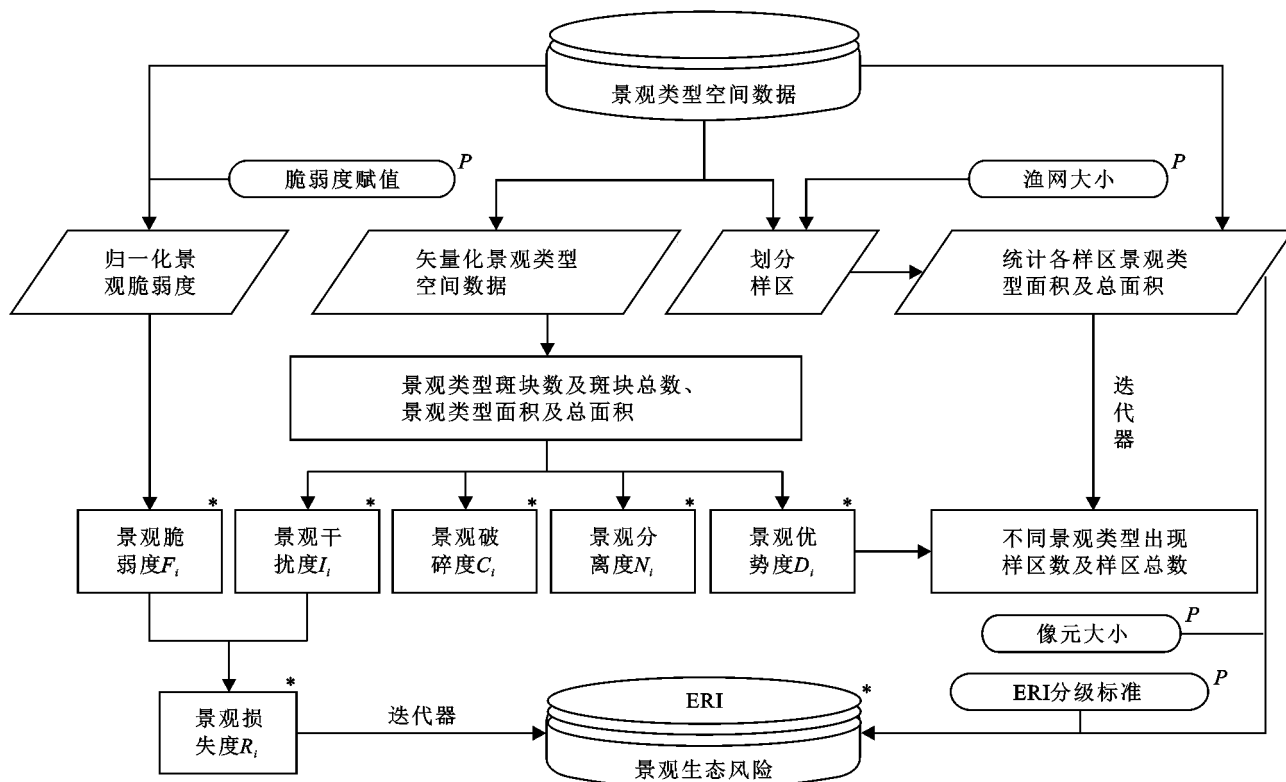
指标	计算公式	含义
景观破碎度 C_i	$C_i = n_i / A_i$	表示景观在给定时间和给定性质上被分割的破碎化程度 ^[20] 。式中: n_i 为区域内景观 i 的斑块数; A_i 为区域内景观 i 的面积
景观分离度 N_i	$N_i = \frac{\sqrt{n_i A_n}}{2 A_i}$	表示某一景观类型中不同斑块个体分布的分离程度 ^[20] ,分离程度越大,表明景观分布越分散,景观生态稳定性较低。式中: A_n 为区域总面积
景观优势度 D_i	$D_i = \frac{Q_i + M_i}{4} + \frac{L_i}{2}$	反映斑块在景观中的重要地位 ^[21] ,其值越高代表斑块对景观格局形成及变化影响越大。式中: Q_i 为斑块 i 出现的小区数/总小区数; M_i 为斑块 i 的数目/小区总数; L_i 为斑块 i 的面积/小区总面积
景观干扰度 I_i	$I_i = aC_i + bN_i + cD_i$	反映不同景观所代表的生态系统受到以人类活动为主的干扰的程度。式中: a, b, c 为各指标的权重,且 $a + b + c = 1$ 。根据已有相关研究 ^[4] ,对 a, b, c 这 3 个指标分别赋以 0.5, 0.3, 0.2 的权值
景观脆弱度 F_i	由排序归一法获得	表示不同景观类型对外界干扰的敏感性,其值越高代表该类景观抵抗外界干扰的能力越弱。针对花溪区的实际情况,借鉴前人的研究成果 ^[9, 22] ,将研究区景观类型按脆弱性程度排序:建设用地=1,林地=2,草地=3,耕地=4,水域=5,未利用地=6,并进行归一化处理。
景观损失度 R_i	$R_i = I_i \times F_i$	表示不同景观类型生态系统在受到外界干扰时其自然属性损失程度 ^[22] ,值越大,生态风险越高
景观生态风险指数 ERI	$ERI = \sum_{i=1}^n \frac{A_{ki}}{A_k} R_i$	表示一个评价单元内综合生态损失度的相对大小,即评价单元内生态风险大小 ^[23] 。式中: n 为景观类型数; A_{ki} 为第 k 个风险小区中 i 类景观的面积; A_k 为第 k 个风险小区的总面积

采用 Kriging 插值法模拟研究区景观生态风险的空间分布规律,并利用自然断点法^[2]将景观生态风险划分为 5 个等级。划分标准为:低风险区($ERI \leq 0.0245$)、较低风险区($0.0245 < ERI \leq 0.0305$)、中等风险区($0.0305 < ERI \leq 0.0385$)、较高风险区($0.0385 < ERI \leq 0.0508$)、高风险区($ERI > 0.0508$)。

1.4 景观生态风险计算工具

设计景观生态风险计算工具的目的在于实现景观生态风险指数的便捷计算,建立通用的景观指数法生态风险计算工具。数据基础是景观类型栅格图像,输入风险小区划分标准、景观脆弱度赋值、景观生态风险分级

标准及空间分辨率等参数,通过模型计算最终可得到研究区景观生态风险分布图和分级分布图、景观格局指数表和景观生态风险指数表。景观生态风险评价工具以景观类型栅格数据为基础数据,根据其功能分为 3 个模块。模块一主要完成风险小区划分;模块二为景观格局指数的计算,通过对栅格图像进行统计分析和区域分析等处理获取各景观类型斑块数、脆弱度及面积等属性,根据计算公式来提取景观格局指数;模块三为景观生态风险指数的计算,以模块一划分的风险小区为评价单元,结合模块二获取的景观损失度指数进行计算,实现景观生态风险指数的获取。计算流程见图 2。



注: * 表示输出数据;P 表示用户输入的工具参数。

图 2 景观生态风险工具计算流程

2 结果与分析

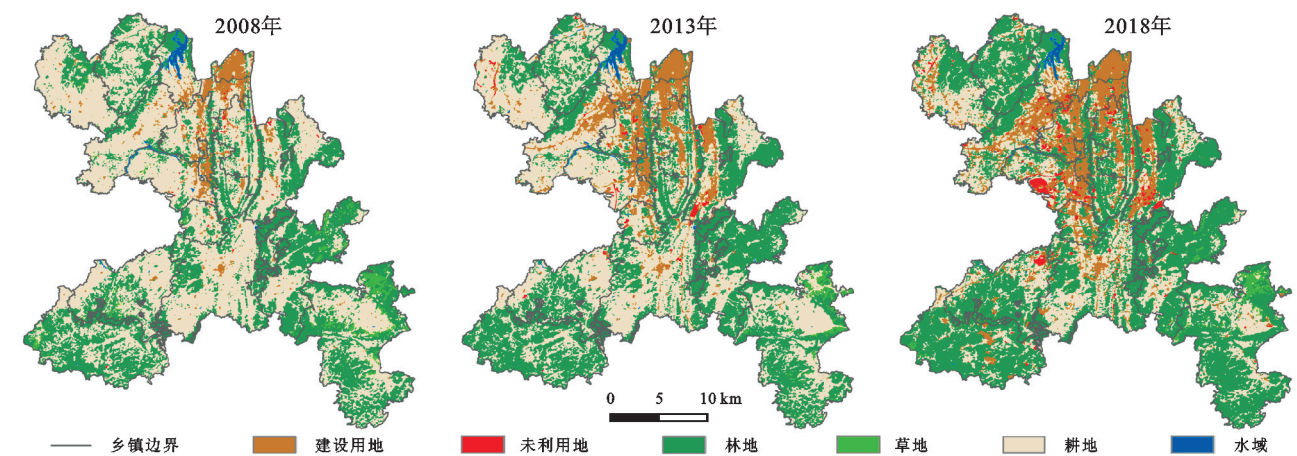
2.1 景观类型时空变化特征

统计分析花溪区 2008 年、2013 年和 2018 年不同景观类型面积特征,可以看出(图 3,图 4):2008 年花溪区是典型的农业区,研究初期景观类型以耕地这一传统优势景观为主,广泛分布于地势平坦的地区,占全区面积 53.38%;林地次之,为 39.34%,主要集中在海拔较高的山地丘陵区;建设用地数量较少,主要分布在研究区中北部低海拔地区;草地零星镶嵌于林地周围;水域受政策保护,变化不大,花溪区水域主要包括金竹社区的阿哈水库和贵筑—明珠—小孟—三江—黄河等社区一线的花溪河。

2008—2018 年,花溪区景观类型面积变化整体呈“一减三增二平”的趋势,即耕地减少,林地、建设用地和未利用地增多,草地和水域小幅度波动。具体而言,耕地、林地和建设用地变化幅度最大,林地和建设用地分别增加 127.09 km²,82.80 km²,建设用地在十年间面积平稳增长,而林地在 2013—2018 年面积扩大更为显著,扩张面积达 89.21 km²;耕地不断缩减,共减少 216.00 km²,与建设用地和林地的增加量基本持平。研究区景观格局逐渐由以耕地为主演变为林地占优。

10 年间,花溪区景观类型空间变化呈现出“中心城市化、四方生态化”的格局。花溪区中北部地区受城镇化影响较显著,建设用地大量侵占耕地,呈显著的扩张趋势,这一趋势随距花溪区行政中心距离的增

大而减弱,景观格局变化特征向耕地减少、林地或林地及建设用地增多转变。其中,花溪区中部地区的贵筑社区、溪北社区、孟关乡和燕楼乡等多个乡镇(社区),因贵安新区、花溪大学城、孟关汽车贸易城等项目的建设,景观类型变化还表现出未利用地以块状和带状局部增多的明显特征。总体而言,2008—2018 年,连续的耕地被逐渐扩张的林地、建设用地等分割,整体连贯状态被分离成零星破碎状态,表现为建设用地与耕地、林地与耕地、林地与建设用地、建设用地与未利用地等镶嵌体增多,使区域破碎化程度加大,空间上朝着复杂化、多样化的方向发展。



注:CL 表示建设用地; WL 表示林地; GL 表示草地; AL 表示耕地; WB 表示水域; UL 表示未利用地。

图 3 花溪区 2008 年、2013 年和 2018 年各景观类型面积统计

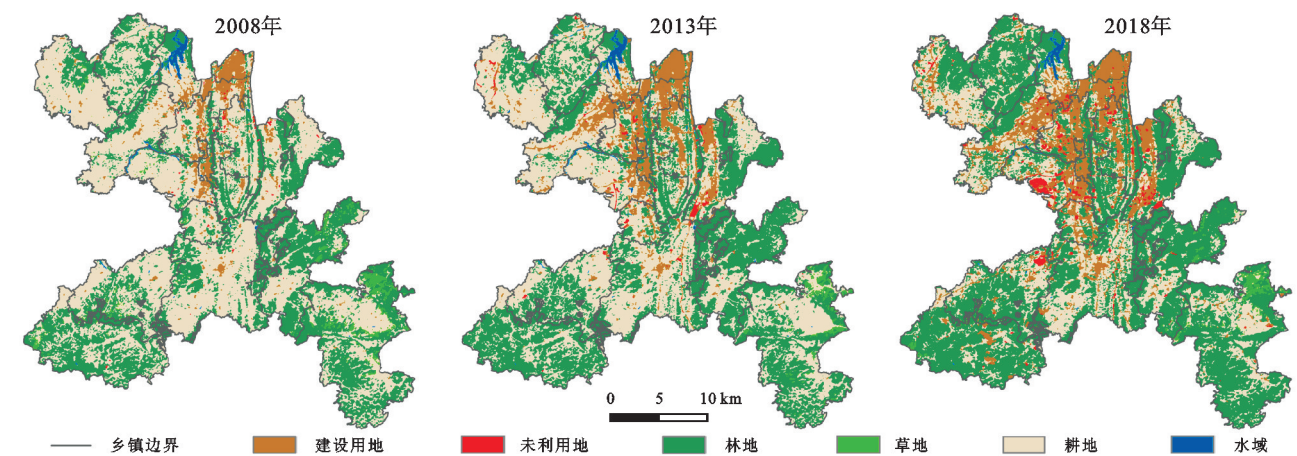


图 4 花溪区 2008 年、2013 年和 2018 年景观类型空间分布图

2.2 景观生态风险时空变化特征

统计分析研究区 3 个时期不同景观生态风险等级面积及比例(表 2),可以看出:2008 年、2013 年和 2018 年,研究区景观生态风险均以低风险和较低风险为主,二者总面积占全区 70%左右。研究期间,花溪区景观生态低风险区面积持续增加,2008—2013 年和 2013—2018 年分别增长 146.77 km², 33.12 km²,与同期较低风险区面积减量大致相当,分别为

150.63 km², 36.94 km²。中等风险区、较高风险区和高风险区变化量均较小,呈波动变化状态,2008—2018 年总体变化量分别为 3.65 km², -6.17 km², 3.18 km²。其中,2008—2013 年较高风险区减少,中等风险和高风险区域增大;2013—2018 年则相反。总的来说,研究区近十年来景观生态风险动态呈“整体缓解、局部加剧”的趋势,且 2008—2013 年变化更为剧烈。

表 2 花溪区 2008 年、2013 年和 2018 年各景观生态风险区面积统计

风险等级	2008 年		2008—2013		2013 年		2013—2018 年		2018 年		2008—2018 年
	面积/km ²	比例/%	面积变化/km ²		面积/km ²	比例/%	面积变化/km ²		面积/km ²	比例/%	面积变化/km ²
I	126.38	15.32	146.77		273.15	33.12	18.04		291.19	35.30	164.81
II	455.35	55.20	-150.63		304.72	36.94	-14.84		289.88	35.14	-165.47
III	161.37	19.56	5.15		166.52	20.19	-1.5		165.02	20.01	3.65
IV	65.25	7.91	-10.86		54.39	6.59	4.69		59.08	7.16	-6.17
V	16.50	2.00	9.56		26.06	3.16	-6.38		19.68	2.39	3.18

注:I 表示低风险区; II 表示较低风险区; III 表示中等风险区; IV 表示较高风险区; V 表示高风险区。

由图 5 可以看出,研究区不同时期高风险区的空间位置差异较大,但主要分布在花溪区边界地带,且以北部多于南部。具体而言,2008 年高风险区分布较为集中,主要分布在花溪区北部的金竹社区和主城区部分(涉及黄河社区、三江社区、小孟社区、溪北社

区和孟关乡)以及花溪区东南部的高坡乡等区域。

10 年间,花溪区四方山区低风险范围明显扩大,中北部城区原中等风险至高风险多数转变为较低和低风险,如黄河社区、三江社区等,但城山交错带等地景观生态风险等级仍保持或提升至较高水平,如孟关乡和小孟

社区交界、青岩镇中部以及溪北社区、贵筑社区和石坝镇所构三角区等。景观生态风险高值区域由中北部向

西南方向移动,重心逐渐向贵筑社区和燕楼乡的外延交错带(贵安新区)靠拢,并出现多个新的高风险区。

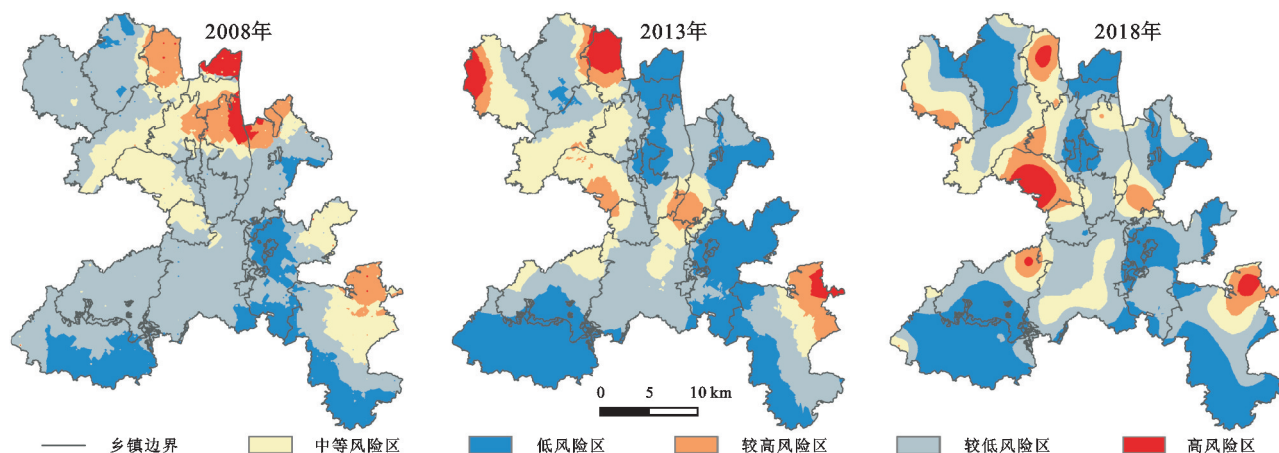


图5 花溪区2008年、2013年和2018年景观生态风险分级分布

3 讨论与结论

3.1 讨论

ModelBuilder 模型构建器可实现景观生态风险评价的集成化和流程化,该工具具有以下特点:(1) 高效。在 R7 处理器、16 G 运行内存的电脑配置下,该工具 20 秒内可完成花溪区景观生态风险计算,大大提高了景观生态风险评价效率。(2) 灵活性较强。可针对研究区实际情况调整工具参数,包括对景观脆弱度赋值、风险小区设定、像元大小和景观生态风险指数分级标准进行自定义。基于此,本研究运用景观生态风险模型工具,分析了近年来处于快速城镇化和生态文明建设背景下的喀斯特山地城市花溪区景观格局及景观生态风险时空变化特征。

近十年来,花溪区耕地景观被侵蚀较严重、建设用地和林地扩张明显,与前人的研究相一致^[24]。景观生态风险呈现出“总体缓解,局部恶化”的趋势,国家生态保护工程建设和以城市化和工业化为主导的社会经济发展对花溪区景观生态风险变化的贡献最大,人为因素对生态环境影响显著。

“外部蔓延与内部填充相结合”的城市扩展方式^[25]使建设用地以城区为中心表现出“中心聚集、外围分散”的分布特征,城市中心建设用地分布更加密集、紧凑,景观生态风险随之减小;而随距城市中心距离越大,景观格局逐渐变化为以林地或林地和耕地为主,大量喀斯特自然山体对城市扩张起到了阻断作用,使喀斯特城市的外延扩展呈现出与非喀斯特城市不同的间断式的生长形式,连续的景观被零散分布的新增建设用地割裂,使城市边缘区景观斑块进一步破碎化,即使在生态建设推动下林地景观连片发展,区

域景观生态风险仍然升高,这一现象主要出现在研究区中部。此外,城市的发展需求必然会引起大量的工程建设,随着花溪大学城、贵安新区建设、孟关工业园区、高新技术园区等项目的启动和实施,花溪区中部地区生态风险呈逐年加剧的趋势,渐渐成为研究区生态风险高值重心区域。自 2014 年提出加快贵阳市全国生态文明示范城市后建设,基于“林城”的发展定位,2013—2018 年,花溪区西北、东北、东南和西南四角林地比例快速上升,生态风险整体下降,以林地为代表的自然景观构成了花溪区的主要生态屏障和绿色缓冲区。

本文分析了贵阳市花溪区 2008 年、2013 年和 2018 年景观生态风险空间分布特征,在一定程度上体现了在快速城市化进程和生态文明建设的背景下,喀斯特山地城市景观生态风险的变化规律,但仍缺乏对生境本底脆弱的喀斯特地区的针对性。如何加强生态风险研究的指向性,还需在后续研究中进一步深化。

3.2 结论

本研究应用 ArcGIS ModelBuilder 平台设计了景观生态风险计算工具,并以贵阳市花溪区为研究对象,以 2008 年、2013 年和 2018 年景观类型空间分布数据为基础,构建景观生态风险综合评价指数,系统分析在快速城镇化进程和生态文明建设双重影响下花溪区近十年的景观生态风险时空分布和变异特征,得出以下结论:

(1) 10 年间,花溪区景观类型发生剧烈变化,耕地大量转移至林地和建设用地,耕地共减少约 216.00 km²,林地和建设用地分别增加 127.09 km², 82.80 km²,逐渐由 2008 年以耕地为主导的生产用地型结构转变为 2018 年以林地为主的生态用地型结构。城镇化进程和生态恢复工程在研究区内呈明显的空间分异性,研究区中

北部的城区部分以建设用地扩张为主,而随距城市中心距离扩大,生态用地占比及其增幅显著增大,呈现出“中心城市化、四方生态化”的格局。

(2) 2008—2018年,花溪区景观生态风险均以低风险和较低风险为主,各时期约占全区总面积的70%,低风险区面积增大164.81 km²,较低风险区减小165.47 km²,中等至高风险波动变化,整体表现为较高风险区减少6.17 km²,中等风险和高风险区分别增大3.65 km²,3.18 km²。得益于生态保护工程的持续推进以及城区建设用地的不断内充,花溪区中北部城区及四面山区景观生态风险整体缓解;但由于喀斯特山地城市发展导致的城市外缘“城—山”镶嵌体等景观镶嵌体增多,景观生态风险局部增大。此外,快速城市化发展中建设项目的大规模实施,推动花溪区高风险区域由中北部向西南方向移动,中部地区生态风险加剧,逐渐成为研究区生态风险高值重心区域。

(3) ModelBuilder 模型构建器可实现景观生态风险评价的集成化和流程化。景观生态风险评价工具备有高效性和灵活性等特点,且具有通用性,不限地区和景观类型,可为不同地区景观生态风险评价提供技术支撑。

参考文献:

- [1] 雷炳莉,黄圣彪,王子健.生态风险评价理论和方法[J].化学进展,2009,21(Z1):350-358.
- [2] 傅微,吕一河,傅伯杰,等.陕北黄土高原典型人类活动影响下景观生态风险评价[J].生态与农村环境学报,2019,35(3):290-299.
- [3] 彭建,党威雄,刘焱序,等.景观生态风险评价研究进展与展望[J].地理学报,2015,70(4):664-677.
- [4] 谢刚,谢元贵,廖小锋,等.基于水土流失敏感性的岩溶地区景观生态风险评价:以黔南州为例[J].水土保持研究,2018,25(3):298-304.
- [5] 田鹏,李加林,史小丽,等.浙江省土地利用格局时空变化及生态风险评价[J].长江流域资源与环境,2018,27(12):2697-2706.
- [6] 胡和兵,刘红玉,郝敬锋,等.流域景观结构的城市化影响与生态风险评价[J].生态学报,2011,31(12):3432-3440.
- [7] 钟艳霞,崔文斌,罗玲玲,等.基于景观格局的宁夏星海湖生态风险时空分异[J].广西师范大学学报:自然科学版,2021,39(2):154-161.
- [8] Xu W X, Wang J M, Zhang M, et al. Construction of landscape ecological network based on landscape ecological risk assessment in a large-scale opencast coal mine area[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 286. doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2020.125523.
- [9] 杜军,赵胜朝,邱士可,等.2000—2015年豫西黄土丘陵区土地利用变化及景观生态风险评价[J].水土保持研究,2021,28(1):279-284,291.
- [10] 曹祺文,张曦文,马洪坤,等.景观生态风险研究进展及基于生态系统服务的评价框架:ESRISK[J].地理学报,2018,73(5):843-855.
- [11] 张欣,王志杰.黔中喀斯特山地城市景观稳定性评价与特征分析[J].生态学报,2022,42(13):5243-5254.
- [12] 陈彪,卢炳科,邱炜.广西喀斯特地貌区土壤重金属来源与生态风险评价[J].环境污染与防治,2022,44(5):639-644.
- [13] 王茜,赵筱青,普军伟,等.喀斯特山区土地利用变化对生态脆弱性的影响[J].山地学报,2022,40(2):289-302.
- [14] 刘纯军,周国富,黄启芬,等.基于土地利用转型的喀斯特山区流域生态环境效应评价[J].生态科学,2021,40(3):102-111.
- [15] 汤国安,杨昕. ArcGIS 地理信息系统空间分析试验教程 [M].2 版.北京:科学出版社,2012:514-529.
- [16] 王志杰,程玉卓,班先娅,等.典型喀斯特山地城市生态空间格局演变研究:以贵阳市花溪区为例[J].西南大学学报:自然科学版,2020,42(9):155-164.
- [17] 苏维词.贵州喀斯特山区生态环境脆弱性及其生态整治[J].中国环境科学,2000,20(6):547-551.
- [18] 汪章飞.喀斯特城市边缘带土地利用变化及驱动因素研究:以贵阳市花溪区为例[D].重庆:重庆师范大学,2014.
- [19] Mann D, Anees M M, Rankavat S, et al. Spatio-temporal variations in landscape ecological risk related to road network in the Central Himalaya[J]. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 2021,27(2):289-306.
- [20] 陈利顶,傅伯杰.黄河三角洲地区人类活动对景观结构的影响分析:以山东省东营市为例[J].生态学报,1996,16(4):337-344.
- [21] 赵越,罗志军,李雅婷,等.赣江上游流域景观生态风险的时空分异:从生产—生活—生态空间的视角[J].生态学报,2019,39(13):4676-4686.
- [22] 谢小平,陈芝聪,王芳,等.基于景观格局的太湖流域生态风险评估[J].应用生态学报,2017,28(10):3369-3377.
- [23] 卿凤婷,彭羽.基于景观结构的北京市顺义区生态风险时空特征[J].应用生态学报,2016,27(5):1585-1593.
- [24] 贾语非,王秀荣.基于 CA-Markov 模型的贵阳市花溪区景观格局预测及优化[J].西部林业科学,2020,49(6):118-127.
- [25] 李松,罗绪强.基于 RS 的多数据源的 700 多年来贵阳城市扩展时空特征研究[J].自然资源学报,2014,29(10):1734-1745.