

漓江流域 2000—2020 年土地利用和 覆被变化时空分异特征

张军民, 李昱桥, 荣城

(广西师范大学 环境与资源学院, 广西 桂林 541000)

摘要: [目的] 分析 2000—2020 年漓江流域土地利用和覆被变化时空分异规律, 为协同人类活动及生态安全提供空间治理依据。[方法] 基于遥感信息识别和 GIS 空间分析平台, 应用扩张强度、转移矩阵及时空统计、空间自组织分析等方法, 从多维时空尺度研究流域土地利用及景观结构变化规律。[结果] ① 漓江流域以林地、耕地为主体景观, 合占景观面积的比例超过 90%, 2000—2020 年其面积变率小于 0.37%, 扩张强度小于年均 3.59%, 表明流域具有高质量的景观生态资源和建成国际旅游中心的生态资本, 景观结构稳定, 水生态良好; ② 建设用地增长最快, 扩张显著, 2000—2020 年其面积增长了 163.41%, 其中临桂新区年均扩张 37.79%, 城镇化是流域景观类型及结构变化的主要驱动; ③ 流域景观类型多样性丰富、分布均衡, 多样性和均匀度指数在城镇及旅游中心形成高值中心, 山地区则为低值连片; 连通性或延展性较好, 山区为高值中心, 城镇为低值中心, 人类活动对草地形态及城镇周边(中值区)的扰动较显著。[结论] 流域景观指数结构受相似的发生环境和分异因素影响而具有空间集聚性分布特征, 城镇扩张及旅游活动是漓江流域景观格局分异的主要驱动, 区域发展较适合集中城镇化与分散旅游业模式。

关键词: 景观指数; 时空分异; 空间结构; 漓江流域

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2022)02-0250-09

中图分类号: F301.2

文献参数: 张军民, 李昱桥, 荣城. 漓江流域 2000—2020 年土地利用和覆被变化时空分异特征[J]. 水土保持通报, 2022, 42(2): 250-258. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2022.02.034; Zhang Junmin, Li Yuqiao, Rong Cheng. Spatial and temporal characteristics of land use and land cover change in Lijiang River basin during 2000—2020 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(2): 250-258.

Spatial and Temporal Characteristics of Land Use and Land Cover Change in Lijiang River Basin During 2000—2020

Zhang Junmin, Li Yuqiao, Rong Cheng

(College of Environment and Resources, Guangxi Normal University, Guilin, Guangxi 541000, China)

Abstract: [Objective] The temporal and spatial differentiation of land use and land cover change of the Lijiang River basin during 2000—2020 was analyzed in order to provide a basis for spatial governance for coordinated human activities and ecological security. [Methods] Based on remote sensing information identification and GIS spatial analysis platform, expansion intensity, transition matrix and time-space statistics and spatial self-organization methods were used to study the changing laws of land use and landscape structure. [Results] ① The main landscape of the Lijiang River basin was forest land and cultivated land, accounting for more than 90% of the landscape area. During 2000—2020, the area change rate was less than 0.37%, and the expansion intensity was less than 3.59% per year, indicating that the watershed had high-quality landscape ecology resources and ecological capital to build an international tourism center. Besides, its landscape structure was stable, and water ecology was good. ② Construction land had the fastest growth and significant expansion. Its area increased by 163.41% during 2000—2020, of which the average annual expansion of Lingui New District was 37.79%. Urbanization was the main driving force for landscape type and structural

收稿日期: 2021-10-04

修回日期: 2021-11-13

资助项目: 国家自然科学基金项目“绿洲城市扩张对 MODS 格局的生态胁迫机理研究”(41761030); 广西社科基金项目(20FJY006; 2021140)

第一作者: 张军民(1964—), 男(汉族), 新疆维吾尔自治区吐鲁番市人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事城镇化与区域发展研究。Email: zjm_tea@163.com。

changes, and the water ecosystem was well maintained. ③ The watershed landscape types were rich in diversity, the landscape distribution was balanced. The diversity and evenness index formed a high-value center in cities and towns and tourism centers, while in mountainous areas, it was a low-value continuous area. The connectivity was good, the mountainous area was the high value center and the town was the low value center. Human activities had a significant disturbance to the grassland shape and the surrounding area of the town (median area). [Conclusion] The watershed landscape index structure is affected by similar occurrence environment and differentiation factors and that has spatial agglomeration distribution characteristics. Urban expansion and tourism activities are the main drivers of the differentiation of the landscape pattern of the Lijiang River basin. Regional development is more suitable for centralized urbanization and decentralized tourism.

Keywords: landscape index; spatial and temporal variation; spatial structure; Lijiang River basin

作为连接自然地域分异和人类空间活动的基本单元,景观具有重要的经济、社会、生态、美学及文化等价值,是研究人地关系和生态安全的适宜尺度^[1-3]。景观研究主要研究土地利用/覆被变化(land use and land cover change, LUCC)过程、格局及其驱动、响应、适应等^[4-7],合理有效的景观结构、稳定的生态过程、多样的生态服务是区域可持续发展评价的重要依据,关注景观格局与生态过程的交互作用^[8],强调景观生态风险是景观格局与生态过程反馈作用的系统表达,通过景观指数评价景观类型及结构的空间格局、变化趋势,分析景观变化的环境效应和生态风险等;分析单元包括等间距采样的格网分析法,或基于流域、行政区或干扰源来划分风险评价单元^[9-11],从斑块、类型与景观 3 个尺度计算斑块数量、形状指数、分维数和多样性、邻接性指数等,基于“3S”平台进行空间属性融合、叠加以达到综合评价,再用空间差值或计量模型进行集聚或离散分析以实现可视化表达^[12-13]。由于各指数的生态含义存在信息冗余和不对称性,实证研究中常用土地利用评价方法进行修正,如动态度(变化速度)、延展强度(变化强度)、空间差值、冷热点识别(空间聚散效应)等,最终实现景观格局分析与生态过程耦合、生态服务适应。如薛嵩嵩等^[14]从斑块和景观水平,用 GIS 和景观指数方法研究了乌伦古河流域景观格局变化特征;唐常春等^[15]基于 GIS 平台的地理信息图谱方法,研究了城市群 LUCC 数量结构与时空格局一体化耦合机理;张秋梦等^[16]用 GAEZ 模型、景观格局指数及 GIS 空间分析方法探讨了中国粮食生产空间重构问题。众多学者用景观指数和空间分析方法研究了景观格局时空分异规律。如王菊等^[17]研究了昆明市国土“三生空间”结构特征及演变规律;焦庚英等^[18]研究了县域“三生空间”功能转换的分异特征;田甜等^[19]分析了重庆主城区土地利用类型和结构变化对地表径流的影响机制;张镜铨等^[20]研究了青藏高原典型区域及类型的

景观变化过程;张彪等^[21]分析了北京绿色空间格局动态变化特征;谢高地等^[22]研究了北京城市扩张的资源环境效应;郑博福等^[23]研究了赣南地区景观格局变化过程及趋势及其生态效应。目前,针对漓江流域景观格局分异的研究较为薄弱,大多基于景观指数方法从单一尺度分析土地利用或景观结构变化规律,少有多尺度融合的时空分析格局研究。如林增学等^[24]认为 1985—2014 年漓江流域土地利用类型变化不大;向芸芸等^[25]分析了旅游开发对漓江景观格局的时空扰动特征;何毅等^[26]研究了漓江流域土地利用结构优化模式;陆丹丹等^[27]研究了漓江流域土地利用结构变化趋势。综上所述,景观格局研究主要依赖遥感数据和地理信息系统平台,但在尺度依赖性和可解释性方面存在不足,多数景观格局指数的数理统计和几何表达缺少生态学意义,需要更多集成多维景观指数的综合性实证研究。因此,本项目基于 3S 空间分析平台,借助扩张强度、转移矩阵、统计分析等动态指标,研究漓江流域景观类型时空分异格局,用空间差值、空间自组织分析等探索时空分异的异质性,从标准格网、地形分异、行政区划 3 个分析单元,揭示了漓江景观结构时空变化和分异规律,旨在为认识流域景观生态价值及生态城市建设提供科学依据。

1 研究区概况

漓江流域位于广西壮族自治区(广西)东北部的桂林市境内(地理坐标为 110°07′39″—110°42′57″E, 24°38′10″—25°53′59″N),属珠江流域西江水系桂江上游主要支流,发源于南岭西北部越城岭主峰猫儿山湿地,从北往南流经桂林市的兴安县、灵川县、桂林市、阳朔县,在平乐县平乐镇与荔浦河、恭城河汇合成桂江,有桃花江、小东江、南溪江、相思江等大小 19 条支流,全长约 295.27 km,多年平均径流量 408.9 m³/s,流域面积约 6 353.62 km²。漓江流域属于典型的岩溶区和亚热带季风湿润气候,终年高温多雨,年均温 19℃,年降水量 1 838~1 941 mm;流域峰丛林立、山

峰陡峭,山高谷深、沟谷狭长、地形破碎。山地主要分布在北部及东西两侧,其中北部上游山势较高、中部山地低缓;中间为狭窄的岩溶侵蚀谷地,山地、丘陵面积占 50%以上。

2 数据来源及研究方法

2.1 数据来源

本研究使用的 2000、2010 和 2020 年 3 期土地利用/覆被(LUCC)数据来源于中华人民共和国自然资源部提供的 30 m 全球地表覆盖数据 Globeland 30 数据源(www.globallandcover.com),数据合成经过了辐射定标、大气校正、几何校正等处理,数据的总体精度为 85.72%,kappa 系数 0.82。基础地理数据来源于中国国家基础地理信息中心(http://ngcc.sbsm.gov.cn)和地理空间数据云(www.gscloud.cn),部分数据来自桂林市经济社会统计年鉴,从中提取研究区流域界限、高程坡度、行政界限及人口经济等数据。根据中国土地利用/覆被遥感监测数据分类系统和《土地利用现状分类(GB/T21010-2007)》,结合研究区实际,将土地利用/景观类型分为耕地、林地、草地、湿地、水域、建设用地、裸地等 7 类,编码分别设置为 1—7,并以此建立 LUCC 变化景观类型数据库,开展流域系统 LUCC 时空变化分析,各类景观要素分级标准详见表 1。

表 1 各类景观要素分级标准

要素	低	较低	中	较高	高
高程/m	859~1 352	366—	224—	135—	3~135
坡度/(°)	45.2~87.3	14.4—	8.2—	3.8—	0~3.8
CONTAG	0~37.5	57.7—	69.5—	82.3	82.3~99.9
CONNECT	0~5.1	12.5—	28.5	68.8	68.6~100
SHDI	0~0.27	0.54—	0.76—	0.99—	0.99~1
SHEI	0~0.22	0.42—	0.58—	0.77—	0.77~1
LPI	10.6~42.2	57.0—	72.3—	87.6—	87.6~100

注:CONTAG,CONNECT,SHDI,SHEI,LPI 分别为延展性指数、连接性指数、香农多样性指数、香农均匀度指数、优势度指数。下同。

2.2 研究方法

2.2.1 景观指数计算 根据漓江流域景观结构特征,从景观类型、景观格局两个维度选择具有典型生态指向的景观指数。类型尺度选择 NP,PD,LPI 指数,景观尺度选择 CONTIG,CONTAG,CONNECT,SHEI,SHDI 指数^[22];用 Fragstats 4.2 在标准参数设置下计算各类景观指数,用移动窗口法获得空间信息。

2.2.2 结构动态变化 用 ArcGIS 计算各类景观 2000—2020 年变化的转移矩阵,用转移率计算各类景观变化的数量、方向及趋势特征。

$$C_{ij} = T_{ij} / \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n T_{ij} \quad (1)$$

式中: C_{ij} 为类型转移率; T_{ij} 为初期第 i 种景观类型转移到末期第 j 种类型的面积; n 为景观类型。

用变化强度模型计算景观数量、类型及面积变化速度,以表征各类景观转移或变化的活跃程度:

$$V = (P_b - P_a) / T \quad (2)$$

式中: V 为某类景观变化的扩张度; P_b, P_a 分别表示该地类末期、初期的面积; T 为研究时段,以表示某地类年变化率,反映各地类的变化强度及方向差异。

2.2.3 时空分异格局 用 ArcGIS 将景观指数、动态变化等数据添加到空间单元中并经融合、叠加、统计计算后,用 GeoDa 空间自组织分析、IDW 反距离权重差值方法,实现对景观结构时空分异格局的特征分析和分异探测。

(1) 反距离权重差值分析。反距离权重差值是根据空间单元的距离来估算空间点群平滑值的一种方法,待差值点的取值可用周围若干距离内样点值的加权和来估算,其权重与两点间距离成反比。空间任一点 p 的属性估计值为^[28]。

$$\hat{Z}_p = \sum_{i=1}^n Z_i W_i / \sum_{i=1}^n W_i \quad (3)$$

式中: \hat{Z}_p 为预测点 p 的估计值; Z_i 为已知点的实测值; W_i 为周围点对 p 点的权重值, $i=1,2,3,\dots,n$ 为点群样本数。用 ArcGIS 空间分析中的反距离权重分析方法(IDW),分别选择感兴趣属性为计算字段求得权重,输出栅格大小为 1 km,将 IDW 的幂值设定为缺省值 2,选择搜索半径类型选择点数 6。

(2) 空间自相关分析。空间自相关性是由地理区位或邻接关系产生的空间依赖性和空间异质性表达,是对地域体系内各要素空间分布结构的统计学测度^[28]。

全局莫兰指数(GISA):

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x}_i)(x_j - \bar{x}_j)}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \quad (4)$$

式中: W_{ij} 为 i 要素相当于 j 的权重; S^2 为所有素权重的集合; x_i, x_j 是要素 i, j 值 I 全局莫兰指数,是具有空间依赖的一组地理要素在研究区域内表现出的整体空间集聚、分散模式。 I 的取值为 0 表示空间结构呈随机分布形态,各单元不存在空间相互作用; I 取值为 1 则表示空间结构完全依赖距离变化,具有显著的地域分异特性。

3 结果和分析

3.1 景观类型及结构特征

对 2000、2010、2020 年 3 期土地利用分类数据进行统计分析得到漓江流域景观结构现状及变化数据(表 2)。

表 2 漓江流域 2000—2020 年景观类型面积及变化

地类	2000 年		2010 年		2020 年		时段变化					
	面积/km ²	变化/%	面积/km ²	变化/%	面积/km ²	变化/%	2010—2000 年		2020—2010 年		2020—2000 年	
							面积/km ²	变化/%	面积/km ²	变化/%	面积/km ²	变化/%
耕地	1 633.41	25.71	1 665.03	26.21	1 627.43	25.61	31.63	1.94	-37.60	-0.02	-5.97	-0.37
裸地	186.62	2.94	12.20	0.19	2.36	0.04	-174.42	-93.46	-9.84	-0.81	-184.26	-98.74
建设用地	105.93	1.67	118.85	1.87	279.03	4.39	12.92	12.19	160.18	1.35	173.10	163.41
林地	4 189.33	65.94	4 310.32	67.84	4 203.98	66.17	120.99	2.89	-106.34	-0.02	14.64	0.35
草地	158.24	2.49	163.96	2.58	137.38	2.16	5.73	3.62	-26.58	-0.16	-20.85	-13.18
水域	72.00	1.13	76.58	1.21	100.17	1.58	4.58	6.37	23.59	0.31	28.17	39.13
湿地	8.11	0.13	6.69	0.11	3.29	0.05	-1.42	-17.54	-3.40	-0.51	-4.82	-59.46
合计	6 353.62	100.00	6 353.62	100.00	6 353.62	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

(1) 景观结构现状特征。分析表 2 得出,漓江流域土地总面积 6 353.62 km²,土地利用/覆被类型包括耕地、林地、草地、湿地、水域、建设用地、裸地等 7 个 1 级类型,其中林地面积最大,占流域总面积超过 65%,其次是耕地,占 25%以上,二者合计占流域总面积的 90%以上,是景观结构的主体和景观生态的核心;其他类型面积都较小,建设用地仅占 4.39%,草地仅占 2.16%,水域占 1.58%,湿地、裸地占比小于 0.05%。

(2) 景观结构变化趋势。计算 LUCC 面积及变化强度,可掌握各类景观的变化方向、强度及趋势。分析 2000—2020 年各类景观面积变化可以看出(表 2,

图 1),林地、耕地变率小于 0.37%,主体地位十分稳定外,其他景观类型变化较大,景观结构变化不显著;其中建设用地、水域分别增长了 163.41%,39.13%,而裸地、湿地分别减少了 98.71%,59.46%。这反映了漓江流域以林地、耕地为主体,景观结构相对稳定,景观生态质量较好。分析面积扩张强度(图 1)可以看出,建设用地扩张最剧烈,且呈持续快速增长趋势,2010—2000 年和 2020—2010 年分别年均扩张 1.22%,13.48%,裸地面积减少最明显,但减势减弱。这表明建设用地快速增长是景观结构变化的主要方向,城镇化是其变化的主要胁迫。

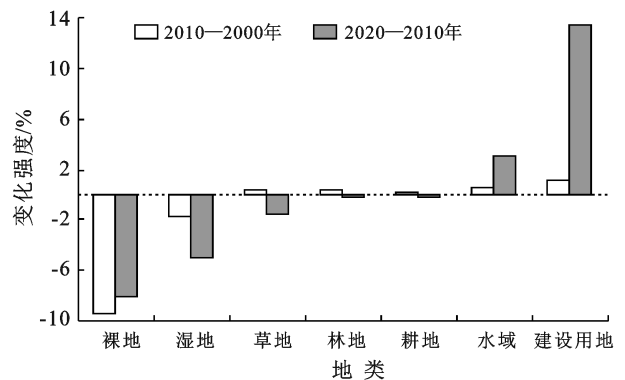
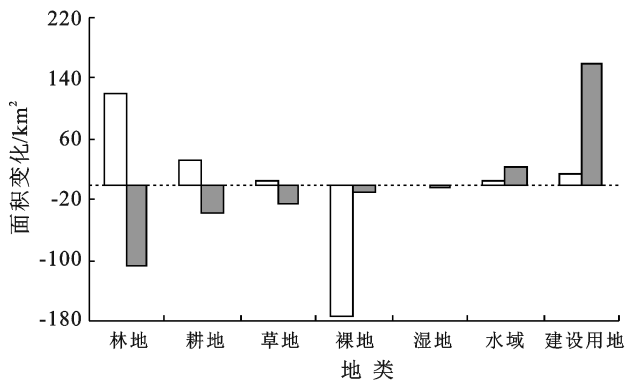


图 1 漓江流域各地类面积变化及变化强度

分析各地区景观结构及变化趋势(图 2)可以看出,漓江流域各市县均以林地、耕地为主,其中位于流域上游的兴安县、灵川县林地占比分别为 79.33%,73.68%,旅游中心阳朔县也高达 68.05%;城镇化中心桂林市及临桂区林地仅占 42.92%,35.34%,但桂林市、临桂区、阳朔县耕地占比却分别高达 36.32%,46.31%,29.92%,耕地后备充足。分析扩张度(图 2)可以看出,建设用地变化总强度(正负变化总和)达到

年均 72.98%,其中桂林新区临桂区年均增长达 37.79%,兴安县的水体年均增长 31.81%,阳朔的草地年均增长 30.45%。其次是水体、草地分别为 45.44%,42.75%,而主体景观耕地、林地变化总强度仅为年均 3.59%,1.36%,变化稳定。这表明流域上游森林覆盖明显高于中心城镇桂林市,但耕地占比较低;旅游中心阳朔县林地、耕地占比均较高,桂林市建设用地扩张明显。

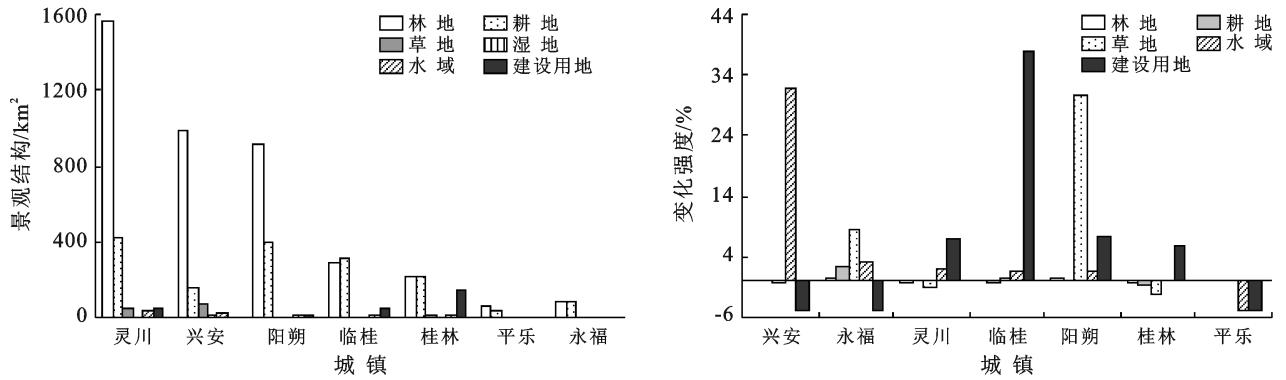


图 2 漓江流域各县域景观结构现状及变化趋势

(3) 土地利用类型转移趋向。用式 1 计算土地利用转移矩阵得到表 3。采用公式(2)计算各类型变化强度得到表 4。分析表 3 可以看出,2020—2000 年漓江流域耕地、林地转出总量较大。耕地共转出 200.97 km², 其中 61.67% 转为建设用地, 23.18% 转为林地、12.33% 转为水域; 林地转出 192.88 km², 分别转为耕地、建设用地、草地的比例为 52.26%, 22.33%, 17.80%。转入数量最大的是林地, 共转入 207.52 km², 其中分别由裸地、耕地、草地转入的比例为 59.87%, 22.44%,

13.97%; 其次是耕地共转入 194.99 km², 主要由林地 (占 51.69%)、裸地 (占 29.89%) 转入; 建设用地共转入 182.11 km², 主要由耕地 (占 68.06%)、林地 (23.65%) 转入。从转移强度分析 (表 4), 林地、耕地和建设用地转换强度最大, 景观类型变化面积大, 频次高, 而水域、湿地变化最不活跃, 流域水系生态系统保持较好; 从转移方向看, 建设用地的转入远大于转出, 裸地转出远大于转入, 其他景观变化基本平稳。这表明城镇化建设活跃, 对景观结构动态变化影响并不大。

表 3 漓江流域 2000—2020 土地利用面积转移矩阵

km²

地类	耕地	裸地	建设用地	林地	草地	水域	湿地	转出
耕地	0	0.505	123.942	46.578	4.758	24.787	0.396	200.966
裸地	58.29	0	1.544	124.242	1.092	1.335	0	186.503
建设用地	5.96	0.005	0	1.887	0.357	0.801	0	9.01
林地	100.791	1.44	43.075	0	34.337	13.238	0	192.881
草地	18.768	0.127	12.094	28.987	0	2.358	0	62.334
水域	10.644	0.167	1.435	5.252	0.874	0	0.016	18.388
湿地	0.539	0	0.019	0.576	0.061	4.038	0	5.233
转入	194.992	2.244	182.109	207.522	41.479	46.557	0.412	0

表 4 漓江流域 2000—2020 土地利用转移方向

%

地类	耕地		裸地		建设用地		林地		草地		水域		湿地	
	转出	转入	转出	转入	转出	转入	转出	转入	转出	转入	转出	转入	转出	转入
耕地	0.00	0.00	0.25	22.50	61.67	68.06	23.18	22.44	2.37	11.47	12.33	53.24	0.20	96.12
裸地	31.25	29.89	0.00	0.00	0.83	0.85	66.62	59.87	0.59	2.63	0.72	2.87	0.00	0.00
建设用地	66.15	3.06	0.06	0.22	0.00	0.00	20.94	0.91	3.96	0.86	8.89	1.72	0.00	0.00
林地	52.26	51.69	0.75	64.17	22.33	23.65	0.00	0.00	17.80	82.78	6.86	28.43	0.00	0.00
草地	30.11	9.63	0.20	5.66	19.40	6.64	46.50	13.97	0.00	0.00	3.78	5.06	0.00	0.00
水域	57.89	5.46	0.91	7.44	7.80	0.79	28.56	2.53	4.75	2.11	0.00	0.00	0.09	3.88
湿地	10.30	0.28	0.00	0.00	0.36	0.01	11.01	0.28	1.17	0.15	77.16	8.67	0.00	0.00

3.2 景观指数结构及其变化特征

在 Fragstate 4.2 上选择景观类型及格局层次分别计算 NP, PD, LPI 和 CONTIG, CONTAG, CONNECT, SHEI, SHDI 指数, 在 Excel 中计算各类指数结构。比较和分析 3 期数据变化特征得到图 3 和表 4。

3.2.1 斑块类型层次

(1) CA, LPI 指数。斑块面积 CA 是各种土地利

用类型面积占总面积的比例, 优势度 LPI 是最大斑块面积占比, 二者都是度量景观结构及其生态意义的基础, 是反映景观组分在斑块结构中的作用的指标, 其值越大表示该景观类型越稳定, 在景观结构中的地位越重要。分析图 3 可以看出, 林地、耕地斑块面积和优势度最大, 具有重要的生态稳定价值, 而其他地类 CA, LPI 值都极小, 且 2000—2020 年变化非

常平稳,表明漓江流域生态环境质量较好、变化稳定,景观结构及质量受人类活动干扰不显著。

(2) NP,PD 指数。斑块数 NP 和斑块密度 PD 指数集中反映了景观结构的破碎化程度,其值越大表明景观分布越离散,其生境的异质性越大、稳定性越

差。分析图 3 可以看出,草地的 NP,PD 值始终最大,其次是林地,其余类型均较小,2000—2020 年变化极小,表明草地、林地分布破碎,建设用地、耕地较完整,城镇化对景观结构扰动较小,水域特别是湿地生态保持良好。

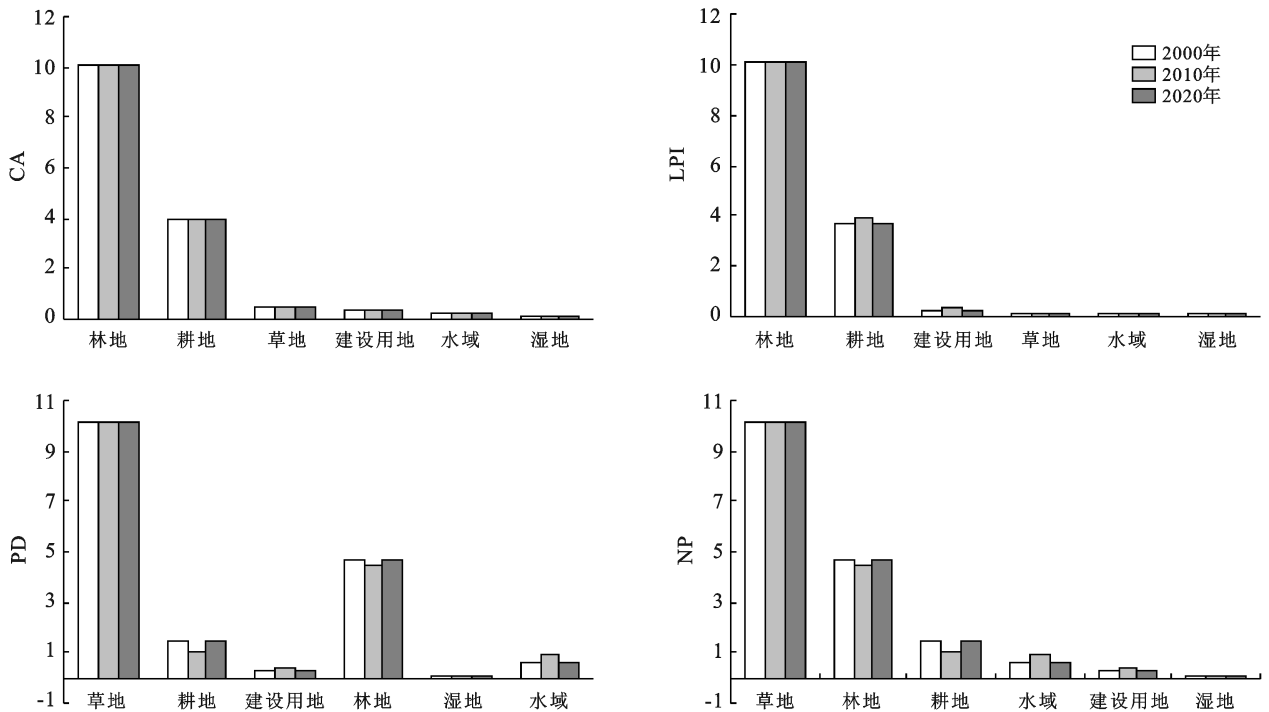


图 3 漓江流域斑块类型指数及其变化

3.2.2 景观格局尺度

(1) SHDI, SHEI 指数。香农多样性指数 SHDI、香农均匀度 SHEI,都是反映景观生态系统多样性和异质性的正向指标,其值越大表明景观类型越丰富、分布越均衡,景观生态系统抗干扰能力越强。

分析图 4 可以得出,漓江流域 SHDI 值明显大于 SHEI 值,2000—2020 年分别年均减少 0.17% 和 0.42%,其中 2000—2010 年降幅较大,2010—2020 年略有上升,表明流域景观类型多样性丰富,景观分布不均衡;2000—2020 年来指数变化极小。

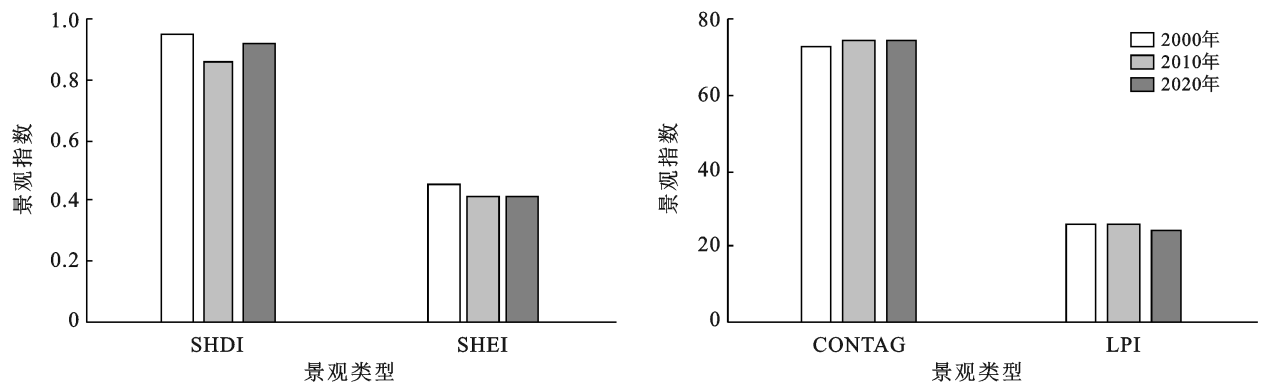


图 4 漓江流域景观类型指数及其变化

(2) LPI,CONTAG 指数。景观优势度 LPI 反映了景观类型的团聚或集聚程度,而连通性指数 CONTAG 表达了各景观类型的延展或贯通程度,其

值高表明景观结构集聚而连续,生态环境良好,抗干扰能力较强;反之则分散而碎碎,系统稳定性较差。分析图 4 可以看出,漓江流域的景观连通性指数明显

大于景观优势度指数,2000—2020 年连通度略年均增加了 0.13%,而优势度年均减少了 0.29%。表明流域各景观格局连通性或延展性较好,而空间分布较分散或离散,人类扰动使其差异趋大。

3.3 景观指数格局时空分异

3.3.1 景观格局分异过程 采用滑动窗口法对景观类型和格局尺度指数进行空间分析,经反复测试后选择 3 km×3 km 网格计算均值,再将景观指数空间数据添加到 Fishnet 网格中,用 ArcGIS 的反距离权重法(公式 3)对其进行空间差值计算,经多次验证后,设置输出像元大小为 30 m,搜索最大相邻要素数为 12,幂值取 2,再用动态度模型计算各类指数的变化强度。分析图 5 和表 5 可以看出:①连通性指数 CONTAG、优势度 LPI 指数都在桂林、阳朔形成低值中心,而在上游山地区为高值连片、中游山地区高值离散分布,形成城镇及旅游活跃区低值集聚,山地区高值连片分布格局。2000—2020 年变化较小,仅分别累计增长了 0.71%,0.35%,景观格局稳定。2000—2020 年 CONTAG、LPI 低值中心面积分别扩大了 232.61 和 209.13 km²,年均扩张度分别为 1.52%,0.98%;而 CONTAG、LPI 高值中心面积分别减少了 91.06 和

49.35 km²,年均收缩 0.49%和 0.25%,收减最大的中值区面积分别减少了 190.69 和 205.14 km²,分别年均减少 0.50%和 0.58%。表明城镇地区景观结构的稳定性和适应性显著弱于周边山地区;2000—2020 年城镇景观结构趋向紧凑,而周边景观趋于破碎,景观结构适应性减弱,这种变化在城市周边(中值区)表现最明显。②香农多样性指数 SHDI、香农均匀性指数 SHEI 都在桂林市、阳朔县形成高值中心,而兴安、灵川县为低值中心,城镇周边区低值散布,形成城镇及旅游活跃区高值集聚,山地区低值连片分布格局。2000—2020 年变化较小,SHDI、SHEI 值累计分别增长了 3.53%和 0.20%,景观格局稳定;SHDI、SHEI 高值中心面积分别扩大了 450.58 和 31.85 km²,年均扩张度分别为 4.67%,0.19%;而 SHDI、SHEI 低值中心面积分别减少了 93.46 和 47.66 km²,年均收缩 0.34%和 0.18%,收减最大的中值区面积分别减少了 478.42 和 227.60 km²,分别年均减少 1.30%和 0.71%。表明城镇景观多样性、均匀度显著高于周边山地区,景观结构较稳定,向周边特别是上游山地区逐渐减小,景观稳定性减弱;2000—2020 年景观结构稳定性趋于增强,这种变化在城市周边(中值区)表现最明显。

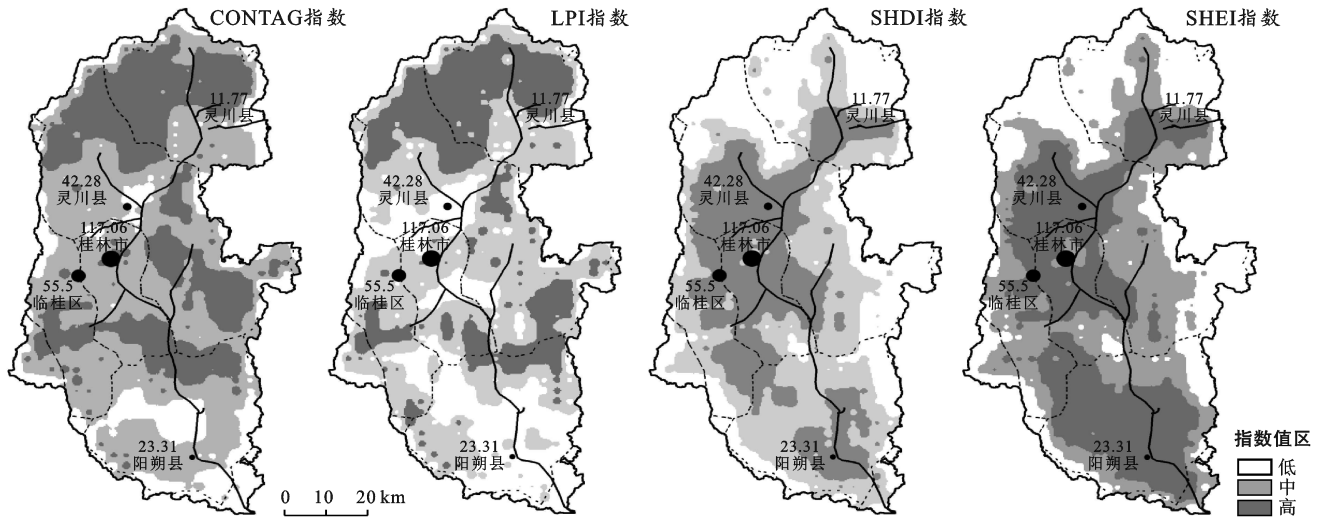


图 5 漓江流域 2020 年各类景观指数空间 IDW 差值

表 5 漓江流域 2000—2020 年各景观指数面积及扩张度变化

等级	CONTAG		LPI		SHDI		SHEI	
	面积/km ²	扩张度/%	面积/km ²	扩张度/%	面积/km ²	扩张度/%	面积/km ²	扩张度/%
1	232.61	1.52	209.13	0.98	-93.46	-0.34	-47.66	-0.18
2	47.18	0.17	17.81	0.06	-22.31	-0.08	38.99	0.15
3	-190.69	-0.50	-205.14	-0.58	-478.42	-1.30	-227.60	-0.71
4	1.97	0.01	27.55	0.13	143.61	0.57	204.42	0.75
5	-91.06	-0.49	-49.35	-0.25	450.58	4.67	31.85	0.19
合计	0.00	0.71	0.00	0.35	0.00	3.53	0.00	0.20

3.3.2 景观格局分异特征 为精确识别景观结构分异特征,进一步采用空间探索性分析方法求解全局莫兰指数得到景观连通性、优势度及多样性、均匀性指数全局 Moran' I 指数分别为 0.466,0.466,0.665 和 0.651, Z 值分别为 16.80,16.80,26.27 和 26.68, p 值均小于置信度 0.05,计算结果都通过了 Z 值检验,说明漓江流域景观格局指数存在较显著的空间依赖性,表现为正向相关性,即高值区与高值区相邻、低值区与低值区相随,多样性、均匀性指数表现更为显著。表明漓江流域景观指数结构受相似的发生环境和分

异因素影响而具有空间集聚性分布特征,景观尺度较类型尺度的表现更为明显。采用公式(4)测度局部莫兰指数得到图 6。

分析图 6 可以看出,连接性指数 CONNECT 和延展性指数 CONTAG 都在山区形成高一高相邻的热点,而在桂林市和阳朔县形成低—低相伴的冷点;而多样性、均匀性指数却在中心城市桂林及阳朔风景区形成高一高相伴的热点,而在上游及周边山区低—低相随的冷点,表明城镇扩张及旅游活动是漓江流域景观格局分异的主要驱动。

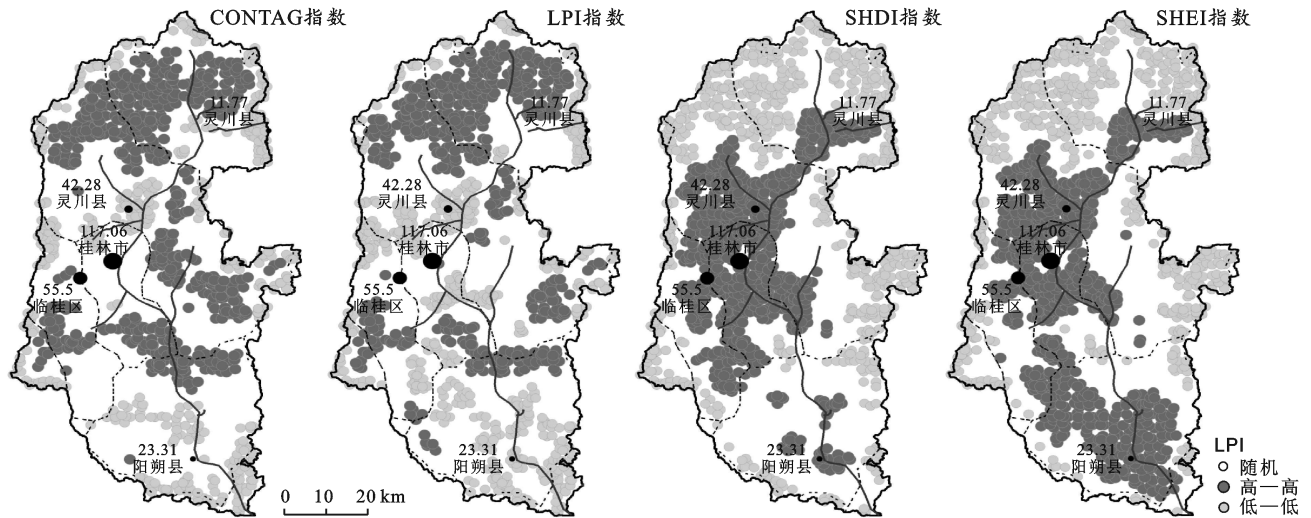


图 6 漓江流域 2020 年各类景观局部 Moran' I 指数分布

4 讨论与结论

4.1 讨论

景观类型、结构及格局时空分异是景观生态学研究的基础,是提高景观变化预测及其生态环境效应评价精度的关键。本研究从标准格网和自然、行政区域三维空间一体化视角,计算了漓江流域 LUCC 景观类型总量结构及其变化特征,度量景观指数结构、分异格局及其变化趋势,结合城镇化及区域发展地域特征,探索了漓江流域 LUCC 变化过程、格局,用多尺度景观指数及空间结构动态分析方法诊断了漓江流域 LUCC 时空分异规律,探究了其地域分异规律和主要影响因子,得出了漓江流域景观类型丰富、景观生态良好、结构变化稳定,城镇化与非城镇化地区景观格局分异显著,人类活动扰动不明显,生态文明建设潜力较大等结果,丰富和拓展了漓江流域相关研究领域^[24-26]。但同时还存在数据丰度和精度不够、影响因素及机理不准、结构关系及效应不明等问题;需要进一步开发适用高效的时空分析平台和智能计算模型,提高 LUCC 分类识别、空间赋值、过程反演及格

局量化的针对性和有效性使 LUCC 研究成果更好地服务于漓江流域生态城市及生态旅游建设规划。

4.2 结论

(1) 漓江流域以林地、耕地为主体景观,占景观面积的比例超过 90%,2000—2020 年其面积变率小于 0.37%,扩张强度小于年均 3.59%,表明流域景观生态良好,景观结构稳定。建设用地增长最快、扩张显著,2000—2020 年其面积增长了 163.41%,年均变化率 72%,其中临桂新区面积年均扩张 37.79%,城镇化是流域景观类型及结构变化的主要驱动。2000—2020 年漓江建设用地扩张剧烈,林地、耕地转换频次高但强度低,水系生态系统保持较好,表明城镇化建设活跃,对景观结构及其质量影响不显著。

(2) 林地、耕地斑块面积和优势度最大,具有重要的生态稳定价值,而其他景观类型的 CA, LPI 值都极小,且 2000—2020 年变化非常平稳,景观结构及质量受人类活动干扰不显著。草地的 NP, PD 值始终最大,其破碎化和离散性最显著,人类活动对草地景观形态的扰动最显著,对耕地的干扰也较明显,而对水域特别是湿地影响较小,水生态保持良好。景观尺度

上;流域景观类型多样性丰富,景观分布也较均衡,景观结构稳定,2000—2020年虽略有下降,但降幅收窄。景观格局连通性或延展性较好,空间分布较分散或离散,人类扰动使其差异趋大。

(3) 连通性和优势度指数在山地区形成高值中心,在城镇形成低值中心,城镇化增加了景观结构的脆弱性;多样性和均匀度指数在桂林、阳朔形成高值中心,而在兴安、灵州区形成低值中心,城镇化地区景观结构趋向稳定,但使山区景观稳定性减弱,这种变化在城市周边(中值区)表现最明显。流域景观格局指数存在较显著的空间依赖性,表现为高值区与高值区相邻、低值区与低值区相随的正相关性,多样性、均匀性指数表现更为显著。其中延展性指数、连接性指数都在山区形成高高相邻的热点,而在桂林市和阳朔县形成低低相伴的冷点;而多样性、均匀性指数却相反,表明漓江流域景观指数结构受相似的发生环境和分异因素影响而具有空间集聚性分布特征,城镇扩张及旅游活动是漓江流域景观格局分异的主要驱动,景观尺度较类型尺度的表现更为明显。

[参 考 文 献]

- [1] 刘纪远,张增祥,张树文,等.中国土地利用变化遥感研究的回顾与展望:基于陈述彭学术思想的引领[J].地球信息科学学报,2020,22(4):680-687.
- [2] 曾辉,陈利顶,丁圣彦.景观生态学[M].北京:高等教育出版社,2017.
- [3] 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.
- [4] 陈峰,李红波,张安录.基于生态系统服务的中国陆地生态风险评价[J].地理学报,2019,74(3):432-445.
- [5] 殷楠,王帅,刘焱序.生态系统服务价值评估:研究进展与展望[J].生态学杂志,2021,40(1):233-244.
- [6] 张楚宜,胡远满,刘焱,等.景观生态学三维格局研究进展[J].应用生态学报,2019,30(12):4353-4360.
- [7] 王国玉,白伟岗,熊筱,等.京津冀城市群生态空间受损识别研究[J].城市规划,2021,45(8):11-22.
- [8] 傅伯杰.地理学综合研究的途径与方法:格局与过程耦合[J].地理学报,2014,69(8):1052-1059.
- [9] Yang Jun, Guan Yingying, Xia Jianhong, et al. Spatio-temporal variation characteristic of green space ecosystem service value at urban fringes: A case study on Ganjingzi District in Dalian, China [J]. Science of the Total Environment, 2018,639:1453-1461.
- [10] Shi Xuemin, Qin Mingzhou. Research on the optimization of regional green infrastructure network [J]. Sustainability, 2018,10(12):4649.
- [11] 杨志广,蒋志云,郭程轩,等.基于形态空间格局分析和最小累积阻力模型的广州市生态网络构建[J].应用生态学报,2018,29(10):3367-3376.
- [12] 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.
- [13] 李凯,候鹰,Hans S P,等.景观规划导向的绿色基础设施研究进展:基于“格局—过程—服务—可持续性”研究范式[J].自然资源学报,2021,36(2):435-448.
- [14] 薛嵩嵩,高凡,何兵,等.1989—2017年乌伦古河流域景观格局及驱动力分析[J].生态科学,2021,40(3):33-41.
- [15] 唐常春,李亚平.多中心城市群土地利用/覆被变化地学信息图谱研究:以长株潭城市群为例[J].地理研究,2020,39(11):2626-2641.
- [16] 张秋梦,杨方社,李飞.改革开放以来中国粮食生产重构[J].自然资源学报,2021,36(6):1426-1438.
- [17] 王菊,赵俊三,林伊琳,等.基于“三生空间”的昆明市国土空间结构演变特征分析[J].城市勘测,2021(2):29-34.
- [18] 焦庚英,杨效忠,黄志强,等.县域“三生空间”格局与功能演变特征及可能影响因素分析:以江西婺源县为例[J].自然资源学报,2021,36(5):1252-1267.
- [19] 田甜,牟凤云,王俊秀,等.重庆市主城区土地利用变化对地表径流的影响[J].水土保持研究,2021,28(4):128-135.
- [20] 张德铨,刘林山,王兆锋,等.青藏高原土地利用/覆被变化的时空特征[J].科学通报,2019,64(27):2865-2875.
- [21] 张彪,徐洁,谢高地,等.2000—2010年北京城市绿色空间格局动态分析[J].生态科学,2016,35(6):24-33.
- [22] 谢高地,张彪,鲁春霞,等.北京城市扩张的资源环境效应[J].资源科学,2015,37(6):1108-1114.
- [23] 郑博福,黄琼瑶,陶林,等.赣南地区景观格局变化及对生态系统服务价值的影响[J].生态学报,2021,41(15):1-10.
- [24] 林增学.1985—2014年漓江流域景观格局动态变化研究[J].中国岩溶,2019,38(3):466-471.
- [25] 向芸芸,蒙吉军.漓江流域旅游开发景观格局干扰的时空分异[J].山地学报,2014,32(1):11-20.
- [26] 何毅,唐湘玲,代俊峰.漓江流域生态系统服务价值最大化的土地利用结构优化[J].生态学报,2021,41(13):1-9.
- [27] 陆丹丹,钟永德,杨永德,等.漓江上游土地利用/覆盖变化及驱动力研究[J].生态经济,2015,31(9):128-132.
- [28] 王劲峰,廖一兰,刘鑫.空间数据分析教程[M].北京:科学出版社,2010.