

DOI: 10.5846/stxb201804040766

赵越, 罗志军, 李雅婷, 郭佳滢, 赖夏华, 宋聚. “三生空间”视角下的赣江上游流域景观生态风险时空分异研究. 生态学报, 2019, 39(13): - .
Zhao Y, Luo Z J, Li Y T, Guo J Y, Lai X H, Song J. Study of the spatial-temporal variation of landscape ecological risk in the upper reaches of the Ganjiang River Basin based on the “production-living-ecological space”. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(13): - .

“三生空间”视角下的赣江上游流域景观生态风险时空分异研究

赵 越¹, 罗志军^{1,*}, 李雅婷², 郭佳滢³, 赖夏华¹, 宋 聚¹

1 江西农业大学国土资源与环境学院, 南昌 330045

2 西北大学城市与环境学院, 西安 710000

3 北京师范大学环境学院, 北京 100000

摘要:以赣江上游流域为研究对象, 利用 1995 年、2005 年、2015 年的 3 期遥感影像, 分析 1995—2015 年赣江上游流域的土地利用演变特征; 基于景观扰动指数与景观脆弱指数构建土地利用生态风险模型; 采用半变异分析、自相关分析等方法, 研究了赣江上游流域土地利用风险时空变化与驱动力。结果表明: 赣江上游流域城乡生活空间面积显著增加, 农业生产空间面积显著减少, 土地利用类型由生态、生产空间向城乡生活空间转化, 土地利用程度提高。1995—2015 年期间土地利用生态风险逐渐上升, 高一高型聚类多分布于章贡区、南康区、信丰县等附近, 低—低型聚类多分布于安远县、全南县等附近, 高风险区、较高面积逐渐扩大, 低风险区、较低风险区面积逐渐缩小, 引起土地利用类型变化的因素主要为总人口、公路里程、城镇化率等人为因素。研究结果可为区域生态安全格局构建、土地利用的优化布局提供借鉴。

关键词:生态风险; 三生空间; 空间特征; 赣江流域

Study of the spatial-temporal variation of landscape ecological risk in the upper reaches of the Ganjiang River Basin based on the “production-living-ecological space”

ZHAO Yue¹, LUO Zhijun^{1,*}, LI Yating², GUO Jiaying³, LAI Xiahua¹, SONG Ju¹

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

2 College of Urban and Environmental Science, Northwest University, Xi'an 770000, China

3 School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100000, China

Abstract: This study used remote sensing images from 1995, 2005, and 2015 to analyze the land use evolution characteristics of the upper reaches of the Ganjiang River Basin from 1995 to 2015 based on the landscape disturbance index and landscape fragility. The index constructs an ecological risk model for land use; semivariance analysis and autocorrelation analysis were utilized to study the temporal and spatial changes and driving forces of land use risk in the upper reaches of the Ganjiang River Basin. The results show that the area of urban and rural living space in the upper reaches of the Ganjiang River has increased significantly, and the agricultural production area has been significantly reduced. The type of land use has shifted from ecological and production space to urban and rural living space, and the degree of land use has increased. From 1995 to 2015, the ecological risk of land use increased gradually. The high-high clusters were mostly distributed in the vicinity of Zhanggong District, Nankang District, and Xinfeng County, etc. The low-low clusters were distributed in the

基金项目:国家自然科学基金项目(31660140); 江西省高校人文社科项目(GL18128); 江西省教育厅科技项目(GJJ180193)

收稿日期:2018-04-04; **网络出版日期:**2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: luozy10@163.com

vicinity of Anyuan County and Quannan County, etc. The high- and higher-risk areas gradually expanded, while the low- and lower-risk areas gradually narrowed. The factors that caused changes in land use types were primarily human factors such as total population, highway mileage, and urbanization rate. The results of this study can provide a reference point for the construction of regional ecological security patterns and the optimization of land use layout.

Key Words: ecological risk; production-living-ecological space; spatial characteristics; Ganjiang River Basin

生态风险评价是基于一种或者多种外界因素导致的可能会发生的或者正在发生的对生态环境产生不良影响的评价方法,其重点为评价人类活动在生态环境中产生的不良影响^[1]。景观格局表示景观组分的空间分布特点与组合规律,体现着景观的异质性与各类生态过程在不同尺度上的作用结果^[2],通过研究景观格局的变化及演替规律可获知地区生态空间结构的变化特点,可用于对地区潜在的生态风险的综合评估^[3-4]。土地利用/覆被变化是全球环境变化的重要组成部分,在人类活动占优的景观内,土地利用的方式和强度的变化对生态产生区域性和累积性影响,并且较为直观的反应在生态系统的组织和结构上,可以根据土地类型结构进行区域生态风险评价,以综合评估各生态影响的类型和程度^[5-6]。中共十八大报告中明确指出国土生态—生产—生活空间的发展目标:“生产空间集约高效、生活空间宜居适度、生态空间山清水秀”。这一空间划分方法与国内外认可的生态—生产—生活“三支柱”理念不谋而合^[7]。但当前对于三生空间的研究探讨还处于初步阶段,基于“三生”与土地利用主导功能的视角将三生空间理念与区域生态风险进行结合的研究较为缺乏。

流域生态风险评价与其他区域生态风险相比具有独特的流域特征^[8],在现有研究中主要采用景观分析法对流域生态风险进行分析^[9]。如许妍等^[10]根据危险度、脆弱度、损失度 3 个层次构建流域生态风险评价模型对太湖流域生态风险进行评价;Paukert 等^[11]将土地利用与景观结构进行结合,利用生态威胁指数对科罗拉多河流域的生态风险状况进行评估;谢小平等^[12]根据景观脆弱度、景观结构指数与景观组分面积构建生态风险评价体系对太湖流域生态风险进行评价。以上研究成果对国内外流域生态规划、景观结构调整与优化、社会经济可持续发展等提供了理论依据。本文采用由景观干扰度及景观类型脆弱度指数共同构建的景观生态风险指数,并将“三生空间”的理念纳入生态风险评价过程对流域生态风险的时空分布特征及空间关联特征进行评估,通过空间自相关和半方差方法的研究生态风险的时空分布。以期为赣江上游流域土地资源的合理配置与高效利用提供理论依据和参考。

1 研究区域概况

赣江上游流域位于江西省南部(113°54′—116°38′E, 24°29′—27°09′N),处于中国东南沿海向中部内陆延伸的过渡地带,也是内地通向东南沿海的重要通道之一(图 1)。流域均位于赣州市境内,总面积约为 35699 km²,占赣州市全域面积的 90.65%,由章贡区、安远县等 16 个区县构成。赣江上游地形复杂多样,山地、丘陵广布,地势起伏较大。属亚热带气候区,降水充沛,热量丰富,年平均降水为 1573 mm,年平均气温为 18.9 °C,成土母岩主要为第四季红色黏土、花岗岩等。土壤以红壤为主,还有黄壤和紫色土等土类分布。由于近年来人地矛盾突出,各类开发建设项目增多,人类活动范围扩大,导致水土流失等一系列生态环境问题。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源及处理

1995 年、2005 年和 2015 年数据均采用监督分类与人工目视解译相结合的方法对不同时期遥感影像数据进行解译,采用随机采样的方式,将采样随机点分别与其实际类型进行比对,得出解译精度结果,各期影像总体精度均大于 83%,满足本研究需要^[13]。地形等相关因子由分辨率为 30 m×30 m 的规则格网数字高程模型

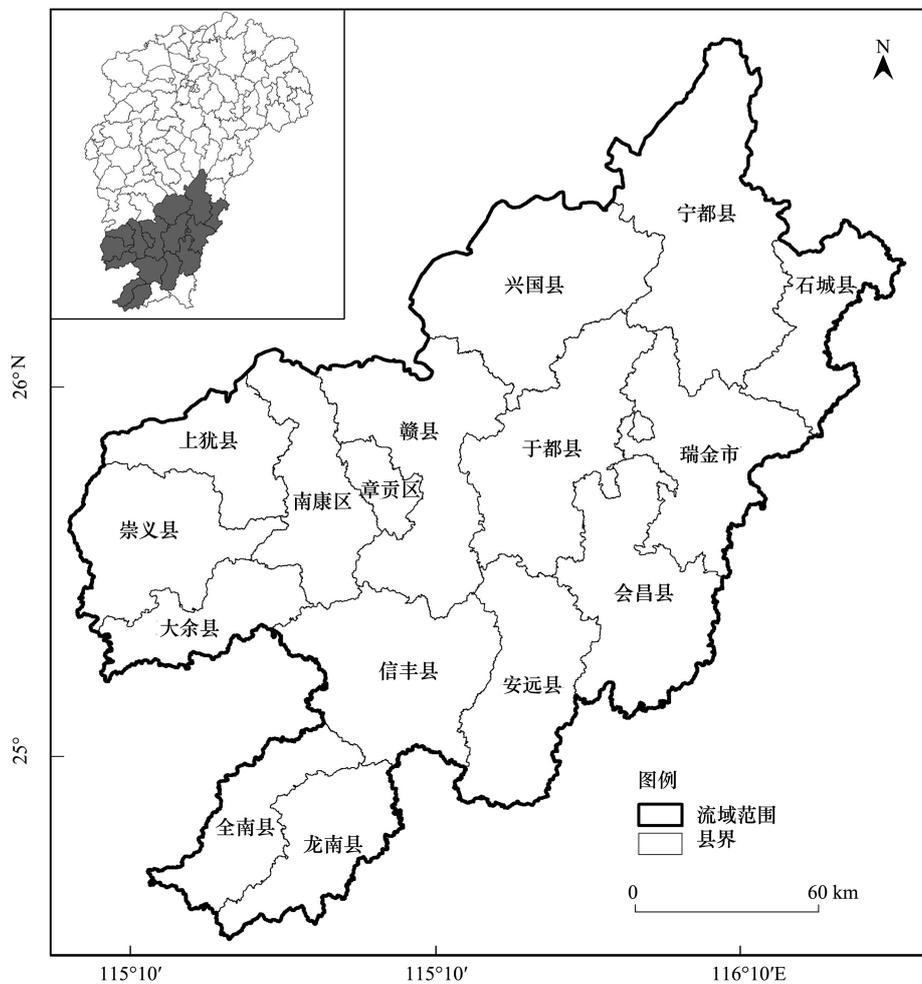


图 1 研究区范围

Fig.1 Study area

(DEM) 提取。根据土地利用现状分类标准(GB/T21010—2007),并结合研究区土地利用的特点,将土地利用分类系统分为 6 个一级土地利用类型,分别为耕地、林地、草地、水域、建设用地及未利用地等,和 25 个二级土地利用类型。土地利用功能可根据各自特点,结合土地利用类型划分为农业生产空间、城乡生活空间、林地生态空间、牧草生态空间、水域生态空间、其他生态空间六大类^[14],如表 1 所示:

表 1 土地利用主导功能分类

Table 1 Land use function classification

主导功能分类 Dominant function classification		二级分类 Secondary classification
一级地类 First class ground category	二级地类 Secondary class ground category	
生产用地 Production land	农业生产空间	水田、旱地、水浇地
生活用地 Living land	城乡生活空间	城镇用地、农村居民点用地
生态用地 Ecological land	林地生态空间	有林地、灌木林地、其他林地、园地等
	牧草生态空间	高覆盖度草地、中覆盖度草地、低覆盖度草地
	水域生态空间	河流、湖泊、水库、滩地、坑塘等
	其他生态空间	沙地、戈壁、沼泽地、裸岩地等未利用地

2.2 生态风险评价模型构建

景观生态风险指数构建取决于区域生态系统受到外部干扰的强弱和内部抵抗力的大小。不同的景观类

型在维持区域生态稳定、维护生物多样性、促进景观格局自然演化方面的作用往往有所差异^[15]。景观格局指数将景观格局信息进行了高度的浓缩,用于表现其结构组成和空间配置某些方面特征的简单定量指标。结合前人研究成果^[16],根据生态系统的景观格局与生态风险之间的联系,利用景观结构指数、景观脆弱指数建立生态风险指数的计算模型(表2)。基于网格采样法,将研究区土地利用景观格局进行 5 km×5 km 的网格划分,得到采样区 1542 个,并在此基础上通过计算每个样区的生态风险,以此作为每个样区中心点的土地利用生态风险值。

表2 景观格局指数构建方法

Table 2 Construction method of Landscape pattern Indices

名称 Name	计算公式 Computing method	生态意义 Ecological meaning
景观破碎度指数: Landscape fragmentation index(C_i)	$C_i = n_i/A_i$	表示景观在给定的时间和性质上被分割的破碎化程度,值越高代表景观破碎程度越高,人类对景观的干扰越大 ^[17] 。式中, n_i 表示景观类型 i 的斑块数, A_i 表示景观类型 i 的总面积
景观优势指数: Landscape dominance index(DO_i)	$DO_i = \frac{(Q_i + M_i) + 2L_i}{4}$	表示斑块在景观中的重要地位,其值越高代表斑块对景观格局形成及演变影响越大,其对应的生态风险越高 ^[18] 。式中, Q_i 表示景观类型 i 的采样单元数目/采样单元总数, M_i 表示斑块 i 数目/斑块总数, L_i 表示斑块 i 的面积/样方总面积
景观分离指数: Landscape separation index(S_i)	$S_i = D_i \cdot A/A_i$	表示景观类型中不同斑块个体之间分离程度,其值越大代表景观分布越复杂,景观生态稳定性较低,生态风险较高 ^[19] 。式中, A_i 表示景观类型 i 的总面积; D_i 表示景观类型 i 的距离指数; $D_i = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{n_i}{A}}$, A 为景观总面积
景观扰动指数: Landscape disturbance index(E_i)	$E_i = aC_i + bS_i + cDO_i$	表示不同景观所代表的生态系统受到干扰的损失程度,式中, a, b, c 为相应各景观指数权重,且其和为 1,根据前人研究结果 ^[20] 并结合研究区特点,三类指数分别赋值为 0.5,0.3,0.2
景观脆弱指数: Landscape vulnerability index(F_i)	专家综合打分经归一化获取	表示不同景观类型对外界干扰的敏感性,其值越大,生态风险越高 ^[21] 。在结合前人研究的基础上 ^[20-21] ,根据研究区实际情况,将其他生态空间为 6,水域生态空间为 5,农业生产空间、林地生态空间、牧草生态空间分别为 4、3、2,城乡生活空间为 1,经归一化得到各自景观脆弱指数
生态风险指数: Ecological risk index(ERI)	$ERI = \sum_i^N \frac{S_{ki}}{S_k} \sqrt{E_i \cdot F_i}$	在景观扰动指数和破碎化指数的基础上,为了描述样地内生态损失的大小,通过采样方法将空间格局转变为生态风险变量,以此构建土地利用生态风险指数 ^[22] 。式中, N 为景观类型数量, S_{ki} 为第 k 个风险小区第 i 类景观组分的面积, S_k 为第 k 个风险小区总面积

2.3 空间自相关分析方法

本研究采用 GeoDa 5.1i 软件进行生态风险指数空间自相关分析,通过空间权重计算与 Moran's I 指数计算,以得出研究区生态风险的空间自相关性。空间自相关分析用来检验某些空间变量在特定位置的属性值是否与邻近位置的属性值显著相关的算法,可以分为全局空间自相关与局部空间自相关^[23],全局空间自相关用来研究变量属性的空间相关性与规律性,而局部空间自相关更能展示生态风险的空间聚集,可以通过图形的形式展现生态风险的空间聚集情况,通过空间关联局域指标(LISA)分析生态风险空间格局,可分为高一高聚集、高一低聚集、低—低聚集、低—高聚集^[24],全局自相关(式1)与局部自相关(式2)分别表示为:

$$I = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

式中, n 为样本总数, x_i 与 x_j 分别为样本 i 与 j 在所在位置的属性值, \bar{x} 为样本平均值, w_{ij} 为空间权重。

$$I = x'_i \sum_{i=1}^n w_{ij} x'_j \quad (2)$$

式中, x_i 代表样本 i 标准化后的单元标准值; x_j 代表样本 j 标准化后的单元标准值。通过 Geoda 软件进行 Moran's 值的计算, 并采用 ArcGIS 10.2 软件进行 LISA 图的制作。

2.4 半变异函数分析方法

地统计学与 GIS 相关技术的结合在空间分析的领域内的使用也越来越广泛, 本文采用 GS+7.0 软件进行半变异函数拟合, 并建立拟合模型, 反映不同距离观测值的变化^[25], 假设采样点数据变量符合二阶平稳和本征假设, 则半变异函数可以表示为:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (3)$$

式中, $\hat{\gamma}(h)$ 表示半变异函数, h 为步长, $N(h)$ 表示间隔 h 的样点数, $z(x_i)$ 与 $z(x_i + h)$ 则分别表示在 $z(x_i)$ 与 $z(x_i + h)$ 处的实测值。用于拟合间断点的方程为半变异函数模型, 半方差函数模型主要可以分为球状模型、高斯模型、指数模型、线性模型等类型^[24-26]。块金值 (C_0) 表示随机因素引起的空间异质性, 基台值 ($C_0 + C$) 表明最大变异程度; 变程代表研究区生态风险指数空间分异的步长; 拱高占基台值的比例 $C/(C_0 + C)$ 用来估计随机因素在空间异质性中的相对重要度。

2.5 主成分分析方法

生态风险演变的机理与其生态过程较为复杂, 土地景观格局的变化对生态风险的演变具有重要影响^[27]。演变的主要因素包括自然、生活、经济等, 常见的土地利用在人文方面的驱动因素有: 人口、经济发展水平、政治结构等^[28]。结合相关研究成果^[29-30] 与本研究实际需要, 从人口、经济、城市方面选取了与生态风险演变可能存在联系的总人口 (X_1)、粮食总产量 (X_2)、第三产业比重 (X_3)、第二产业比重 (X_4)、人均 GDP (X_5)、社会固定资产投资 (X_6)、公路里程 (X_7)、城镇化率 (X_8) 8 个因子对其进行主成分分析, 以获知对研究区带来较大影响的驱动因素。

3 结果与分析

3.1 土地利用类型演变

从各地类增减变化来看(表 3), 城乡生活空间面积扩张迅速, 其面积由 1995 年 354.89 km² 增加至 2015 年的 546.26 km², 面积增加 191.37 km², 增幅达到 53.92%。农业生产空间面积减少, 净减少面积为 121.76 km², 减少 1.89%。牧草生态空间、林地生态空间面积逐渐减少, 分别减少 42.92 km²、49.22 km², 占比分别为 2.00% 与 0.19%, 水域生态空间面积有小幅度的增加, 由 1995 年的 352.62 km² 增加至 2015 年的 375.42 km², 增加 6.47%。其他生态空间面积较小, 仅于 1995 年至 2005 年期间减少 0.27 km², 减少 10.93%, 于 2005 年至 2015 年期间无变化。从转移类型来看(表 4), 城乡生活空间主要由农业生产空间、林地生态空间转入; 水域生态空间主要由农业生产空间转入; 林地生态空间中减少面积主要转为农业生产空间、城乡生活空间。

3.2 生态风险空间分析

空间自相关分析常常用来检验某些空间变量在特定位置的属性值是否与邻近位置的属性值显著相关, 而在此基础上的局部自相关研究更能体现生态风险的聚集特征, 本研究以前文所得历年生态风险指数为基础, 运用 GeoDa 5.1 软件进行空间局部自相关分析。莫兰指数常能用来研究区域的整体分布和空间聚集情况, 但并不能展现空间上的相互联系, 故采用局部自相关 LISA 分析来探讨研究区生态风险的相关程度和研究其是否具有空间聚集性。根据自相关分析, 得到研究区 1542 个样区 1995 年、2005 年和 2015 年的生态风险局部自相关 LISA 结果(图 2)。

由图 2 可知, 赣江上游流域生态风险高的地区明显集中于章贡区、南康区、信丰县、兴国县、于都县等地区的中心城区附近, 形成高一高聚集, 这主要是因为此区域海拔较低, 城镇化建设速度较快, 工业化水平较高, 交

通较为便捷,景观破碎化程度高。生态风险的低值区主要聚集于崇义县、安远县、龙南县等地区,形成低—低聚集,此区域海拔普遍较高,土地利用类型多为林地生态空间和牧草生态空间且分布集中,景观破碎程度较低。1995—2015年,章贡区、南康区、信丰县、宁都县等地区高风险区分布范围逐渐扩大,主要是由于城市化进程的加快,城乡生活空间面积的扩大,景观分离程度、景观优势度增大导致的。低风险区的范围逐渐缩小,崇义县、安远县、会昌县等县市的低风险区范围变化最为明显。主要由于人类活动范围扩大,对林地生态空间、农业生产空间等分布区开发活动增多,景观破碎程度提高,造成了低生态风险区面积的减少。

表3 1995—2015年赣江上游流域土地利用变化/km²

Table 3 1995—2015 in the upper reaches of Ganjiang River Basin land use change

土地利用功能分类 Land use function classification	面积 Area/km ²			1995—2005		2005—2015		1995—2015	
	1995	2005	2015	变化面积 Variation area/km ²	比率 Rate/%	变化面积 Variation area/km ²	比率 Rate/%	变化面积 Variation area/km ²	比率 Rate/%
农业生产空间 Agricultural production of space	6427.91	6434.56	6306.15	6.65	0.10%	-128.41	-2.00%	-121.76	-1.89%
林地生态空间 Woodland ecological space	26415.99	26393.95	26366.77	-22.04	-0.08%	-27.18	-0.10%	-49.22	-0.19%
牧草生态空间 Pasture Ecological Space	2145.12	2136.35	2102.2	-8.77	-0.41%	-34.15	-1.60%	-42.92	-2.00%
城乡生活空间 Urban and rural living space	354.89	359.52	546.26	4.63	1.30%	186.74	51.94%	191.37	53.92%
水域生态空间 The waters of ecological space	352.62	372.42	375.42	19.80	5.62%	3.00	0.81%	22.80	6.47%
其他生态空间 Other ecological space	2.47	2.2	2.2	-0.27	-10.93%	0.00	0.00%	-0.27	-10.93%

表4 1995—2015年土地利用转移矩阵/km²

Table 4 Transfer matrix of land use in the upper reaches of Ganjiang River Basin from 1995 to 2015

2015	1995						合计 Total
	牧草生态空间 Pasture ecological space	农业生产空间 Agricultural production of space	城乡生活空间 Urban and rural living space	林地生态空间 Woodland ecological space	水域生态空间 The waters of ecological space	其他生态空间 Other ecological space	
牧草生态空间 Pasture Ecological Space	2080.95	2.48	0.02	18.53	0.22	0	2102.2
农业生产空间 Agricultural production of space	15.44	6248.94	3.58	37.22	0.95	0.03	6306.15
城乡生活空间 Urban and rural living space	27.69	122.63	349.5	45.91	0.54	0	546.26
林地生态空间 Woodland ecological space	18.56	34.57	0.89	26312	0.29	0.47	26366.77
水域生态空间 The waters of ecological space	2.49	19.3	0.91	2.12	350.61	0	375.42
其他生态空间 Other ecological space	0	0	0	0.22	0	1.98	2.2
总计 Total	2145.12	6427.91	354.89	26415.99	352.62	2.47	35699

通过半变异函数的拟合来探讨土地利用生态风险的空间变异特征,以更好地研究赣江上游流域的生态风险的空间属性。通过对赣江上游流域生态评价指数进行半变异函数模型拟合(表5),结果表明1995年、2015年生态风险指数最适宜模型为高斯模型,其决定系数(R^2)分别为0.982和0.963,2010年生态风险指数最适宜模型为指数模型,其决定系数(R^2)为0.997,拟合效果均较好。块金值(C_0)用来表示随机部分的空间异质性,而3期半变异拟合模型中块金值均较小,分别为0.0020、0.0016与0.0023,表明在较小的尺度上,某种过程

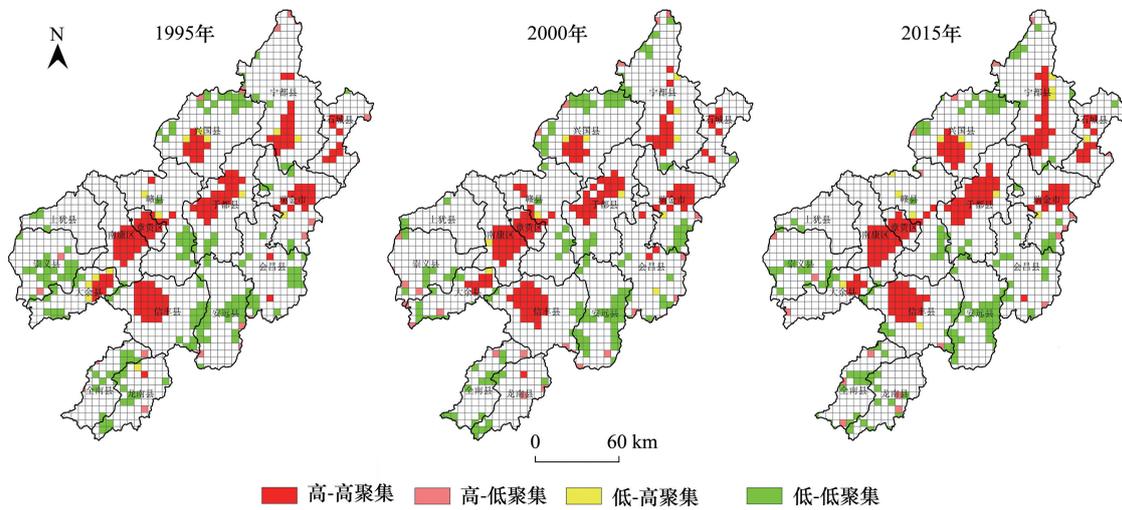


图2 研究区生态风险局部自相关图

Fig.2 Local autocorrelation map of ecological risk in the research area

可以忽略。3期模型的基台值($C + C_0$)呈现逐年上升的趋势,1995年、2005年、2015年基台值分别为0.011、0.012、0.013,表明研究区生态风险最大变异程度稳中有升。1995年、2005年、2015年 $C_0/(C + C_0)$ 分别为18.38%、13.59%、17.74%,表明说明在所选择的5 km采样间距以内,还存在一些小尺度的非结构性因素(如人类活动等)影响着该区生态环境的质量,但结构性因素(如地形、土壤等)仍然是该区生态风险指数空间分异的主导因素。

表5 土地利用生态风险指数半变异拟合参数

Table 5 Land use ecological risk index semivariable fitting parameters

年份 Year	模型 Model	C_0	$(C + C_0)$	$C/(C + C_0) / \%$	变程 Range/m	R^2	RSS
1995	高斯	0.0020	0.011	81.62	15415	0.982	1.242×10^{-5}
2005	指数	0.0016	0.012	86.41	24600	0.997	9.710×10^{-6}
2015	高斯	0.0023	0.013	82.26	15935	0.963	1.318×10^{-5}

根据生态风险指数计算结果,通过密度分割法对其进行标准化处理和生态风险等级划分,可将研究区划分为五个等级^[21,25-26],分别为:低风险区(<0.3)、较低风险区($0.3-0.5$)、中风险区($0.5-0.6$)、较高风险区($0.6-0.7$)和高风险区(>0.7)。以每个采样范围的中心点属性值为基础,借助 ArcGIS 10.2 中的地统计功能,进行普通克里格插值,形成4期赣江上游流域的生态风险空间插值图。

由图3、表6可知,高风险区的分布范围与前文中高一高聚集区空间分布具有较高的一致性,主要集中分布于南康区、信丰县、于都县等区域;低风险区集中分布于崇义县、安远县等低风险区。而1995—2015年间赣江上游流域高风险区、较高风险区与中风险区面积逐渐扩大,低风险区与较低风险区面积逐渐缩小,表明研究区生态风险逐渐提高。

3.3 “三生空间”用地转型对生态风险的影响

区域的生态风险程度往往同时发生着改善和加剧两种相反的趋势,而“三生空间”的发展变化,影响着区域的生态安全格局。由表7可知,研究区“生态-生活-生产”空间呈现出显著的生态、生活空间向生产空间转移、生态空间向生产空间转移的趋势,而其转移过程中必然发生景观生态格局的转变,从而影响引起区域的生态风险变化。根据研究区实际特点,并在借鉴相关研究的基础上^[14],采用土地利用转型生态贡献率获知某一土地利用类型变化所引起的区域生态风险等级的改变,从各类用地功能转型的类别中选取转型面积较大,转

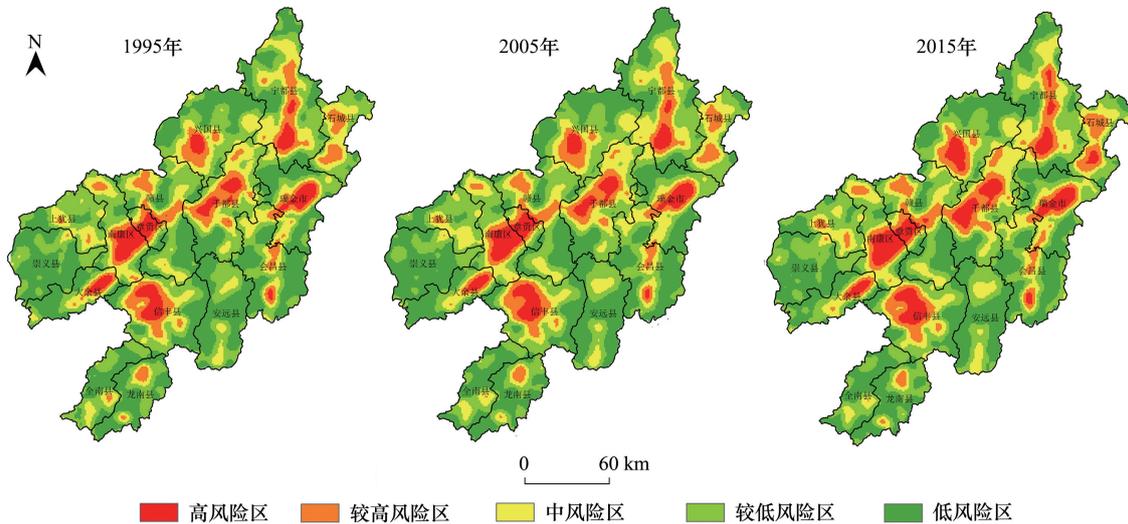


图3 赣江上游流域生态风险等级空间分布图

Fig.3 Spatial Distribution Map of Ecological risk Grade in the Upper reaches of Ganjiang River Basin

表6 生态风险等级面积及比例/(km²,%)

Table 6 Ecological risk grade area and proportion

生态风险等级 Ecological risk grade	1995		2005		2015	
	面积 Area/km ²	比例 Percent/%	面积 Area/km ²	比例 Percent/%	面积 Area/km ²	比例 Percent/%
高风险区 High risk area	1806.37	5.06%	1902.76	5.33%	2299.02	6.44%
较高风险区 Higher risk area	3462.80	9.70%	3398.54	9.52%	3798.37	10.64%
中风险区 Middle risk area	6793.52	19.03%	6932.75	19.42%	6936.32	19.43%
较低风险区 Lower risk area	11605.74	32.51%	11273.74	31.58%	11313.01	31.69%
低风险区 Low risk area	12030.56	33.70%	12191.21	34.15%	11353.85	31.81%

表7 影响生态风险程度的主要用地转型及贡献率

Table 7 Transformation and contribution rate of main land influencing the degree of ecological risk

用地功能转型 Land use function transformation	等级变化 Grade change	贡献比率 Contribution ratio/%
农业生产空间—城乡生活空间 Agricultural production of space—urban and rural living space	0.00548	0.04
林地生态空间—城乡生活空间 Woodland ecological space—urban and rural living space	-0.00398	0.01
林地生态空间—农业生产空间 Woodland ecological space—agricultural production of space	0.03136	17.90
林地生态空间—牧草生态空间 Woodland ecological space—pasture Ecological Space	0.13533	8.09
城乡生活空间—农业生产空间 Urban and rural living space—agricultural production of space	0.01830	2.78
城乡生活空间—林地生态空间 Urban and rural living space—woodland ecological space	0.15094	3.12
农业生产空间—林地生态空间 Agricultural production of space—woodland ecological space	0.07581	17.59
牧草生态空间—林地生态空间 Pasture Ecological Space—woodland ecological space	0.08108	2.47

型特征明显的八类,用于研究其指数变化与贡献比率。结果显示:用地功能的转型普遍造成区域生态风险的提高,其中城乡生活空间转为林地生态空间导致的生态风险等级提升的效果最为明显,林地生态空间转为城乡生活空间,导致生态风险等级降低。林地生态空间转为农业生产空间、农业生产空间转为林地生态空间的贡献比率较高,分别为 17.90%与 17.59%,土地利用类型的转变导致景观结构指数、景观脆弱指数发生变化,使得原有较完整的景观变得破碎,景观生态风险增加,尤其是不规则的景观结构变化最容易引起生态风险等级的提高。结合前文中半变异分析结果,结构性因素是引起区域生态风险的主导因素,非结构性因素则影响较弱,用地功能的转型均为结构性因素与非结构性因素作用的体现。

3.4 流域土地利用变化驱动力分析

为了增强数据的准确性和科学性,更好的反映生态风险与各类驱动因素之间的协调性,将指标数据经过标准化处理后用以主成分分析研究,旋转前后各因子的特征值、贡献率和累积贡献率如表 8 所示:当驱动因素特征值大于 1 时表明该因素主成分影响力足够大,反之则表明其主成分影响力较弱。存在三类因子特征值均大于 1,对应的累计贡献率为 84.598,由此可知,这三类因子应为研究区土地利用变化的主要驱动力。提取的 3 个因子代表着 8 类因子的综合信息,需要对其进行旋转分析确定其代表因子,使因子载荷值向两极端趋近,以明确各因子代表的含义。由表 9 可知,旋转使因子载荷值向两极端趋近更为明显,可以用以综合因子的命名。第一主成分代表总人口、公路里程、城镇化率、粮食总产量与第一主成分呈最大正相关,表明以上因素是研究区土地利用类型变化的主要驱动因素;人均 GDP、社会固定资产投资与第二主成分具有较大正相关关系;第三产业比重与第三主成分正相关作用较强,第二产业比重负相关作用较强。上述分析表明,研究区土地利用类型变化受总人口、公路里程、城镇化率影响较大,人类活动对土地利用格局的影响力度范围不断增强。

表 8 驱动因子主成分特征值与贡献率

Table 8 Principal components and contribution ratio of characteristic roots

因子 Factor	初始特征值 Initial eigenvalue			提取平方和载入 Extract square sum load			旋转平方和载入 Rotation square sum loading		
	特征值 Charateristic roots	贡献率 Contribution ratio/%	累积贡献率 Accumulating contribution rate/%	特征值 Charateristic roots	贡献率 Contribution ratio/%	累积贡献率 Accumulating contribution rate/%	特征值 Charateristic roots	贡献率 Contribution ratio/%	累积贡献率 Accumulating contribution rate/%
	1	3.542	44.278	44.278	3.542	44.278	44.278	2.878	35.980
2	1.941	24.267	68.545	1.941	24.267	68.545	1.952	24.404	68.545
3	1.284	16.053	84.598	1.284	16.053	84.598	1.937	24.214	84.598
4	0.584	7.294	91.892						
5	0.286	3.581	95.472						
6	0.195	2.439	97.911						
7	0.135	1.693	99.604						
8	0.032	0.396	100.00						

表 9 旋转因子载荷矩阵

Table 9 Rotated component matrix

指标 Index	因子 Factor			旋转因子 Rotation factor		
	1	2	3	1	2	3
总人口 Total population	0.931	0.009	0.228	0.840	0.347	0.303
粮食总产量 Total grain yield	0.671	0.433	-0.084	0.322	0.527	0.514
第三产业比重 Tertiary industry	-0.446	-0.428	0.688	0.102	-0.222	-0.892
第二产业比重 Second industry proportion	0.655	-0.213	-0.587	0.383	-0.245	0.782
人均 GDP Per capita GDP	-0.160	0.828	0.403	-0.322	0.844	-0.240
社会固定资产投资 Social fixed assets investment	0.639	0.685	0.167	0.302	0.851	0.319
公路里程 Highway mileage	0.752	-0.441	0.219	0.885	-0.099	0.121
城镇化率 Urbanization rate	0.774	-0.419	0.399	0.966	-0.003	-0.011

4 结论与讨论

本文以 1995、2005、2015 年 3 期景观类型数据,构建基于景观格局与生态学过程的景观生态风险指数,借助半变异分析与自相关分析方法对流域生态风险空间变化特征及驱动因素进行研究,以揭示研究区生态风险时空演变特征与规律,结果表明:

1995—2015 年间通过对赣江上游土地利用类型的统计分析,可知赣江上游地区土地利用类型中农业生产空间面积逐渐缩小,城乡生活用地面积逐年增加,农业生产空间分离程度变大,城乡生活用地分离程度与破碎度减小。表明赣江上游土地利用类型主要由生产空间和生态空间向城乡生活空间转化,土地利用程度提高。根据贡献率分析结果显示用地功能的转型会引起区域生态风险的变化,不同的转移类型贡献率大小不一。通过空间自相关分析与半变异分析可知,高值-高值(H-H)聚集类型主要分布于章贡区、南康区、信丰县等附近,低值-低值(L-L)型聚类多分布于安远县、崇义县等附近,其高一高聚集区和低-低聚集区与高风险区和低风险区的分布范围有较高的一致性。根据土地利用变化驱动力分析结果显示,人口的增长与社会经济的快速发展是驱动着土地利用类型变化的根本因子,总人口、公路里程、城镇化率因素对土地利用格局的影响力度范围不断增强,而土地利用格局的变化影响着区域的景观格局变化,进而影响区域的生态风险。需要在未来的发展中注重对“三生空间”的协调和优化,科学规划,避免土地利用类型和景观格局的无序发展。

参考文献 (References):

- [1] Faber J H, Van Wensem J. Elaborations on the use of the ecosystem services concept for application in ecological risk assessment for soil. *Science of the Total Environment*, 2012, 415: 3-8.
- [2] He C Q, Liu J M, Li J, Liang X, Chen X P, Lei Y R, Zhu D. Spatial distribution, source analysis, and ecological risk assessment of DDTs in typical wetland surface soils of Poyang Lake. *Environmental Earth Sciences*, 2013, 68(4): 1135-1141.
- [3] Focks A, Ter Horst M, Van Den Berg E, Baveco H, Van Den Brink P J. Integrating chemical fate and population-level effect models for pesticides at landscape scale: New options for risk assessment. *Ecological Modelling*, 2014, 280: 102-116.
- [4] Zhang W Q, Shan B Q, Li J, Tang W Z, Jin X, Zhang H, Ding Y H, Wang Y Y, Zhu X L. Characteristics, distribution and ecological risk assessment of phosphorus in surface sediments from different ecosystems in Eastern China: A ³¹P-nuclear magnetic resonance study. *Ecological Engineering*, 2015, 75: 264-271.
- [5] Xie H L, Peng W, Huang H S. Ecological risk assessment of land use change in the Poyang lake eco-economic zone, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2013, 10(1): 328-346.
- [6] 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. *地理研究*, 2016, 35(6): 1017-1028.
- [7] 陶慧, 刘家明, 罗奎, 朱鹤. 基于三生空间理念的旅游城镇化地区空间分区研究——以马洋溪生态旅游区为例. *人文地理*, 2016, 31(2): 153-160.
- [8] 赵卫权, 杨振华, 苏维词, 李科. 基于景观格局演变的流域生态风险评价与管控——以贵州赤水河流域为例. *长江流域资源与环境*, 2017, 26(8): 1218-1227.
- [9] 王若凡, 南忠仁. 基于景观生态学的黑河流域生态风险评价. *安全与环境学报*, 2013, 13(6): 133-137.
- [10] 许妍, 高俊峰, 郭建科. 太湖流域生态风险评价. *生态学报*, 2013, 33(9): 2896-2906.
- [11] Paukert C P, Pitts K L, Whittier J B, Olden J D. Development and assessment of a landscape-scale ecological threat index for the Lower Colorado River Basin. *Ecological Indicators*, 2011, 11(2): 304-310.
- [12] 谢小平, 陈芝聪, 王芳, 白毛伟, 徐文阳. 基于景观格局的太湖流域生态风险评估. *应用生态学报*, 2017, 28(10): 3369-3377.
- [13] 魏伟, 石培基, 雷莉, 周俊菊, 颀斌斌. 基于景观结构和空间统计方法的绿洲区生态风险分析——以石羊河武威、民勤绿洲为例. *自然资源学报*, 2014, 29(12): 2023-2035.
- [14] 杨清可, 段学军, 王磊, 金志丰. 基于“三生空间”的土地利用转型与生态环境效应——以长江三角洲核心区为例. *地理科学*, 2018, 38(1): 97-106.
- [15] 张学斌, 石培基, 罗君, 刘海龙, 魏伟. 基于景观格局的干旱内陆河流域生态风险分析——以石羊河流域为例. *自然资源学报*, 2014, 29(3): 410-419.
- [16] 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. *中国环境科学*, 2011, 31(4): 688-695.
- [17] 冯异星, 罗格平, 周德成, 韩其飞, 鲁蕾, 许文强, 朱磊, 尹昌应, 戴丽, 李艳忠. 近 50a 土地利用变化对干旱区典型流域景观格局的影

- 响——以新疆玛纳斯河流域为例. 生态学报, 2010, 30(16): 4295-4305.
- [18] 刘春艳, 张科, 刘吉平. 1976—2013 年三江平原景观生态风险变化及驱动力. 生态学报, 2018, 38(11): 3729-3740.
- [19] 张月, 张飞, 周梅, 李晓航, 任岩, 王娟. 干旱区内陆艾比湖区域景观生态风险评价及时空分异. 应用生态学报, 2016, 27(1): 233-242.
- [20] 胡和兵, 刘红玉, 郝敬锋, 安静. 流域景观结构的城市化影响与生态风险评价. 生态学报, 2011, 31(12): 3432-3440.
- [21] 王鹏, 王亚娟, 刘小鹏, 陈晓, 孔福星. 基于景观结构的生态移民安置区生态风险评价——以宁夏红寺堡区为例. 生态学报, 2018, 38(8): 2672-2682.
- [22] 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. 应用生态学报, 2016, 27(5): 1585-1593.
- [23] 陈英, 冯定邦, 蔡立群, 裴婷婷. 耕作层土壤养分含量的空间自相关分析——以秦安县郭嘉镇为例. 干旱地区农业研究, 2016, 34(1): 66-73.
- [24] 叶长盛, 冯艳芬. 基于土地利用变化的珠江三角洲生态风险评价. 农业工程学报, 2013, 29(19): 224-232.
- [25] 李屹峰, 罗跃初, 刘纲, 欧阳志云, 郑华. 土地利用变化对生态系统服务功能的影响——以密云水库流域为例. 生态学报, 2013, 33(3): 726-736.
- [26] 李玉珍, 张永福, 安放舟. 基于 GIS 的新和县土地利用生态风险分析. 水土保持研究, 2015, 22(1): 172-175.
- [27] 李传哲, 于福亮, 刘佳, 严登华, 周婷. 近 20 年来黑河干流中游地区土地利用/覆被变化及驱动力定量研究. 自然资源学报, 2011, 26(3): 353-363.
- [28] 冉凤维, 罗志军, 章磊. 2000—2015 年南昌市土地利用变化及驱动力分析. 江西农业大学学报, 2017, 39(4): 834-842.
- [29] 阳文锐. 北京城市景观格局时空变化及驱动力. 生态学报, 2015, 35(13): 4357-4366.
- [30] 段妍磊. 河北承德市土地利用变化研究. 中国农业资源与区划, 2017, 38(1): 118-123, 151-151.