

基于景观生态思维的南昌市土地生态风险时空特征分析

余敦^{1,2}, 梁珍宝^{1,2}, 肖志娟³, 孙聪康^{1,2}, 郑媛媛^{1,2}

(1.江西农业大学 国土资源与环境学院, 南昌 330045; 2.江西农业大学

江西省鄱阳湖流域农业资源与生态重点实验室; 3.吉水县自然资源局, 江西 吉水 331600)

摘要:评估不同土地利用方式下生态风险程度并揭示其时空演变规律,对于优化土地利用方式、加强生态保护具有重要意义。借助遥感影像解译得到土地利用数据,以行政村为研究单元,基于景观生态学思想构建生态风险评价体系对南昌市 2005—2017 年土地利用生态风险进行评估。在此基础上,在 Geoda,GS+平台的支持下对生态风险的时空演变特征展开剖析。结果发现:(1) 南昌市土地利用生态风险以中低风险为主,但是各风险等级总体呈上升趋势,高风险区主要位于西南边陲和濒临鄱阳湖区域,中心城区生态风险有逐渐增长趋势;(2) 2005—2017 年,模型拟合基台值由 0.713 下降至 0.604,生态风险具有一定的空间变异性,在 45°方向上,变异程度最大;(3) 生态风险空间 Moran's *I* 值分别为 0.451 9,0.424 3,0.401 0,呈正相关性,局部以 HH 和 LL 型聚集为主,HH 型以组团状分布于新建区的石岗镇与松湖镇、濒临鄱阳湖区域,LL 型以带状分布于城市远郊及交错地带。研究结果可为南昌市城市景观生态建设和土地利用优化提供参考依据。

关键词:土地生态; 空间分布格局; 风险; 南昌市

中图分类号:F301.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2020)01-0213-08

Temporal and Spatial Characteristics of Land Ecological Risk in Nanchang City Based on Landscape Ecology

YU Dun^{1,2}, LIANG Zhenbao^{1,2}, XIAO Zhijuan³, SUN Congkang^{1,2}, ZHENG Yuanyuan^{1,2}

(1.College of Land Resources and Environment, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China;

2.Key Laboratory of Poyang Lake Basin Agricultural Resources and Ecology of Jiangxi Province, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; 3.Jishui County Natural Resources Bureau, Jishui, Jiangxi 331600, China)

Abstract: Assessing the degree of ecological risk under different land use patterns and revealing its temporal and spatial evolution processes are of great significance for optimizing land use patterns and strengthening ecological protection. In this paper, the land use data were obtained by remote sensing image interpretation. The administrative village is taken as the research unit. The ecological risk assessment system is constructed based on the landscape ecology theory to evaluate the ecological risk of land use in Nanchang City from 2005 to 2017. On this basis, with the support of Geoda and GS+ platform, the spatial-temporal evolution characteristics of ecological risk are analyzed. The results show that: (1) the ecological risk of land use in Nanchang City is mainly low and medium risk, but the area of each risk grade is generally rising; the high-risk area is mainly located in the southwestern border and the Poyang Lake area, the ecological risk in the central urban area is gradually increasing; (2) from 2005 to 2017, the model fitting base value decreased from 0.713 to 0.604, and the ecological risk had a certain spatial variability, in the 45° direction, the degree of variation was the largest; (3) the ecological risk space Moran's *I* values are 0.451 9, 0.424 3, and 0.401 0, respectively, showing a positive correlation; the HH and LL types mainly distribute in the local area; the HH type distribution in the group of Shigang Town and Songhu Town in the Xinjian District, and near the Poyang Lake area; the LL type distributes in the outer suburbs and the interlaced areas of the city. The research results can provide reference for urban landscape ecological construction and land use optimization in Nanchang.

Keywords: land ecological; spatial distribution pattern; risk; Nanchang City

收稿日期:2019-04-24

修回日期:2019-06-15

资助项目:国家自然科学基金(41561107);江西省自然科学基金项目(20151BAB203039)

第一作者:余敦(1975—),男,江西安义人,副教授,博士,主要从事土地利用/覆被变化研究。E-mail:jxauyd@163.com

通信作者:孙聪康(1992—),男,江西吉安人,硕士,主要从事土地资源利用/土地经济等研究。E-mail:943568578@qq.com

长期以来,城镇化发展与生态风险管护都是备受关注的焦点问题,二者均是以土地利用为纽带和接口,耦合社会经济因素实现形态转型的过程^[1-2]。不同强度的土地利用方式支配着不同规模的物质、信息和能量的流通,从而影响生态系统的结构与功能,进而导致种群、景观甚至整个生态系统遭受生态风险^[3]。伴随着城镇化进程加快,水土流失加剧、森林覆盖率下降等生态问题逐渐凸显,生态系统平衡受到冲击,土地利用变化已成为生态风险加剧与生态安全降低的主要原因之一^[4]。从土地利用的角度展开生态风险评价及空间演变规律研究是加强生态文明建设的现势需求,对于人与自然和谐相处、实现城镇化与生态空间可持续发展具有重要指示意义。

生态系统是土壤、水文、气候环境等地理空间实体作用下的典型开放型复杂系统^[5-6],因而,生态风险具有区域累积性、空间异质性、尺度差异性地学特征^[7]。当前,关于生态风险的研究主要集中于以环境监测数据为基础的生态风险定量评价^[8]、风险源与风险受体分析^[9-10]以及生态风险调控对策研究等方面。与此同时,从土地利用视角关注特定景观类型生态效应并做出生态风险判定,这方面的研究正逐步加强。杨阳等^[11]以遥感影像为数据源,通过解译海坛岛的生态景观类型,对该区域近十年生态风险展开时空变化分析。汪翡翠等^[12]利用土地数据,选取斑块密度等景观格局指数,构建了京津冀城市群生态风险评价体系,并分析了研究区不同风险级别区域的转移特征。吕乐婷等^[13]对细河流域土地利用生态风险分布特征及时空变化规律进行了阐述。已有研究体现了基于土地利用景观格局进行生态风险研究的优势,丰富了生态学的研究范畴,但仍需从以下几方面进行补充:首先,已有的文献大都以市县行政区、湖泊流域^[14]、等间距规则的网格为研究单元,缺乏更小尺度单元的研究(如村级尺度),基于格网的成果忽视了生态风险的局部差异,且难以为行政区提供具有明确指向性的决策参考依据;其次,已有研究对于长时间序列下土地利用生态风险的变化特征尚且不足,尤其是利用探索性空间数据分析生态风险的空间演变规律明显不足;再次,已有研究较多依赖于经典统计分析,难以准确反映生态风险的随机性、结构性、独立性和相关性等局部特征,而局部特征是揭示生态风险变化的机理及驱动因素的关键所在,是科学制定调控机制的重要参考依据。景观生态学注重生态系统整体性特征,更强调系统内各局部所处的状态^[15]。因此,为凸显应用生态学的实用性及潜力,更好地服务于景观生态规划,有必要开展小尺度范围的生态风险评价,

同时加强生态风险空间异质性及空间关联模式研究。

南昌市位于鄱阳湖生态经济区生态屏障的咽喉地带,是长江流域的经济交流和文化传播枢纽,也是全国重要的生态产业中心。随着城镇化进程提速,建设用地面积迅速增加,景观多样性下降。切实降低生态系统受土地利用方式干扰的风险,加强城市生态空间研究,实现经济资源环境协调发展,是南昌市亟待解决的重要问题。基于此,本研究以南昌市 2005 年、2011 年、2017 年遥感影像为数据源,基于景观生态学思想构建生态风险评价体系,以行政村为评价单元展开土地生态风险评价,并运用地统计学空间自相关、变异函数分析等研究方法,以地理+生态模式剖析土地利用变化下的生态效应。旨在为破解南昌市生态空间的复杂性和相互制约性问题,实现区域生态系统维护和促进城市生态空间管护与规划提供决策参考。

1 研究区概况与数据处理

1.1 研究区概况

南昌市位于江西省中北部、赣江抚河下游、鄱阳湖西南岸,地理位置为 115°27′—116°35′E, 28°10′—29°11′N。属于亚热带湿润季风气候,气候湿润温和,光照充足,冬短夏长、四季分明。市辖南昌县、进贤县等 3 县 6 区 1 171 个村级行政单位,土地面积约 7 137 km², 2017 年全市人口达到 546.4 万人。土地利用类型主要有耕地、林地、草地、水域等,土地资源丰富。近十多年来,城镇化水平快速发展,城市规模和城镇人口不断提升,产业布局不断调整和集聚。全市地区生产总值由 2013 年的 3 336.03 亿元增长到 2017 年的 5 003.19 亿元,建设用地面积由 2005 年的 532.64 km² 增长至 2017 年的 613.17 km²。原有稳定的自然、半自然景观被开发成建设用地,各土地景观类型发生了剧烈变化,景观格局趋于破碎化和异质化,由此产生了一系列景观生态风险问题。在打造国家生态文明试验区(江西)“南昌样板”的建设进程中,建成系统性、完整性和具有南昌特色的生态绿色发展新路径是南昌市坚定不移的战略抉择。因此,以南昌市为研究对象,从景观生态视角开展土地生态风险研究对于正确处理南昌经济发展与生态环境的关系,探索保持生态环境承载力与经济发展规模基本平衡的发展方式具有重要现势意义。

1.2 数据来源及处理

本研究使用的数据主要有:遥感影像数据、基础地理数据和社会经济统计数据等。其中,遥感影像数据从 USGS 官网下载(<http://www.usgs.gov/>),影像成像时间为 8—10 月,云量控制在 10% 以内。

1995 年和 2005 年采用分辨率为 30 m 的 TM 数据, 2015 年则采用分辨率为 15 m 的 OLI 数据。基础地理数据主要是南昌市行政区划矢量图, 数据来源于江西省自然资源厅基础地理信息中心。社会经济统计数据来源于南昌市统计年鉴(2005—2017 年)、国民经济与社会发展公报和文献资料。另外, 还有林业局、农业局等职能单位提供的相关资料。

首先, 利用 ENVI5.1 软件对遥感影像进行几何转换、大气校正、图像增强等预处理工作, 使所有遥感图像具有相同的投影, 地物反射光谱特性尽可能恢复以及重点地物的特征更加明显。然后, 借助 eCognition 8.7 和 ArcGIS 10.2 平台将南昌市土地利用类型按 IGBP 标准分为: 耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地 6 种类型。而后, 随机选取 POI 点构建误差矩阵, 对解译结果进行精度验证。三期解译结果的 Kappa 系数为 0.81, 0.84, 0.87, 总体精度达到 78.69%, 81.16%, 84.28%, 影像解译效果满足研究的要求。最后, 通过 ArcGIS 10.2 空间分析功能将土地利用数据与行政村界线进行叠置, 利用区统计分析功能计算每个评价单元的数据值。

2 研究方法

2.1 土地利用空间格局分析

基于遥感影像获得南昌市 2005—2017 年土地利用矢量数据, 与村行政边界进行叠加分析, 得到各村级行政单位的土地利用数据。土地利用动态度量直观地体现某时期区域内土地变化的速度和结果。因此, 本文选用综合土地利用动态度对研究单元内土地利用过程的变化情况进行测度, 计算方法参考相关文献^[3,16]。

2.2 景观生态风险评价模型构建

生态系统所处的状况或事件发生的条件类型不同, 对生态系统造成的伤害存在差异, 因此可将景观生态风险定义为风险概率与景观损失度不同概率的组合结果^[17-18]。具体表现为景观的丰度、斑块密度或多样性指数发生改变。基于已有对土地利用方式产生累积生态效应的文献研究^[12,19], 并结合研究区实际情况, 本文基于景观生态损失度指数(LL_i)构建生态风险指数(ER_K)计算模型, 其计算公式如下:

$$ER_K = \frac{\sum_{i=1}^m A_{Ki}}{\sum_{i=1}^m A_K} \cdot LL_i \quad (1)$$

式中: ER_K 为第 K 研究单元生态风险值; A_{Ki} 为第 K 研究单元 i 类景观面积; A_K 为第 K 研究单元景观总面积; LL_i 为生态损失度指数。生态损失度指数(LL_i)可由景观干扰度指数(U_i)与景观脆弱性(S_i)

两者乘积的平方根。其计算公式如下:

$$LL_i = \sqrt{U_i \cdot S_i} \quad (2)$$

$$U_i = aC_i + bN_i + cF_i \quad (3)$$

式中: C_i 为景观破碎度; N_i 为景观分离度; F_i 为景观分维度; a, b, c 分别为 3 类景观指标的权重, 且 a + b + c = 1。借鉴已有研究, 3 类景观指标的权重分别取值 0.5, 0.3, 0.2。C_i, N_i 和 F_i 的计算方法参考文献^[12,14,19]。大量文献资料^[12-14,17,19]表明, 景观脆弱性(S_i)是表征景观系统难以承受不良事件发生概率的指标。不同景观类型代表的生态系统中, 呈现出未利用地的脆弱性最大, 水域次之, 建设用地脆弱性最小的生态脆弱规律。因此, 本文对建设用地、林地、草地、耕地、水域、未利用地 6 种景观生态类型的脆弱性(S_i)依次赋值为 1~6。

2.3 生态风险空间分析

生物间及生物与非生物间的相互作用都是生态风险变化的重要原因, 因此, 生态风险的空间依赖性分析至关重要。本文在评价各研究单元生态风险的基础上, 着重描述生态风险在空间上的聚集性、随机性等分布特征, 以及确定影响空间格局的相关关系。

(1) 空间自相关分析。采用 Moran's I 值判定研究区范围内空间某位置生态风险值与其相邻位置的风险值是否相关, 辅以局部空间自相关探寻局部空间聚集模式。Moran's I 值表示空间关联程度大小, Moran's I 值取值范围为 -1~1, Moran's I < 0 表示负相关, Moran's I = 0 表示不相关, Moran's I > 0 表示正相关。使用 LISA 空间关联局域指标分析局部变量的空间相关性特征, LISA 将空间不同的聚类现象分为: HH 型(高高值集聚)、LL 型(低低值集聚)、LH 型(高值包围低值集聚)、HL 型(低值包围高值集聚) 4 种类型^[20-21]。计算公式如下:

全局空间自相关

$$I = \frac{n}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \quad (4)$$

$$\text{局部空间自相关 } I_i = \frac{(n-1)Z_i \sum_j W_{i,j} Z_j}{\sum_j Z_j^2} \quad (5)$$

$$\text{统计值 } Z_i \quad Z_i = \frac{1 - E[I]}{\sqrt{V[I]}} \quad (6)$$

式中: Z_i 是要素 i 的属性值与平均值(X_i - \bar{X})的偏差; n 为要素总数; y 为样本平均值。W_{ij} 是要素 i 与 j 的空间权重, 当要素 i 与要素 j 空间相邻时, W_{ij} = 1, 反之, 则为 0。

(2) 变异函数分析。变异函数能对生态风险的空间变异特征以及不同方向的变异情况进行描述, 既

能很好地兼顾区域化变量的随机性,又能反映其结构性。变异函数模型利用块金值 C_0 反映区域化变量 $Z(x)$ 内部随机性的可能程度。基台值 $C+C_0$ 反映区域化变量变化幅度的大小,即反映区域化变量在研究范围内变异的强度,基台值越高,区域生态风险状况的空间异质性越强。块金基台比 $C_0/C+C_0$ 表示由随机性因素引起的变异程度占总变异程度的比例,此比值越高,随机性因素影响越大。各指标含义及计算方法参考文献^[22]。本研究利用 GS+7.0 软件计算变异函数,计算公式如下:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2 \quad (7)$$

式中: $\gamma(h)$ 为试验变异函数; $N(h)$ 为样点对的个数; $Z(x_i)$ 与 $Z(x_i+h)$ 分别表示空间位置 x_i 和 x_i+h 处的生态风险值。

3 结果与分析

3.1 土地利用变化分析

南昌市 2005—2017 年土地利用变化结果表明(表 1,表 2),林地主要分布于赣江西岸的湾里区,且东南方向随地形起伏呈带状分布。水域主要包括鄱阳湖、军山湖以及赣江等河流。耕地分布于地势较平坦的中部区域。建设用地扩张趋势明显。研究期内,土地利用数量和结构发生了显著变化,各土地利用类

型间存在相互转化特征。2005—2011 年,耕地面积减少了 87.14 km²,其中林改耕地面积 62.95 km²;草地面积减少了 8.53 km²,其中 7.74 km² 转化为耕地;建设用地面积增加了 80.53 km²,建设占用耕地 120.69 km²,有 36.18 km² 建设用地复垦为耕地,这主要是因为部分农村居民点和矿山整治改良。水域和未利用地面积均有不同程度的减少,林地面积有所增长。2011—2017 年,建设用地面积增加了 72.20 km²,仍保持增长趋势;林地是其他用地类型补充的主要来源;水域面积由减少转为增加;耕地、林地和未利用地面积仍是减少态势。

总体而言,2005—2017 年生态用地呈现面积减少的趋势,尤其是草地和耕地。建设用地、林地和水域面积呈现增长态势,其中建设用地面积增长 152.74 km²,增长率为 28.68%;林地面积增长 31.13 km²,增长率为 2.63%。草地、耕地与未利用地面积皆不同程度减少,其中耕地面积减少最大,为 142.19 km²。动态度分析结果表明(图 1),两时期内动态度高值区都位于南昌市中心城区,其他区域呈团状分布。与 2005—2011 年相比,2011—2017 年动态度高值区从东湖区、西湖区向新建区转移,高值区域呈收缩态势。变异系数由 2005—2011 年的 1.05 增长至 1.57,这说明不同区域的动态度分化差异更加明显,动态度空间差异性增大。

表 1 2005—2011 年土地利用转移矩阵

地类	2005 年							
	草地	耕地	建设用地	林地	水域	未利用土地	合计	
2011 年	草地	67.66	7.74	1.99	4.31	0.87	0.05	82.62
	林地	2.25	3652.75	120.69	79.28	34.39	0.37	3889.73
	建设用地	1.02	36.18	439.43	41.86	13.88	0.27	532.64
	林地	2.27	62.95	25.00	1091.60	3.72	0.02	1185.56
	水域	0.82	42.44	25.69	17.34	1005.92	6.18	1098.39
	未利用地	0.06	0.52	0.37	0.13	27.64	319.52	348.24
	合计	74.08	3802.59	613.17	1234.51	1086.42	326.40	7137.17

表 2 2011—2017 年土地利用转移矩阵

地类	2011 年							
	草地	耕地	建设用地	林地	水域	未利用土地	合计	
2017 年	草地	69.31	1.38	0.28	1.33	1.79	0.00	74.08
	林地	1.42	3680.79	70.11	32.28	17.71	0.27	3802.59
	建设用地	0.07	14.01	595.18	1.45	2.45	0.01	613.17
	林地	2.02	33.72	14.77	1179.36	4.62	0.01	1234.51
	水域	0.55	17.32	5.02	2.25	1057.06	4.22	1086.42
	未利用地	0.00	0.33	0.02	0.01	17.54	308.51	326.40
	合计	73.38	3747.54	685.37	1216.68	1101.17	313.03	7137.17

3.2 景观生态风险时空特征分析

3.2.1 变异函数分析 利用公式(1)—(3)计算得到每一个研究单元的生态风险值,然后赋值到中心点,最后基于 GS+7.0 软件平台进行变异函数拟合分

析。经对数转换后,3 个时期的生态风险值均与具有基台值的指数模型匹配度最佳,决定系数 R^2 分别为 0.987,0.998,0.912,模型拟合效果良好(表 3)。块金

值 C_0 均大于 0.3, 且呈递减趋势, 其中 2011—2017 年下降值更大。这说明, 在某研究尺度范围内, 生态风险具有内部变异性, 且这种内部变异由随机性因素引起的可能性越来越低。2005 年基台值最大, 该时期南昌市的生态状况空间异质性最强, 至 2017 年, 基台

值下降至 0.604 2, 说明生态风险空间分布均衡性有上升趋势, 空间差异逐渐缩小。2005—2017 年, 块金效应值略微增长、变化不大, 变程由 117.6 km 增大至 288 km, 随机性因素仍是南昌市土地利用生态风险指数空间变异的主导因素。

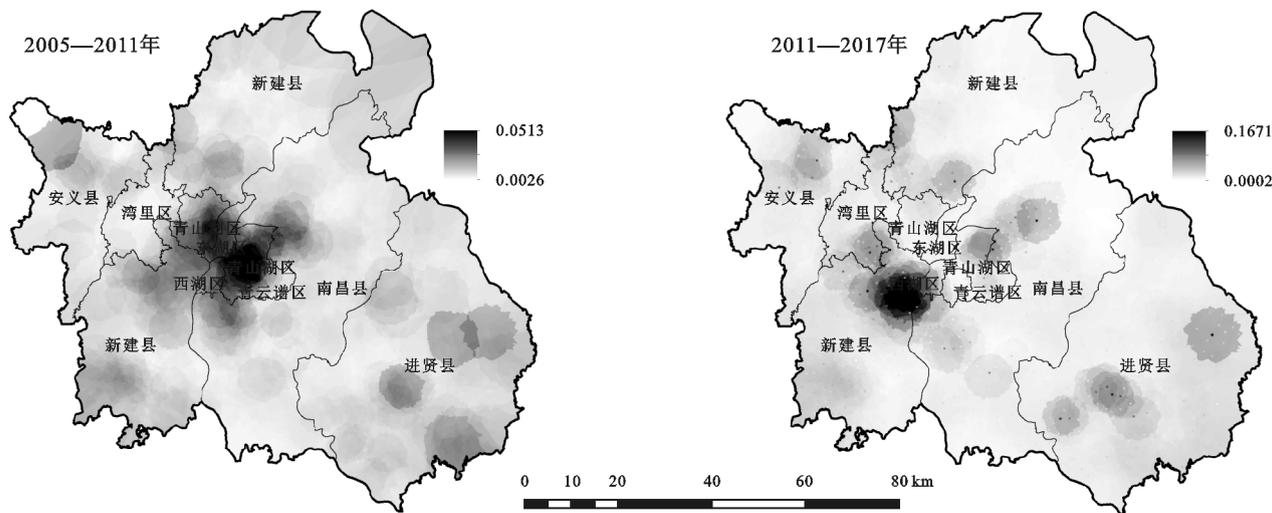


图 1 研究区土地利用动态度空间分布

表 3 土地利用生态风险值变异函数拟合参数

年份	模型	块金值 C_0	基台值 $C+C_0$	块金效应 $C_0/C+C_0/\%$	变程 A	R^2	RSS
2005	指数	0.357	0.713	50.07	117600	0.987	1.04 E-04
2011	指数	0.355	0.707	50.21	189000	0.998	1.59 E-04
2017	指数	0.300	0.604	50.34	288000	0.912	6.24 E-03

以顺时针 45° 为方向, 对各个方向的空间变异性进行研究, 结果见图 2。可见, 3 个时期各方向的变异特征基本一致。 45° 方向上的变异程度最大, 各方向的变异程度呈现 $45^\circ > 90^\circ > 0^\circ > 135^\circ$ 的趋势。以村为采样单元时, 生态风险值具有中等水平的空间相关

性, 且空间自相关范围变大。土壤条件、地形差异等结构性因素与随机性因素(如尺度)引起生态风险空间变异比例相当^[23]。随着社会经济的发展, 土地利用、产业模式等人为活动构成的随机性因素对于生态风险空间变异的驱动力越来越大。

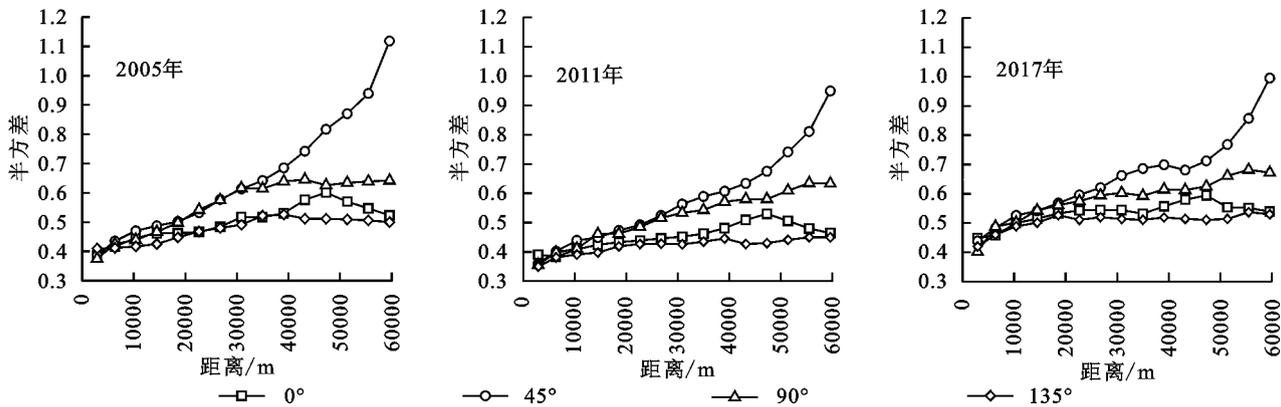


图 2 土地利用生态风险各向异性

3.2.2 生态风险时空变化分析 基于变异函数各参数的分析结果, 在 ArcGIS 中利用普通克里格插值方法进行生态风险值插值(图 3)。根据插值结果, 按照自然断点法的原则将生态风险值分为 5 类^[24]: 低风险区 ($ER_k < 0.173$)、较低风险区 ($0.173 \leq ER_k < 0.251$)、中风险区 ($0.251 \leq ER_k < 0.415$)、较高风险区

($0.415 \leq ER_k < 0.675$) 和高风险区 ($ER_k \geq 0.675$), 并统计各风险区的面积情况(表 4)。

从图 3 可知, 生态风险值呈现西南与东北两翼高、中间圈层式延伸的分布特点。2005 年, 南昌市辖区内处于低风险区和较低风险区的面积分别为 $2\ 631.08\ km^2$, $2\ 639.72\ km^2$, 共占研究区面积的 73.85%, 这部分区

域主要以赣江为轴、向四周扩散。较高风险区和高风险区主要位于西南边陲,两个区域的总面积为 291.52 km²,占比 4.08%。2005—2011 年,低风险区有向较低风险区转移的趋势,主要存在于毗邻鄱阳湖的昌北地区、赣江西岸,该区域是赣江新区昌九产业廊的核心发展地段,经济产业结构以农业向工业制造业转型,土地利用模式及效率发生了较大改变。同时,较高风险区的面积由 98.38 km²增长至 366.96 km²,变化的区域同样位于赣江新区的核心发展区。2011—2017 年,中风险区的面积有较大变化,由 1 158.07

km²增加至 1 762.12 km²,增加了 8.46%。由图 3 可知,这部分区域主要为南昌市中心城区,且在 2011 年中风险区的基础上向外蔓延。该时期内,南昌市城市的结构和功能区划发生了较大变化,城市形态从单中心、高集中向多中心、多群体的转变^[25],城市建筑密度显著增加,自然景观的景观优势进一步降低。随着环鄱阳湖地区生态风险防范意识提高、生态产业体系转型升级,土地利用结构更加合理化,濒临鄱阳湖区域由较高风险区演变成中风险区,该区域土地利用生态风险状况得到好转。

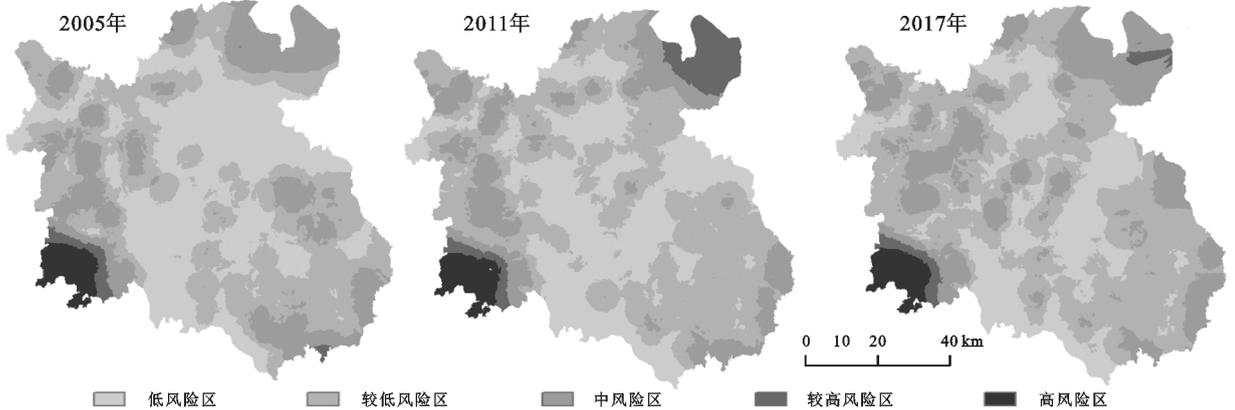


图 3 南昌市土地利用生态风险空间分布

总体而言,从 2005—2017 年,南昌市西南边陲始终处于高风险区域,未发生明显改变;较高风险区面积起初出现大幅增长,后又回落基期年水平;在中低风险区,生态风险值有逐渐增大趋势,低风险向较低风险或中风险恶化演替的趋势明显。

表 4 南昌市土地利用生态风险各等级区域面积

年份	低风险区	较低风险区	中风险区	较高风险区	高风险区
2005	2631.08	2639.72	1574.85	98.38	193.13
2011	2330.40	3084.35	1158.07	366.96	197.39
2017	1855.42	3210.97	1762.12	117.64	191.01

3.3 生态风险空间集聚特征分析

采用 Geoda 软件对南昌市土地利用生态风险空间自相关特征进行验证。南昌市 2005 年、2011 年、2017 年生态风险值的 Moran's *I* 值分别为 0.451 9, 0.424 3, 0.401 0, 呈波动下降趋势,结果与变异函数分析结果一致。这表明,研究期间南昌市土地利用生态风险结构和分布模式并不是随机无序的,而是具有一定的空间分布规律,即生态风险呈现空间正相关特性。具体而言,在一定距离阈值范围内,土地利用生态风险高的区域,其邻居对象生态风险值亦高,土地利用生态风险低值区域,其邻居对象生态风险值亦低。

由局部自相关分析得到 LISA 聚集结果(图 4),3 个时期的生态风险值均以 HH 型和 LL 型分布为主。

其中,2005 年 HH 型主要以组团状分布于南昌市中心城区、东北方向以及西南方向。这可能是因为中心城区经济活动较为集中,土地利用类型以建设用地为主,且中心城区的景观较为破碎,难以形成大面积集中式的生态景观,因而,这部分区域为高生态风险值。东北方向的 HH 区域毗邻永修县、濒临鄱阳湖,这可能是因为伴随着南昌市城市发展及经济建设、“昌九一体化”稳步推进,不得以“填湖造地”,导致具有高生态价值的水域和湿地被破坏,从而增加了该区域的生态风险。西南方向的 HH 区域主要是新建区石岗镇和松湖镇部分区域,此为高安市、丰城市 and 南昌市交界地带。石岗镇丘陵山地较多,土壤侵蚀速率较大,且水土流失严重。松湖镇地势平坦、交通便利,是重要的商品粮输出基地,土地利用趋于多样化,生态风险抗干扰性较弱。LL 区域主要以带状分布于南昌县、新建县、进贤县边缘交错地带,该地带土地利用类型以林地或耕地为主,土地利用趋于稳定,景观类型受外界干扰程度较低。南昌县境内的 LL 区域主要为地势平坦且集中连片的耕地,景观连通性较好、抗干扰性强。LH 和 HL 区域呈零星状分布,无明显分布规律。至 2011 年,HH 聚集区略有收缩趋势,濒临鄱阳湖地区不再呈生态风险高值聚集区,这可能是得益于 2009 年鄱阳湖生态经济区纳入国家级战略发展区域,社会各界加强了对于生态保护的行为。LL 聚集区收缩较为明

显,但仍以带状型分布于行政区的边界处。至 2017 年,濒临鄱阳湖的东北区域呈现高值聚集特征,且与前两个时期相比,面积明显增大。经过十多年的发展,工业、制造业都发展较成熟,过于密集的产业可能使土地生态承载力处于满载或超载状态,这对于生态环境的保护是不利的。在西湖区和东湖区等中心城区,

LL 聚集区有向 HL、HH 聚集区转型的趋势,中心城区是人口较为集中的区域,城镇化水平较高,难以形成结构完整、功能齐全的景观类型,故而中心城区土地利用生态风险不容乐观。湾里区与安义县交界地带演化成为 LL 聚集区,该区域植被覆盖度高,人类活动对生态风险扰动影响较弱。

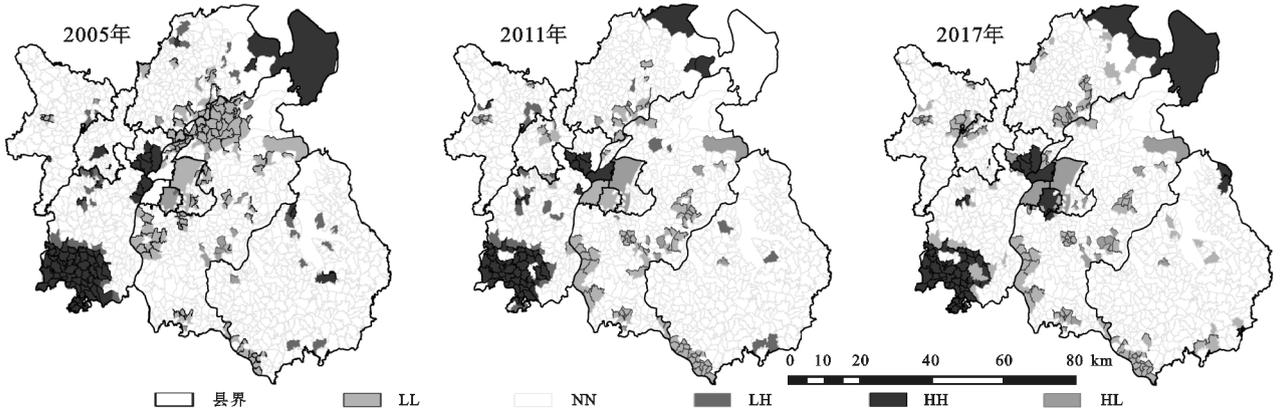


图 4 生态风险局部空间自相关集聚图

4 讨论

南昌市作为长江中下游典型的河流城市,赣江自西南向东北流经研究区,与城市呈 45° 之势。有研究指出,河流是城市诞生的摇篮,也是最为关键的资源和环境载体,对于城市的发展起到重要的推动作用。本研究结果表明,赣江河岸两侧的土地利用动态普遍高于其他区域,且生态风险值变化比其他区域更剧烈,从各向异性分析结果也可以得出, 45° 方向上土地生态风险值的变异程度最大。本文研究结果与实际情况相吻合,河流对于城市的影响是显而易见的。河岸两侧的土地利用动态和人类活动比其他区域更为强烈,导致土地利用景观的破碎度和分离度变化较为剧烈,生态风险也有向高等级转化的趋势^[25-26]。

就本文而言,由于土地利用格局、空间位置和人类活动的影响,土地利用生态风险表现出不同的空间聚集性和各向异性。因此,对于河流两岸的重点区域,要制定合理的城市发展规划,重视河网水系的规划和河岸的整治与美化,提高土地利用效率,尽可能避免不合理的土地开发利用。城市中心区域有逐步向 HH 聚集型演化的趋势,可重点规划和布局中心城区绿地景观,高要求、均匀的配置生态绿地和走廊,形成“点—线—面”结合的城市绿化网络,改善城市绿地系统的生物多样性和景观稳定性^[27]。位于西南方向的高风险区丘陵山地交错,耕地和建设用地随意分布,景观的连接性和整体性易受人类活动的干扰^[28]。因而,该区域是重点监测和管制的对象。濒临鄱阳湖的区域应重视林地和湿地景观的保护,改善区域的生态、社会和经济效益。在城市远郊及交错地带,人类活动干扰度

小,生态系统完整性较好,景观破碎度与分离度皆较低,对于这部分区域,要以人与自然的协调为价值取向,建设完整、连续、功能和高效的城市生态系统^[29]。

有学者^[30]认为鄱阳湖生态经济区生态风险程度加剧的主要因素是建设开发强度过快,濒临鄱阳湖湖区的区域生态风险值更高,本文结论与其观点基本一致。生态风险研究是一项集成了生物、水文、地质条件等多因素的复杂科学问题,本研究以土地利用的角度作为切入点,当生态环境监测数据缺乏时,可为生态风险研究提供途径借鉴。

5 结论

本研究基于南昌市土地利用变化情况,从景观生态学角度构建生态风险评价体系,同时借助变异函数和空间自相关分析方法对生态风险的时空变化格局进行研究。结论如下:

(1) 2005—2017 年,研究区土地利用类型主要以耕地为主,面积达 52.5% 以上,减少的耕地主要是由于建设占用。土地利用变化的总体是水域和林地面积趋于稳定状态;草地和未利用地变化幅度较大,分别减少 11.18%, 10.11%;建设用地面积增长了 152.73 km²。中心城区的土地利用动态明显高于其他区域,且有向西南方向转移的趋势,分化差异逐渐增大。

(2) 研究区土地利用生态风险以中低风险为主,但是各风险等级面积总体呈上升趋势,呈现“两翼高中间低”的分布特点。高风险区基本不变,较高风险区面积先上升后回落至基期年水平。研究期间,低风险区面积下降了 10.87%,较低风险区和中风险区面积分别增加了 8.00% 和 2.62%。

(3) 3 个时期的生态风险值均可用具有基台值的指数模型进行模拟,基台值分别为 0.713,0.707,0.642,在变程范围内,生态风险具有内部变异性,2005 年生态风险空间异质性最强。经过十多年的变化,生态风险空间分布均衡性逐渐上升,变程由 117.6 km 增加至 288 km,且内部变异由随机性因素引起的可能性越来越低。生态风险在 45°方向上的变异程度较其他方向更大。

(4) 研究期间,生态风险空间自相关 Moran's I 值分别为 0.451 9,0.424 3,0.401 0,呈波动下降趋势。景观生态风险在空间上表现出一定的正相关性,空间聚集主要以 HH 型和 LL 型为主。HH 型以组团方式分布于西南方向,濒临鄱阳湖的东北方向和中心城区,LL 型主要以带状或零星状分布于各行政单元的交界地带。

参考文献:

- [1] 王甫园,王开泳.城市化地区生态空间可持续利用的科学内涵[J].地理研究,2018,37(10):1899-1914.
- [2] 邱硕,王宇欣,王平智,等.基于 MCR 模型的城镇生态安全格局构建和建设用地开发模式[J].农业工程学报,2018,34(17):257-265,302.
- [3] 宋戈,王盼盼.松嫩高平原县域土地利用空间格局地形梯度特征分析:以巴彦县为例[J].地理科学,2017,37(8):1218-1225.
- [4] 赵丽,张贵军,朱永明,等.基于土地利用转型的土地多功能转变与特征分析:以河北省唐县为例[J].中国土地科学,2017,31(6):42-50,97.
- [5] Munns W R. Assessing risks to wildlife populations from multiple stressors: Overview of the problem and research needs[J]. Ecology and Society, 2006,11(1):709-723.
- [6] 于松延,徐宗学,武玮,等.北洛河流域水质空间异质性及其对土地利用结构的响应[J].环境科学学报,2014,34(5):1309-1315.
- [7] 曾辉,陈利顶,丁圣彦.景观生态学[M].北京:高等教育出版社,2017.
- [8] 任志远,孙艺杰,吴林筱.1990—2012 年榆林市土地生态风险综合评价[J].中国生态农业学报,2017,25(5):656-664.
- [9] Bartolo R E, Dam R A V, Bayliss P. Regional ecological risk assessment for Australia's tropical rivers: application of the relative risk model[J]. Human & Ecological Risk Assessment, 2012,18(1):16-46.
- [10] 沈珍瑶,肖月晨,马晔,等.外来植物入侵生态风险评价[J].北京师范大学学报:自然科学版,2016,52(2):189-195.
- [11] 杨阳,黄义雄,李潇,等.海坛岛景观生态风险评价及时空分异[J].福建师范大学学报:自然科学版,2018,34(2):74-81.
- [12] 汪翡翠,汪东川,张利辉,等.京津冀城市群土地利用生态风险的时空变化分析[J].生态学报,2018,38(12):4307-4316.
- [13] 吕乐婷,张杰,孙才志,等.基于土地利用变化的细河流域景观生态风险评估[J].生态学报,2018,38(16):5952-5960.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 虎陈霞,郭旭东,连纲,等.长三角快速城市化地区土地利用变化对生态系统服务价值的影响:以嘉兴市为例[J].长江流域资源与环境,2017,26(3):333-340.
- [17] 周汝佳,张永战,何华春.基于土地利用变化的盐城海岸带生态风险评价[J].地理研究,2016,35(6):1017-1028.
- [18] 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.
- [19] 王涛,张超,于晓童,等.洱海流域土地利用变化及其对景观生态风险的影响[J].生态学杂志,2017,36(7):2003-2009.
- [20] 李雅婷,赵牡丹,张帅兵,等.基于景观结构的眉县土地利用生态风险空间特征[J].水土保持研究,2018,25(5):220-225,233.
- [21] 张晗,欧阳真程,赵小敏,等.江西省油菜土壤碳氮磷生态化学计量学空间变异性及影响因素[J].水土保持学报,2018,32(6):269-277,301.
- [22] Fernandes C, Bateira A, Costa B, et al. Electrical resistivity and spatial variation in agriculture terraces: statistical correlation between ert and flow direction algorithms[J]. Open Agriculture, 2017,2(1):329-340.
- [23] 谢花林.基于景观结构的土地利用生态风险空间特征分析:以江西兴国县为例[J].中国环境科学,2011,31(4):688-695.
- [24] 刘迪,陈海,张行,等.黄土侵蚀沟谷土地生态系统健康评价:以杜家石沟为例[J].水土保持研究,2019,26(2):100-106.
- [25] 潘彦江,方朝阳,缪理玲,等.基于交通状态分析的南昌市区区际联系通达性研究[J].地理研究,2014,33(12):2325-2334.
- [26] 黄木易,何翔.巢湖流域土地景观格局变化及生态风险驱动力研究[J].长江流域资源与环境,2016,25(5):743-750.
- [27] 傅丽华,谢炳庚,张晔.长株潭核心区土地利用生态风险多尺度调控决策[J].经济地理,2012,32(7):118-122.
- [28] 刘迪,陈海,梁小英,等.黄土丘陵沟壑区生态风险动态变化及其地形梯度分析:以陕西省米脂县为例[J].生态学报,2018,38(23):8592-8592.
- [29] 苏浩,吴次芳.基于景观结构的农林交错带土地利用生态风险时空分异研究[J].经济地理,2017,37(5):158-165.
- [30] 余敦,高群,欧阳龙华.鄱阳湖生态经济区土地生态安全警情研究[J].长江流域资源与环境,2012,21(6):678-683.