

基于 GIS 的喀斯特地区“三生空间”土地利用变化特征及驱动机制研究——以荔波县为例

高文平¹ 何燕军¹ 徐军^{1*}

(1. 南宁师范大学 广西 南宁 530000)

摘要: 根据荔波县 2012、2017、2022 年 3 期土地利用数据, 根据“三生空间”功能划分, 创建荔波县的“三生用地”分类系统。通过监督分类, 土地利用动态度(K)、土地利用转移矩阵(LCC)、标准椭圆差重心迁移, 研究荔波县 2012-2022 年土地利用时空演变特征, 结果表明: (1)10 年来, 荔波县土地使用结构变动明显, 2017-2022 年度变动幅度比 2012-2017 年度大, 主要表现为: 林地、建设用地等用地不断增加, 耕地、草地减少; 各类土地资源的综合利用程度呈上升之势。(2)10 年间, 荔波县生态空间的面积先增加后减少, 生产空间面积先减少后增加, 生活空间呈不断扩大的态势。随着生产、生活空间不断扩大, 侵占了研究区的生态空间, “三生空间”结构逐渐趋向不稳定状态。(3) 从标准差椭圆和重心转移的角度来看, 生态空间迁移的重心是东南方向, 主要迁到朝阳市, 生产、生活空间重心转移的变化不明显, 这与研究区经济发展和产业结构调整等因素密不可分。

关键词: 三生空间; 土地利用转移; 标准差椭圆

DOI: doi.org/10.70693/rwsk.v1i7.1140

绪论

土地是人们赖以生存及繁衍的重要资源, 对人类社会的生存和发展至关重要^[1], 土地利用方式的变化是决定区域生态系统稳定性的重要因素之一^[2]。随着城市化、工业化和农业快速发展, 土地资源供需矛盾日益突出, 导致国土空间结构失衡、利用效益下降及生态环境恶化。“三生空间”理论将土地划分为生产、生活和生态三大功能类型, 其中生态用地是维系人地关系协调与可持续发展的关键基础^{[3][4]}。陈严武等提出, 通过“三生空间”的划分及优化, 可有效缓解经济快速发展造成的城镇化过程中人地矛盾问题^[5]。杨远瑶等构建以“生产-生活-生态”空间理念为指导的结构方程模型, 发现“生产-生活-生态”空间之间存在显著相互作用, 造成居民生活与生态观念对山地户外旅游业发展态度的显著影响, 从而为推动地区乡村振兴和可持续发展提供重要参考^[6]。曾祥侠在城镇化背景下, 引入韧性理论构建乡村三生空间评价体系, 能够有效提高自然保护区周边乡村对于内外风险的应对策略^[7]。黄浩鹏通过深入剖析乡村“三生”空间发展现状, 并据此制定空间规划策略, 能够有效实现乡村生态、生产和生活的有机融合, 从而促进乡村空间的可持续发展^[8]。

全球喀斯特面积约 2200 km², 占世界陆地面积的 12% 左右^[9], 喀斯特地貌占我国国土面积的 10%, 主要分布于西南地区。中国境内碳酸盐岩类岩层纵横广, 喀斯特现象普遍, 类型繁多, 形式多样, 发育强烈。主要集中在以贵州为中心的西南部^[10]。该区域生态敏感性强, 过度人为干预易引发石漠化、生物多样性丧失等生态问题^[11]。湛京华提出, 明晰喀斯特山区“三生”空间协调关系以及碳排放效应, 有助于喀斯特山区城市绿色发展规划, 其重点关注洞庭湖与环鄱阳湖“三生”空间演变, 优化区域国土空间格局及城市群可持续发展的策略研究^[12]。杨建强等优化“三生”空间适宜性的 ANN-CA 模型, 为乡村可持续发展提供了科学依据^[13]。刘志等通过探究贵州省喀斯特地区生产-生活-生态空间功能耦合协调关系, 发现人口密度等社会经济因素对“三生空间”功能耦合协调度产生显

作者简介: 高文平 (2000—), 女, 硕士研究生, 研究方向: 土地信息与应用;

何燕军 (1984—), 女, 硕士研究生, 研究方向: 自然资源管理与乡村振兴;

通讯作者: 徐 军 (1979—), 男, 工学博士, 研究方向: 土地利用管理与土地信息技术。

著影响,进而造成区域经济绿色低碳和生态高效化发展的驱动性变化^[14]。遥感与GIS技术监测土地利用动态的提升,可为制定科学规划、提升土地利用效率、实现生态-经济-社会效益协同发展提供依据,也为同类地区发展提供参考范式^[15]。贵州省作为喀斯特地貌的典型区域,其国土空间开发利用变化剧烈。贵州荔波县的喀斯特地貌极具代表性,其土地利用变化研究对区域生态修复具有重要意义。聚焦喀斯特地区“三生空间”冲突与耦合,可以有效缓解城镇化和工业化进程中生态环境恶化、土地低效利用等问题。

研究区概况

荔波县东经 107°37'至 108°18',北纬 25°7'至 25°39',地处贵州省东南,广西丘陵区 and 云贵高原的交界处,西部与独山县毗邻,北接三都水族自治县,东北部分和南丹县、广西壮族自治区环江毛南族自治县毗邻,和榕江黔东南苗族县、从江县、侗族自治州接壤。荔波县的陆地主要形态是峰丛和峰林,是贵州高原与广西盆地过渡带圆锥形岩溶的典型代表,荔波县属于国家重点生态功能区,是“两江”上游重要的生态安全屏障^[16]。全县国土面积 2431.8km²,94 个行政村,总人口为 1.08×10⁵ 人,其中少数民族人口占 92.7%。

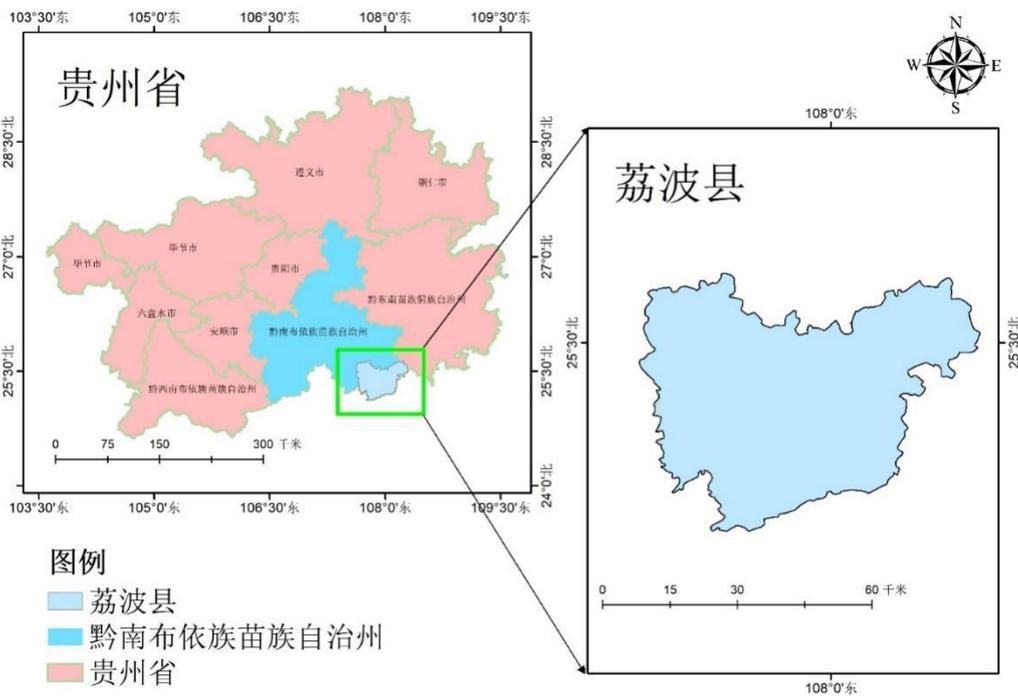


图 1 荔波县行政区划图

注: 改图基于国家地理信息公共服务平台-天地图, 审图号为 GS (2024) 0650 的地图上制作, 底图无修改

数据源与预处理

荔波县遥感影像数据 2012 年、2017 年和 2022 年分别为 Landsat 卫星, 空间分辨率为 30m×30m 数据来自于地理空间数据云平台, 使用 Arcgis 软件对研究区遥感影像进行几何校正、融合镶嵌、去云和大气校正等预处理, 提高分类结果的准确性。荔波县土地利用分类是基于第三次全国土地利用调查结果和全国土地分类标准 (GB/TY21010-2017) 在此基础上, 提出了“三生空间”用地的划分方法, 对其划分为六种土地利用类型, 分别是耕地、林地和草地、水域、建设用地、未利用土地的划分, 对每一类别选取一定数目的样本, 运用支持向量机的分类获得研究区的土地利用分类结果并进行统计分析。

研究方法

土地利用具有生产生活生态等多种功能具, “三生空间”的核心是以人为本的生活空间、绿水青山为主的生态空间和具有规模经济的生产空间, 合理的“三生空间”格局尊重生产规律, 以人为本, 尊重生态。在这些空间当中, 生产空间是进行物质资料生产而获得产品与服务空间, 生活空间是为人类的生存和发展提供空间承载、保障人

居功能的空间,而生态空间是以调节、维持和保障生态安全功能的空间,它是前两类空间能够发挥自己功能的必要条件^[17]。本文的研究借鉴现有的“三生空间”的划分依据和划分方法,并根据研究区特定的用地条件,将其划分为六种类型,分别是:林地生态空间、农业生产空间、牧草地生态空间、城镇生活空间、其他生产空间以及水域生态空间^[18]。具体如表 1 所示。

表 1.“三生空间”分类体系

一级地类	二级地类	三级地类
生产空间	农业生产空间	耕地
	其他生产空间	未利用地
生活空间	城镇生活空间	建设用地
	林地生态空间	林地
生态空间	牧草地生态空间	草地
	水域生态空间	水域

1. 土地利用的动态度(K),反映了某个时间范围内土地利用类型的数量变化情况,根据研究对象分别有单一土地利用动态度和综合土地利用动态度。单一土地利用动态度是指研究区在一定研究期内某一土地利用类型的变化情况,用来表示不同土地利用类型在一定时期内的变化速度和变化幅度^[19]。其表达式如下:

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\%$$

式中: K 为研究时段内某一土地利用类型动态度; U_a 、 U_b 分别为研究期初及研究期末某一种土地利用类型的数量。

2. 土地利用转移矩阵 (LCC), 用于对在一个地区中, 不同的土地利用类型之间的转换进行描述。在土地利用变化分析的转移矩阵中, 能够具体而全面地反映研究区各类用地的演变特点和演变趋势^[20]。本研究通过转移矩阵来刻画“三生空间”土地利用类型之间相互转换的数量关系,反映在人类活动下国土空间开发和保护的方向及结构,揭示荔波县土地利用转移结构特征和转移方向, 可以更好地解释研究区域的耦合协调关系。其计算表达式是:

$$A_{ij} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \cdots & A_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ A_{n1} & A_{n2} & \cdots & A_{nn} \end{pmatrix}$$

式中: A_{ij} 表示研究期初第 i 类土地类型转为期末第 j 类土地类型的面积; n 表示土地利用类型; 其中 $i=(1, 2, \dots, n)$, $j=(1, 2, \dots, n)$ 。

3. 标准差椭圆是一种空间统计学方法, 用来刻画地学因素的分布形态。以重心、转角 θ 、X 轴及 Y 轴的方差为主要指标, 从中心趋向及离散性的角度, 对该地区地理学要素的空间分布特性进行分析, 标准差椭圆可以揭示数据的空间分析方向性^[21]。本文主要应用重心迁移, 方位角, 长、短轴四个方面来研究荔波县各种土地利用类型的空间分布形态和程度, 从研究区三个时期的土地类型的重心迁移方向来分析研究区“三生空间”的迁移路径。

结果与分析

1. 研究区“三生空间”土地利用动态变化分析

基于第三次土地利用调查数据, 基于 Arcgis 软件进行监督分类方法将研究区土地利用类型划分为耕地、林地、草地、水域、建设用地及未利用地六大类, 分类结果如图 2 所示。提取 2012-2017 年、2017-2022 年土地利用转移矩阵, 对两个时段的土地利用分类统计, 采用土地利用动态度模型分析显示:

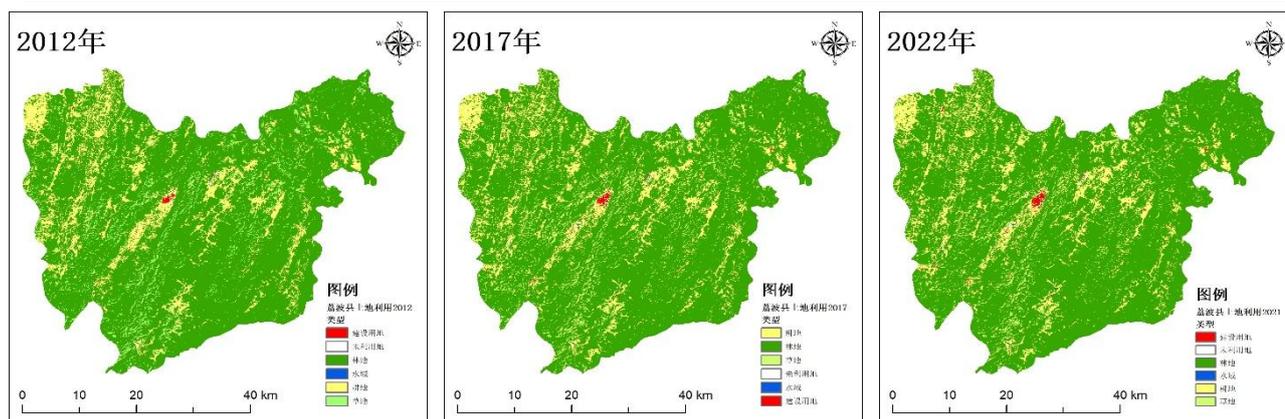


图2 荔波县 2012、2017、2022 土地利用现状图

在 2012-2017 年期间，林地、草、水域及建设用地面积都增加，其中建设用地面积的扩大程度最明显，该土地利用动态度达 13.56%；而耕地和未利用地面积减少，土地利用动态度分别为-0.68%和-3.06%。该变化特征表明区域城镇化进程加速，与基础设施建设和安置房工程推进密切相关，同时林草植被恢复有效提升了喀斯特地区的生态稳定性。

2017-2022 年阶段，林地、耕地、水域和建设用地面积持续扩张，草地和未利用地面积缩减，耕地面积的增加是由于该地的生态补偿。值得关注的是，区域综合土地利用动态度由前期 10%跃升至 31%，反映土地集约利用水平显著提升，印证了荔波县在新型城镇化建设与生态保护协同发展战略的有效实施。

研究结果揭示：荔波县在喀斯特脆弱生态系统背景下，通过优化土地资源配臵，成功实现了经济发展与生态环境修复的双向促进，为类似生态脆弱区可持续发展提供了实证范例。

表 2 荔波县 2012-2022 土地利用面积及动态度

土地类型	2012 年	2017 年		2022 年	动态度/%
	面积/km ²	面积/km ²	动态度/%	面积/km ²	
草地	127.30	129.49	0.34%	92.54	-5.71%
耕地	321.18	310.34	-0.68%	315.65	0.34%
建设用地	3.46	5.81	13.56%	7.67	6.38%
林地	1908.86	1915.31	0.07%	1945.15	0.31%
水域	1.58	1.91	4.18%	1.93	0.25%
未利用地	3.06	2.60	-3.06%	2.50	-0.74%

2. 研究区土地利用转移矩阵变化分析

据表 3.2012-2017 年研究区土地利用转移矩阵显示，该阶段草地主要流向林地 (28.37 km²) 和耕地 (9.69 km²)，未利用地向草地、林地转移规模仅 0.27 km²，反映生态修复工程的主导作用。耕地扩张以林地转换为主 (48.66 km²)，少量转出至草地、建设用地及水域 (分别为 3.02 km²、2.12 km²、0.4 km²)。林地净转出量达 70.67 km²，(转入草地 37.36 km²+转入耕地 33.31 km²)，但仅 0.15 km²直接转为建设用地，表明生态红线管控对林地保护的有效性。水域向其他地类转化规模极低 (合计 0.10 km²)，印证喀斯特水文系统稳定性。未利用地转化呈现多向性，其中 1.02 km²转为耕地，支撑农业增产需求。此阶段土地流转模式与贵州省“十二五”扶贫生态移民工程 (2011-2015) 高度契合，安置房建设带动的 0.08 km²未利用地转建设用地，与基础设施投资驱动的林地向耕地转化 (48.66 km²) 共同构成城镇化加速标志。同时，国家石漠化综合治理专项的财政投入和退耕还林补贴促进林草覆盖度提升，实现 31.4%的石漠化区域生态修复。

据表 4，2017-2022 年土地利用转型优化重组呈现显著的生态导向型调整特征：草地转为林地规模增至 42.94 km²，耕地退林化达 23.16 km²，草地与耕地双向转换仅 7.24 km²，反映耕地质量保护与石漠化治理的协同强化。林地功能分化加剧，26 km²转为耕地与 10.25 km²转为草地，与荔波县实行高产农田整理和生态缓冲区建设相关，

体现土地用途管制的精细化。水域向耕地转化微幅增加至 0.11 km²，与樟江流域灌溉工程体系完善相关。建设用地持续扩张（年均增长率 7.2%）。本阶段与《贵州省生态保护补偿实施方案》（2018）形成强关联，通过耕地轮作休耕补贴（每亩 800 元）和森林生态补偿（公益林每亩 16 元）机制，实现 23.16 km²低效耕地转为生态林。同时，新型城镇化 2.0 政策（黔府发〔2019〕1 号）引导产业集聚，工业园区集约用地标准提升至 0.85 容积率，使建设用地扩张强度较前期下降 18.6%。农业供给侧改革推动的 0.11 km²水域-耕地转换，支撑百香果、铁皮石斛等特色农产品标准化种植基地建设。

表 3 荔波县 2012-2017 年土地利用转移矩阵

2012 年	2017 年						km ²
	草地	耕地	建设用地	林地	水域	未利用地	
总计							
草地	88.97	9.69	0.00	28.37		0.27	127.30
耕地	3.02	266.26	2.12	48.66	0.40	0.72	321.18
建设用地			3.44		0.02		3.46
林地	37.36	33.31	0.15	1838.00	0.00	0.04	1908.86
水域		0.06	0.01	0.03	1.48		1.58
未利用地	0.14	1.02	0.08	0.25	0.01	1.55	3.06
总计	129.49	310.34	5.81	1915.31	1.91	2.60	2365.45

表 4 荔波县 2017-2022 年土地利用转移矩阵

2017 年	2022 年						km ²
	草地	耕地	建设用地	林地	水域	未利用地	
总计							
草地	80.68	5.70		42.94		0.17	129.49
耕地	1.54	283.37	1.64	23.16	0.15	0.48	310.34
建设用地			5.81		0.00		5.81
林地	10.25	26.00	0.10	1878.95		0.01	1915.31
水域		0.11	0.00	0.02	1.78		1.91
未利用地	0.07	0.48	0.12	0.09	0.00	1.83	2.60
总计	92.54	315.65	7.67	1945.15	1.93	2.50	2365.45

3. 研究区“三生空间”标准差椭圆变化分析

本研究采用标准差椭圆模型，通过计算椭圆轴长、方向角及重心迁移距离，定量解析 2012-2022 年荔波县生产、生活、生态空间的时空演化特征。由图 3-图 11 结果显示，研究时段内，研究区生态空间的迁移重心为东南方向，主要向朝阳镇迁移，生产空间重心迁移变化小，生活空间 2012-2017 年由西偏南方向转为 2017-2022 年向西北方向扩张。

(1) 生产空间：椭圆长轴由西南-东北向（2012 年 72.3 km）收缩为东西方向（2022 年 58.9 km），离散度指数从 1.8 降至 1.2，表明农业用地向县域中部集中。耕地重心在 2012-2017 年西南向迁移 1.5 km，其中未利用地转耕地 1.02 km²，2017 年后转向中部，特色农业园区高标准农田面积增加，体现土地整理项目对零散耕地的整合效应，土地利用效益得到提高。

(2) 生态空间：椭圆面积持续缩减（2012 年 128.4 km²，2022 年 102.7 km²），重心沿东南方向迁移 3.2 km 至朝阳镇，草地迁移轨迹短而集中（平均 1.1 km），林地重心向东偏北方向迁移 7.6 km，水域空间稳定性最高，迁移距离小于 0.5 km，反映荔波县对生态环境的进行了系统性的管理，全面提高了重要环境生态安全屏障功能以及质量水平，并且还还对生态系统良性循环和土地可持续利用的继续推进，切实增强生态系统稳定性

(3) 生活空间：研究区椭圆面积扩张 1.7 倍（2012 年 45.2 km²到 2022 年 76.9 km²），重心从西南部县城核心区

跃迁至西北生态移民安置区, 新增建设用地 3.76 km²中 78%源自耕地转化, 凸显土地财政驱动下的城镇扩张路径依赖。体现了荔波县在已有的发展基础上, 对产业发展与基础设施进行协调, 建设注重以县城为主体的城镇化, 构建出田园乡村与现代城镇各具特色、有机结合的城乡发展格局。

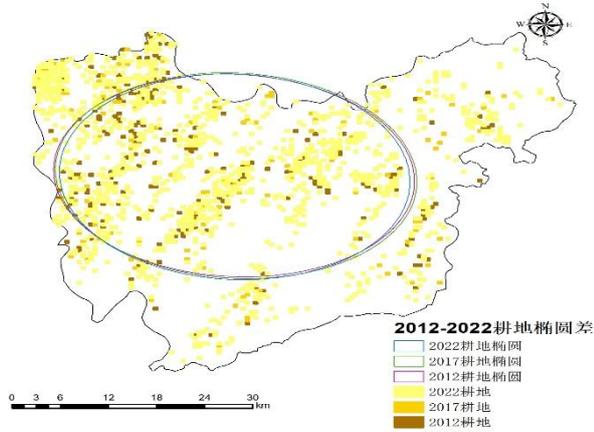


图 3 2012-2022 耕地椭圆差

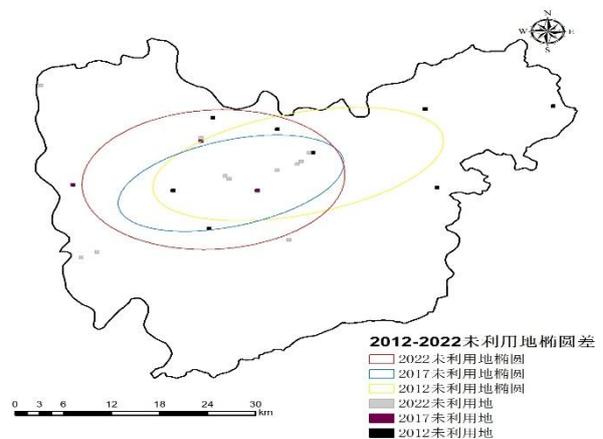


图 4 2012-2022 未利用地椭圆差

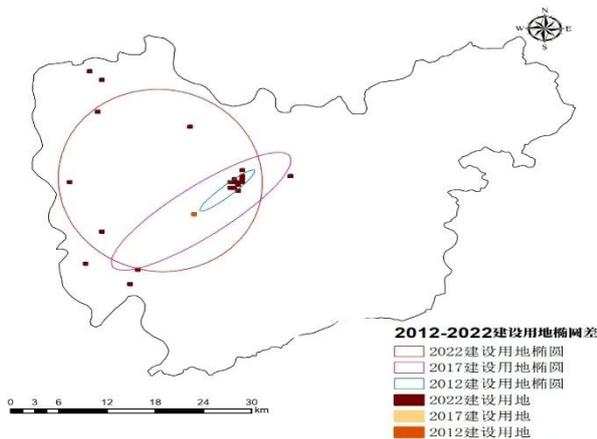


图 5 2012-2022 建设用地椭圆差

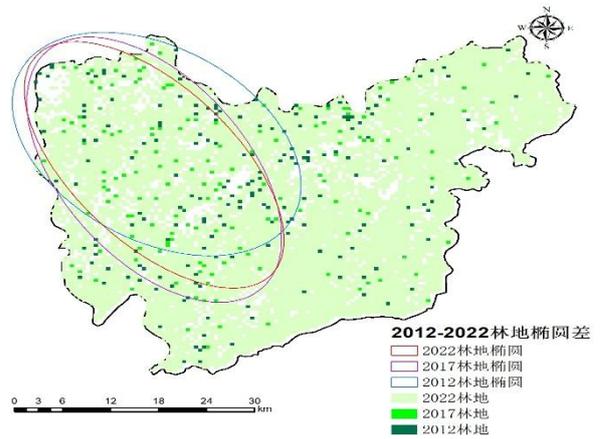


图 6 2012-2022 林地椭圆差

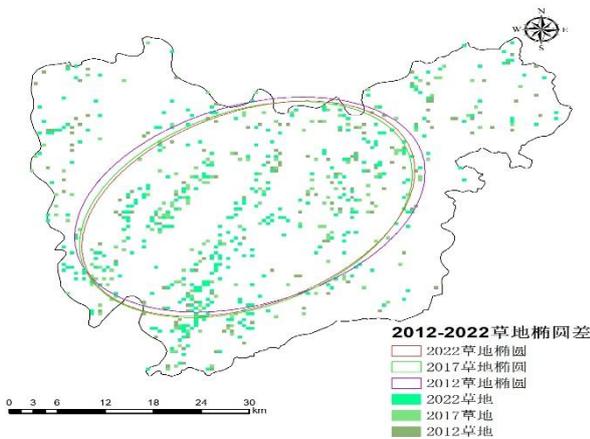


图 7 2012-2022 草地椭圆差

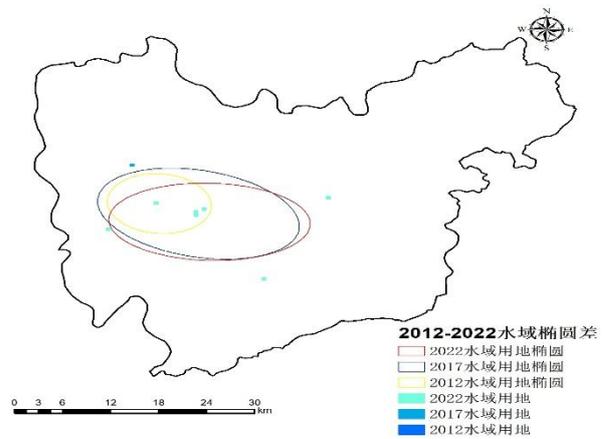


图 8 2012-2022 水域椭圆差

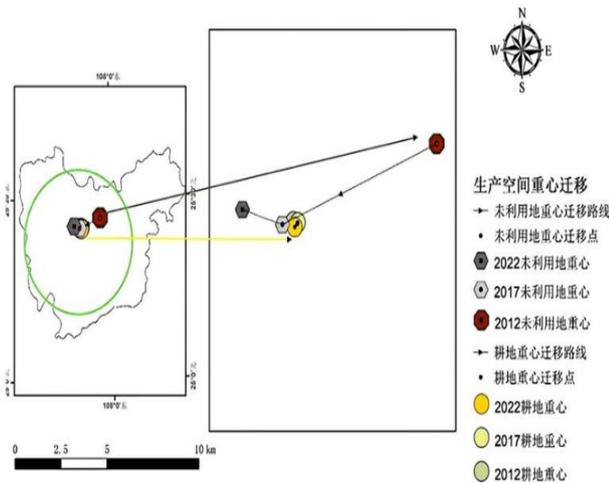


图 9 荔波县生产空间重心迁移路线

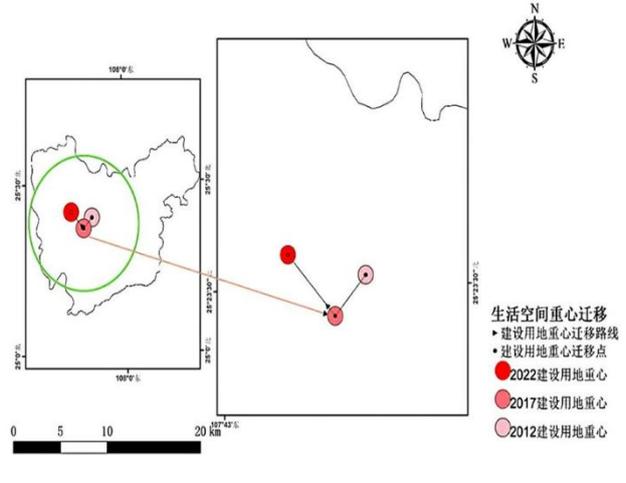


图 10 荔波县生活空间重心迁移路线

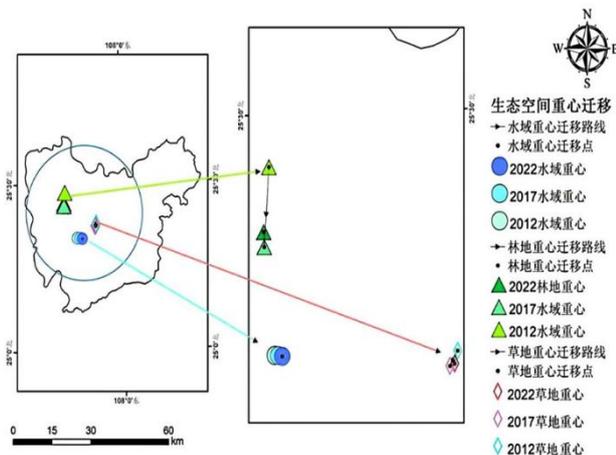


图 5.3.2.3 荔波县生态空间重心迁移路线

图 11 荔波县生态空间重心迁移路线

结论:

本文基于 2010-2022 年荔波县土地利用变化趋势、土地利用变迁矩阵法以及典型的标准差椭圆形中心变迁模式，对 3 种不同类型的土地利用变化进行定量研究。本文对研究区用地面积变化和生产、生活和生态空间类型迁移进行了调查，并分析了过去 10 年来研究区六种土地利用类型的变化。研究表明，从研究区“三生空间”模式的时间和空间变化来看，其变化规律为：

(1) 荔波县的“三生空间”在地域上的分布特点很明显，主要是以生态空间为主导，次要的为以耕地为主导的生产空间，而面积最小的则是生活空间，但是其面积逐渐扩大。荔波县“三生空间”结构的整体结构是：核心区为以居住生活和生产空间为主，周边主要是生态空间。这表明，具有生态作用的绿色化、农业生产化绿色化程度在不断下降，但工业用地、建设用地、城乡生活用地却在不断上升。总体而言，城市住房的扩建将占用优质农业用地和生态空间，尤其是以玉屏街为中心，朝阳镇将向外扩张。

(2) 在荔波县，有利的土地利用经营空间是一个具有高度生态基础的生态绿地。从土地利用动态来看，城镇生活空间动态最高，草地生态空间动态最低。

(3) 荔波县“三生空间”变化的主要方向是农业生产转化为城镇住房农村宅基地和产业发展，绿色生态空间转化为建制镇和生产，以及其他类型的土地利用空间会相互转换。

(4) 荔波县农业生产空间耕地重心迁移幅度变化相对较小,主要集中在玉屏街道。城镇生活空间重心迁移方向大,由西偏南方向转向西北方向扩张。生态空间的迁移重心为东南方向,向朝阳镇迁移。

参考文献:

- [1] 王肖芳.基于 ArcGIS 的河南省土地利用变化特征研究[J].中国农业资源与区划,2018,39(01):92-98.
- [2] 贺忠发,曹月娥,何浩天,等.2009 ~ 2020 年拜城县土地利用与“三生空间”时空变化研究[J].江西农业学报,2022,34(01):217-226.
- [3] 李伊黎,程严,付振华.广东省“三生空间”格局演化特征分析[J].地理空间信息,2022,20(12):104-109.
- [4] 张红旗,许尔琪,朱会义.中国“三生用地”分类及其空间格局[J].资源科学,2015,37(07):1332-1338.
- [5] 陈严武,余勇兵,覃照素,等.广西石漠化地区“三生空间”演化及情景模拟优化[J].环境科学与技术,2025,48(04):209-224.
- [6] 杨远瑶,王鹏,李梦灵,等.基于“三生空间”理念的居民感知对山地户外旅游发展态度研究——以四姑娘山为例(英文) [J].Journal of Resources and Ecology,2025,16(02):569-579. [7]
- [7] 曾祥侠,周小恒.韧性视角下乡村三生空间评价研究[J].水利规划与设计,2025,(05):28-34.
- [8] 黄浩鹏,杨青娟.基于“三生”视角的乡村空间发展策略研究——以蒲江县铁牛村为例[J].城市建设,2025,22(07):34-36.
- [9] Li Y B , Hou J J , Xie D T .The recent development of research on karst ecology in southwest China[J].Scientia Geographica Sinica, 2002, 22(3):365-370.
- [10] Hong song C , Yun peng N , Kelin W . Spatio-temporal heterogeneity of water and plant adaptation mechanisms in karst regions: a review[J].Acta Ecologica Sinica, 2013.
- [11] 李驭豪.喀斯特地区土地利用变化下生态系统服务权衡/协同关系研究[D].云南大学,2020.
- [12] 湛京华,杨志远.喀斯特山区城市“三生”空间协调关系及碳排放——以铜仁市为例[J].绿色科技,2025,27(05):173-180.
- [13] 杨建强,简元菊,鲁媛媛.基于 ANN-CA 模型的喀斯特山区农村三生空间优化[J].农业与技术,2025,45(04):103-107.
- [14] 刘志,陈波,刘书璇.西南喀斯特“三生空间”功能耦合协调时空演变与驱动因素:以贵州省为例[J/OL].环境科学,1-17[2025-06-18].
- [15] 宋同清,彭晚霞,杜虎,等.中国西南喀斯特石漠化时空演变特征、发生机制与调控对策[J].生态学报,2014,34(18):5328-5341.
- [16] 陈全,周忠发,闫利会.国家重点生态功能区生态文明建设评价——以贵州省荔波县为例[J].中国农业资源与区划,2016,37(09):1-6.
- [17] 欧惠,陈娟,戴文远.平潭岛“三生空间”格局演变与生态系统服务研究[J].云南地理环境研究,2019,31(06):30-38+45.
- [18] 刘顺鑫,黄云.“三生空间”视角下万州区景观生态安全评价及其耦合特征分析[J].水土保持研究,2020,27(06):308-316.
- [19] 王秀兰,包玉海.土地利用动态变化研究方法探讨[J].地理科学进展,1999,(01):83-89.
- [20] 徐岚,赵羿.利用马尔柯夫过程预测东陵区土地利用格局的变化[J].应用生态学报,1993,(03):272-277.
- [21] 白雪,杜宾宾,姜亚莉.基于县域单元的广东省经济空间差异及演化研究[J].水土保持研究,2019,26(05):296-303.

GIS-Based Analysis of Land Use Change Characteristics and Driving Mechanisms in Karst Areas under the "Production-Living-Ecological Space" Framework: A Case Study of Libo County

Gao Wenping¹

¹Nanning Normal University, Guangxi, NanNing

Abstract: Based on land use data from 2012, 2017, and 2022 in Libo County, this study establishes a *Production-Living-Ecological Space* (PLES) classification system according to functional zoning principles. Utilizing supervised classification, land use dynamic degree (K), land use transfer matrix (LCC), and standard deviation ellipse analysis, we investigate the spatiotemporal evolution of land use patterns in Libo County during 2012–2022. Key findings include: (1) Significant structural shifts occurred in land use over the past decade, with more pronounced changes during 2017–2022 than in 2012–2017. Forest land and construction land expanded continuously, while cropland and grassland declined. The comprehensive utilization level of land resources exhibited an upward trend. (2) Ecological space area initially increased before decreasing, production space decreased then rebounded, and living space expanded persistently. The encroachment of production and living spaces upon ecological space has progressively destabilized the PLES structure. (3) Standard deviation ellipse and centroid analyses reveal that the centroid of ecological space migrated southeastward, primarily toward Chaoyang Town*, whereas shifts in production and living space centroids were negligible. These dynamics are closely linked to regional economic development and industrial restructuring.

Keywords: Production-Living-Ecological Space (PLES); land use transition; standard deviation ellipse