

城市扩张背景下景观破碎化动态演变及空间自相关分析 ——以南昌市为例

林晋大^{1,2,3}, 多玲花^{1,2,3}, 邹自力²

(1.东华理工大学 江西生态文明建设制度研究中心, 南昌 330013;

2.东华理工大学 测绘工程学院, 南昌 330013; 3.自然资源部环鄱阳湖区域矿山环境监测与治理重点实验室, 南昌 330013)

摘要:为探究城市扩张与景观破碎化演变过程及其关联机制,以江西省南昌市为例,基于2000—2015年的土地利用数据,运用城市破碎指数(UFI)刻画建设用地的景观破碎化水平;然后结合形态学空间格局分析(MSPA)和景观连接度分析量化了自然景观和耕地的景观动态演变过程;最后采用网格分析探究了三者之间的空间自相关动态特征。结果表明:2000—2015年间南昌市共有273.26 km²的耕地及45.61 km²的自然景观转为建设用地,整体城市破碎度指数在研究期内由2.27上升至4.94;耕地核心区数量在15 a时间内持续衰减,自然生境在前期变化平稳,随着城市化进程的加快,核心及桥接区不断减少,岛状斑块开始增加;空间自相关分析显示,景观破碎度与自然生境、耕地平均连通概率三者呈负相关,景观破碎度与耕地、自然生境平均连通概率之间的高低聚集区域集中分布在城市扩张的主要区域。2000—2015年城市快速扩张导致的破碎化致使耕地及自然生境景观结构发生改变,景观连通性逐渐丧失。

关键词:城市破碎指数;景观连接度;MSPA;空间自相关;南昌市

中图分类号:X826; P901

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2022)04-0362-08

Dynamic Evolution and Spatial Autocorrelation Analysis of Landscape Fragmentation Under the Background of Urban Expansion —A Case Study of Nanchang City

LIN Jinda^{1,2,3}, DUO Linghua^{1,2,3}, ZOU Zili²

(1.Jiangxi Ecological Civilization Construction Institution Research Center, East China University of Science and Technology, Nanchang 330013, China; 2.Faculty of Geomatics, East China University of Technology, Nanchang 330013, China; 3.Key Laboratory of Environmental Monitoring and Governance of Mines Around Poyang Lake, Ministry of Natural Resources, Nanchang 330013, China)

Abstract: To explore the evolution process of urban expansion and landscape fragmentation and its correlation mechanism, taking Nanchang City, Jiangxi Province as an example, based on the land use data from 2000 to 2015, the urban fragmentation index (UFI) was used to describe the landscape fragmentation level of construction land; then combined with morphological spatial pattern analysis (MSPA) and landscape connectivity analysis, the dynamic evolution process of natural landscape and cultivated land was quantified. Finally, grid analysis was used to explore the dynamic characteristics of spatial autocorrelation among the three. The results show that from 2000 to 2015, a total of 273.26 km² of cultivated land and 45.61 km² of natural landscape in Nanchang were converted to construction land, and the overall urban fragmentation index increased from 2.27 to 4.94 during the study period; the number of cultivated land core areas continued to decline in 15 years, and the natural habitat changed steadily in the early stage; with the acceleration of urbanization, the core and bridge areas continued to decrease, and the island patches began to increase; spatial autocorrelation analysis showed

收稿日期:2021-08-02

修回日期:2021-08-22

资助项目:东华理工大学江西生态文明建设制度研究中心项目(JXST2103);江西省社科基金“十四五”(2021年)地区项目(21DQ44);江西省教育厅科学技术研究项目(GJJ210723)

第一作者:林晋大(1998—),男,江西赣州人,硕士,研究方向为土地利用规划。E-mail:listening0125@163.com

通信作者:多玲花(1987—),女,河南濮阳人,讲师,主要从事土地整治与生态修复研究。E-mail:duolinghua555@126.com

that landscape fragmentation was negatively correlated with the average connectivity probability of natural habitat and cultivated land; the high and low aggregation areas between landscape fragmentation and the average connectivity probability of cultivated land and natural habitat concentrated in the main areas of urban expansion. Fragmentation caused by the rapid urban expansion from 2000 to 2015 led to changes in the landscape structure of cultivated land and natural habitats, and the gradual loss of landscape connectivity.

Keywords: urban fragmentation index; landscape connectivity; MSPA; spatial autocorrelation; Nanchang City

城市的高速扩张与人类密集的经济活动不断蚕食着区域内的自然生态景观,对区域内不同景观之间的有效连接产生了影响^[1],景观破碎化程度不断加剧。景观连接度能有效度量城市的生态调控能力^[2],判断区域间各景观对于生态流的促进或阻碍程度^[3]。自然景观的有效连接对于维持区域内生态系统的稳定、生物多样性的保护具有重要意义^[4],而耕地连通性与规模生产、粮食安全有着密切的关系^[5]。因此,研究建设用地的景观破碎度与自然生境、耕地的景观连接度三者之间的动态演变过程及空间自相关变化特征能为城市生态保护、合理规划土地利用、实现城市可持续发展提供重要依据。

当前,景观破碎化与孤岛化现象日益严重^[6-7],城市和城市周边的景观呈现出“高度破碎化”和“空间异质性显著”的特征^[8],致使原来相对均衡的各景观要素变为彼此隔离的不连续斑块镶嵌体^[9-10],重构景观的有效连接能够维持景观的连续性和完整性。近年来,国内外学者致力于景观破碎化的研究,其中有学者运用景观格局指数^[11-12]定量表征景观破碎化信息,也有学者从形态学^[13],有效格网评估^[14-15],移动窗口法^[16-17],地理探测器等^[18]方法进行景观破碎化空间格局研究。然而过去的研究侧重于景观破碎化演变过程的分析,鲜有对景观破碎化与城市扩张空间相关性的研究,本文从景观破碎度与连接度出发探究城市扩张对于自然生境及耕地斑块连接度变化的影响及三者之间的空间自相关动态特征,识别景观破碎度与连接度变化呈现空间相关性的区域,为南昌市优化城市发展方针、缓解经济发展和城市生态环境二者冲突提供参考。

本文以南昌市为例,分析城市扩张造成的景观破碎化及自然生境、耕地连接度的动态演变过程,并探究三者之间的空间相关性。旨在探讨以下几个方面:(1)城市扩张对于景观破碎度及景观连接性的影响。(2)景观连接度的变化如何响应景观破碎化。(3)城市化过程中,建设用地与自然生境、耕地之间的变化是否存在空间相关性。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

南昌市位于江西省中部偏北,与鄱阳湖西南岸相接,在东经 115°27′—116°35′,北纬 28°10′—29°11′。境内以平原为主要地形,平均海拔为 25 m,东南部地形较为平缓,西北部为丘陵地带,全境山、丘、岗、平原相间,具有“西山东水”的地势。全市总面积为 7 384 km²,土地利用以耕地和林地为主,其中耕地 3 862 km²,林地 1 168 km²,因其雨水充沛,光照时间充足,南昌市植被覆盖率达到 42.96%,为国家森林城市。

1.2 研究数据来源

本文所使用的土地利用数据来源于美国地质调查局平台(<https://www.usgs.gov/>)获取的 Landsat TM/STM+影像,分辨率为 30 m,时段分别为 2000 年、2005 年、2010 年、2015 年。通过 ENVI 软件对 4 期遥感影像进行辐射校正、几何校正等预处理,获得土地利用数据,解译精度大于 90%。依据研究目的,参照土地利用分类方法,将区内用地类别划分为建设用地、草地、耕地、林地、水域及其他。

2 研究思路与方法

2.1 城市破碎指数

城市破碎指数(UFI)可以从速度和形态两方面反映城市扩张对于景观格局的改变,根据 Garcia 等^[19]的研究,UFI 遵循以下等式:

$$UFI = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{A} + \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{2\sqrt{\pi \sum_{i=1}^n S_i}} \quad (1)$$

式中: S_i 为第 i 个区域建设用地面积(m²); P_i 为第 i 个区域建设用地的周长(m); A 为区域总面积(m²)。式中的第一项表征了城市土地利用效率;第二项表示城市边界地区与等效圆的周长之比。将此公式用于定量评价建设用地所造成的景观破碎程度,值越大表明破碎程度越高。

为更直观地体现景观的动态变化,计算第 n 年到第 m 年的 UFI 的变化率,公式为:

$$UFI_{m-n} = \frac{UFI_m - UFI_n}{UFI_n} \times 100\% \quad (2)$$

本文参考已有研究^[20-21],利用 ArcGIS 软件创建 4 km×4 km 的渔网网格,计算包括景观整体以及每个网格中的 UFI 值,评价不同时期建设用地的景观破碎度差异及变化规律。

2.2 形态学空间格局分析

形态学空间格局分析(MSPA)可以识别目标像元集和结构要素之间的空间拓扑关系,将目标像元集分为 7 类不同的景观要素^[22]。利用重分类得到的土地利用数据,将林地和草地合并为自然生境,分别将耕地和自然生境作为前景,其他景观类型做为背景值,采用 8 邻域算法进行分析。在 MSPA 分析中,不同边缘宽度的设置对于斑块的面积和形态将产生较大的影响^[23-25],为比较不同边缘宽度对于斑块内部及斑块连接度的影响,选择适宜的边缘宽度进行分析,本文选取 1,4,8 三种不同的边缘宽度进行比较,分别对应了 30,120,240 m 的实际距离,经分析后最终选取 4 为边缘宽度。根据 MSPA 分析得到的 7 类景观要素,提取其中对景观连通具有重要意义的核心区,并研究其在景观连接度中的作用。

2.3 景观连接度分析

景观连接度反映了不同景观类型的斑块在生态流之间能量、信息的促进或阻碍作用^[26]。PC 指数能反映景观的连通性,dPC 指数能反映斑块对于景观保持连通性的重要性,计算公式如下:

$$PC = \frac{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n a_i a_j P_{ij}}{A_L^2} \quad (3)$$

$$dPC = \frac{PC - PC_{remove}}{PC} \times 100\% \quad (4)$$

式中: n 为景观中斑块总数; a_i, a_j 为 i 斑块和 j 斑块

的面积; A_L 为景观基质面积; PC_{remove} 为去除单个斑块后剩余斑块的整体指数值。本文采用 dPC 来评价斑块结构的重要性,距离阈值设置为 1 500 m,连接概率为 0.5^[20,24]。在得到各斑块重要值后,按照自然断点法进行分级,将核心区斑块重要值分为 5 级:极高、高、中等、低、极低。依据核心区斑块重要值的比值赋权重,同样计算每个渔网网格的平均斑块重要值来表征连接度。

2.4 空间自相关分析

空间自相关分析可分为全局空间自相关(Global Moran's I)和局部空间自相关(Local Indicators of Spatial Association, LISA),LISA 将 Global Moran's I 分解到各空间单元^[27],本文主要通过局部空间自相关分析景观破碎度、自然生境平均连接度、耕地平均连接度三者之间的空间关系,局部空间自相关公式为:

$$I_i = \frac{(x_i - \bar{x}) \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_j - \bar{x})}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5)$$

式中: I_i 为局部 Moran 指数; x_i, x_j 是变量 x 在相邻配对空间单元的取值或属性; w_{ij} 是空间权重矩阵。

3 结果与分析

3.1 城市扩张对于景观破碎度的影响分析

南昌市 2000—2015 年土地利用状况如图 1 和表 1 所示,2015 年和 2000 年相比,南昌市建设用地面积显著增加,其中占用最多的地类为耕地其次为林地,共有 273.26 km²的耕地,42.10 km²的林地转为建设用地。与 2000 年相比建设用地占南昌市总面积的比例由 4.17% 上升至 8.43%,耕地面积由 54.93% 下降至 52.31%,林地面积由 16.45% 下降至 15.81%。草地、其他、水域面积变化情况较小。

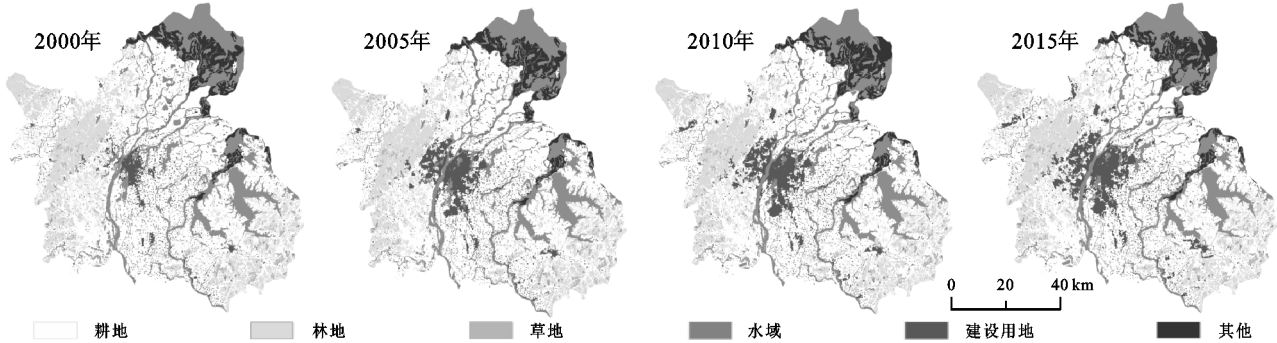


图 1 南昌市 2000—2015 年土地利用类型

城市的高速扩张造成了建设用地破碎化程度不断加深,由表 2 可知,南昌市城市破碎指数由 2000 年的 2.27 上升至 2015 年的 4.94,建设用地的破碎化程度造成

了土地利用类型的剧烈变化,影响和改变着周围的自然景观。通过图 2 格网分析可知,南昌市景观破碎化逐年由赣江向两岸延伸,城市化初期破碎化较高的斑块主要

分布在赣江东侧的东湖区一带,随着城市化进程的加快,建设用地以赣江为轴心,向南北方向扩散。总体来看,景观破碎化程度主要集中在城市中心区域,且

整体向北偏移,主要原因是红谷滩新区的开发,该区域的建设用地迅速向外扩张,区域内人口密度和经济活动高度集中,加深了区域内的景观破碎度。

表 1 南昌市 2000—2015 年土地利用转移矩阵 km²

年份	土地利用类型	2015 年					
		耕地	林地	草地	建设用地	水域	其他
2000 年	耕地	3681.31	32.99	1.70	273.26	62.62	4.43
	林地	56.65	1110.52	3.06	42.10	2.47	0.02
	草地	7.23	14.61	69.69	3.51	1.65	0.00
	建设用地	21.34	0.64	0.03	272.28	12.91	0.80
	水域	93.82	8.39	0.80	29.93	1176.40	42.84
	其他	2.45	0.01	0.24	1.24	31.25	321.20

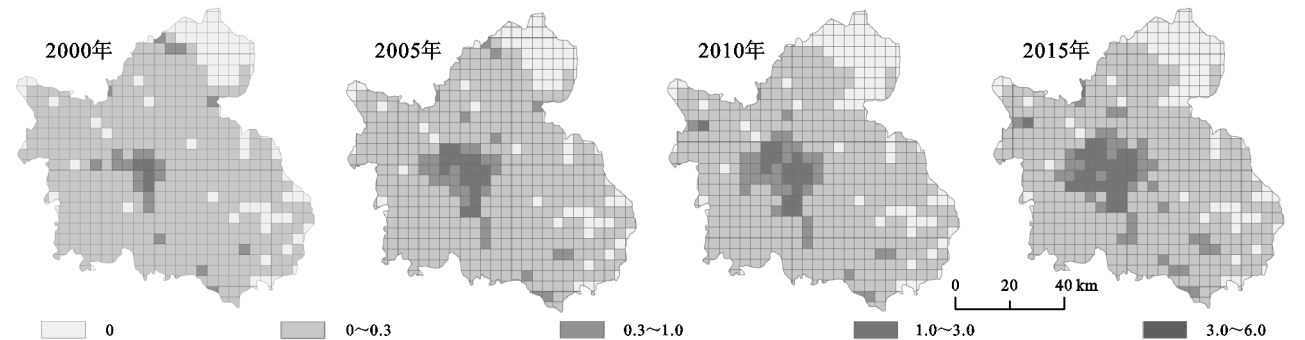


图 2 南昌市 2000—2015 年 UFI 空间分布

表 2 南昌市 2000—2015 年整体 UFI 指数

年份	城市破碎指数	平均城市破碎指数/%
2000	2.27	
2005	3.35	47.83
2010	3.40	1.36
2015	4.94	45.30

3.2 基于 MSPA 的自然生境和耕地景观格局分析

由图 3 可知,自然生境主要分布在南昌市的西北部及东南方向,西北部的景观连通性较好,自然生境斑块面积较大且分布集中连片;东南部核心区分布零散且斑块面积较小。在 15 a 间,南昌市西北部自然生境核心区保护情况优于东南部,梅岭及安义县北部地

区始终保持着较为完整的大面积斑块,东南部地区斑块则显现逐年破碎化的趋势。自然生境的变化趋势与南昌市地形密切相关,南昌市西北部地区为南昌市全境海拔的最高峰,不利于土地开发利用,而东南部地区地势较为平坦,且水文条件良好,较易于受到人类活动影响。由图 4 可知,耕地是南昌市景观的主要组成部分,同时也是建设用地扩张侵占的主要用地类型,15 a 间耕地主要沿赣江两岸迅速减少,2000—2005 年减少的耕地核心区主要分布在赣江东侧一带,2005—2015 年随着城市发展方向的改变,赣江西侧新建区一带成为耕地核心区减少的主要区域。

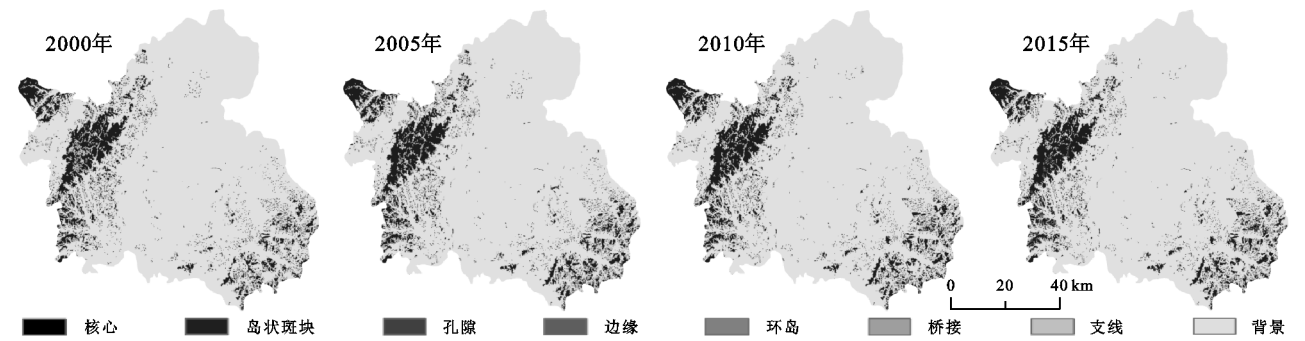


图 3 南昌市 2000—2015 年自然生境 MSPA 类型分布

从土地利用转移情况来看,自然生境受到的影响较小,但建设用地的扩张必然对自然生境的景观格局产生影响。根据图 5 可知,自然生境中面积占比最大的是核心区,其次是边缘区和岛状斑块,2000—2015

年间各类景观类型总体上变化趋势较为平缓,2000—2005 年核心区面积有小幅的上升,但其频次并未发生变化,说明此时核心区面积增加且分布更为集中,2005—2015 年间核心区占前景的比例及面积都在降

低,且频次变化更为剧烈,更多面积较小核心区消失,表明建设用地与自然景观之间的相互作用在不断加强。从图 6 中可以看出,耕地核心区在 15 a 间占前景的比例较为平稳,但其频次逐年下降且变化幅度明显,说明在研究期内,越来越多面积较小的斑块

消失,在景观中起连接作用的桥接区一并减少,表明耕地之间的连通性逐渐降低。同时随着建设用地与耕地景观的相互作用愈加激烈,岛状斑块的频率在不断增加,耕地面积减少,集中连片度降低,耕地质量不断恶化。

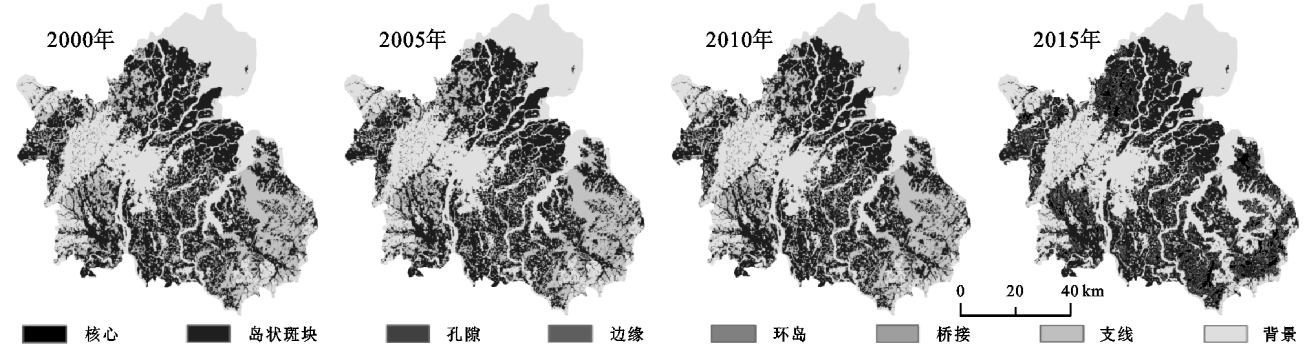


图 4 南昌市 2000—2015 年耕地 MSPA 类型分布

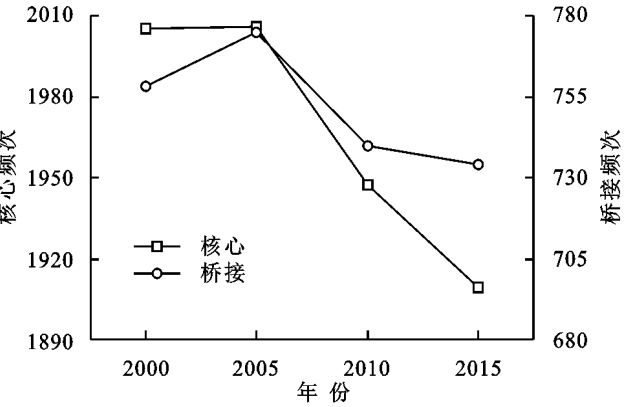
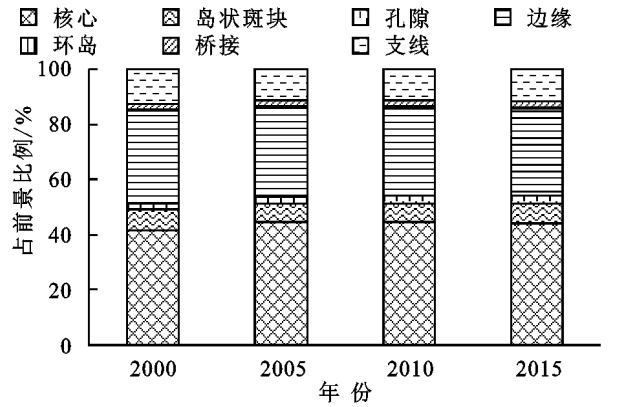


图 5 南昌市 2000—2015 年自然生境 MSPA 数据

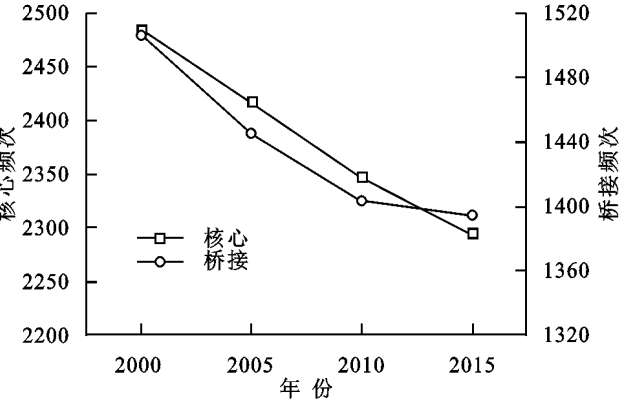
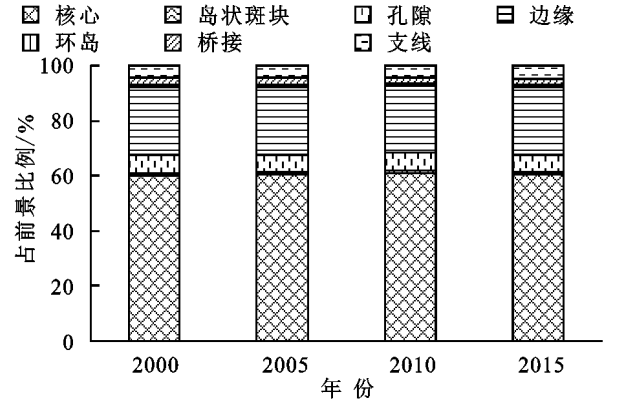


图 6 南昌市 2000—2015 年耕地 MSPA 数据

3.3 景观连接度分析

由图 7 可知,分布在南昌市西北部的大型林地斑块始终是区域内维持景观连通性中最重要的一环,其不仅是区域内重要森林生态系统,也是贯穿南昌市西部的一条重要廊道和生态屏障。分布在东南部的自然生境斑块则由于小型斑块的灭失,区域内部的景观结构产生了改变,面积更小的斑块在维持区域连通性中承担更为重要的作用,对于东南部的自然生境保护及改造应是南昌市未来生态修复中亟需关

注的一部分。

耕地作为南昌市景观类型的基质,其对于维持区域内景观的连接度同样具有重要意义,分析图 8 可知,核心区中对于维持景观连通具有极高和高重要性的斑块主要分布在南部及北部的鄱阳湖一带,而靠近城市区域的耕地斑块重要值以低和极低为主,耕地连通性受城市扩张的影响更为显著,快速的城市扩张造成了耕地集中连片度降低,可长期利用的稳定耕地数量减少,对区域内的粮食安全产生了负面影响。

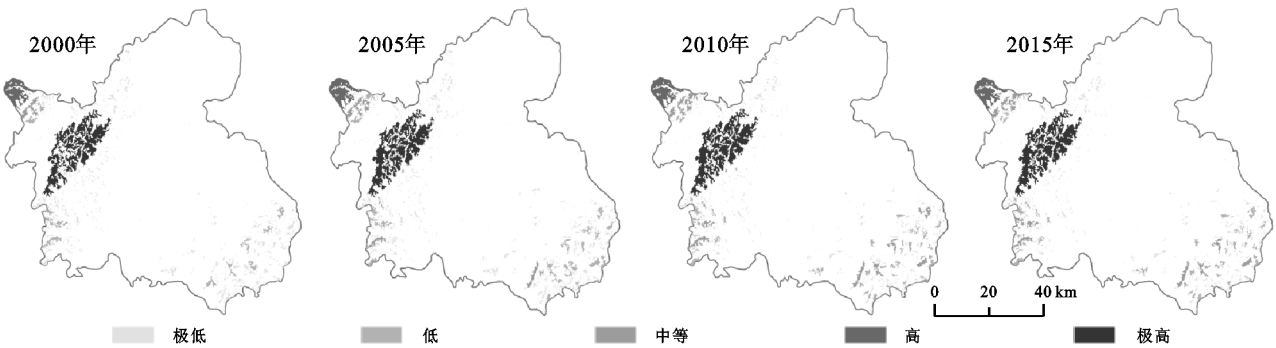


图 7 南昌市 2000—2015 年自然生境重要斑块分布

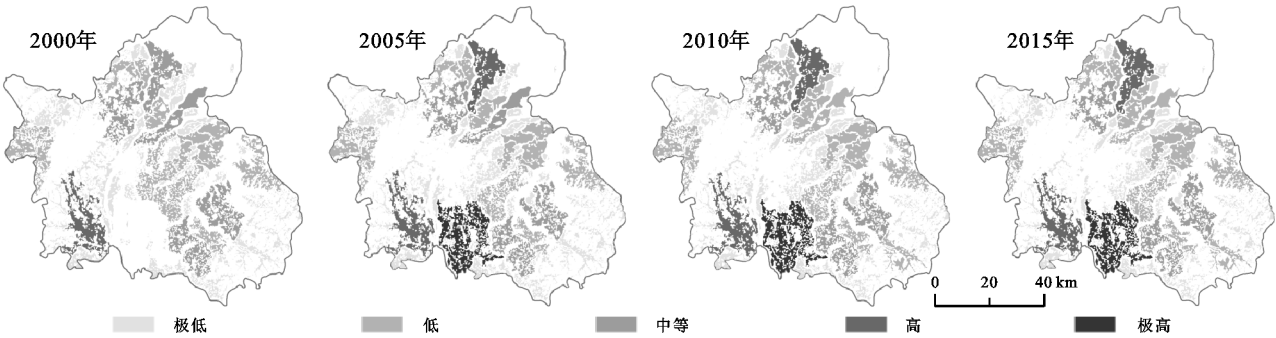


图 8 南昌市 2000—2015 年耕地重要斑块分布

3.4 空间自相关分析

景观破碎度、耕地平均连通概率、自然生境平均连通概率全局莫兰指数见表 3,2000—2015 年三者的全局莫兰指数总体小于 0,说明三者之间主要呈负相关趋势,且随着时间变化三者之间的空间差异性愈加明显。图 9 为景观破碎度、耕地平均连通概率、自然生境平均连通概率三者之间的局部自相关聚类图。分析图 9 可知,景观破碎度与耕地平均连通概率出现高低聚集的区域主要分布在城市中心,且随着时间推移高低聚集区的范围逐渐扩大,表明建设用地对于耕地连通性的影响逐渐增大,研究区南部则出现了大范

围的低高聚集区域,该区域耕地景观受城市扩张的影响程度较小,是保持区域内耕地连通性中最重要的一环。景观破碎度与自然生境之间的高低聚集区域则在早期分布较为分散,随着城市化进程的加快逐渐集中到城市中心区域,低高聚集区域则始终分布在南昌市西北部梅岭森林公园,高高聚集区域则主要分布在梅岭森林公园外围。自然生境与耕地连通性聚类分析可知,研究区南部是维护区域耕地连通的主要区域,而西北的梅岭是维持区域自然生境连通的主要区域,城市中心则随着建设用地的扩张出现了耕地与自然生境连接度的低低聚集区。

表 3 景观破碎度、耕地平均连通概率、自然生境平均连通概率全局莫兰指数

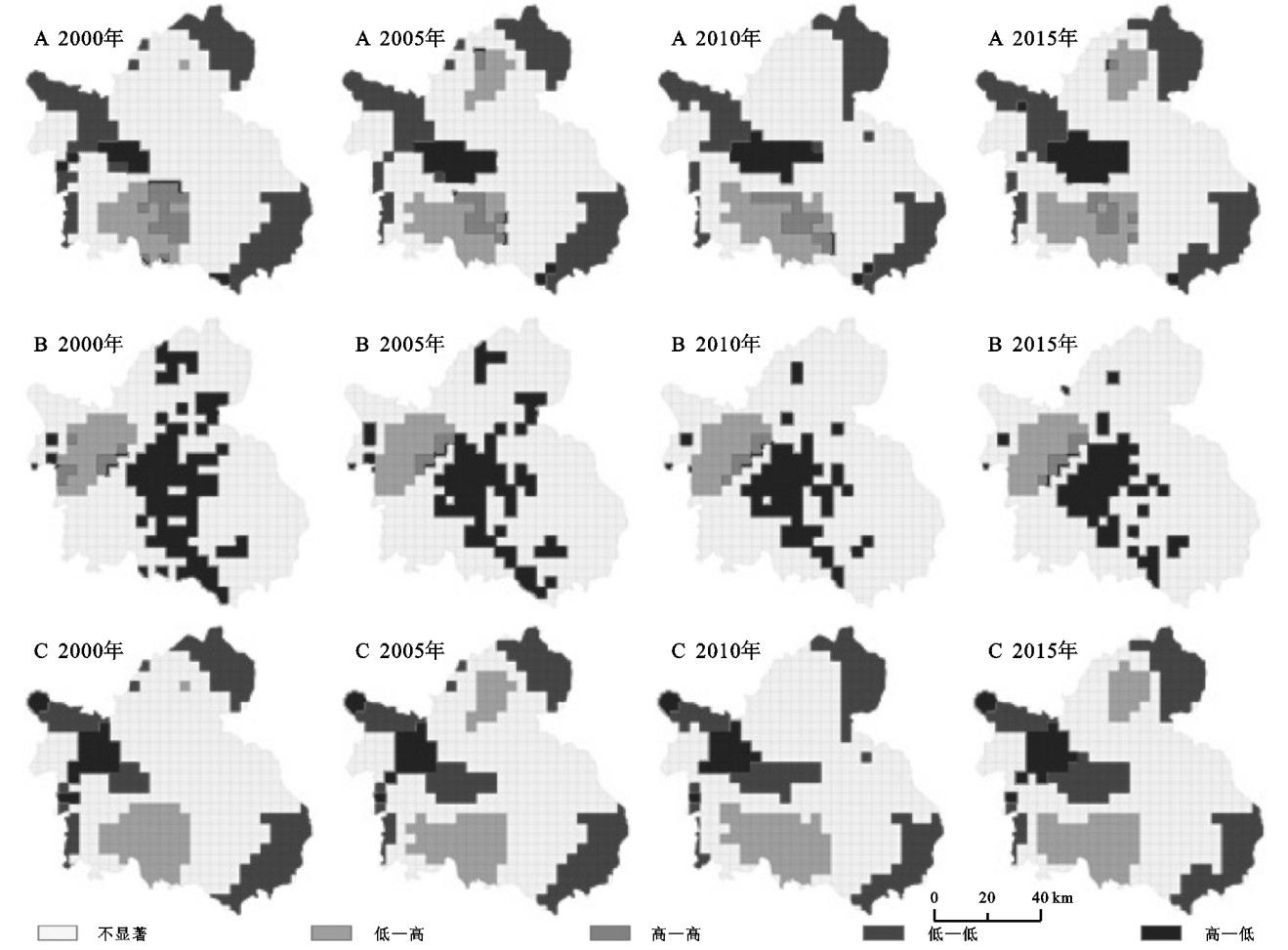
年份	单变量			双变量		
	景观破碎度	自然生境	耕地	景观破碎度-自然生境	景观破碎度-耕地	自然生境-耕地
2000	0.076	0.073	0.065	−0.011	−0.021	0.005
2005	−0.043	−0.024	−0.024	−0.030	−0.017	0.027
2010	−0.043	−0.024	0.003	−0.032	−0.024	0.042
2015	−0.046	−0.023	−0.028	−0.033	−0.000	0.032

4 讨论与结论

4.1 讨论

城市的快速扩张造成了土地利用类型的变化愈加剧烈,势必对区域内的整体景观格局和生态过程产生影响。城市化过程中土地资源与其周边环境不断进行着物质能量交换,并不断重构景观要素之间的空间关系,通常与城市经济活关系较为密切的区域更易遭到破坏。

本文通过分析建设用地景观破碎度与耕地、自然生境连接度的动态演变过程及三者之间的空间关系,发现景观破碎度与景观连接度之间呈负相关关系,且空间上存在负相关的区域随着城市化进程不断扩大。在城市化初期景观结构由于整体结构性能维持其稳定的状态,当城市化进行到一定阶段,景观破碎化在改变景观形态的同时,内部的结构和功能也在变化,景观整体的稳定性减弱,生态过程受影响程度加深。



注: A 自变量为景观破碎度,因变量为耕地平均连通概率;B 自变量为景观破碎度,因变量为自然生境平均连通概率;C 自变量为自然生境平均连通概率,因变量为耕地平均连通概率。* 代表 $p<0.05$ 。

图 9 景观破碎度、耕地平均连通概率、自然生境平均连通概率的 LISA 聚集图

由于景观动态演变是一个复杂的过程,受区域自然禀赋和政策法规的双重影响,未来景观破碎化的研究中需考虑政策的干预作用。此外不同的研究尺度对试验结果同样会产生影响,本文重点探讨了市域尺度下的景观破碎化演变过程,深入宏观和微观的尺度的探讨能更加完善对于景观破碎化的研究。尽管如此,本研究可为新时期国土综合整治与生态修复、基本农田保护规划、保障粮食安全提供有益参考。

4.2 结论

(1) 研究区近 15 a 来城市高速扩张,建设用地需求量跃升,建设用地面积由 2000 年的 308 km² 上升至 2015 年的 622 km²,而耕地及自然生境则呈现逐年减少的态势,耕地及生态用地保护与建设用地扩张之间的冲突日益显著。UFI 指数表明,在城镇规模不断扩大,人口剧增的现实环境下,建设用地结构与形态迅速改变,破碎化程度加深。

(2) MSPA 分析显示,2000—2005 年自然生境核心区出现了小幅的上升,但以 2010 年为转折点,核心区的

数量及频次开始逐年减少,岛状斑块数量呈上升趋势,自然生境受周围区域影响程度加深;耕地在 2000—2015 年,核心区频次不断减少,但核心区占前景比例相对稳定,表明研究期内主要为小面积的核心区减少。

(3) 景观连接度分析显示,耕地和自然景观中小型斑块的灭失将导致大型斑块呈现孤岛化,最终影响整体景观连接度。西北部的大型林地斑块连通性始终维持在较高水平,保护这一区域原有生态系统的完整性及结构功能的稳定性应作为南昌市未来生态保护的首要目标,而重构赣江东侧耕地景观的结构连接度则能促进南北部大型耕地斑块的物质能量流通。

(4) 空间自相关分析显示,城市的中心区域成为景观整合与重构的主场地,自然景观与建设用地的高低聚集区域呈现“分散—集中”的演变过程,而耕地与建设用地的聚集演变过程则呈现相反的趋势。西北部为自然景观的高值聚集区,而南部为耕地的高值聚集区。

参考文献:

[1] 吴昌广,周志翔,王鹏程,等.景观连接度的概念、度量及

- 其应用[J].生态学报,2010,30(7):1903-1910.
- [2] 朱丽娟,刘红玉.挠力河流域丹顶鹤繁殖期生境景观连接度分析[J].生态与农村环境学报,2011,24(2):12-16.
- [3] 郭宏斌,黄义雄,叶功富,等.厦门城市生态功能网络评价及其优化研究[J].自然资源学报,2010,25(1):71-79.
- [4] 陈利顶,傅伯杰.景观连接度的生态学意义及其应用[J].生态学杂志,1996,15(4):37-42.
- [5] 李鹏山,吕雅慧,张超,等.基于核密度估计的京津冀地区耕地破碎化分析[J].农业机械学报,2016,47(5):281-287.
- [6] 陈春娣,贾振毅,吴胜军,等.基于文献计量法的中国景观连接度应用研究进展[J].生态学报,2017,37(10):3243-3255.
- [7] 徐威杰,陈晨,张哲,等.基于重要生态节点独流减河流域生态廊道构建[J].环境科学研究,2018,31(5):805-813.
- [8] 付刚,肖能文,乔梦萍,等.北京市近二十年景观破碎化格局的时空变化[J].生态学报,2017,37(8):2551-2562.
- [9] 付扬军,师学义,和娟.汾河流域景观破碎化时空演变特征[J].自然资源学报,2019,34(8):1606-1619.
- [10] 赵锐锋,姜朋辉,赵海莉,等.黑河中游湿地景观破碎化过程及其驱动力分析[J].生态学报,2013,33(14):4436-4449.
- [11] 张金茜,柳冬青,巩杰,等.流域景观破碎化对土壤保持服务的影响研究:以甘肃白龙江流域为例[J].资源科学,2018,40(9):1866-1877.
- [12] 王蓉,周宝同,甘雪坤.西南山地景观破碎化与城镇化及社会经济发展水平的关系研究:以重庆市渝北区为例[J].长江流域资源与环境,2018,27(3):624-631.
- [13] Doko A, Veselaj E, Kopali A, et al. Analysis of rural landscape and land fragmentation through GIS in the Gjocaj Commune, Albania [J]. Gesunde Pflanzen, 2015,67(3):131-139.
- [14] Pătru-Stupariu I, Stupariu M S, Tudor C A, et al. Landscape fragmentation in Romania's Southern Carpathians: Testing a European assessment with local data [J]. Landscape and Urban Planning, 2015,143:1-8.
- [15] Wei Yaping, Zhang Zongyi. Assessing the fragmentation of construction land in urban areas: An index method and case study in Shunde, China[J]. Land Use Policy, 2012,29(2):417-428.
- [16] 姜坤,戴文远,胡秋风,等.基于移动窗口法的海岛型城市景观破碎化及其驱动机制分析:以福建省平潭岛为例[J].生态科学,2019,38(4):99-110.
- [17] 吕乐婷,张杰,彭秋志,等.东江流域景观格局演变分析及变化预测[J].生态学报,2019,39(18):6850-6859.
- [18] 张金茜,巩杰,柳冬青.地理探测器方法下甘肃白龙江流域景观破碎化与驱动因子分析[J].地理科学,2018,38(8):1370-1378.
- [19] Garcia D A, Bruschi D, Cinquepalmi F, et al. An estimation of urban fragmentation of natural habitats: Case studies of the 24 Italian National Parks [J]. Chemical Engineering Transactions, 2013,32:49-54.
- [20] 史芳宁,刘世梁,安毅,等.城市化背景下景观破碎化及连接度动态变化研究:以昆明市为例[J].生态学报,2020,40(10):3303-3314.
- [21] 夏铎,王腾飞,张京生,等.城市景观格局动态及空间自相关研究:以郑州白沙组团为例[J].西南大学学报:自然科学版,2021,43(9):131-141.
- [22] 陈竹安,况达,危小建,等.基于 MSPA 与 MCR 模型的余江县生态网络构建[J].长江流域资源与环境,2017,26(8):1199-1207.
- [23] 于亚平,尹海伟,孔繁花,等.南京市绿色基础设施网络格局与连通性分析的尺度效应[J].应用生态学报,2016,27(7):2119-2127.
- [24] 郭家新,胡振琪,袁冬竹,等.黄河流域下游煤矿采煤塌陷区耕地破碎化动态演变:以山东济宁市为例[J].煤炭学报,2021,46(9):3039-3055.
- [25] 陈晨,徐威杰,张彦,等.独流减河流域绿色基础设施空间格局与景观连通性分析的尺度效应[J].环境科学研究,2019,32(9):1464-1474.
- [26] 熊春妮,魏虹,兰明娟.重庆市都市区绿地景观的连通性[J].生态学报,2008,28(5):2237-2244.
- [27] 董玉红,刘世梁,安南南,等.基于景观指数和空间自相关的吉林大安市景观格局动态研究[J].自然资源学报,2015,30(11):1860-1871.