

基于灰色关联度分析的龙岩市景观格局动态变化及驱动力研究

Research on Dynamic Changes and Driving Forces of Landscape Pattern in Longyan City Based on Grey Correlation Analysis

麻菁谷康*

(南京林业大学风景园林学院, 南京 210037)
(College of Landscape Architecture, Nanjing Forestry University, Nanjing, Jiangsu, China, 210037)

文章编号: 1000-0283(2022)07-0082-08
DOI: 10. 12193 / j. laing. 2022. 07. 0082. 010
中图分类号: TU986
文献标志码: A
收稿日期: 2021-12-16
修回日期: 2022-03-29

摘 要
城市景观格局反映城市不同要素、资源分布与组成方式, 影响城市健康发展, 探究城市景观格局的动态变化及驱动因素能为城市未来规划提供科学数据支撑。利用福建龙岩市多时段遥感影像, 运用监督分类方法进行土地利用类型划分, 通过景观转移矩阵、景观格局动态度、景观格局指数计算, 提取动态变化信息, 借助灰色关联度系数, 对研究区域中驱动因子进行分析。结果表明: 19年间, 研究区域内建设用地不断扩张, 农田和林地大面积转化为建设用地; 优势景观林地依然呈现明显优势度, 但呈下降趋势; 整体景观格局破碎化增强且趋于均匀分布; 人口数量和结构、城市规划和产业发展情况是主要驱动力, 共同作用影响景观格局变化。针对现状提出策略: (1) 严守耕地红线保护农田; (2) 增加城镇区域绿色环境; (3) 完善生态环境保护与修复。

关键词
景观格局; 驱动力; 灰色关联度分析; 龙岩市

Abstract
Urban landscape pattern reflects different elements, resource distribution, and composition of the city, affects the healthy development of the city, and exploring the dynamic changes and driving factors of urban landscape pattern can provide scientific data support for urban future planning. Using the multi-period remote sensing images of Longyan City, the land use types are divided by using the supervised classification method. The dynamic change information is extracted by calculating the landscape transfer matrix, landscape pattern dynamics, and landscape pattern index. With the help of the grey correlation coefficient, the driving factors in the study area are analyzed. The results show that: in the past 19 years, the construction land in the study area has been expanding, and a large area of farmland and forest land has been transformed into construction land; Dominant landscape woodland still showed apparent dominance but showed a downward trend; The fragmentation of the overall landscape pattern is enhanced and tends to be evenly distributed; Population size and structure, urban planning and industrial development are the main driving forces, which jointly affect the change of landscape pattern. According to the current situation, this paper puts forward strategies: (1) Strictly abide by the red line of cultivated land and protect farmland. (2) Increase the green environment in urban areas. (3) Improve the protection and restoration of ecological environment.

Keywords
landscape pattern; driving force; grey relational analysis; Longyan City

麻菁
1998年生/女/陕西咸阳人/在读硕士研究生/研究方向为风景园林规划设计

谷康
1971年生/男/安徽临泉人/博士/副教授/研究方向为风景园林规划设计

福建省龙岩市是海西经济区的重要门户, 也是厦漳龙泉城市联盟中的重要组成部分。随着经济建设与城市发展, 其生态环境压力日益增加, 生态环境正由安全向恶化转变^[1], 经济与生态发展呈颉颃阶段, 处于失调状态^[2], 有待政策和规划调整。景观空间格局

*通信作者 (Author for correspondence)
E-mail: 595027822@qq.com

基金项目:
江苏高校哲学社会科学研究重大项目“共和国70年江南地区现代园林设计发展研究”(编号: 2019SJZDA119); 国家社科基金后期资助项目“新中国成立以来江南地区现代园林设计变迁研究”(编号: 21FYSB046)

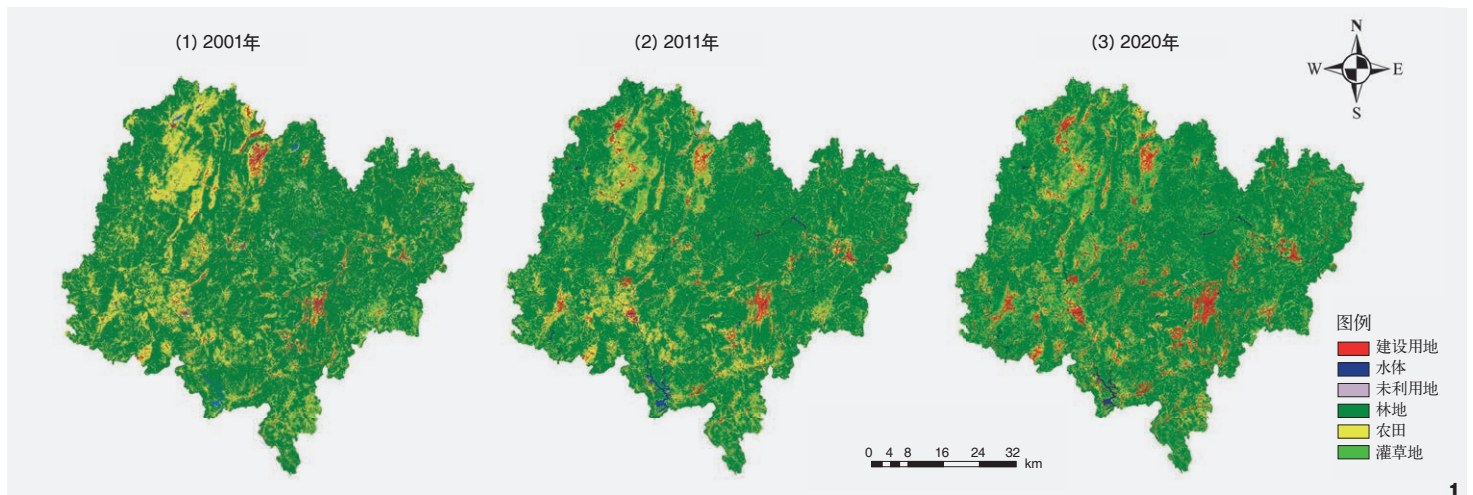


图1 2001、2011、2020年龙岩市景观类型分布格局
Fig. 1 Distribution pattern of landscape types in Longyan City in 2001, 2011 and 2020

是景观生态学的研究重点和核心，是不同要素在城市中的组成和排列，景观空间格局决定着资源地理环境的分布形式和组分，制约景观生态系统能量流、物质流正常运转等各种生态过程^[3]，也是城市生态与发展的关键因素。景观格局动态变化研究包括城市^[4-5]、森林^[6-7]、湿地^[8-9]、流域^[10-12]不同范围，通过转移矩阵、景观格局指数等描述景观结构构成、空间配置、动态变化^[13]，常用回归模型或相关性分析^[14-16]，以定量和定性方式分析总结景观格局变化的驱动因子。驱动因子并非单独作用于景观格局，而是相互依赖、相互作用、反馈循环的复杂系统，在时空维度上主导景观格局变化的驱动因子亦各不相同^[17]。景观格局的动态变化受到经济在内的多方面驱动因子影响，并反作用于区域内整体生态安全。现有的龙岩市相关研究主要以新城新罗区为主^[1,18-19]，而最新规划《龙岩市国土空间总体规划（2020-2035年）（征求意见稿）》提出形成中心城市“一市两区三组团”空间格局，面向更大范围发展城市，研究城市景观格局，为未来城市建设提供参考

依据。研究龙岩市景观格局动态变化及其驱动力，有助于合理制定相关政策和规划，促进城市生态与经济协调发展。本研究以龙岩市全域为研究对象，基于遥感影像图解译，借助景观转移矩阵、土地利用动态度、景观格局指数分析，探究龙岩市景观格局动态变化，以灰色关联度分析法，探究龙岩市景观格局变化驱动力。

1 研究区概况

龙岩市位于福建省西部，通称闽西。全市地处东经115° 51′，北纬24° 23′至26° 02′，处于沿海地区与内陆腹地的结合部，属于亚热带季风气候，全市平均海拔652 m，境内包括武夷山脉南段、玳瑁山、博平岭等山岭，地势东高西低，北高南低，丘陵山脉占据全市面积近八成，山区性河流丰富，多为各水系源头溪流，源短、坡陡、流急。龙岩市历史源远流长、红色文化资源丰富、生态基地良好，是闽南沿海联接内地的主要通道，也是绿色生态、文化旅游的重要汇聚地。

2 研究数据及方法

2.1 数据来源与处理

本研究所用遥感数据来源于地理数据空间云平台 (<http://www.gscloud.com>)，2001年、2011年使用Landsat-7TM影像，2020年使用Landsat-8 OLI影像，尽量选择时相一致、云量较低的影像。运用ENVI5.3对遥感影像分别进行条带去除、辐射定标、大气校正、裁剪等预处理，采用支持向量机法^[18]，根据《土地利用现状分类》(GB/T21010-2017)并结合研究区实际情况进行监督分类，将该地土地利用类型分为林地、灌草地、农田、水体、建设用地、未利用地6大类^[20]。结合谷歌影像和实际情况进行精度验证，三期影像图Kappa系数分别为0.9468、0.8237、0.9345，均达到研究需要，随后利用ENVI和ArcGIS10.7软件将矢量数据栅格化处理，得到图1所示景观类型分布格局。

2.2 研究方法

2.2.1 景观转移矩阵

景观转移矩阵反映某时期内不同景观

类型间面积相互转换的动态信息，通过ENVI Classic中的Change Detection Statistics工具，分别利用两个时期的景观格局分布图栅格化图形进行计算，得到2001-2011年，2011-2020年两个阶段的景观类型转换矩阵数据，计算见公式(1)。

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{ij} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2j} & \cdots & S_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ S_{i1} & S_{i2} & \cdots & S_{ij} & \cdots & S_{in} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ S_{n1} & S_{n2} & \cdots & S_{nj} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中， S_{ij} 代表转移面积， i 代表研究时限内七点的景观类型， j 代表研究时限内中终点的景观类型， n 代表所有景观的类型数量。

2.2.2 土地利用动态度

土地利用动态度反映某个时间段内包括不同土地资源数量变化、不同景观类型的空间变化和景观类型组合方式等多个景观类型的数量变化情况^[21]，可以对不同景观类型在一定时期内的变化剧烈程度进行评价。利用三期景观格局分布图栅格化图形，在Fragstats4.2软件中计算不同时期各景观面积，统计每种景观所占总面积的百分比及变化动态度。单一种类绿色空间动态度计算见公式(2)。

$$IR = \frac{S_{ib} - S_{ia}}{S_{ia}} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (2)$$

其中， IR 表示研究区内某时间段单一绿色空间类型的变化速率即动态变化度， S_{ia} 为该种绿色空间类型在研究时间段中起点的面积， S_{ib} 为该种绿色空间类型在研究时间段终点的面积， T 为时间间隔年份。

2.2.3 景观格局指数

景观格局指数是景观格局不同侧面特征

的概括提炼和定量反映，通常在斑块、斑块类型和景观三个层次上加以分析^[22]。本研究在类型水平和景观水平分别选取景观指数，类型水平包括最大斑块指数(LPI)、景观形状指数(LSI)、斑块密度(PD)、边缘密度(ED)、连接度指数(COHESION)、斑块周长面积分维数(PAFRAC)；景观水平包括香农多样性指数(SHDI)、香农均匀度指数(SHEI)、蔓延度指数(CONTAG)、分离度指数(DIVISION)、连接度指数(COHESION)。通过Fragstats4.2软件分别对研究区三个时期的上述指数计算。

2.2.4 驱动力因子

驱动力因子包括定量因素和定性因素，由于本研究主要意在探索经济发展与生态保护冲突背景下的景观格局演变，地形地势等自然因素影响较小，因此定量因素主要围绕社会经济因子，定性因素主要为相关政策、

城市规划因子，相关数据如表1所示。

定量驱动力因子采用灰色关联度分析法统计计算，该方法可描述因素间关系的强弱、大小、次序，是动态指标的量化分析，具有充分的动态意义^[23]。主要计算见公式(1)(2)(3)(4)(5)。

(1) 确定数据序列：设置参考序列为 $x_o = \{x_o(1), x_o(2), \dots, x_o(n)\}$ ；比较序列 $x_i = \{x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(k)\}$ ，其中， $i = 1, 2, \dots, m$ ； $k = 1, 2, \dots, n$ 。

(2) 采用初值化法对原始数据进行无量纲处理：

$$x'_i = \frac{x_i}{x_{i1}}$$

式中， $i = 1, 2, \dots, m$ 。

(3) 计算比较数列和参考数列的绝对差值：

$$\Delta_i(k) = |x'_o(k) - x'_i(k)|$$

式中 $i = 1, 2, \dots, m$ ； $k = 1, 2, \dots, n$ 。

表1 驱动因素及相关数值
Tab.1 Driving factors and related values

一级 One-level	二级 Second-level	三级 Three-level	年份 Year		
			2001	2011	2020
定量因素	人口状况	年末户籍人口总数/万人	286.81	295.08	318.24
		非农业人口数/万人	52.60	88.83	144.55
		非农业人口比重/%	18.34	30.10	45.42
	总体经济水平	地区生产总值/亿元	223.91	1266.20	2870.90
		人均地区生产总值/元	8360	49461	105407
	产业结构	第一产业产值/亿元	56.70	148.01	319.73
		第一产业比重/%	25.32	11.69	11.14
		第二产业产值/亿元	82.86	675.27	1263.37
		第二产业比重/%	37.01	53.33	44.01
		第三产业产值/亿元	84.34	442.91	1287.79
		第三产业比重/%	37.67	34.98	44.85
	政府财政收支	地方财政收入/亿元	13.32	84.28	329.78
		地方财政支出/亿元	20.37	137.73	333.11
定性因素	相关政策	城市发展战略，产业政策，税收政策			
	城市规划	城市总体规划，绿地系统规划，城市景观风貌规划			

注：表1数据来源于龙岩市统计局公开数据。

(4) 计算灰色关联系数：

$$\xi(x_o(k), x_i(k)) = \frac{\min_i \min_k \Delta_i(k) + \xi \max_i \max_k \Delta_i(k)}{\Delta_i(k) + \xi \max_i \max_k \Delta_i(k)}$$

式中 ξ 为分辨系数，取值范围是 $0 < \xi < 1$ ，本研究取值为 0.5； $i = 1, 2, \dots, m$ ； $k = 1, 2, \dots, n$ 。

(5) 计算灰色关联度：

$$(x_o, x_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \gamma(x_o(k), x_i(k))$$

式中 $i = 1, 2, \dots, m$ ； $k = 1, 2, \dots, n$ 。

利用 Excel 软件结合 2001、2011、2020 年各景观类型面积及表 1 中的相关数值，计算 19 年间龙岩市景观格局变化与社会经济因素间的灰色关联度；同时，结合政策和《龙岩市城市总体规划局部调整（1998-2020）》《龙岩市城市总体规划（2011-2030）》《龙岩市中心城区绿地系统规划（2018-2030 年）》《龙岩市中心城区景观风貌专项规划（2017-2030 年）》定性分析引起龙岩市景观格局变化的其他影响因素。

3 结果与分析

3.1 景观转移矩阵分析

基于景观格局软件计算 2001-2011 年、2011-2020 年两阶段龙岩市景观类型面积转移量，从 19 年间景观类型转移矩阵（表 2、表 3），能够明确各景观类型间得转化关系以及土地利用动态变化。2001-2011 年，研究区域内主要景观类型变化在于建设用地、水体向农田转化，林地与农田相互转化且农田增加量更多，灌草地近九成分别向林地和农田转变。未利用地转向林地面积达 174.19 km²，建设用地向其他景观类型转化面积达到 243.76 km²，转为农田面积达 183.22 km²，占转化面积比重为 48.789%；水体向其他景观转化面积为 155.45 km²，向农田转化面积 68.01 km²，占转化面积比重 28.367%，而林地

表 2 2001-2020 年龙岩市景观类型面积转移矩阵（单位：km²）
Tab. 2 Area transfer matrix of landscape types in Longyan City from 2001 to 2011(unit: km²)

2010 年 2011 年	建设用地 Building	林地 Woodland	水体 Water	农田 Farmland	未利用地 Unused	灌草地 Grassland
建设用地	131.77	110.56	37.65	236.93	1.50	9.67
林地	21.67	12 745.66	46.09	928.55	174.19	356.63
未利用地	3.35	176.15	1.90	46.27	17.85	23.73
水体	25.34	53.89	84.30	34.98	0.26	0.69
灌草地	10.18	104.52	1.80	119.40	9.85	20.61
农田	183.22	1 197.61	68.01	1 890.75	12.22	124.72

表 3 2001-2020 年龙岩市景观类型面积转移矩阵（单位：km²）
Tab.3 Area transfer matrix of landscape types in Longyan City from 2011 to 2020(unit: km²)

2010 年 2011 年	建设用地 Building	林地 Woodland	水体 Water	农田 Farmland	未利用地 Unused	灌草地 Grassland
建设用地	352.21	110.78	31.82	509.09	6.32	12.11
林地	26.45	12 650.07	26.53	869.04	175.17	110.40
未利用地	9.29	56.11	3.34	39.80	14.80	11.26
水体	9.70	31.51	99.26	27.23	1.71	1.37
灌草地	16.36	442.59	11.98	328.65	38.41	62.66
农田	114.08	981.08	26.53	1702.72	32.83	68.55

表 4 景观动态变化面积和景观类型占总面积比重
Tab.4 Proportion of landscape dynamic change area and landscape type in the total area

年份 Year	景观动态变化面积/km ² Proportion of landscape dynamic change area					
	建设用地 Building	林地 Woodland	水体 Water	农田 Farmland	未利用地 Unused	灌草地 Grassland
2001	376.00	14 385.90	239.71	218.37	3 256.64	535.86
2011	528.10	14 272.78	269.25	199.47	3 476.53	266.36
2020	1 022.32	13 858.31	170.79	134.61	2 925.80	900.65
年份 Year	景观类型占总面积比重/% landscape type in the total area					
	建设用地 Building	林地 Woodland	水体 Water	农田 Farmland	未利用地 Unused	灌草地 Grassland
2001	1.98	75.67	1.26	1.15	17.13	2.82
2011	2.78	75.07	1.42	1.05	18.29	1.40
2020	5.38	72.89	0.90	0.71	15.39	4.74

转为农田的面积达 1 197.61 km²，农田转向林地面积为 928.55 km²。2011-2020 年，农田转向建设用地面积增大，达到 509.09 km²，占转化面积的 14.64%，农田转向林地的面积为 869.04 km²，林地转向灌草地的程度加深，转化面积达 442.59 km²。总体来看，2001-2020 年，主要转化是农田和林地向建设用地转化，

农田转变为建设用地的面积达 448.72 km²，林地转变为建设用地的面积为 173.22 km²。

3.2 景观动态分析

通过景观格局软件计算龙岩市三期各景观面积以及变化单一动态度，得到表 4 和图 2。由图表分析可得，19 年间，人工活动

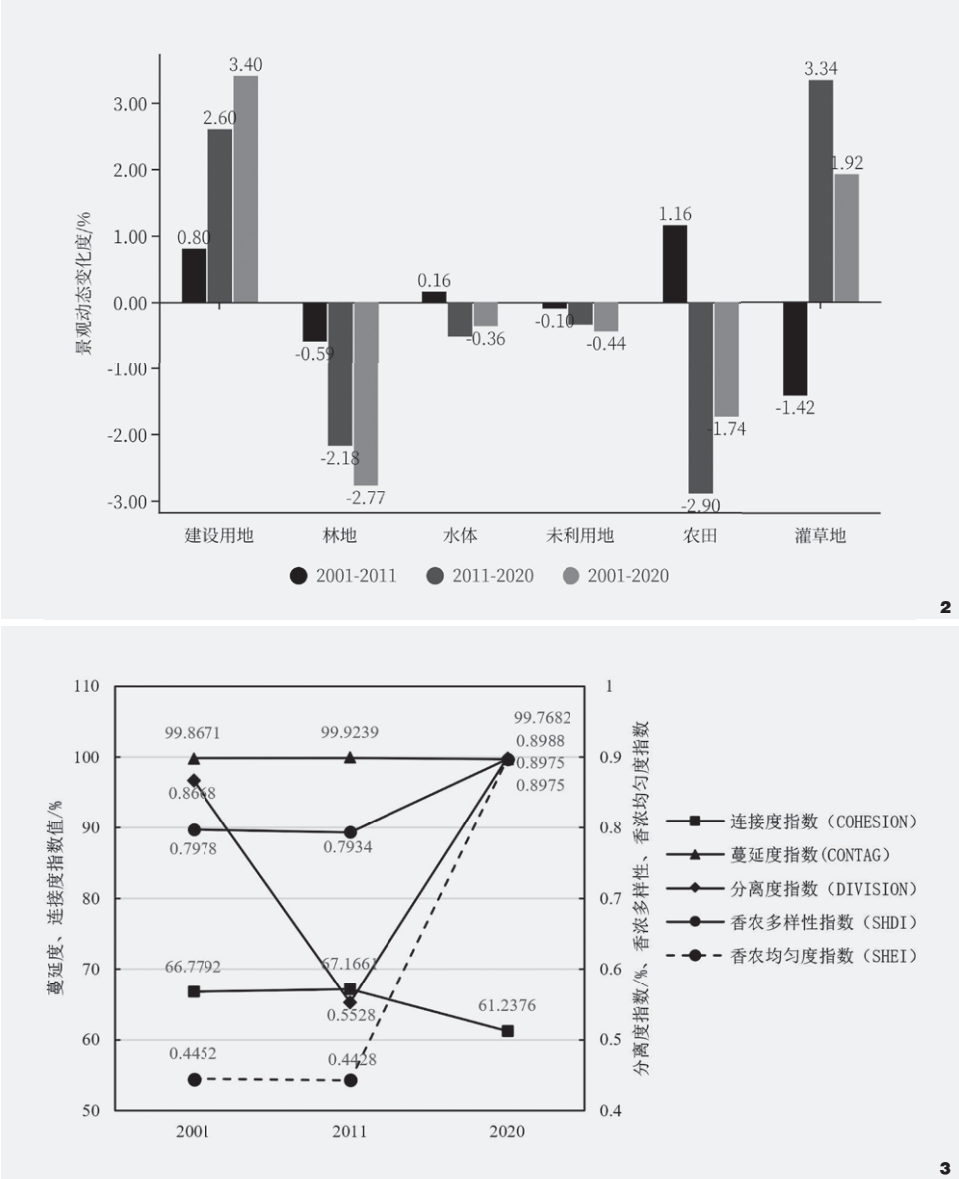


图2 龙岩市景观变化单一动态度
Fig. 2 Single dynamic degree of landscape change in Longyan City

图3 景观水平景观格局指数
Fig. 3 Landscape level landscape pattern index

最频繁的建设用地所占比重逐年增长，且增速加快，变化度达最高3.40%；而林地一直以来是龙岩市的主要景观类型，但其面积和比重逐年下降，且下降趋势加大；农田景观有较大起伏，2001-2011年间农田面积增长，2011-2020年间面积减少，景观变化

动态度呈现先升后降的情况，比重随之变化；2001-2011年水体景观面积有所上升，随后9年呈减少趋势，目前水体占总面积比例为0.90%，与龙岩市现行城市总体规划远期目标总水域面积占比1.20%有一定差距；随着城市建设发展，未利用地得到开发，未

利用地景观面积持续减少，19年间变化度最高达到-0.44%；灌草地景观类型面积表现出先减少后增加的动态变化，其面积和比重在2011-2020年间有所提升。

3.3 景观格局指数分析

由表5可得，2001-2020年，林地、农田、灌草地、未利用地斑块密度 (PD) 增加，表明绿色空间景观破碎化程度增加，人为干预较多，水体、建设用地斑块密度有所下降；最大斑块指数中林地景观最大，呈现明显的优势度，建设用地最大斑块指数 (LPI) 逐渐增加，优势度持续加强，而农田情况与之相反，表明城市化建设过程中形成大面积建设用地斑块，挤压并破坏农田空间，农田景观破碎化加剧；2020年水体、未利用地边缘密度 (ED) 高于2001年，景观异质性增强，内部特征保持较好，受外部影响程度浅，而农田、建设用地、灌草地边缘密度降低，受到人为活动影响大，林地出现先减后升的情况，2011年降至49.90，2020年又增加到53.66，与2011年以后，龙岩市对绿色生态优势的重视与保护发展政策有关；景观形状指数表征斑块形状的复杂程度，林地、农田、灌草地景观均有下降，绿色空间的景观格局趋向简单化，水体先降后升，与2011年后加强对水的规划管理因素相关；而农田及灌草地斑块周长面积分维数 (PAFRAC) 趋向于1的程度加深，受人为干扰程度增大；林地、水体、农田、灌草地景观连通度均有增加，表明龙岩市绿色空间景观类型的连接逐步增强。

由图3景观水平景观格局指数分析可知，龙岩市景观格局连接度指数 (COHESION) 从2001年66.7792降至2020年的61.2376，各类景观间的连通性降低，由于中心城区、城市副

中心的建设与扩张,以及城市交通网络的连接,城市基底受到建设活动的切割;蔓延度指数(CONTAG)从2001年99.8671降至2020年99.7682,表明景观中有连通度极高的优势斑块类型,但景观良好的连接性呈现缓慢下降趋势;景观分离度指数(DIVISION)先减后增,表明2001-2011年龙岩整体景观格局趋向单一化,随后在政策调整和规划实践影响下,景观逐渐丰富;香农多样性指数(SHDI)与香农均匀度指数(SHEI)表现一致,均经历了先降再升的趋势,优势景观占比减少,优势下降,景观格局破碎化增强且趋于均匀分布。

3.4 景观动态变化驱动力分析

(1) 定量分析。表6是各景观类型面积为参考序列,各项社会经济因子为比较序列所计算得出的结果。

由表6可知:年末户籍人口总数、非农业人口数、非农业人口比重与各景观类型面积联系紧密,关联度值接近于1。2001-2020年间人口快速增长,非农人口增加,比重增大,城市建设用地需求增加,挤压林地、农田、水体的面积,农业人口向非农人口的大量转化也导致农田面积减小;地区生产总值是经济评价的核心指标,其与三大产业产值紧密联系,人均地区生产总值与地区生产总值呈正比,与人口数量呈反比,是经济发展水平的衡量指标之一,因而对景观格局发展有间接影响作用。

从产业结构看,第一产业产值与各景观类型面积相关性最高,关联度达到0.8以上。农业、林渔业发展往往依附于农田、水体、林地、灌草地等用地类型,产值与景观类型面积有直接影响,而第三产业产值相对于各类景观面积影响较小。第三产业以商业、公共服务、运输业等发展为主,往往依托城市

建设,其在三大产业中比重的提升,直接影响城市格局,如运输业会增加公路、铁路等交通线路的建设,需要开发并征收土地,对农田、林地面积有较大影响,也会导致林地、农田破碎化。尽管第二产业产值的关联度均为0.7左右,但因龙岩的矿产资源十分丰富,19年间,第二产业一直是龙岩市的重要产业,采矿、冶金、烟草更是龙岩优势产业,而第二产业对环境破坏较大,随着社会经济第二产业外迁城郊,对林地、未利用地、农田景观面积有影响。

从地方财政看,地方财政收入关联度基本为0.67左右,而地方财政支出关联度相对较高,财政收入有多项来源,其中,营业税、增值税和企业所得税等与地区的招商引资、商业建设等相关,个人所得税等与经济、人口因素相关,地方财政收入间接影响城市建设与城市发展,改变城市景观格局。对比地方财政支出对所有景观的关联度值,与未利用地关联度达到0.85,而其他用地关联度值在0.7左右,相差达到0.15,进一步说明地方财政支出对未利用地的重要影响,其直接用于城市基础设施建设、农村生产等,对城市建设与发展、城市整体景观格局产生直接影响。

(2) 定性分析。政策因素直接影响城市景观格局:2001年后,随着农业税的取消,退耕还林、粮食直补、良种补贴等支农惠农政策的实施,农民生产积极性提高,有效促进农村经济发展,农业生产范围扩大,农田面积有所增加;2011年,针对海峡西岸经济区建设,龙岩市将土地资源划分为保护区、建设区和控制区三大类,进行空间管制,并提出坡度在25%以上的山地应予保护,建成区域生态林地,坡度在8%~25%的山地可结合城郊休闲、农业观光旅游适当利用,坡度在8%以下的用

地是城镇建设的主要拓展空间,但应做好与土地利用规划的衔接,保护耕地资源,这一策略大大影响龙岩市景观格局,制定建设用地扩张管控和方向,划定林地保护范围,使得林地、农田、建设用地发生变化。

城市规划因素直接影响城市景观格局:2012年龙岩市新编并执行的城市总体规划中提出,依托龙岩中心城区,发展长汀、上杭、漳平三副中心城,形成东西向主轴、南北向主轴和南北向次轴发展,这一格局打破原有的城乡二元结构化格局,将城市建设范围进一步扩大,直接改变了城市景观格局。另外,相关专项规划,如产业结构规划、绿地系统规划、交通规划、旅游规划等,分别对城市工业布局、产业园建设、绿化建设、风景名胜保护区保护、城市道路网建设、旅游服务中心及路线建设等进行规划,影响了城市建设用地、林地、农田、未利用地、水体、灌草地的面积及布局,而整个城市各专项规划形成多级网络,使得建设用地内部连通性增强,自然基底受到建设用地切割,农田与林地等景观的连通有所阻碍。

4 讨论与结论

4.1 讨论

龙岩市拥有大量山林资源,是福建省三大林区之一,为生态系统提供重要支持,同时丰富的山区性河流,是福建省多条水系源头,承载着重要的生态保护功能,随着城镇化建设和旅游资源开发,其生态基底有所影响。已有学者以龙岩市开展相应研究:吴志杰^[9]研究龙岩市新罗区土地利用景观格局及驱动力,探讨土地资源可持续利用对策;虞继进^[1]探讨龙岩市景观生态安全状况变化及其规律,发现城市中心区域生态安全度较低,城市周边林地,景观压力增加;罗坤^[24]

表5 景观类型水平景观格局指数
Tab. 5 Landscape type level landscape pattern index

年份 Year	景观类型 Landscape type	斑块密度 PD	斑块指数 LPI	边缘密度 ED	形状指数 LSI	分维数 PAFRAC	连接度指数 COHESION
2001	林地	2.26	23.68	60.30	245.79	1.43	99.94
	水体	1.15	0.13	4.19	152.60	1.47	94.21
	农田	8.21	0.54	67.55	593.98	1.52	97.32
	建设用地	3.55	0.56	20.82	309.66	1.45	97.59
	灌草地	12.63	0.02	36.95	585.57	1.54	77.00
	未利用地	1.81	0.02	4.68	191.85	1.43	77.37
2011	林地	1.92	66.76	49.90	200.91	1.41	99.98
	水体	0.97	0.18	4.26	143.66	1.45	94.55
	农田	4.95	1.85	57.75	466.05	1.47	99.30
	建设用地	2.02	0.22	10.62	219.69	1.40	95.55
	灌草地	3.61	0.01	10.57	307.71	1.51	76.99
	未利用地	2.40	0.04	7.97	231.42	1.42	84.23
2020	林地	2.06	23.10	53.66	214.65	1.43	99.96
	水体	1.65	0.14	5.97	183.27	1.45	94.24
	农田	5.17	2.87	49.85	415.50	1.47	99.37
	建设用地	4.20	0.03	15.86	326.22	1.47	87.64
	灌草地	2.28	0.19	10.28	252.22	1.49	95.91
	未利用地	1.99	0.03	6.99	227.75	1.51	87.95

表6 各定量因素指标灰色关联度计算值
Tab.6 Calculation value of grey correlation degree of each quantitative factor index

因素 Factor	建设用地 Building	林地 Woodland	水体 Water	农田 Farmland	未利用地 Unused	灌草地 Grassland
年末户籍人口总数	0.95	0.99	0.99	0.98	0.99	0.97
非农业人口数	0.99	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
非农业人口比重	0.99	0.95	0.94	0.99	0.95	0.95
地区生产总值	0.75	0.74	0.74	0.76	0.74	0.73
人均地区生产总值	0.75	0.74	0.74	0.99	0.74	0.73
第一产业产值	0.90	0.87	0.87	0.80	0.87	0.86
第一产业比重	0.92	0.97	0.98	0.85	0.97	0.97
第二产业产值	0.70	0.69	0.69	0.68	0.69	0.69
第二产业比重	0.96	0.98	0.98	0.70	0.98	0.96
第三产业产值	0.74	0.73	0.73	0.74	0.73	0.72
第三产业比重	0.95	0.99	0.98	0.73	0.99	0.97
地方财政收入	0.67	0.67	0.68	0.67	0.68	0.67
地方财政支出	0.71	0.70	0.71	0.85	0.70	0.70

研究了龙岩市土地利用生态敏感性，发现耕地的高度敏感性和极度敏感性较大。基于前人研究，本文进一步扩大研究范围，延长时间脉络，对龙岩市全域范围19年间景观格局

变化分析，并结合定量分析研究驱动力因素。由于遥感影像分辨率和监督分类精度的影响，与龙岩市土地利用真实变化情况有所出入，研究可进一步优化。

4.2 结论

通过对解译后2001、2011、2020年三期景观格局类型图进行景观转移矩阵、景观格局动态度、景观格局指数、驱动力因子的全面分析，得出以下结论：

(1) 研究区域内建设用地不断扩张，农田和林地大面积转化为建设用地，转化面积分别达到448.72 km²、173.22 km²，人工活动最频繁的建设用地占比逐年增长，且增速加快；龙岩市优势景观类型林地的面积在逐年下降，且下降趋势加大；随着城市建设发展，未利用地开发利用，其面积逐渐减少。

(2) 2001-2020年龙岩市林地、农田、灌草地景观破碎化程度增加，城市化建设过程中大面积扩张的建设用地，挤压并破坏农田空间，农田景观面积下降，破碎化加剧；由于中心城区、城市副中心的建设与扩张，以及城市交通网络的连接，城市生态基底受到建设活动的切割，各类景观间的连通性降低，优势景观占比减少，其优势下降；整体景观格局趋向单一化，随后在政策调整和规划实践影响下，逐渐改善，但景观破碎化增强且趋于均匀性分布。

(3) 龙岩市景观格局变化是各种因素综合影响的结果。人口数量、结构和城市规划是龙岩市景观格局变化的关键驱动力，产业发展情况也是不可忽视的重要驱动力，在人口和规划的主导下，产业发展的影响下，城市建设用地规模扩大，林地、农田、未利用地景观受到影响，面积减少，龙岩市景观格局发生变化。

4.3 建议

(1) 严守耕地红线保护农田。研究表明龙岩市农田面积呈明显下降趋势，未来农田将进一步减少，近年来国家大力保护农田，

要求严守耕地红线, 保护永久性基本农田。因此, 龙岩市可规划农田保护计划, 禁止对农田的随意开发和占用, 尤其是对城市近郊区做出严格要求, 同时结合城市基本状况, 因地制宜开展农业发展。

(2) 城镇区域绿色环境增加。龙岩市主要城市建成区内部以建设用地为主, 随着城镇化进程延续, 建设用地资源充分利用, 聚集度集中, 对于城市主要城区, 《龙岩市城市绿地系统规划》中也对其进行规划设计。因此, 可在此基础上进一步完善废弃地改造、道路绿化提升、城市立体绿色空间建设等, 通过对主要城市建成区绿色环境全面提升, 适当增加城市公园、街头公园建设, 合理规划城市道路绿地, 见缝插绿, 增加立体绿化、阳台绿化, 增加城市三维绿量, 丰富建成区绿色环境, 以实现更好的人居环境, 早日实现生态园林城市建设目标。

(3) 生态环境保护与修复。龙岩市生态环境基底较好, 但城镇化建设对生态环境已产生不良影响。未来可进一步结合城市生态环境现状, 科学更新规划方案, 完善山林资源保护、重要生态功能区保护、山体资源特殊性保护以及增加相关水治理工程和水景观建设, 突破生态环境保护薄弱区域, 提升现有生态环境质量, 从保有到保优升级, 形成绿色斑块—廊道系统和水网结构串联, 增强生态防护功能, 加强对城市建设区边缘控制, 保障城市有序发展。 

参考文献

[1] 虞继进, 陈雪玲, 陈绍杰. 基于遥感和PSR模型的城市景观生态安全评价——以福建省龙岩市为例[J]. 国土资源遥感, 2013, 25(01): 143-149.

[2] 王海兰. 赣闽粤省际边界城市生态文明评价[D]. 赣州: 赣南师范大学, 2019.

[3] 肖笃宁, 李秀珍, 高峻. 景观生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2010.

[4] 邹紫荆, 李枝坚, 曾辉. 惠州市景观格局空间分异特征的梯度分析[J]. 生态学杂志, 2021, 40(02): 490-500.

[5] 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(09): 131-141.

[6] 吴见, 彭建, 谷双喜, 等. 典型旅游城市黄山市森林景观时空动态变化遥感分析[J]. 西北林学院学报, 2020, 35(06): 269-278.

[7] 曹嘉铄, 邓政宇, 胡远东, 等. 神农架林区景观格局时空演变及其驱动力分析[J]. 浙江农林大学学报, 2021, 38(01): 155-164.

[8] 杨利, 刘勇. 神农架大九湖国家湿地公园景观格局动态变化[J]. 中南林业科技大学学报, 2021, 41(06): 99-111.

[9] 焉恒琦, 毛德华, 朱卫红, 等. 鸭绿江河口湿地近40年景观格局变化: 中朝对比[J]. 生态学杂志, 2021, 40(09): 2883-2894.

[10] 孙丽蓉, 周冬梅, 岑国璋, 等. 基于地理探测器模型的疏勒河流域景观生态风险评价及驱动因素分析[J]. 干旱区地理, 2021, 44(05): 1384-1395.

[11] 张文静, 孙小银, 单瑞峰, 等. 1975-2018年南四湖流域景观生态风险时空变化及其驱动因素研究[J]. 生态科学, 2020, 39(03): 172-181.

[12] 杨阳, 唐晓岚, 李哲惠, 等. 长江流域土地利用景观格局时空演变及驱动因子——以2008-2018年为例[J]. 西北林学院学报, 2021, 36(02): 220-230.

[13] 苏常红, 傅伯杰. 景观格局与生态过程的关系及其对生态系统服务的影响[J]. 自然杂志, 2012, 34(05): 277-283.

[14] 杨尊尊, 段渊古, 高天, 等. 1999-2017年西咸新区景观格局变化及驱动力研究[J]. 西部林业科学, 2020, 49(01): 99-106.

[15] 钱佳洋, 秦富仓, 王迪海, 等. 1998-2018年永寿县景观格局变化及驱动力分析[J]. 西北林学院学报, 2020, 35(06): 279-286.

[16] 陈羚, 陈锋, 牛树奎, 等. 北京鹫峰景观格局空间特征与森林火险的关联分析[J]. 北京林业大学学报, 2021, 43(06): 41-49.

[17] 张舒瑾, 余珮珩, 白少云, 等. 面向国土空间规划的流域景观时空分异特征及驱动因子研究[J]. 生态经济, 2020, 36(10): 219-227.

[18] 陈雪玲, 陈绍杰, 杜培军, 等. 基于多时相遥感影像的龙岩市景观格局变化分析[J]. 国土资源遥感, 2012(02): 132-137.

[19] 吴志杰. 基于RS和GIS的土地利用/覆盖变化及其驱动力研究[D]. 福州: 福建师范大学, 2006.

[20] 邹建国. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级(第2版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007: 266.

[21] KINDU M, SCHNEIDER T, DÖLLERER M, et al. Scenario Modelling of Land Use/Land Cover Changes in Munessa-Shashemene Landscape of the Ethiopian Highlands[J]. Science of the Total Environment, 2018, 622-623.

[22] 陈文波, 肖笃宁, 李秀珍. 景观指数分类、应用及构建研究[J]. 应用生态学报, 2002(01): 121-125.

[23] 谭学瑞, 邓聚龙. 灰色关联分析: 多因素统计分析新方法[J]. 统计研究, 1995(03): 46-48.

[24] 罗坤, 汤小华, 杨明. 基于GIS的龙岩市土地利用生态敏感性评价[J]. 云南地理环境研究, 2008(03): 6-9.