

引用格式: 贾语非, 王秀荣. 贵阳市花溪区 2008—2018 年景观生态风险时空动态[J]. 山地学报, 2023, 41(2): 180-191.

JIA Yufei, WANG Xiurong. Spatio-temporal dynamics of landscape ecological risk in Huaxi district of Guiyang city, Guizhou, China (2008-2018) [J]. Mountain Research, 2023, 41(2): 180-191.

贵阳市花溪区 2008—2018 年景观生态风险时空动态

贾语非, 王秀荣*

(贵州大学 林学院, 贵阳 550025)

摘 要: 贵州省贵阳市花溪区是“国家级生态示范区”, 具备生态保护典型性及文旅产业代表性。近二十年来, 发展文旅产业和快速城镇化给花溪区带来了一系列生态风险。研究花溪区生态风险变化, 对合理指导城镇发展意义重大。当前有关花溪区生态风险的相关研究仅阐述了景观类型及生态风险的时空变化情况, 对其变化原因分析不足, 缺乏实践指导意义。本文基于花溪区景观生态风险评价结果, 结合土地利用动态度模型及相关政策, 采用空间统计学方法对其 2008—2018 年景观类型的相互转移、景观生态风险的空间分布及空间自相关特征进行分析, 结果表明: (1) 花溪区耕地面积显著减少, 建设用地面积快速增加。耕地及乔灌地向建设用地转化以及耕地、乔灌地之间的相互转化是景观类型转变的主要模式。人类活动引起的景观转化对总体景观格局的影响不断增强。(2) 花溪区高生态风险区域随城市建设向区域西北侧转移, 分布更为集中, 低生态风险区域稳定分布在东、北及西南侧, 较为分散, 总体景观生态风险空间分布呈现高建设强度区域生态风险高、山区城郊生态风险低的特征; 低生态风险区域面积先下降后上升, 较高、高生态风险等级区域的面积先上升后下降, 较低、中等生态风险区域变化相对稳定。(3) 花溪区景观生态风险空间自相关性显著, 局部自相关模式以高-高及低-低单元聚集为主, 同时低-高及高-低聚集单元持续存在, 区域空间异质性持续增强, 人地矛盾突出。基于以上结论, 本研究提出了统筹集约发展、合理推行建设, 保护基本农田、支持第一产业, 重视水文过程、把控岸线开发等建议。本研究可为贵州花溪区安全合理进行城镇发展提供指导, 为后续相关研究提供借鉴。

关键词: 景观生态风险; 时空演变; 空间统计分析; 贵州花溪区

中图分类号: Q149

文献标志码: A

贵州省贵阳市花溪区是“国家级生态示范区”, 入选全国首批全域旅游示范区, 是贵州省的重要生态名片。2008—2018 年, 花溪区大力发展文旅产业, 城镇化加速推进^[1], 但这一过程也伴随着景观生态风险加剧、人地矛盾突出等问题。科学合理推进花溪区创新发展是应对上述问题的关键, 景观生态风险评价能够为此提供科学方法。花溪区具备生态保护典型性及文旅产业代表性, 系统分析花溪区生态风险变化机制, 对合理指导城镇发展意义重大。

在自然或人为因素影响下, 景观格局与过程相互作用可能导致众多不利后果^[2], 并可能进一步引起区域生态系统及其响应机制发生变化^[3], 导致景观生态风险。景观生态风险评价在景观基础上, 描述人类活动或自然灾害对区域内生态系统结构、功能等产生不利作用的可能性和危害程度。其中, 基于景观格局的景观生态风险评价适用于单一生态系统及复合生态系统, 包括城市及行政区域^[4-7]、自然保护区^[8-10]、河流流域^[11-13]、湖泊湿地^[14-15]、露天

收稿日期 (Received date): 2020-05-06; 改回日期 (Accepted date): 2023-04-08

基金项目 (Foundation item): 国家自然科学基金 (31760228)。[National Natural Science Foundation of China (31760228)]

作者简介 (Biography): 贾语非 (1994-), 男, 贵州贵阳人, 硕士研究生, 主要研究方向: 地景规划与生态修复。[JIA Yufei (1994-), male, born in Guiyang, Guizhou province. M. Sc. candidate, research on landscape planning and ecological restoration] E-mail: jyf881986@163.com

* 通讯作者 (Corresponding author): 王秀荣 (1972-), 女, 河南人, 博士, 教授, 主要研究方向: 园林植物、景观规划与生态修复。[WANG Xiurong (1972-), female, born in Henan. Ph. D., professor, research on landscape plants, landscape planning and ecological restoration] E-mail: wxr7211@126.com

矿区^[16-17]、生态脆弱地^[18-20]等,能够有针对性地对复杂系统中的生态风险进行识别,且具备综合性、大尺度、时间动态性、空间异质性,以及自然、人类活动及经济社会等要素相耦合的特征^[21-24],但却难以对特定景观的变化过程进行分析。当下,有关花溪区景观生态风险的相关研究不足,研究内容大多对区域景观及生态风险的时空变化情况进行阐述,缺乏对变化原因的深入分析^[25-26],无法给出针对性建议。因此,对花溪区进行景观生态风险评价并进一步研究其变化原因意义重大。

本文基于花溪区景观生态风险评价结果,结合土地利用动态度模型及相关政策,采用空间统计学方法,系统分析各类景观的相互转移、景观生态风险动态特征及其空间自相关特征,尝试分析其景观生态风险演变的原因,以期对花溪区安全合理进行城镇发展提供可靠建议,并拓展相关研究的方法体系,为后续相关研究提供思路。

1 研究区概况

1.1 地理区位及自然条件

花溪区地理位置为 106°27′~106°52′E, 26°11′~26°34′N,地处长江、珠江分水岭,位于贵州省贵阳市南部。花溪区下辖 4 镇 5 乡、18 个社区,国土面积 964.14 km²,整体地势东高西低,地形地貌以山地丘陵为主。具有高原季风湿润气候的特点,全年平均气温 16.0℃,冬季平均气温 7.0℃,夏季平均气温 23.7℃。年平均降雨量 1178.3 mm,空气优良天数

341 d。区域内生物多样性丰富,总体森林覆盖率达 48.9%,内有大小河流 51 条,河流总长约 390 km。松柏山水库、花溪水库两座中型水库库容达 7140×10⁴ m³,是贵阳市重要的饮用水源地。

1.2 人口及社会发展概况

2018 年末,花溪区常住人口数约 67.74 万人,包括汉、苗、布依等 40 个民族,其中少数民族人口 15.14 万人,其中苗族、布依族约占 77%;2018 年全年,花溪区生产总值达 640.5 亿元,同比增长 10.7%,三次产业结构比为 3.13:57.28:39.59,从比重看,第一产业比重比下降 0.21%,第二产业比重下降 2.03%,第三产业比重提高 2.24%,第一产业比重不断降低。

1.3 土地利用状况及特点

依据《花溪区土地利用总体规划(2006—2020)调整方案》^[1],2014 年底,花溪区土地面积 96 414.67 ha,其中农用地达 75 657.38 ha,占比达 78.47%;建设用地 12 657.53 ha,其他土地 8099.76 ha。农用地中,耕地共 33 766.84 ha,其零星分布于青岩镇、孟关乡、久安乡和高坡乡等区域,整体连贯性较差,区域内其他草地面积 5771.33 ha,其中未利用地多位于大坡度山地,不宜作为补充耕地或进行开发建设。但同时,花溪区旅游资源多达数十处,发展潜力巨大。因此,合理进行城镇发展意义重大,统筹区域建设势在必行。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

本研究数据源为花溪区 2008 年、2013 年及 2018 年三个时间梯度精度为 0.5 m 的 Landsat TM 遥感影像。在景观类型的划分上,中国科学院资源环境科学中心将中国陆地生态系统类型归纳为农田生态系统、森林生态系统、草地生态系统、水体与湿地生态系统、荒漠生态系统、聚落生态系统及其他生态系统。结合花溪区不存在荒漠,并处于快速城镇化进程等现状,在 ArcMap10.2 中将花溪区景观类型划分为乔灌地、耕地、草地、水体、裸地、在建用地及已建成用地等 7 类,并进一步搜集了《花溪区土地利用总体规划(2006—2020)年调整方案》^[1]以及《贵阳市城市总体规划(2011—2020)》(2017 年修订)^[27]等相关社会经济及政策资料。

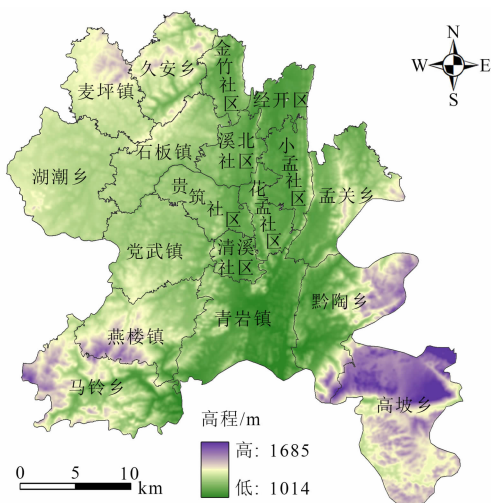


图1 花溪区行政区划图

Fig. 1 Administrative zonation of Huaxi district

2.2 研究方法

2.2.1 景观演变的动态分析

本文使用 GIS10.2 构建花溪区三个时间梯度下各景观类型的转化矩阵,并通过 Excel 计算转化的具体面积,以定量描述各景观类型的动态转化过程;基于上述计算结果,运用土地利用动态度模型,计算研究时段内各景观类型的演变速率^[28],包括单一景观动态度及景观综合动态度的计算,前者用于描述某一类景观的变化,后者则能够体现研究区域整体景观的转变情况^[29]。具体计算公式为:

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} / T \times 100\% \quad (1)$$

式中, K 为研究时段内的某景观类型的变化动态度; T 为研究时段; U_a 为起始时段该景观类型的面积(ha); U_b 为研究时段截止时该景观类型的面积(ha)。

$$S = \left\{ \sum_{i=1}^n \Delta S_{i-j} / \sum_{i=1}^n S_i \right\} / T \times 100\% \quad (2)$$

式中, S 为研究内景观类型的总体变化动态度; S_i 为起始时段第 i 种景观类型的面积(ha); ΔS_{i-j} 为 T 时间内第 i 种景观类型转变为其他景观类型的总面积(ha)。

2.2.2 生态风险指数计算

本文基于网格分析法,通过计算分析,在体现花溪区空间特征的前提下,确定 $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ 为空间网格尺寸,将花溪区划为 1138 个生态风险小区,并使用生态风险指数计算公式计算出各个风险小区的生态风险值。

根据景观风险指数计算公式,各风险小区的生态风险值由景观干扰度以及景观脆弱度两种景观格局指数决定,其具体计算公式为:

$$ERI = \sum_{i=1}^N (A_{ki}/A_k) S_i F_i \quad (3)$$

式中, ERI 为景观生态风险指数; N 为景观类型数(种); A_{ki} 为第 k 个风险小区内景观类型 i 所占的面积(ha); A_k 为第 k 个风险小区的总面积(ha); S_i 为景观干扰度指数; F_i 为景观脆弱度指数。其中, S_i 值能体现出不同景观类型所代表的生态系统受到干扰(主要为人为干扰)的程度,根据国内学者关于景观风险定量评价的理论^[30],采用景观破碎度指数、景观分离度指数及景观优势度指数构建景观干扰度指数方程,其具体计算公式为:

$$S_i = aC_i + bN_i + cD_i \quad (4)$$

式中, C_i 为景观破碎度指数,此值越大,景观单元的内部稳定性越低; N_i 为景观分离度指数,其值越大,表明该景观类型的地域分布越分散,破碎化程度越高; D_i 为景观优势度指数,其值与整体景观由几个主要景观类型控制的程度成正比; a 、 b 、 c 为各项系数,其和为 1,参考相关研究^[31-32],令系数 $a=0.5$ 、 $b=0.3$ 、 $c=0.2$,得:

$$C_i = n_i/A_i \quad (5)$$

$$N_i = \frac{\sqrt{n_i/A}}{2} \cdot \frac{A_i}{A} \quad (6)$$

$$D_i = \frac{Q_i + M_i + 2L_i}{4} \quad (7)$$

式中, n_i 为景观类型 i 的斑块数目(个); A_i 为景观类型 i 的总面积(ha); A 为所有景观类型的总面积(ha); Q_i 为景观类型 i 出现的风险小区数与风险小区总数之比; M_i 为景观类型 i 的数目与斑块总数之比; L_i 为景观类型 i 的面积与区域总面积之比。

景观脆弱度指数 F_i 则代表所指景观类型所代表的生态系统受到外界干扰时的易损程度,在本文所划分 7 种景观类型中,已建成用地最稳定,在建用地最易转变,参考相关研究^[33],对 7 种景观类型景观脆弱度的具体赋值为:在建用地 7、水体 6、耕地 5、草地 4、裸地 3、乔灌地 2、已建成用地 1,再经归一化处理后得到景观脆弱度指数值。

2.2.3 地理空间统计分析

获取不同研究时段各风险小区的生态风险值,即各研究时段研究区生态风险空间分布后,在 ArcMap10.2 平台中使用克里金法进行空间插值,得到花溪区 3 个研究时段的生态风险空间分布图,为进一步分析研究区生态风险的演变过程,使用自然断点法将图中景观生态风险区间划分为低、较低、中、较高、高 5 个强度等级,并通过空间统计学方法进行进一步分析,以揭示生态风险空间分布的随机性及结构性特征^[34]。本研究选取空间分析软件 GeoDA 中的 LISA 检验以及 ArcMap10.2 平台中的 Moran's I 检验作为空间局部自相关及整体自相关的校验指标,在 ArcMap10.2 的地统计模块中选取简单克里金法(Simple Kriging)获取研究区各时段的半变异协方差函数,并通过函数中的变程(Major range)、块金值(Nugget)及偏基台值(Partial sill)等关键指标揭示研究区各时段生态风险的空间自相关特征。

3 结果与分析

3.1 花溪区景观类型变化特征

3.1.1 景观类型的结构变化

花溪区景观空间分布情况如图 2 所示。各研究时段内,区域景观类型相互转移情况明显,而耕地及

乔灌地向在建用地、建成用地的转化以及耕地乔灌地之间的相互转化是区域景观类型转变的主要模式(表 1、表 2)。

如表 3 所示,2008—2018 年,耕地面积减少了 14 562.9 ha,比例为 39.5%;裸地面积同样明显减少,比例为 43.78%;草地面积则增加了 39.66%。结合表 1、表 2 可知,大幅减少的耕地是乔灌地、在

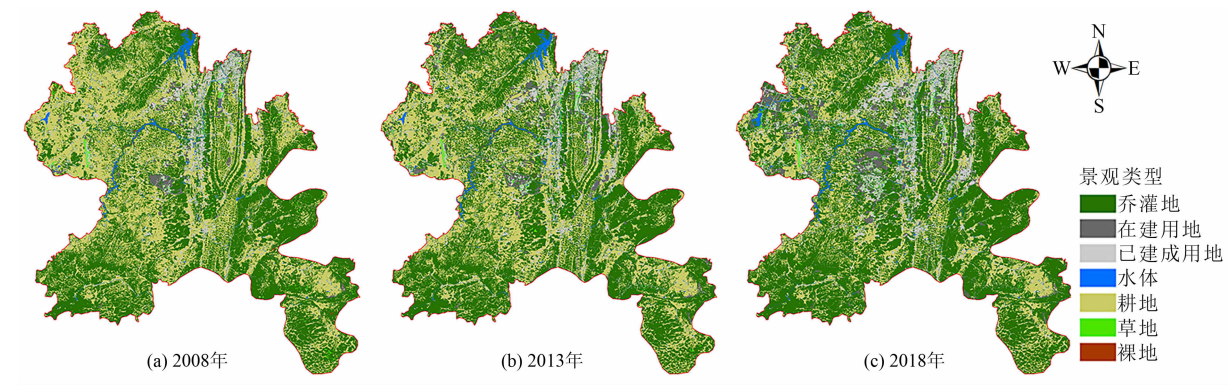


图 2 花溪区各时期景观分布图(引自文献[35]中图 3)

Fig. 2 Landscape distribution of Huaxi district in different periods (Referred to Fig. 3 in the Reference [35])

表 1 花溪区 2008—2013 年景观类型转移矩阵

Tab. 1 Transfer matrix of landscape type in Huaxi district from 2008 to 2013

景观类型	2013 年						
	草地	耕地	裸地	乔灌地	水体	已建成用地	在建用地
2008 年							
草地	196.30	71.37	0.70	150.65	1.69	62.43	15.77
耕地	142.17	26 160.62	20.35	7507.08	146.10	1586.17	1308.66
裸地	0.22	9.22	33.10	57.45	19.17	3.45	22.27
乔灌地	84.36	3722.26	74.10	42 551.23	68.67	1052.07	935.88
水体	7.45	133.02	26.26	92.04	1074.07	42.28	19.96
已建成用地	45.62	424.60	0.87	824.67	15.35	5152.84	252.76
在建用地	82.53	190.98	2.23	385.35	11.01	539.08	1090.71

表 2 花溪区 2013—2018 年景观类型转移矩阵

Tab. 2 Transfer matrix of landscape type in Huaxi district from 2013 to 2018

景观类型	2018 年						
	草地	耕地	裸地	乔灌地	水体	已建成用地	在建用地
2013 年							
草地	209.56	41.56	1.37	195.26	2.89	97.66	10.33
耕地	171.26	18 177.04	8.31	8315.99	261.41	1980.99	1797.05
裸地	0.73	9.63	9.40	70.64	54.69	3.40	13.06
乔灌地	105.50	3120.97	54.87	45 272.21	95.33	1709.90	1208.48
水体	7.48	84.15	4.30	95.24	1081.45	37.86	25.58
已建成用地	96.88	461.24	0.87	1190.63	26.25	6211.83	450.61
在建用地	105.38	413.28	2.33	1067.27	13.82	1121.80	922.111

建用地及已建成用地扩张的主要来源。其中,乔灌地面积增加 7719.55 ha,涨幅 15.92%,在建用地与已建成用地面积共增长 6568.2 ha,综合涨幅达 72.79%。以上景观类型的相互转化与花溪区的自然条件、政策导向及发展建设等因素密切相关,在建用地面积的不断增加表明花溪区建设进程不断加速,而花溪区山地及丘陵为主的地形地貌使得相对平坦的耕地及部分乔灌地成为城市扩张的主要区域,随着花溪区土地利用调整方案中退耕还林、全域旅游等政策的实施,区域产业发展模式向旅游业等第三产业倾斜,第一产业经济占比不断降低,农耕活动显著减少,大量耕地荒弃,逐渐转变为乔灌地及其他类型景观。水体的变化率为 10.09%,最为稳定,表明研究时段内花溪区水文过程相对平稳,而建设用地的急剧扩张和农用地的迅速减少,则暴露出快速建设发展背景下花溪尖锐的人地矛盾。

3.1.2 景观类型的动态变化

如图 3 所示,在单一景观上,2013—2018 年间裸地的变化速率最快,达 -9.92%,这与花溪水库上游水位上涨使得部分河岸裸露地转化为水体这一现

象存在一定关系。整个研究时段内已建成用地及在建用地始终保持 4% 以上的较高正增长态势,与之对应,耕地持续保持着 4% 以上的快速负增长态势。除水体及裸地外,两个研究梯度各景观变化态势基本趋同。区域发展建设加速推进,建设用地快速增加,农用地随之快速减少。从研究区域整体出发,综合景观动态度由 4.18% 上升至 5.09%,表明区域景观总体变化愈发强烈。相比于 2008—2013 年,2013—2018 年由发展建设及政策等人类活动引起的各类型景观的相互转化对花溪区总体景观格局的影响愈发显著。

3.2 花溪区景观生态风险时空动态

3.2.1 景观生态风险的空间分布特征

花溪区 2008—2018 年景观生态风险时空变化情况如图 4 所示,花溪区高生态风险区域伴随城市建设向区域西北及东南方向转移,且更为集中,而低生态风险区域则主要分布在区域东侧、北侧及西南侧,较为分散。

依据《贵阳市城市总体规划(2011—2020)》(2017 年修订)^[27],2011 年起,湖潮、麦坪、石板、党武等区域被划分至国家级新区贵安新区的规划管辖

表 3 花溪区 2008—2018 景观类型变化情况

Tab. 3 Landscape type transfer in Huaxi district from 2008 to 2018

变化情况	景观类型						
	草地	耕地	裸地	乔灌地	水体	已建成用地	在建用地
转移面积/ha	197.88	14 562.90	63.43	7719.55	140.75	4445.39	2122.76
变化比例/%	39.66	-39.50	-43.78	15.92	10.09	66.17	92.12

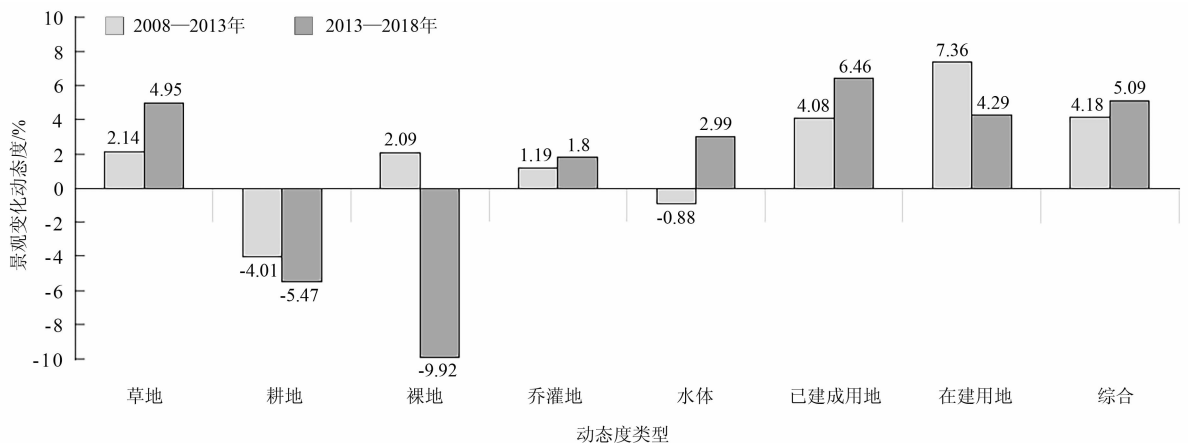


图 3 花溪区各研究时段景观动态变化指数

Fig. 3 Indices of landscape dynamics in Huaxi during different periods

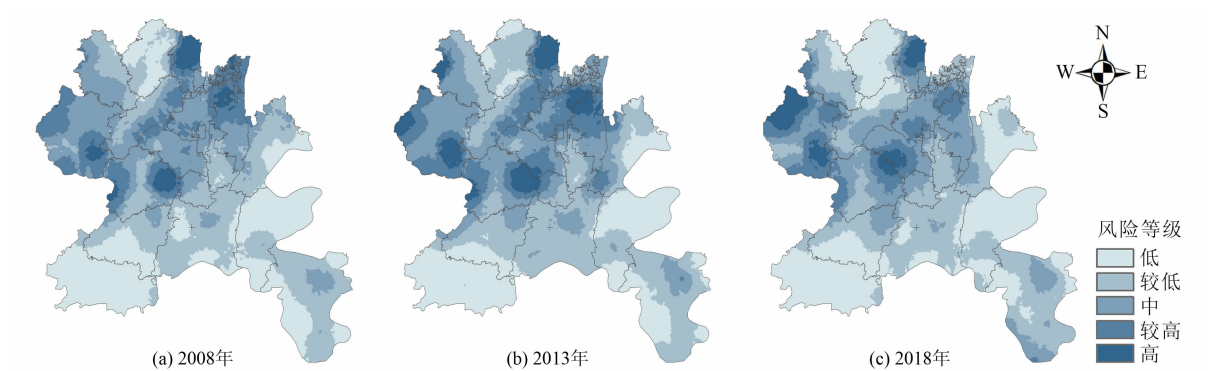


图4 花溪区景观生态风险空间分布图

Fig. 4 Spatial distribution of landscape ERI in Huaxi

范围之内。区域发展迅速,生态风险显著提升,高坡乡部分区域内风力发电等基础设施的营建同样导致其生态风险有所提升。上述区域生态风险等级的提升与建设活动区域高度吻合,表明经过生态风险等级的提升与人类活动的关系密切。除此之外,由于阿哈水库这一大体量水体的存在,金竹社区一直保持着较高的生态风险;而以乔灌地为主体的景观结构以及较低的建设发展强度使得久安、燕楼、马铃、黔陶等区域一直保持着较低的生态风险等级,其他区域的转移情况相对平稳。综上所述,花溪区总体生态风险空间转移情况明显,呈现出高建设强度区域生态风险高,山区城郊生态风险低的总体空间分布特征。

通过花溪区三个时段不同生态风险区域面积占比情况可知:(1)低生态风险区域面积先下降后上升。(2)较低及中等生态风险等级区域的面积变化相对稳定。(3)较高及高生态风险等级区域的面积先上升后下降(图5);2008—2013年,花溪区城市建设多点分散,众多建设用地及周边生态风险等级显著提升,导致该时段内低生态风险区域面积减少,较高及高生态风险区域面积增加;2013—2018年,建设用地进一步扩张、连片,高生态风险区更加集中于上述区域,同时全域旅游、退耕还林等政策的实施使乔灌地面积增加,使该时段内低生态风险区域面积回涨、较高及高生态风险区域面积减少,较低及中等生态风险区域相对平稳的面积变化则表明其转移变化相对稳定。

3.2.2 景观生态风险的空间自相关特征

通过 Moran's I 检验的结果可知,花溪区三个研究时段的 P 值均接近于 0,小于 0.05,具有显著空间

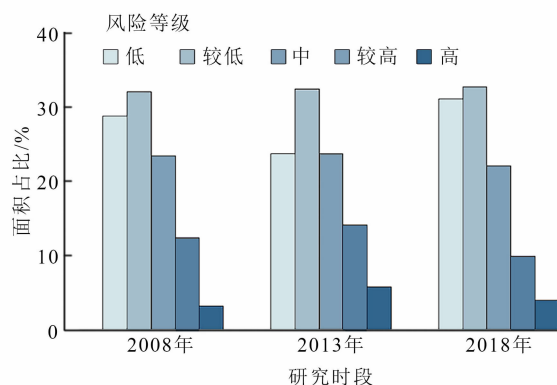


图5 各时期不同生态风险等级区域面积占比

Fig. 5 Area proportion of different ERI levels in three periods

自相关性,且均表现出聚集型的总体空间自相关特征(表4)。基于上述结果,通过理论半变异函数模拟可知,简单克里金法所得函数模型的拟合情况较好。如表5所示,研究时段内,块金值先增后减,总体呈减少态势,表明导致花溪区空间异质性的随机因素总体呈降低趋势,而其间数值上升主要是研究时段前中期在空间上相对分散的城市建设所导致的。各时间梯度块金值与基台值之比均小于 75%,表明花溪区具有较为明显的空间自相关性,该值总

表4 花溪区各时期 Moran's I 检验结果

Tab. 4 Moran's test results in Huaxi during three periods

年份	Moran's I 指数	P 值	Z 得分	空间自相关特征
2008 年	0.51	0.00 **	23.39	聚集
2013 年	0.51	0.00 **	22.99	聚集
2018 年	0.56	0.00 **	25.57	聚集

注: ** : P 值在 0.01 水平上显著相关; * : P 值在 0.05 水平上显著相关。

表 5 半变异函数模型拟合参数
Tab. 5 Model parameters of semi variogram

年份	分析方法	变程 M	块金值 C_0	偏基台值 C	块金值与基台值之比 / % $(C_0/C_0 + C)$
2008 年	简单克里金法	15 019.48	0.61	0.39	61.13
2013 年	简单克里金法	14 699.52	0.64	0.39	62.34
2018 年	简单克里金法	12 834.57	0.59	0.41	59.14

体呈下降趋势则说明系统原因引起的空间变异占比在不断上升,城市建设等人类活动对区域景观生态风险的影响正不断加剧。变程值这一反映景观生态风险空间相关距离的指标不断减小,这是城市快速发展过程中各景观相互转化的结果,表明区域内景观斑块的数量以及破碎程度不断上升,景观异质性不断增强。

三个研究期花溪区 Moran's I 指数均大于 0,景观生态风险散点于坐标原点附近聚集,具有明显空间自相关特征,且生态风险散点主要在一三象限分布,表明花溪区的局部空间自相关模式以高-高聚集

及低-低聚集为主,仅有少部分散点向二四象限扩展,则低-高聚集及高-低聚集的区域相对较少,其中高-高聚集即高生态风险区域在空间上聚集连续,低-低聚集即低生态风险区域在空间上聚集连续,低-高聚集表示该低生态风险区域出现在高生态风险区域周边,高-低聚集则说明该高生态风险区域出现在低生态风险区域周边。Moran's I 指数总体呈上升趋势,区域空间自相关性及空间异质性也随之增强,人地矛盾突出(图 6)。

局部空间自相关的 LISA 检验结果表明(图 7),2008—2018 年,花溪区高-高生态风险聚集单元数量逐步上升,除有大量水体存在的金竹社区等区域相对稳定外,其他高-高风险聚集单元不断向小孟、湖潮、党武、石板及麦坪等高强度建设区域转移聚集。低-低风险聚集单元主要集中在久安、燕楼、马铃、黔陶等低建设强度区域,总体数量变化相对稳定。上述两类单元的空间分布与高低两类景观生态风险区域的时空分布高度吻合,表明区域局部空间自相关模式与人类活动间的关系同样密切。而低-

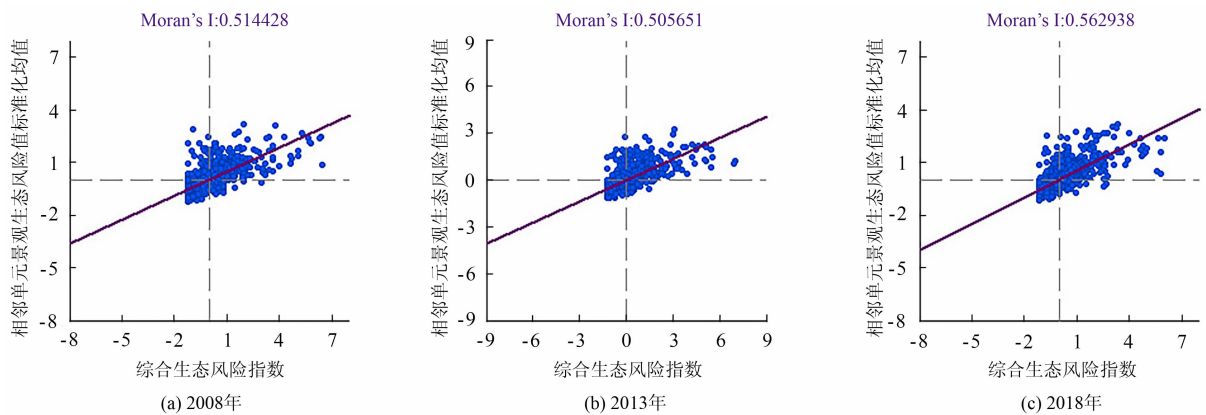


图 6 花溪区景观生态风险 Moran's I 散点图
Fig. 6 Moran's index scatter plot of landscape ERI in Huaxi district

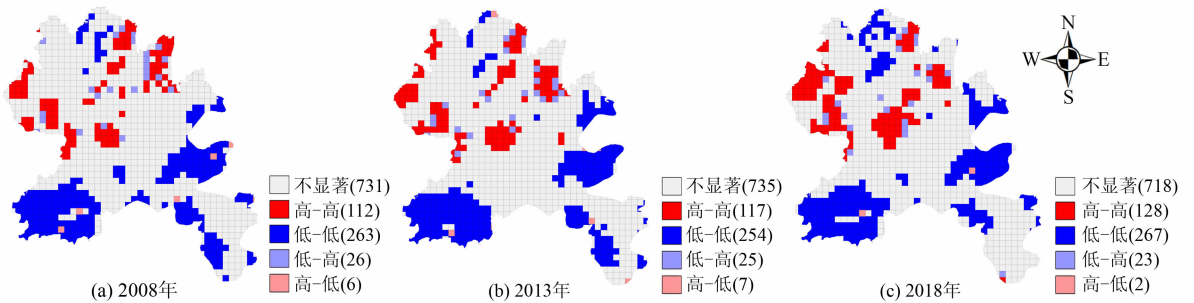


图 7 花溪区景观生态风险指数局部自相关聚类图
Fig. 7 Local spatial autocorrelation cluster map of landscape ERI in Huaxi district

高聚集单元主要存在于高-高聚集单元即高建设强度区域周边,其空间分布随上述区域变化而变化,且数量没有显著降低,说明建设活动在持续侵占周边较低生态风险区域且该趋势没有明显放缓。高-低聚集单元则零星分布在低-低聚集区域中,说明低生态风险区域中的零星建设活动也一直存在。而持续存在的低-高及高-低聚集单元及其空间位置的不断变化转移是人类活动对花溪区景观生态风险产生持续影响的直接体现。

4 结论与建议

4.1 结论

本文综合土地利用动态度模型及相关政策,采用空间统计学方法对花溪区 2008—2018 年景观类型的相互转移、景观生态风险的空间分布及空间自相关特征进行分析,得到以下结论:

(1)花溪区耕地、裸地面积显著减少,草地、乔灌地、水体平稳增长,在建用地及已建成用地迅速增加,耕地及乔灌地向建设用地转化以及耕地乔灌地之间的相互转化是其景观类型转移的主要模式。在单一景观层面,已建成用地及在建用地持续保持较高的正增长动态,耕地则持续呈负增长态势,除裸地及水体外,各景观变化动态的趋势基本趋同。同时,综合景观动态度持续上升,人类活动引起的景观转化对总体景观格局的影响不断增强。

(2)花溪区高生态风险区域随城市建设向区域西北部的湖潮、麦坪、石板、党武等区域转移,空间分布越发集中,低生态风险区域稳定分布在东、北及西南侧的久安、燕楼、马铃、黔陶等乡镇,空间分布较为分散,总体景观生态风险空间分布呈现高建设强度区域生态风险高,山区城郊生态风险低的特征。在各风险等级区域的面积比例变化上,低生态风险区域面积先下降后上升,较高及高生态风险等级区域的面积先上升后下降,较低及中等生态风险等级区域的面积变化则相对稳定。

(3)花溪区景观生态风险空间自相关性显著,表现出聚集型的总体空间自相关特征,Moran's I 指数总体呈上升趋势,区域空间自相关性及空间异质性持续增强。局部自相关模式以高-高聚集及低-低聚集为主,高-高风险聚集单元向小孟、湖潮、党武、石板及麦坪转移聚集,低-低风险聚集单元稳定集中

在久安、燕楼、马铃、黔陶,以上两类风险单元的时空分布与高低两类景观生态风险区域的时空分布高度吻合。低-高及高-低聚集单元一直存在且空间位置不断转移变化则是人类活动对花溪区景观生态风险产生持续影响的体现。

4.2 建议

2008—2018 年间,花溪区建设用地面积涨幅达 72.79%,耕地面积则锐减 39.5%,较高、高等级生态风险区域的转移以及高-高生态风险聚集单元的变化与城市建设区域延展方向高度吻合,人类活动对于花溪区景观生态风险影响显著。为指导花溪区合理进行发展建设,基于本文研究结论,提出以下建议:

(1)统筹集约发展,合理推行建设:研究时段内,全域旅游等政策的实施使得花溪区发展建设加速推进,其中 2008—2013 年在建区域多点分散,较高及高生态风险区域面积占比显著上升,而 2013—2018 年在建区域更为连片集中,较高及高生态风险区域不断聚集,面积回落,表明统筹集约发展是控制高生态风险区域面积扩张的有效手段。同时,综合景观动态度、Moran's I 指数呈上升趋势,低-高及高-低聚集单元持续存在且空间位置不断变化等结论均说明人类活动对花溪区景观生态风险的转移变化产生了显著影响,人地矛盾越发突出。因此,在具体建设活动中应充分考虑并利用原有地形地貌等条件,合理控制建设活动对景观生态风险的影响,钝化人地矛盾。

(2)保护基本农田,支持第一产业:研究时段内,大量耕地转变为建设用地。2018 年,花溪区耕地景观面积已经十分接近其规划的基本农田保护面积,为合理引导建设用地扩张模式、控制农林用地不断加速向建设用地转变趋势,严格保护基本农田势在必行。在守住基本农田面积红线的大前提下,应支持第一产业转型,结合文旅等第三产业高速发展契机,发展体验型农林产业,真正将农林用地使用起来,确保第一产业经济比重持续稳定,从而稳定耕地面积、加强花溪区景观生态风险的稳定性。

(3)重视水文过程,把控岸线开发:研究时段内,花溪区的水文过程相对稳定,但仅 2018 年花溪水库上游的水位上涨就导致 2013—2018 年间的河岸裸地面积大幅减少,使裸地成为该研究时段内单一景观动态度最高的景观类型。花溪区内的阿哈水

库、花溪水库也是贵阳市的重要饮用水源地,需要严格保护,而水体景观本身脆弱度较高,易受外界干扰影响,严控岸线附近的开发建设十分重要。长远来看,水文变化、植被演替等对景观生态风险的影响也会逐渐凸显,因此,也须合理把控上述自然过程。

5 研究展望

在研究方法上,本文采用基于景观格局的景观生态风险评价对花溪区这一复合生态系统进行研究。该方法能较好阐释景观要素的功能、数量、距离及组合关系等对区域生态风险的影响,但不适用于分析特定景观的变化过程。在此基础上,本文使用土地使用动态模型揭示各类景观相互转移情况、使用地理空间统计学方法揭示景观生态风险的空间分布及空间自相关特征,结合相关规划资料内容,尝试对花溪区景观生态风险变化转移的过程及原因进行分析,并给出针对性建议。研究结论方面,在本文 10 年的跨度下,人类活动对花溪区景观生态风险的影响虽已有显著体现,但自然过程的影响仍不够明晰。在后续相关研究中,若需进一步明确自然演替过程对区域景观生态风险的影响情况,可选取更长时间段作为研究跨度。

当下,景观生态风险研究方法主要可以分为基于景观格局和基于“源-汇”理论两种^[2],前者适用于总体景观,后者侧重于生态过程,两者存在较大分歧,难以真正耦合。在景观生态风险评价过程中,尺度效应的不确定性不明确、评价阈值难以划定等问题仍难以解决,而相关理论与研究方法的革新突破则是解决上述问题、建立完善景观生态风险评价研究体系的关键。

参考文献 (References)

- [1] 花溪区人民政府. 花溪区土地利用总体规划(2006—2020)调整方案[EB/OL]. (2017. 6) [2020. 3]. <https://max.book118.com/html/2018/1210/522330031001334.shtm>. [Adjustment Plan for the Overall Land Use Plan of Huaxi District (2006 – 2020)]
- [2] 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. [PENG Jian, DANG Weixiong, LIU Yanxu, et al. Review on landscape ecological risk assessment [J]. Acta Geographica Sinica, 2015, **70**(4): 664 – 677] DOI: 10.11821/dlxb201504013
- [3] 王如松. 转型期城市生态学前沿研究进展[J]. 生态学报, 2000, **20**(5): 830 – 840. [WANG Rusong. The frontiers of urban ecological research in industrial transformation [J]. Acta Ecologica Sinica, 2000, **20**(5): 830 – 840] DOI: 10.3321/j.issn:1000 – 0933.2000.05.020
- [4] 刘焱序, 王仰麟, 彭建, 等. 基于生态适应性循环三维框架的城市景观生态风险评价[J]. 地理学报, 2015, **70**(7): 1052 – 1067. [LIU Yanxu, WANG Yanglin, PENG Jian, et al. Urban landscape ecological risk assessment based on the 3D framework of adaptive cycle [J]. Acta Geographica Sinica, 2015, **70**(7): 1052 – 1067] DOI: 10.11821/dlxb201507003
- [5] 周爽, 刘邵权, 彭立. 基于地理探测器的成都市景观格局与生态系统服务的关联效应[J]. 山地学报, 2021, **39**(2): 262 – 274. [ZHOU Shuang, LIU Shaoquan, PENG Li. Correlation effect in the developing landscape patterns with changes in ecosystem services in Chengdu city, China [J]. Mountain Research, 2021, **39**(2): 262 – 274] DOI: 10.16089/j.cnki.1008 – 2786.000593
- [6] 杨佳, 于志军, 王参, 等. 雄安新区不同土地利用方式土壤性状的空间分布特征——以容城县为例[J]. 生态学报, 2021, **41**(17): 6764 – 6772. [YANG Jia, YU Zhijun, WANG Can, et al. Spatial distribution features of soil properties from Xiong'an New Area: A case study of Rongcheng County [J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, **41**(17): 6764 – 6772] DOI: 10.5846/stxb202004090848
- [7] JI Yuxin, BAI Zhongke, HUI Jiawei. Landscape ecological risk assessment based on LUCC: A case study of Chaoyang county, China [J]. Forests, 2021, **12**(9): 1157. DOI: 10.3390/f12091157
- [8] 廖国祥, 刘梦琪, 刘长安, 等. 海洋保护区生态风险综合评价方法初步研究——以滨州贝壳堤岛与湿地国家级自然保护区为例[J]. 海洋开发与管理, 2015, **32**(10): 59 – 65. [LIAO Guoxiang, LIU Mengqi, LIU Changan, et al. Study on the comprehensive evaluation method of ecological risk in marine reserves: A case study of Binzhou Seashell island and Wetland National Nature Reserve [J]. Ocean Development and Management, 2015, **32**(10): 59 – 65] DOI: 10.3969/j.issn.10059857.2015.10.013
- [9] 姚小兰, 周琳, 吴挺勋, 等. 海南热带雨林国家公园高速公路穿越段景观动态与生态风险评估[J]. 生态学报, 2022, **42**(16): 6695 – 6703. [YAO Xiaolan, ZHOU Lin, WU Tingxun, et al. Landscape dynamics and ecological risk of the expressway crossing section in the Hainan Rainforest National Park [J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, **42**(16): 6695 – 6703] DOI: 10.5846/stxb202006191601
- [10] GAO Binpin, WU Yingmei, LI Chen, et al. Multi-scenario prediction of landscape ecological risk in the Sichuan-Yunnan ecological barrier based on terrain gradients [J]. Land, 2022, **11**(11): 2079. DOI: 10.3390/land11112079
- [11] 徐兰, 罗维, 周宝同. 基于土地利用变化的农牧交错带典型流

- 域生态风险评价——以洋河为例[J]. 自然资源学报, 2015, **30**(4): 580 – 590. [XU Lan, LUO Wei, ZHOU Baotong. Landscape ecological risk assessment of farming-pastoral ecozone based on land use change: A case study of the Yanghe Watershed, China [J]. Journal of Natural Resources, 2015, **30**(4): 580 – 590] DOI: 10.11849/zrzyxb.2015.04.005
- [12] 张雪茂, 董廷旭, 杜华明, 等. 基于景观生态风险评价的涪江流域景观格局优化[J]. 生态学报, 2021, **41**(10): 3940 – 3951. [Zhang Xuemao, Dong Tingxu, Du Huaming, et al. Optimization of landscape pattern in Fuijiang River Basin based on landscape ecological risk assessment [J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, **41**(10): 3940 – 3951] DOI: 10.5846/stxb202101040027
- [13] BAO Tiantian, WANG Ruifan, SONG Linghan, et al. Spatio-temporal multi-scale analysis of landscape ecological risk in Minjiang River Basin based on adaptive cycle [J]. Remote Sensing, 2022, **14**(21): 5540. DOI: 10.3390/rs14215540
- [14] 陈晔倩, 李杨帆, 祁新华, 等. 基于栖息地风险评价模型的海岸带滩涂湿地风险评价——以闽三角为例[J]. 生态学报, 2018, **38**(12): 4214 – 4225. [CHEN Yeqian, LI Yangfan, QI Xinhua, et al. Assessing ecosystem risk in coastal wetland of the south Fujian Golden Delta using a habitat risk assessment model based on the land-use effect on tidal flat wetland [J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, **38**(12): 4214 – 4225] DOI: 10.5846/stxb201802120366
- [15] HE Sinan, LIN Mengjing, SHI Longyu, et al. Occurrence, distribution and ecological risk assessment of contaminants in Baiyangdian Lake, China [J]. Water, 2022, **14**(21): 3352. DOI: 10.3390/w14213352
- [16] 常小燕, 李新举, 李西灿, 等. 矿区土地利用生态风险的时空异质性[J]. 生态学报, 2019, **39**(9): 3075 – 3088. [CHANG Xiaoyan, LI Xinju, LI Xican, et al. Spatial-temporal heterogeneity of ecological risk of land use in mining areas [J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, **39**(9): 3075 – 3088] DOI: 10.5846/stxb201803290636
- [17] 杨庚, 张振佳, 曹银贵, 等. 晋北大型露天矿区景观生态风险时空异质性[J]. 生态学杂志, 2021, **40**(1): 187 – 198. [YANG Geng, ZHANG Zhenjia, CAO Yingui, et al. Spatio-temporal heterogeneity of landscape ecological risk of large-scale open-pit mining area of north Shanxi [J]. Chinese Journal of Ecology, 2021, **40**(1): 187 – 198] DOI: 10.13292/j.1000 – 4890.202101.003
- [18] 刘迪, 陈海, 史琴琴, 等. 黄土丘陵沟壑区生态风险时空动态及其风险分区——以陕西省米脂县为例[J]. 自然资源学报, 2019, **34**(9): 2012 – 2025. [LIU Di, CHEN Hai, SHI Qinqin, et al. Spatio-temporal variation of ecological risk in the loess hilly-gully region and its precaution partitions: A case study of Mizhi county, Shaanxi province, China [J]. Journal of Natural Resources, 2019, **34**(9): 2012 – 2025] DOI: 10.31497/zrzyxb.20190916
- [19] 景培清, 张东海, 艾泽民, 等. 基于格局-过程生态适应性循环三维框架的自然景观生态风险评价——以黄土高原为例[J]. 生态学报, 2021, **41**(17): 7026 – 7036. [JING Peiqing, ZHANG Donghai, AI Zemin, et al. Natural landscape ecological risk assessment based on the three-dimensional framework of pattern-process ecological adaptability cycle: A case in Loess Plateau [J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, **41**(17): 7026 – 7036] DOI: 10.5846/stxb202012173213
- [20] LIANG Tian, YANG Fei, HUANG Dan, et al. Land-use transformation and landscape ecological risk assessment in the Three Gorges Reservoir region based on the "production-living-ecological space" perspective [J]. Land, 2022, **11**(8): 1234. DOI: 10.3390/land11081234
- [21] 许妍, 高俊峰, 赵家虎, 等. 流域生态风险评价研究进展[J]. 生态学报, 2012, **32**(1): 284 – 292. [XU Yan, GAO Junfeng, ZHAO Jiahu, et al. The research progress and prospect of watershed ecological risk assessment [J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, **32**(1): 284 – 292] DOI: 10.5846/stxb20101110 1615
- [22] 陈春丽, 吕永龙, 王铁宇, 等. 区域生态风险评价的关键问题与展望[J]. 生态学报, 2010, **30**(3): 808 – 816. [CHEN Chunli, LYU Yonglong, WANG Tieyu, et al. Emerging issues and prospects for regional ecological risk assessment [J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, **30**(3): 808 – 816]
- [23] 伍斌, 王志杰, 潘远珍. 基于 GIS 的安顺市景观格局空间梯度分析[J]. 西北林学院学报, 2019, **34**(6): 214 – 223. [WU Bin, WANG Zhijie, PAN Yuanzhen. Spatial gradient analysis of urban landscape pattern in Anshun city based on GIS [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2019, **34**(6): 214 – 223] DOI: 10.3969/j.issn.1001 – 7461.2019.06.34
- [24] 王洁, 摆万奇, 田国行. 土地利用生态风险评价研究进展[J]. 自然资源学报, 2020, **35**(3): 576 – 585. [WANG Jie, BAI Wanqi, TIAN Guohang. A review on ecological risk assessment of land use [J]. Journal of Natural Resources, 2020, **35**(3): 576 – 585] DOI: 10.31497/zrzyxb.20200306
- [25] 李菊. 贵阳市花溪区植被景观格局对地形地貌的响应及其独特性研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2009: 1 – 2. [LI Ju. The response of landscape pattern of vegetation to the topography and its uniqueness in Huaxi district of Guiyang city [D]. Guiyang: Guizhou University, 2009: 1 – 2.
- [26] 任红玉, 周旭, 张迪, 等. 快速城市化过程中喀斯特山区城镇生态风险变化——以贵阳市花溪区为例[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2018, **36**(5): 16 – 23. [REN Hongyu, ZHOU Xu, ZHANG Di, et al. Changes of ecological risk in Karst mountain city during rapid urbanization: A case study in Huaxi district, Guiyang [J]. Journal of Guizhou Normal University (Natural Sciences), 2018, **36**(5): 16 – 23] DOI: 10.16614/j.gznuj.zrb.2018.05.003
- [27] 贵阳市城乡规划局. 贵阳市城市总体规划(2011—2020)(2017 年修订) [EB/OL] (2017. 12) [2020. 3]. <https://>

- wendang. xuehi. cn/doc/bi5oypervk4acuk0d5d6wj1fcte8b31d.html. [Guiyang City Master Plan (2011 – 2020) (Revised in 2017)]
- [28] 朱会义, 李秀彬. 关于区域土地利用变化指数模型方法的讨论[J]. 地理学报, 2003, **58**(5): 643 – 650. [ZHU Huiyi, LI Xiubin. Discussion on the index method of regional land use change [J]. Acta Geographica Sinica, 2003, **58**(5): 643 – 650] DOI: 10.3321/j. issn:0375 – 5444. 2003. 05. 001
- [29] 肖琳, 田光进. 天津市土地利用生态风险评价[J]. 生态学报, 2014, **33**(2): 469 – 476. [XIAO Lin, TIAN Guangjin. Eco-risk assessment of land use in Tianjin city [J]. Chinese Journal of Ecology, 2014, **33**(2): 469 – 476] DOI: 10.13292/j. 1000 – 4890. 2014. 0031
- [30] 曾辉, 刘国军. 基于景观结构的区域生态风险分析[J]. 中国环境科学, 1999, **19**(5): 454 – 457. [ZENG Hui, LIU Guojun. Analysis of regional ecological risk based on landscape structure [J]. China Environmental Science, 1999, **19**(5): 454 – 457] DOI: 10.3321/j. issn:1000 – 6923. 1999. 05. 017
- [31] 谢花林. 基于景观结构和空间统计学的区域生态风险分析[J]. 生态学报, 2008, **28**(10): 5020 – 5026. [XIE Hualin. Regional eco-risk analysis of based on landscape structure and spatial statistics [J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, **28**(10): 5020 – 5026] DOI: 10.3321/j. issn:1000 – 0933. 2008. 10. 048
- [32] 刘世梁, 刘琦, 张兆苓, 等. 云南省红河流域景观生态风险及驱动力分析[J]. 生态学报, 2014, **34**(13): 3728 – 3734. [LIU Shiliang, LIU Qi, ZHANG Zhaoling, et al. Landscape ecological risk and driving force analysis in Red River basin [J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, **34**(13): 3728 – 3734] DOI: 10.5846/stxb201306121681
- [33] 郑杰, 王志杰, 喻理飞, 等. 基于景观格局的草河流域生态风险评价[J]. 环境化学, 2019, **38**(4): 784 – 792. [ZHENG Jie, WANG Zhijie, YU Lifei, et al. Ecological risk assessment of Caohai watershed based on landscape pattern [J]. Environmental Chemistry, 2019, **38**(4): 784 – 792] DOI: 10.7524/j. issn. 0254 – 6108. 2018061401
- [34] 李哈滨, 王政权, 王庆成. 空间异质性定量研究理论与方法[J]. 应用生态学报, 1998, **9**(6): 651 – 657. [LI Habin, WANG Zhengquan, WANG Qingcheng. Theory and methodology of spatial heterogeneity quantification [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1998, **9**(6): 651 – 657]
- [35] 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. [JIA Yufei, WANG Xiurong. Prediction and optimization of landscape pattern in Huaxi district of Guiyang city based on CA-Markov model [J]. Journal of West China Forestry Science, 2020, **49**(6): 118 – 127] DOI: 10.16473/j. cnki. xblykx1972. 2020. 06. 017

Spatio-Temporal Dynamics of Landscape Ecological Risks in Huaxi District of Guiyang City, Guizhou, China (2008 – 2018)

JIA Yufei, WANG Xiurong*

(College of Forestry in Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: Huaxi district of Guiyang city, Guizhou province, China is a national ecological demonstration area and also it is selected as the first batch of national tourism demonstration areas. With rapid urbanization, a series of ecological risks emerged in Huaxi, which need a systematic analysis of the ecological risk change mechanisms to rationally guide urban development. Past research tried to interpret the spatial and temporal changes of landscape types and ecological risks in Huaxi; however, it lacked a comprehensive analysis of the underlying reasons for these changes. In this study, it conducted an assessment of landscape ecological risks in Huaxi and statistically analyzed the mutual transformation of landscape types, spatial distribution, and spatial auto-correlation of landscape ecological risks from 2008 to 2018 by application of dynamic degree model and related policies of land use.

The analysis results are as follows: (1) In Huaxi district, the area of cultivated land decreased significantly, whereas that of construction land increased rapidly. The main pattern of landscape type transformation included the transformation of cultivated land and arbor and shrub lands to construction land, and the mutual transformation

between the cultivated land and arbor and shrub lands. The effect of human-induced landscape transformation on the overall landscape pattern strengthened. (2) The area of high ecological risk in Huaxi shifted to the northwest of the region with urban construction and was more concentrated, whereas the area of low ecological risk was steadily distributed in the east, north, and southwest and was more scattered. According to the overall spatial distribution of the landscape ecological risk, the areas of high building intensity had high ecological risk; the outskirts and mountain areas had low ecological risk. The size of the low ecological risk area first decreased and then increased, and that of the high ecological risk area first increased and then decreased. However, the area of low and medium ecological risks remained relatively stable. (3) The spatial auto-correlation of the landscape ecological risk in Huaxi was significant. The local auto-correlation model was dominated by high-high and low-low unit aggregations, although low-high and high-low unit aggregations persisted. The regional spatial heterogeneity continued to increase, with the conflict between human activities and the natural environment being prominent. Based on these findings, it proposed to coordinate intensive development; reasonably implement construction; protect basic farmland; support primary industry; concern hydrological processes, and control shoreline development. This study provides a new insight into a safe and reasonable urban development roadmap in Huaxi as well as study orientation for similar ecological demonstration areas in China.

Key words: landscape ecological risk; spatio-temporal evolution; spatial statistical analysis; Huaxi district, Guizhou

(责任编辑 李嵘)