

DOI: 10.20103/j.stxb.202212243655

魏国恩, 刘耀彬, 李汝资, 李硕硕, 骆康, 刘澄浩. 近 40 年鄱阳湖区“三生空间”格局转型与空间异质机制. 生态学报, 2024, 44(6): 2308-2322.

Wei G E, Liu Y B, Li R Z, Li S S, Luo K, Liu C H. Pattern transformation and spatial heterogeneity mechanism of production-living-ecological spaces in Poyang Lake area in last 40 years. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(6): 2308-2322.

近 40 年鄱阳湖区“三生空间”格局转型与空间异质机制

魏国恩^{1,2}, 刘耀彬^{2,3,*}, 李汝资^{2,3}, 李硕硕^{2,3}, 骆康^{2,3}, 刘澄浩^{2,3}

1 南昌大学资源与环境学院, 南昌 330031

2 南昌大学中国中部经济发展研究中心, 南昌 330031

3 南昌大学经济管理学院, 南昌 330031

摘要: 洞察快速城市化进程下三生空间的转型规律和空间异质驱动机制, 是湖域地区生产生活方式“绿色化”转变和国土空间规划高质量发展的重要基础, 对于地区国土资源优化配置和生态系统韧性建设具有重要意义。以鄱阳湖区为研究对象, 基于 1980—2020 年土地覆被遥感影像数据, 从“空间结构-分布格局-空间功能”演变视角分析鄱阳湖区三生空间格局转型规律, 并定量识别环湖区、近湖区和远湖区格局转型的空间异质机制。结果表明: (1) 近 40 年鄱阳湖区三生空间格局转型具有显著的空间动态异质性, 生产空间持续聚焦于湖滨及河流沿岸平原区, 生活空间向各城市建成区蔓延集聚, 生态空间存续于湖域及边缘山区丘陵地带。县域尺度格局转型同样呈显著的差异化演进格局, 其中生态空间的收缩趋势呈现出由环湖向远湖逐渐衰减的态势; (2) 尽管以生态空间为主导的结构基本面未改变, 但生态空间在生产和生活空间侵占下持续减损, 突出表现为大规模水域和林地生态空间被农业生产、工矿和城镇建设空间侵占; (3) 功能指数转型中持续呈现出由环湖区向远湖区的梯度变化过程, 证实了三生空间功能转型“湖泊效应”现象的存在; (4) 城市化和工业化是环湖区和近湖区三生空间格局转型的关键驱动因子, 而城市化和农业现代化主导了远湖区的三生空间格局转型, 而城市人口集聚、经济增长、产业经济规模增长和农机使用水平等二级细分因素通过不同情景组合塑造了鄱阳湖区不同地域差异化的三生空间格局转型机制。研究结果为认识湖域地区独特的国土空间演进规律和因地制宜的演化机制提供了新的视角, 也为构建面向现代化的国土空间规划体系和“生产-生活-生态”协同的生态文明新格局提供了新的见解。

关键词: 三生空间; 格局转型; 驱动机制; 国土空间规划; 鄱阳湖区

Pattern transformation and spatial heterogeneity mechanism of production-living-ecological spaces in Poyang Lake area in last 40 years

WEI Guoen^{1,2}, LIU Yaobin^{2,3,*}, LI Ruzi^{2,3}, LI Shuoshuo^{2,3}, LUO Kang^{2,3}, LIU Chenghao^{2,3}

1 School of Resources and Environment, Nanchang University, Nanchang 330031, China

2 Research Center for Central China Economic Development, Nanchang University, Nanchang 330031, China

3 School of Economics and Management, Nanchang University, Nanchang 330031, China

Abstract: Investigating the transformation rules and spatial heterogeneous driving mechanisms of the “production-living-ecological” spaces under the rapid urbanization process is an important basis for the greening transformation of production and life style in the lake area and the high-quality development of territorial spatial planning. It is important for the optimal allocation of national land resources and construction of ecosystem resilience. Based on Landsat remote sensing images of

基金项目: 国家自然科学基金青年项目(42301226); 国家自然科学基金面上项目(42271209); 中国博士后科学基金资助项目(2023M731493)

收稿日期: 2022-12-24; **网络出版日期:** 2023-12-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liuyaobin@ncu.edu.cn

land cover from 1980 to 2020, we analyzed the spatial pattern of the “production-living-ecological” spaces in Poyang Lake region from the perspective of spatial structure-distribution pattern-spatial function. The study also quantitatively identified the spatial heterogeneity mechanisms of the transformation pattern in the lake area, areas near-lake area, and areas far-lake area. The results showed that: (1) the transformation of the spatial pattern of “production-living-ecological” in Poyang Lake area had significantly spatial dynamic heterogeneity in past 40 years. The production space continued to focus on the lakeshore and the plain area along the river, the living space spread and concentrated in the built-up areas of cities, and the ecological space existed in the lake area and the mountainous hilly area at the periphery. (2) The structure dominated by ecological space has not changed. However, ecological space continued to be diminished by the encroachment of production and living space, highlighted by the encroachment of large-scale watershed and woodland ecological space by agricultural, industrial, mining production, and urban construction space. (3) The transition of the functional index continued to show a gradient change from the lake area to the far-lake area, confirming the existence of the “lake effect” phenomenon in the transformation of the three spatial functions. (4) Urbanization and industrialization were the key driving factors for the transformation of the “production-living-ecological” spaces in the lake-ring and near-lake areas, while urbanization and agricultural modernization dominated the transformation of the “production-living-ecological” spaces in the far-lake areas. The subdivision factors such as urban population concentration, economic growth, industrial economic scale growth, and agricultural machinery use level have shaped the transformation mechanism of “production-living-ecological” spaces of different geographical differentiation in Poyang Lake area through different scenario combinations. Our results provide a new perspective for understanding the unique territorial spatial evolution of the lake area and the evolutionary mechanism that varies from place to place, as well as new insights for building a modernized territorial spatial planning system and a new ecological civilization pattern of production-life-ecology synergy.

Key Words: production-living-ecological spaces; pattern transformation; driving mechanism; territorial spatial planning; Poyang Lake area

人类活动已经对生态系统产生了广泛而深远的影响^[1]。改革开放以来,中国经历了史无前例的快速城市化进程,人口城市化率自 1980 年的 19.2%跃升至 2020 年的 63.89%^[2-3]。社会经济发展水平和人类福祉显著提升的同时,生态系统也遭受了来自粗放式城市开发模式带来的扰动和冲击,并由此产生严重的生态失衡问题(诸如空气污染、碳排放过载、无序资源开发、生境破碎化和植被生产能力下降等)^[4-8]。这些问题通过“社会-经济-自然”复合生态系统均直接或间接关联于国土空间开发格局^[9-12]。从生产、生活和生态空间(即“三生空间”)视角调查国土空间转型规律及其驱动机制,成为实现高质量国土空间开发体系建设和人与自然和谐共生现代化的关键问题,也是人文—经济地理—区域生态学在可持续发展领域的重大科学命题^[13-14]。

三生空间相关问题受到国内外学者们的广泛关注。早在 20 世纪 60 年代西方学者开始关注产业空间和居住空间对城市生态系统的胁迫影响,并基于税费调控等经济手段倒逼企业绿色转型升级,改良生产端的空间冲突^[15-17]。国内学者更多地将三生空间与国土空间开发格局耦合,以适应新时期生态文明建设和国土空间优化需求^[18]。根据对现有文献的梳理,国内外学者重点聚焦于辨析三生空间定义与内涵、空间分类体系和格局演化过程等方面^[19-21]。而随着城市化和工业化的跃升,人类活动对自然生态系统的生态负效应日益明显,人地矛盾问题加剧,对三生空间的适宜性功能评价、空间权衡协同关系和内在驱动机制等问题的研究逐渐丰富^[21-24]。现有研究纵横于国家、省、市、县乃至乡村等多尺度范围,尤其是关注了城市群和都市圈等高水平城市化地域的三生空间格局演化,并调查得出伴随快速城市化和工业化,城市群和省域中心城市的三生空间结果演变剧烈,并给地区生态环境造成显著负向影响,研究结果为区域生态优化管理和人地协调提供支持^[25-29]。然而,作为我国生态修复治理最典型的战略性板块之一,湖域地区“以水为基”的自然生态本底和“依水而生”的生产-生活业态,必然导致三生空间格局转型的内在复杂性和独特性^[30]。在湖域特色复合生态

系统和复杂水陆关系支持下,三生空间的演化机制也必然具有独特性^[31-35]。因此,现有研究存在两项研究差距:一是,对湖域地区三生空间格局转型的研究较少,仅有的研究也很少基于系统论探究三生空间从结构到格局、功能等系统性变化^[20, 22-23]。二是,仅有的研究聚焦于湖域地区三生空间转型的全局演化机制,对于驱动机制的局部变异特性关注不足^[36]。

为弥补这些研究差距,本研究从两个方面做出尝试:一是,基于中科院资源与环境科学数据中心和 ArcGIS 平台处理获取 1980—2020 年土地覆被遥感监测影像,从“空间结构-分布格局-空间功能”视角探究研究区三生空间格局转型的系统性特征,并总结三生空间格局转型的“湖泊效应”。二是,为定量支持研究区因地制宜的国土空间规划策略和分区治理方案,本文统筹现有研究实践和地区空间异质性将鄱阳湖区按近湖距离划分为环湖区、近湖区和远湖区,并耦合地理探测器方法探究鄱阳湖区三生空间格局转型的空间异质驱动机制^[37]。基于此,旨在为厘清鄱阳湖区三生国土空间开发格局的转型规律提供定量支持,并为谋划我国湖域地区土地利用资源的空间优化配置提供来自鄱阳湖区新的视角。

1 数据来源与研究方法

1.1 研究区概况

鄱阳湖区位于长江中游地段、江西省北部,也是长江流域重要的吞吐型湖泊和粮食主产区。以鄱阳湖为中心,鄱阳湖区涵盖南昌、九江、景德镇、上饶、鹰潭和抚州等市的 42 个县区,国土总面积约为 $2.09 \times 10^4 \text{ km}^2$, 平均海拔在 30—60 m 之间,属于亚热带季风气候。区域内湖泊河网密集,具有优良的调节涵养水源和生态平衡功能,但“汛期反枯”和生境退化等现状生态问题也突出了该地区显著的生态脆弱性和敏感性特征。同时,2020 年该地区承载着江西省 58.99% 的总人口和 51.41% 的 GDP 总产值,快速城市化和工业化进程与湖域生态系统之间存在日益严峻的冲突矛盾,探究该地区三生空间格局转型和驱动机制具有重要的现实意义和研究紧迫性。为揭示三生空间格局转型的空间异质演化机制,综合考虑研究区随近湖距离变动的社会经济结构、地形地貌和土地利用类型差异,以及现有研究展现的鄱阳湖区土地景观破碎化随近湖距离变动的空间规律和湖泊生态影响力的距离衰减效应,将鄱阳湖区 42 县区划分为环湖区、离湖区和远湖区,具体见图 1^[37]。

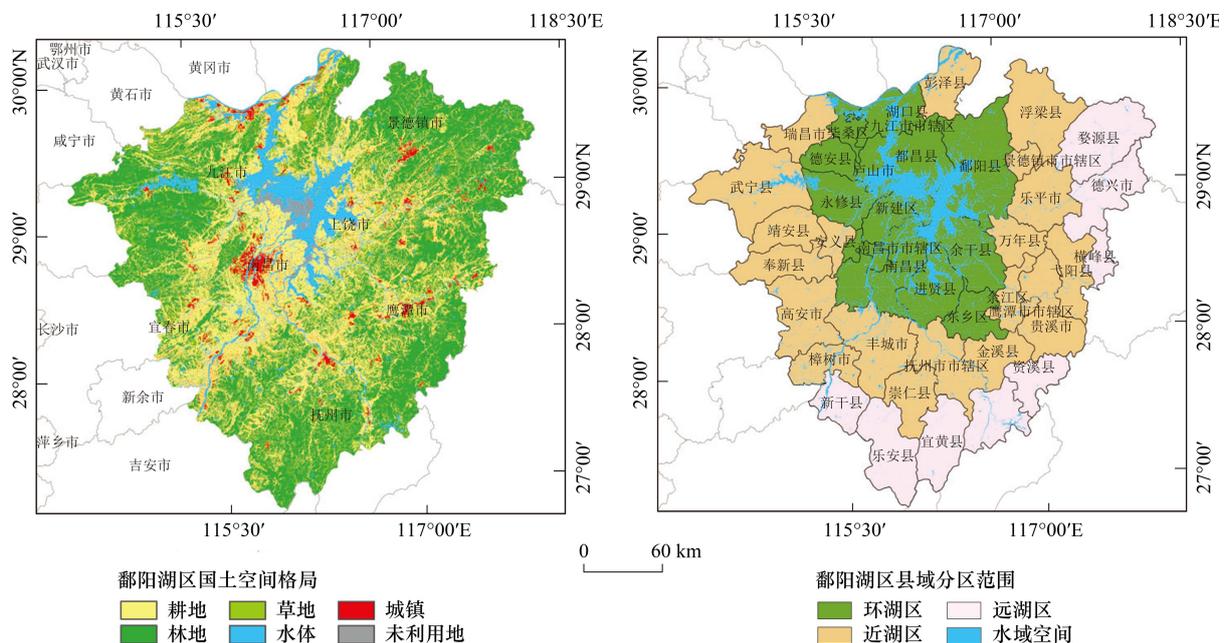


图 1 鄱阳湖区国土空间格局分布与分区范围

Fig.1 Territorial spatial pattern and zoning range of Poyang Lake region

1.2 数据来源

土地覆被遥感数据来自中科院资源与环境科学数据中心 (<http://www.resdc.cn>) 提供的 1980—2020 年中国多时期(1980 年、1990 年、2000 年、2010 年、2020 年)土地利用遥感监测数据集。该数据集以美国陆地卫星 Landsat TM/ETM 等影像为信息基础,通过人工目视解译获取 25 个二级土地利用类型,空间分辨率为 30 m^[38]。参考以往学者研究,选取各类型二级指标反映城市化、工业化和农业现代化水平对三生空间格局转型的影响,这些二级指标数据主要来自《江西省统计年鉴》《中国城市统计年鉴》获取 2000—2020 年相关社会经济统计数据^[36,39-42]。各类型二级指标选择如下:①选取人口城市化率、人均 GDP、第三产业产值比重和社会消费品零售总额 4 项二级指标,从人口、经济城市化和居民消费市场量化城市化水平^[39-40];②选取规模以上工业企业数、第二产业产值比重、城镇固定资产投资完成额和规模以上工业总产值 4 项二级指标,从企业经济、投资贸易和产值规模量化工业化水平^[37-38]。③选取乡村从业人员数、农业机械总动力和第一产业产值比重,从农业就业、机械化程度和农业产值规模量化湖域地区农业现代化水平^[36]。

2 研究方法

三生空间格局转型事关人地和谐共生现代化和美丽中国建设,也是国土空间规划高质量发展的重要基础,本研究基于系统论,沿着“空间结构-分布格局-空间功能”的分析路径探究了三生空间格局转型过程,进一步讨论了近湖距离影响下转型机制的空间异质性(图 2)。具体而言,①结构:基于 1980—2020 年土地覆被遥感影像和前人研究实践,归纳总结鄱阳湖区三生空间主要用地类别,并基于 GIS 空间分析技术、土地利用动态度量结构转型特征。②格局:探究三生空间及其二级分类空间在地理空间和县区尺度的格局演变。③功能:土地转移矩阵被用于衡量地类用地功能在规模和方向上的变动;基于生态系统服务价值当量估算,采取分级赋分方法构建三生空间功能分类体系,并据此研判研究区的功能指数转型规律。④机制:为探究三生空间转型的驱动机制,参考杨帆等(2022)的研究和鄱阳湖区社会经济发展现状,从城市化、工业化和农业现代化三个维度构建驱动因素体系,研判影响鄱阳湖区三生空间格局转型的空间异质机制^[36]。

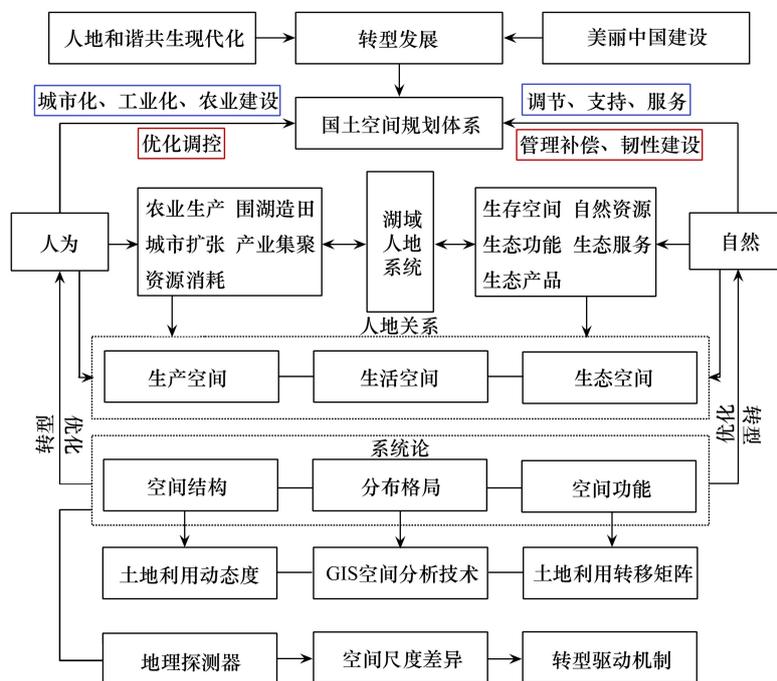


图 2 湖域地区三生空间优化调控理论研究框架和技术路线

Fig.2 Theory framework of the optimal regulation of the “Production-living-ecological” spaces in the lake area and technical route

2.1 国土三生空间分类体系

国土三生空间分类体系是国土空间开发和保护的基本前提。研究基于鄱阳湖区开发与保护发展实际和前人研究基础,构建鄱阳湖区国土三生空间分类体系(表1)^[24]。将国土空间划分为农业生产空间、工矿生产空间、城镇生活空间、农村生活空间、林地生态空间、草地生态空间、水域生态空间和潜在生态空间等8个三生空间二级类别。

表1 鄱阳湖区三生空间分类体系表

Table 1 Classification system of the production-living-ecological space of Poyang Lake region

一级分类 Primary classification	二级分类 Secondary classification	土地利用分类 Land use classification
生产空间 Production space	农业生产空间	水田、旱地
	工矿生产空间	工矿用地、特殊用地、交通运输用地
生活空间 Living space	城镇生活空间	城镇用地
	农村生活空间	农村居民点
生态空间 Ecological space	林地生态空间	有林地、灌溉地、疏林地、其他林地
	草地生态空间	高覆盖度草地、中覆盖度草地、低覆盖度草地
	水域生态空间	河渠、湖泊、水库、坑塘、滩涂、滩地
	潜在生态空间	沙地、戈壁盐碱地、沼泽地、裸土地裸岩石质地、其它未利用地

2.2 三生功能分类及赋分体系

三生功能分类是对“三生”空间内涵的细化和延伸,也是区域国土空间合理优化配置的重要基础。本研究遵循“微观功能评价—宏观县级管理”的研究思路,进行国土空间功能分区:借鉴谢高地等对生态系统服务价值当量的估算以及李广东等的功能评价方案,基于现状土地利用遥感分类数据和地类功能赋分因子进行国土空间功能评价(赋分体系见表2)^[43-44];结合周浩等的研究,将三生空间及其二级分类的功能指数均值视为各县区功能分区指标,研判三生功能在地理空间和县域视角的转型规律^[45]。

表2 国土空间分类功能赋分体系

Table 2 The assignment system of territorial space functions

土地利用分类 Land-use classification	生产功能 Production function	生活功能 Living function	生态功能 Ecological function	土地利用分类 Land-use classification	生产功能 Production function	生活功能 Living function	生态功能 Ecological function
11 水田 Paddy field	3	0	3	42 湖泊 Lakes	0	0	5
12 旱地 Dry land	3	0	3	43 水库坑塘 Reservoir and pond	1	0	1
51 城镇用地 Urban land	5	5	0	44 永久性冰川雪地 Permanent glacier snow land	0	0	5
52 农村居民点 Rural settlement	5	5	0	45 滩涂 Mudflat	0	0	5
53 其他建设用地 Other building land	5	0	0	46 滩地 Shoal	0	0	5
21 有林地 Woodland	1	0	5	61 沙地 Sand	0	0	1
22 灌木林地 Shrubland	0	0	5	62 戈壁 Gobi	0	0	1
23 疏林地 Sparse woodland	0	0	5	63 盐碱地 Saline-alkali soil	0	0	1
24 其他林地 Other wooded land	0	0	3	64 沼泽地 Marshland	0	0	5
31 高覆盖度草地 High coverage grassland	1	0	5	65 裸土地 Bare land	0	0	1
32 中覆盖度草地 Medium coverage grassland	1	0	5	66 裸岩石质地 Bare rocky ground	0	0	1
33 低覆盖度草地 Low coverage grassland	1	0	3	67 其他用地 Other land	0	0	1
41 河渠 Waterway	0	0	5				

2.3 土地利用动态度

本文利用三生空间动态度衡量某一时期内各类型三生空间面积的变化率,体现三生空间用地结构变化特

征^[15]。计算公式如下:

$$G = (S_i - S_{ii}) / S_{ii} \times T \times 100\% \quad (1)$$

式中, G 为三生空间动态指数; S_i 和 S_{ii} 分别为该类型三生空间在转移前后时期的面积; T 为年间隔。

2.4 土地利用转移矩阵

三生功能转型首先体现在地类变迁和规模变动上,本文使用土地利用转移矩阵量化各类型三生空间的面积转换,以显示各土地利用类型用地功能转型的规模动态变化^[45]。计算公式如下:

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1n} \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ S_{n1} & S_{n2} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中, S 为用地类型面积; n 为土地利用类型; S_{ij} 为一定时段内 i 类土地到 j 类土地的转换面积。

2.5 地理探测器

影响鄱阳湖区三生空间格局转型的因素繁多,基于鄱阳湖区人地矛盾的重点领域和社会生产生活现状,本文围绕城市化、工业化和农业现代化维度,利用地理探测器探究影响三生空间转型的驱动因子^[46]。地理探测器是王劲峰团队开发的空分异与影响因子探测软件,该模型对多重共线性免疫,且能避免自变量与因变量互为因果的内生性问题。这里选用因子探测器量化驱动因子的影响力,计算公式如下:

$$P_D = 1 - \frac{1}{n \sigma^2} \sum_{h=1}^m n_h \sigma_h^2 \quad (3)$$

式中, D 为三生空间格局转型的驱动因子; P_D 为 D 驱动因子对三生空间格局转型的影响力,取值区间为 $[0, 1]$,该值越大表明驱动因子的解释力越大; h 为分类数; n 和 n_h 分别为全域县区和 h 类县区单元数, σ^2 和 σ_h^2 分别为全域县区和 h 类县区 y 值的方差。

3 鄱阳湖区三生空间格局转型的时空分析

3.1 三生空间结构转型

1980—2020 年鄱阳湖区呈现出生产空间和生活空间增加,生态空间减少的总体特征,其中生活空间以 52.26% 的增幅增长了 673.61 km²,生态空间以 1.67% 的降幅减少了 741.44 km²(图 3)。农业生产空间和林地生态空间作为鄱阳湖区国土空间主要类型的基本面没有改变,2020 年面积占比分别为 33.31% 和 49.78%,但近 40 年分别减损 873.63 km² 和 449.46 km²,在不同类别中位居前列。草地和潜在生态空间降幅最显著,分别减损了 6.63% 和 39.50%。研究期间鄱阳湖区三生空间结构位序变动幅度并不活跃,2000 和 2020 年三生空间结构比分别为 34.65:1.84:63.50 和 34.75:2.81:62.44。从数值结构来看:①生产空间占比增加了 0.97%,具体表现为农业生产空间的持续收敛和工矿生产空间的总体增长,尤其在 2010—2020 年工矿生产空间占比增长了 0.97%。②城镇生活空间和农村生活空间明显增长,尤其是研究期间前者占比增加了 0.80%。③林地和潜在生态空间在波动中减损最为突出,研究期间占比分别减少 0.64% 和 0.49%,总体规模收缩 449.46 km² 和 345.76 km²。土地利用动态度阐释了三生空间结构在一定时期的突变现象。2000—2010 年生活空间动态度高达 3.35%,主要体现为该时期城镇生活空间由 351.25 km² 增长至 709.34 km²,动态度达 10.19%。工矿生产空间在 2000—2010 年和 2010—2020 年保持较高的动态增长趋势,动态度分别为 20.73% 和 20.76%(表 3)。这总体上与 21 世纪初鄱阳湖区极速的人口城镇化和工业化推动城镇人口和生产生活要素集聚增长,并由此导致住房、交通和产业用地规模迅速提升的现象保持一致^[47-48]。

3.2 三生空间分布格局转型

从图 4 来看,鄱阳湖区三生空间分布具有显著的空间动态异质性。生产空间重点布局于鄱阳湖滨及赣江、修河、信江、饶河、抚河冲刷形成的广阔平原区,空间扩张与河网密切关联,呈现出沿河以线扩面的蔓延式增长;生活空间嵌套于生产空间内部,以南昌市区为核心呈块状分散布局于鄱阳湖区,且在时序演进中进一步

向各城市建成区集聚布局;生态空间长期布局于鄱阳湖域及周边的九岭山、怀玉山和江南丘陵地区。

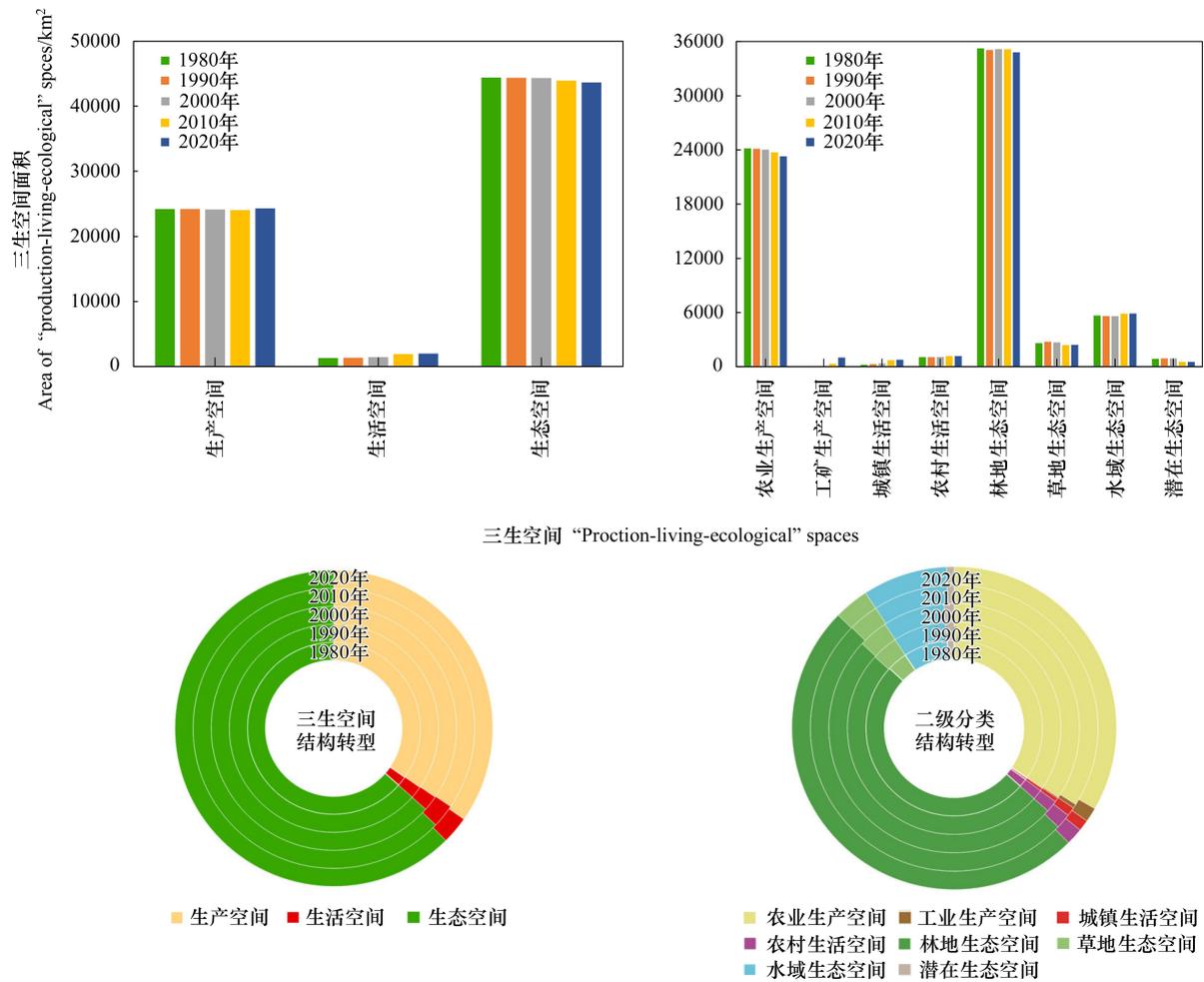


图3 鄱阳湖区三生空间面积变化(km²)和三生空间结构转型

Fig.3 The change of tertiary spatial area (km²) and the transformation of the spatial structure of production-living-ecological space in Poyang Lake region

表3 三生空间利用动态度

Table 3 Change rates of production-living-ecological space in Poyang Lake area

分类 Classification	1980—1990	1990—2000	2000—2010	2010—2020
生产空间 Production space	-0.01	-0.03	-0.03	0.09
生活空间 Living space	0.38	0.60	3.35	0.37
生态空间 Ecological space	-0.01	0.00	-0.09	-0.07
农业生产空间 Agricultural production space	-0.01	-0.04	-0.12	-0.19
工矿生产空间 Industrial and mining production space	1.52	4.21	20.73	20.76
城镇生活空间 Urban living space	2.09	2.75	10.19	1.09
农村生活空间 Rural living space	0.01	0.04	1.10	-0.07
林地生态空间 Forest ecological space	-0.05	0.03	0.00	-0.10
草地生态空间 Grassland ecological space	0.65	-0.32	-1.09	0.17
水域生态空间 Water ecological space	-0.11	-0.03	0.49	0.05
潜在生态空间 Potential ecological space	0.52	-0.04	-4.07	-0.26

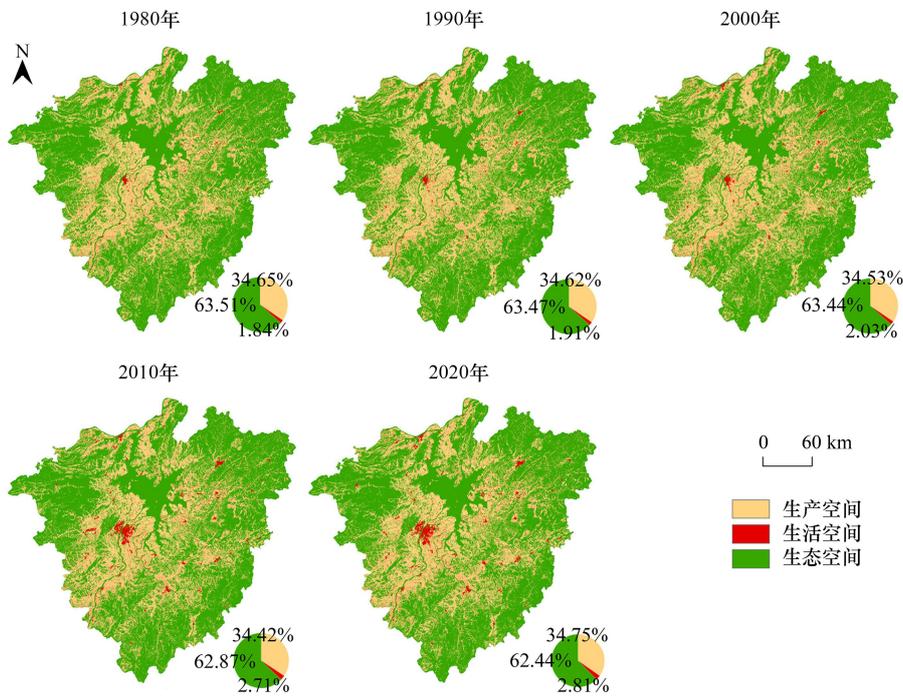


图 4 1980—2020 年鄱阳湖区三生空间格局转型

Fig.4 Transformation pattern of production-living-ecological space in Poyang Lake area

归纳县域尺度各类型三生空间分布格局的转型,发现不同类型空间的演进趋势具有显著差异(图 5)。

①59.53%的县域生产空间在近 40 年处于下降趋势,以南昌县为中心(减少 108.43 km²)呈西高东低的减损格局。除鄱阳县、余干县等外,90.48%县区的农业生产空间持续收敛,而工矿生产空间均实现增长。

②除彭泽县外,全域生活空间以不同规模实现增长,在空间上呈现以市辖区为核心的团块状增长格局,其中以南昌市市辖区最为显著(增长 120.42 km²)。城镇生活空间的增长幅度呈现以南昌县为核心由环湖区向远湖区逐渐衰减的分布格局。

③80.95%的县区生态空间呈下降趋势,生态空间的收缩幅度呈现出由环湖区向远湖区逐渐衰减的分布格局,这可能与环湖区和近湖区人口广泛集聚、湖滨平原开发容易和生产作业历史悠久等因素相关联。生态空间的减损突出表现为大量林地和草地生态空间的退化,这些林草退化县区占比分别为 78.57%和 76.19%。环湖区和近湖区的水域和潜在生态空间波动显著。其中,鄱阳县、庐山市和永修县等湖区北部县区的水域生态空间大幅增长而沼泽、滩涂等潜在生态空间大幅减少,南昌市辖区、新建区和余干县等湖区南部县区水域生态空间大幅下降而潜在生态空间多呈现出增长趋势。

3.3 三生空间功能转型

3.3.1 用地功能转型

近 40 年鄱阳湖区三生空间用地功能转型,聚焦于生产空间和生态空间的相互转换以及生产空间向生活空间的转出(图 6)。其中,生态空间的转出占地类型的总转出量的 49.91%,以生态空间向生产空间转出量最甚(占比达 45.43%),转型活跃区主要分布于东部湖滨区(图 7);生产空间向生态空间的转出量占比也高达 31.70%,转型活跃区破碎布局于西部湖滨区和河流沿岸,而生产空间向生活空间的转型活跃区聚焦于南昌市市辖区为代表的中心城区。

二级分类空间的交互转型(图 6),在一定程度上能展现三生功能的用地规模变动:①尽管退耕还林还湖政策有所成效,大量农业生产空间向林地和水域生态空间回归,但农业生产用地仍大量挤占水域和林地生态空间,对生态空间的侵损量高于转出量 157.51 km²。②社会经济生产生活需求,裹挟了大量林地生态空间和农业生产空间向工农业生产空间和城镇生活空间转型,其中林地生态空间向二者的转出规模高达 430.44 km²,

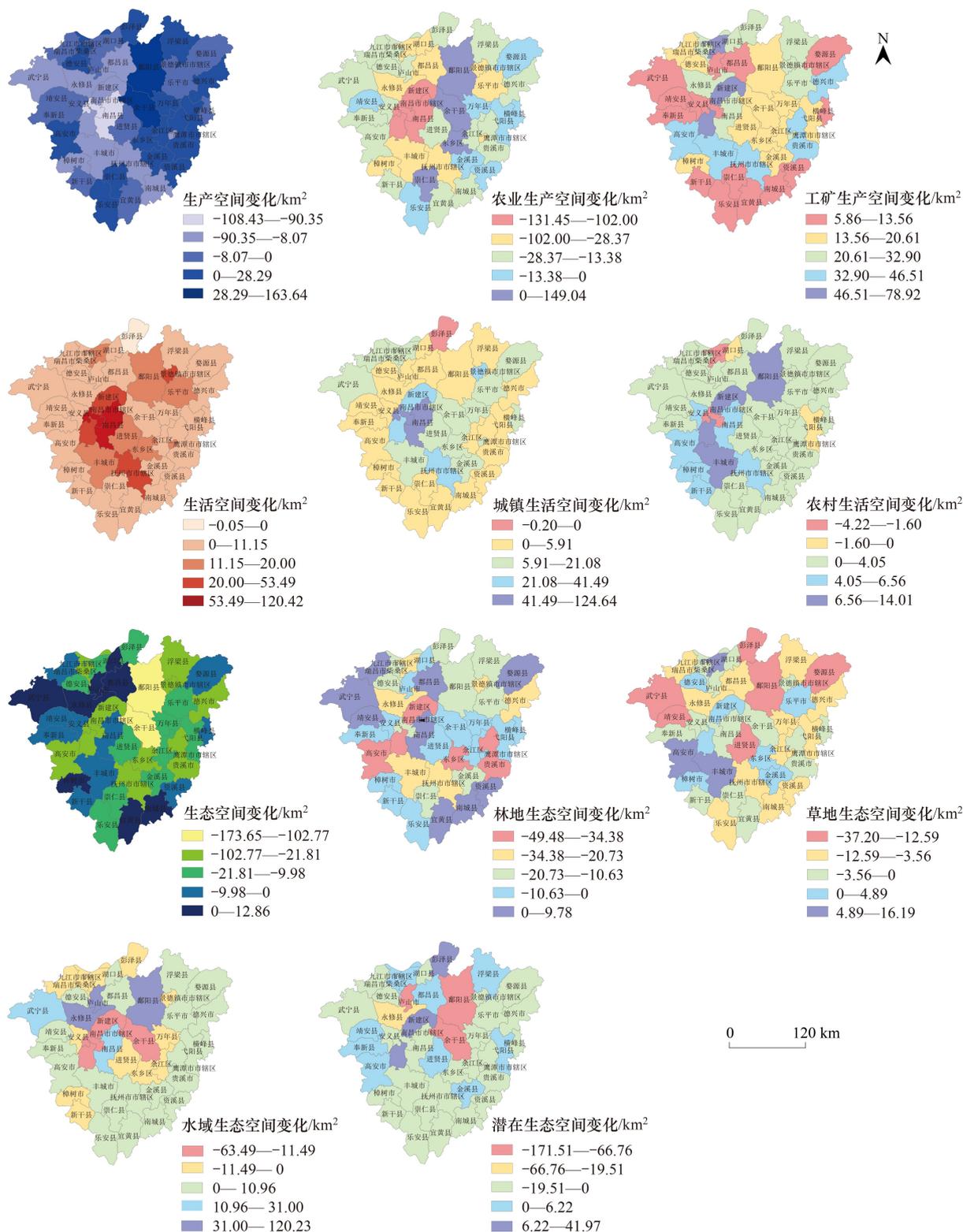


图 5 1980—2020 年鄱阳湖区三生空间转型格局

Fig.5 Transformation pattern of counties of production-living-ecological space in Poyang Lake area, 1980—2020

而农业生产空间转出规模达 943.28 km²。③人类足迹和自然因素的协同作用还加速了生态空间内部的交互转型。例如,植树造林政策推动草地生态空间向林地生态空间的转入规模达 382.62 km²,而大量滩涂、沙地、

沼泽等潜在生态空间向水域生态空间的转型规模也达 494.65 km²。

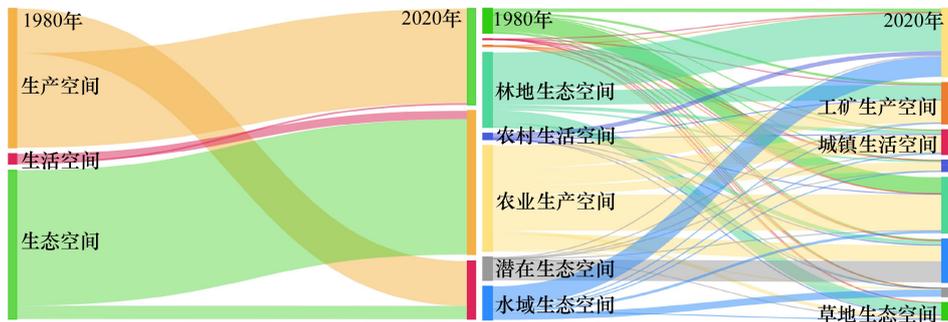


图 6 1980—2020 年鄱阳湖三生空间功能转型桑基图

Fig.6 Sankey diagram of the transformation of the functions of production-living-ecological space in Poyang Lake area, 1980—2020

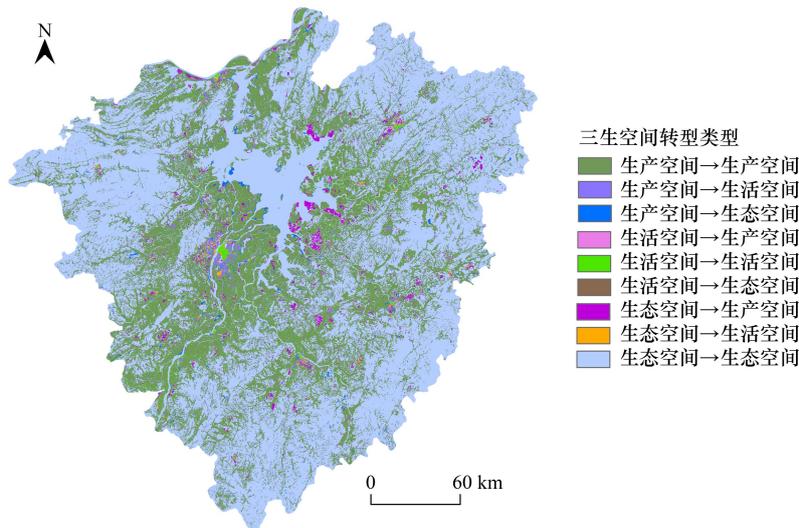


图 7 1980—2020 年鄱阳湖区三生空间转型格局

Fig.7 Space transfer matrix of production-living-ecological space in Poyang Lake area, 1980—2020

3.3.2 功能指数转型

三生空间功能指数与三生空间在地理空间布局上具有一致性,即生产和生活空间功能指数高值区主要分布于河流沿岸平原和城市建成区,而生态空间功能指数高值区则集中分布于湖域和四周丘陵地带(图 8)。从县域转型趋势来看,三生空间功能指数总体上均呈现出由环湖区向远湖区的梯度变化过程,证实了“湖泊效应”对三生空间功能的显著影响。其中,生产和生活空间功能指数呈“中间高、四周低”的分布态势,两者的高值区在时序演进中均由南昌市辖区、南昌县等地向鹰潭市市辖区、九江市市辖区等中心城区转移蔓延。这些地区生产性企业和产业园区高度集聚,同时吸纳了大量周边迁移人口,承载着湖域地区大量的生产性功能和住房、交通和公共服务等基础设施建设需求,促使城市不透水面的大幅增长。生态空间功能指数保持“中间低,四周高”的分布态势,高值区分布在武宁县、乐安县、婺源县等远湖区的山地丘陵地带。

4 三生空间格局转型的空间异质机制

三生空间格局转型“湖泊效应”在分布格局和功能指数等方面得到一定程度的证实,为构建三生空间格局转型空间异质机制分析提供了定性基础。本文从城市化、工业化和农业现代化多路径构建地理探测器揭示

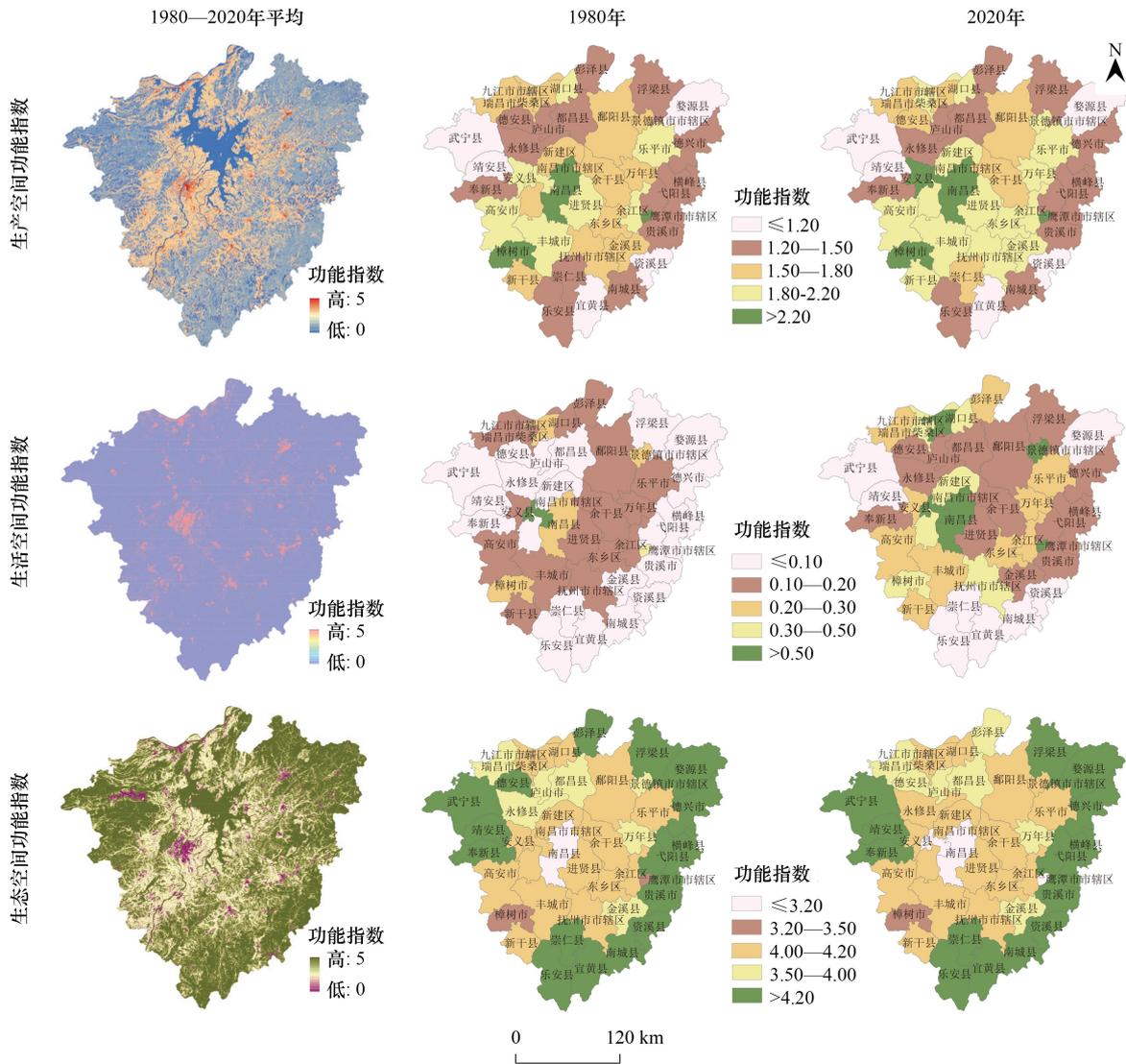


图8 1980—2020年三生空间功能动态分布格局

Fig.8 Dynamic distribution pattern of the production-living-ecological space functions in Poyang Lake area, 1980—2020

环湖区、近湖区和远湖区三生空间转型的驱动机制,各变量均通过 p 值显著性检验(图 9)。调查显示,城市化和工业化是鄱阳湖区环湖区和近湖区三生空间格局转型的关键驱动因子,而城市化和农业现代化在远湖区三生空间格局转型进程中发挥关键影响。从不同二级指标的驱动影响力来看,城市化、工业化和农业现代化从不同层面上加速了鄱阳湖环湖区、近湖区和远湖区的三生空间转型过程。

4.1 环湖区三生空间格局转型机制

城市人口集聚和经济增长是城市化影响环湖区三生空间格局转型的关键驱动因子。城市人口集聚增加了对生产和生活空间的需求,产生了更多的资源消耗需求,尤其导致了环湖区东部县区工矿和西部县区农业生产空间的极速膨胀。经济增长为城市用地扩张和产业扩散需求提供支持,同样推动了环湖区工矿生产空间的快速膨胀,通过加快生产资源消耗和山水林田湖草向城镇用地类型的转换,也产生对生态空间的胁迫效应。工业化因子主要通过企业数量和产业经济规模增长对三生空间格局转型施加影响。在江西省和环鄱阳湖城市群相关规划引导下,2000—2020年鄱阳湖区规上企业数量增长了3.54倍,其中主要集聚于南昌县、新建区、南昌市市辖区这类环湖区县区,企业外延布局和厂房建设重塑了区域景观格局,而产业规模的跃迁在现代化工业技术支持下对自然环境的改造力度持续增强,在空间上大量挤占了湖滨和河流沿岸的生态用地。农业现

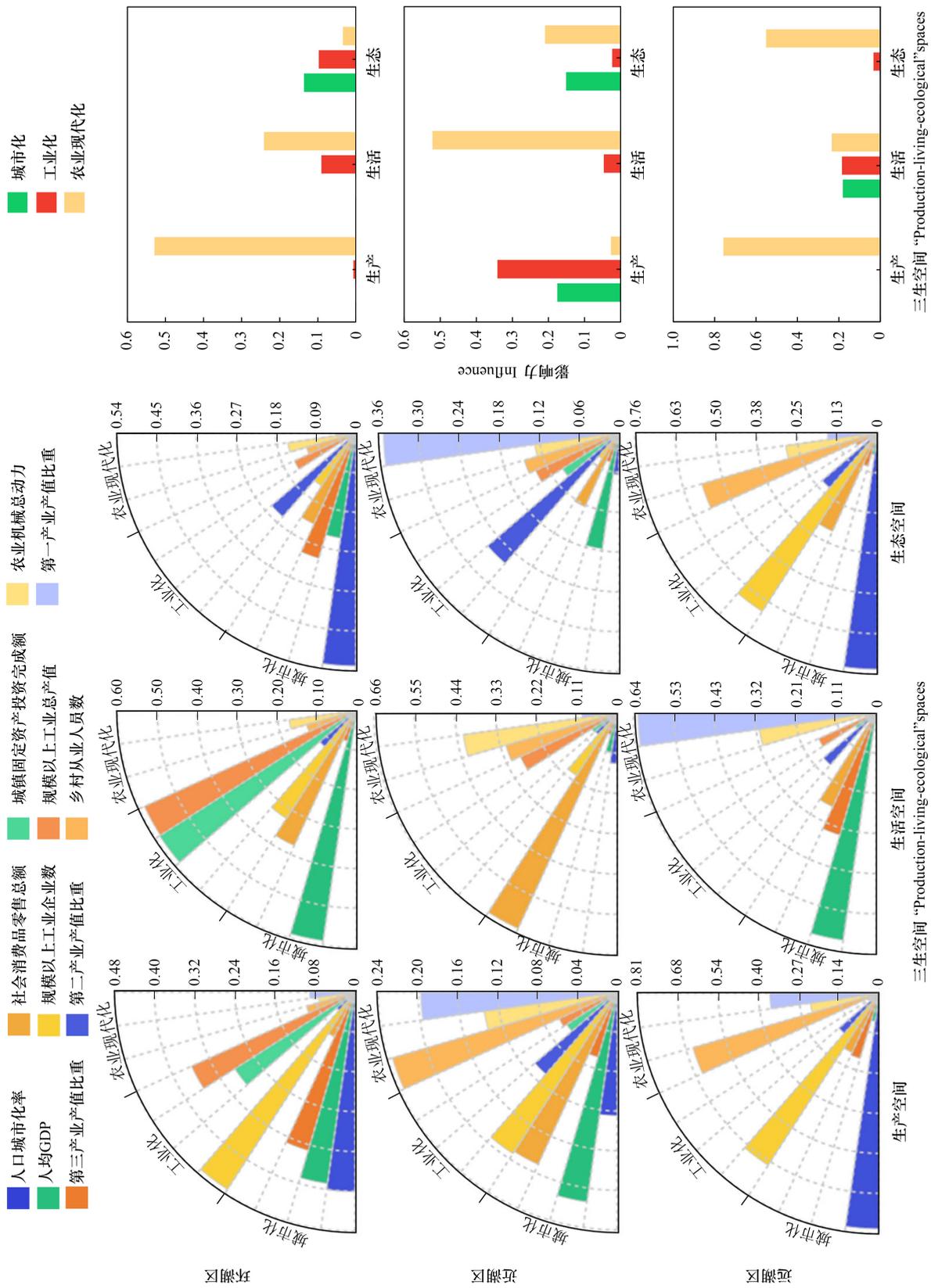


图 9 2000—2020年鄱阳湖区不同分区三生空间格局转型的驱动因子影响力

代化主要通过农业机械总动力的增长施加影响。农用机械的使用促进了农业生产效率和单产规模的扩大,使得许多环湖区东部产粮大县(如鄱阳县、余干县)更有余力契合于区域生境保护工程,“围湖造田”“毁林开荒”等粗放式生态不友好经营模式逐步被“退耕还林还湖”等生态韧性建设工程替代,推动农业生产空间向林业和水域生态空间转移。

4.2 近湖区三生空间格局转型机制

消费市场升级是城市化影响近湖区三生空间格局转型的关键影响因子,特别是产生了对生活空间格局转型的强驱动。这主要体现在消费市场升级提高了居民对地区基本公共服务水平和居住空间的要求,重塑了环湖区生活空间布局,而居民消费的提高客观上从产业链和生产资料来源两个维度对生产空间和生态空间产生影响。工业化因子同样通过企业数量和产业经济规模对近湖区三生空间格局转型施加影响。2020年,丰城市、鹰潭市市市辖区和抚州市市辖区等环湖区县区的企业数量占全域的43.61%,企业集聚和产业经济的兴起加速了工矿生产空间和城市建成区的蔓延,同时也强化了对自然资源的掠夺式开发,产生了空气污染、水质和土壤污染、绿地退化等生态功能障碍问题,影响了生产、生活和生态空间功能运行。农业现代化因子主要通过农村从业人员规模和农机使用水平施加影响。这可能是由于农业现代化促进了农业生产过程的机械化和生产技术科学化,解放了束缚于农村的大量青壮年劳动力,2000—2020年间鄱阳湖区农村就业人口减少了74.21万人,而近湖区县区减少占比51.07万人,大量劳动人口的转出推动了农村居住和农业生产空间需求的收敛,也能间接对林草生态空间产生影响。

4.3 远湖区三生空间格局转型机制

城市人口集聚和经济增长是城市化影响远湖区三生空间格局转型的关键影响因子。远湖区县区布局于鄱阳湖区东部和南部丘陵山区,拥有良好的生态基底,城市人口规模和经济增长在引起生产和生活空间扩张的同时,其附带的资源消耗和空间扩张需求对该地区生态空间的胁迫影响更加明显。工业化因子同样通过企业规模扩张对远湖区三生空间格局转型施加影响。以新干县、德兴市为代表的远湖区县区企业数量在2000—2020年增长了2.96倍,在惠及地区产业经济建设的同时,也影响了该地区生态系统服务的供需结构,故而对其原有的生态系统的稳定性和持续性构成威胁,重塑了该地区的三生空间结构和景观格局体系。农业现代化因子主要通过农村从业人员规模和农业产业规模施加影响。与环湖区和近湖区县区相比,绝大多数远湖区县区的农业从业人员规模呈上升趋势,如德兴市和婺源县在研究期间农业从业人员数分别增长了22.98%和15.63%。这导致该地区农村居住空间和农业生产空间的建设需求增加,农业垦殖作业也导致远湖区县区的草地生态空间在研究期间大幅收缩。

5 讨论与结论

5.1 讨论

在人与自然和谐共生现代化的建设目标下,优化三生空间格局是高质量国土空间开发规划的核心任务之一^[49]。作为大湖流域综合开发示范区和长江经济带重要的生态安全保障区,优化鄱阳湖区三生国土空间布局体系和协整三生功能结构是维护该地区生态系统稳定性、协调性、持续性和实现区域高质量发展的关键路径^[50]。本文在对湖域地区三生空间格局系统性分析基础上,重点展现了两点优势。一是,研究关注了三生空间在“空间结构-分布格局-空间功能”等方面的格局转型过程,相较于以往研究仅关注三生空间在某一层面的变化更具有系统性和全面性,也可以为湖域地区生态修复治理提供更具地域特色的政策启示。研究证实尽管相关生态治理和修复策略竭力阻隔了山水林田湖草生态系统的损失颓势,但鄱阳湖区生态空间在生产和生活空间挤占下持续减损,且仍有大规模的水域和林地生态空间被农业生产、工矿生产和城镇生活空间侵占,尤其是在环湖区县区这一现象更为突出。这说明湖域地区城市经济、农业产业的客观发展需求与生态保育的空间博弈长期存在,人地矛盾具有显著敏感性。更进一步,三生空间功能转型的“湖泊效应”被证实。例如,生产空间聚焦于湖滨及河流沿岸平原区,并沿河以线扩面蔓延式增长,生活空间以南昌市市辖区为核心进一步

向各城市建成区集聚布局。这可能分别与生产空间业态对水资源的高度依赖性,以及城市人口集聚由区域中心城市向外分散的布局特征相关联。这提供了一项现实价值,即加强全域国土空间规划统一管理和分类引导对于维护湖域地区国土空间开发高质量可持续发展至关重要。二是,耦合地理探测器揭示鄱阳湖区不同地带三生空间格局转型的空间异质机制,展现了近湖距离差异对三生空间格局转型驱动机制的显著影响。这较以往的全局驱动机制分析更加精细化,证实了在不同“社会-经济-自然”复合生态系统支持下三生空间格局转型机制的显著差异性,为湖域地区因地制宜的国土空间规划策略和分区治理方案提供了新的支持。

本研究表明鄱阳湖区生态空间退化趋势明显,格局转型具有显著的空间动态异质性,功能转型有明显的“湖泊效应”,且在近湖距离影响下产生了格局转型的空间异质驱动机制,这为区域国土生态治理提供了一些启示:(1)在人地协调共生理念基础上,未来鄱阳湖区应着眼于构建城市“刚性与弹性”管控边界,把城市建设与山水林田湖草系统保护紧密结合,重塑面向现代化的国土空间规划体系和“生产-生活-生态”耦合协同的生态文明新格局。(2)应统筹安排鄱阳湖区不同地域重点产业发展、城乡融合需求、土地资源配置、生态韧性建设、居民生活需要以及防灾减灾体系的差异化空间部署,协同打造“发展与保护”有机统一的湖域地区高质量发展蓝图。

5.2 结论

以鄱阳湖区为研究对象,基于1980—2020年土地覆被遥感影像提取研究区三生空间关键信息,耦合国土空间分类体系、三生功能分类赋分体系、土地利用转移矩阵和土地利用动态度,从“空间结构-分布格局-空间功能”视角调查研究区三生空间格局转型特征,并利用地理探测器量化鄱阳湖区三生空间格局转型的空间异质驱动机制。结果表明:

(1)鄱阳湖区呈现出生产和生活空间增加,生态空间减少的总体特征,三生空间结构的整体位序波动不显著,但各类型三生空间内部异动明显。

(2)鄱阳湖区三生空间格局分布具有显著的空间动态异质性,这种异质性还存续于县域尺度。三生空间用地功能转型突出表现为生产空间对生态空间的侵占和生产空间向生活空间的转出。进一步分析发现鄱阳湖区“退耕还林还湖”和“植树造林”工程卓有成效,但仍有大规模的水域和林地生态空间被农业生产、工矿和城镇建设空间侵占。此外,三生空间功能指数总体上均呈现出由环湖区向远湖区的梯度变化过程,证实了三生空间功能转型“湖泊效应”现象的存在。

(3)城市化和工业化是环湖区和近湖区三生空间格局转型的关键驱动因子,而城市化和农业现代化在远湖区三生空间格局转型进程中发挥关键影响。此外,研究还讨论了城市化、工业化和农业现代化二级指标从不同层面上对鄱阳湖环湖区、近湖区和远湖区的三生空间转型的贡献。

参考文献(References):

- [1] 傅伯杰. 我国生态系统研究的发展趋势与优先领域. 地理研究, 2010, 29(3): 383-396.
- [2] Liu Y S, Zhou Y. Reflections on China's food security and land use policy under rapid urbanization. Land Use Policy, 2021, 109: 105699.
- [3] 吴一凡, 刘彦随, 李裕瑞. 中国人口与土地城镇化时空耦合特征及驱动机制. 地理学报, 2018, 73(10): 1865-1879.
- [4] 刘彦随, 龙花楼, 李裕瑞. 全球城乡关系新认知与人文地理学研究. 地理学报, 2021, 76(12): 2869-2884.
- [5] 樊杰, 王亚飞, 梁博. 中国区域发展格局演变过程与调控. 地理学报, 2019, 74(12): 2437-2454.
- [6] 李广东, 戚伟. 中国建设用地扩张对景观格局演化的影响. 地理学报, 2019, 74(12): 2572-2591.
- [7] Peng J, Wang X Y, Liu Y X, Zhao Y, Xu Z H, Zhao M Y, Qiu S J, Wu J S. Urbanization impact on the supply-demand budget of ecosystem services: Decoupling analysis. Ecosystem Services, 2020, 44: 101139.
- [8] Fang K, Wang T T, He J J, Wang T J, Xie X D, Tang Y Q, Shen Y, Xu A Q. The distribution and drivers of PM_{2.5} in a rapidly urbanizing region: the Belt and Road Initiative in focus. Science of the Total Environment, 2020, 716: 137010.
- [9] 黄金川, 林浩曦, 漆潇潇. 面向国土空间优化的三生空间研究进展. 地理科学进展, 2017, 36(3): 378-391.
- [10] 江东, 林刚, 付晶莹. “三生空间”统筹的科学基础与优化途径探析. 自然资源学报, 2021, 36(5): 1085-1101.
- [11] 黄贤金, 张秀英, 卢学鹤, 王佩玉, 秦佳遥, 蒋昀辰, 刘泽森, 汪振, 朱阿兴. 面向碳中和的中国低碳国土开发利用. 自然资源学报, 2021, 36(12): 2995-3006.
- [12] 欧阳晓, 王坤, 魏晓. 城乡建设用地关联对生态系统服务的影响——以洞庭湖地区为例. 生态学报, 2022, 42(21): 8713-8722.

- [13] 樊杰, 周侃, 陈东. 生态文明建设中优化国土空间开发格局的经济地理学研究创新与应用实践. 经济地理, 2013, 33(1): 1-8.
- [14] 陆大道, 刘彦随, 方创琳, 陈明星, 王姣娥, 席建超. 人文与经济地理学的发展和展望. 地理学报, 2020, 75(12): 2570-2592.
- [15] 凌子燕, 李延顺, 蒋卫国, 廖超明, 凌玉荣. 山江海交错带城市群国土三生空间动态变化特征——以广西北部湾城市群为例. 经济地理, 2022, 42(2): 18-24.
- [16] Jiang X T, Zhai S Y, Liu H, Chen J, Zhu Y Y, Wang Z. Multi-scenario simulation of production-living-ecological space and ecological effects based on shared socioeconomic pathways in Zhengzhou, China. Ecological Indicators, 2022, 137: 108750.
- [17] Wang A Y, Liao X Y, Tong Z J, Du W L, Zhang J Q, Liu X P, Liu M S. Spatial-temporal dynamic evaluation of the ecosystem service value from the perspective of “production-living-ecological” spaces: a case study in Dongliao River Basin, China. Journal of Cleaner Production, 2022, 333: 130218.
- [18] Fu J Y, Bu Z Q, Jiang D, Lin G, Li X. Sustainable land use diagnosis based on the perspective of production-living-ecological spaces in China, Land Use Policy, 2022, 122: 106386.
- [19] 董建红, 张志斌, 笕晓军, 张文斌, 冯雪丽. “三生”空间视角下土地利用转型的生态环境效应及驱动力——以甘肃省为例. 生态学报, 2021, 41(15): 5919-5928.
- [20] 黄天能, 张云兰. 基于“三生空间”的土地利用功能演变及生态环境响应——以桂西资源富集区为例. 生态学报, 2021, 41(1): 348-359.
- [21] 高星, 刘泽伟, 李晨曦, 查理思, 宋昭颖, 张学儒. 基于“三生空间”的雄安新区土地利用功能转型与生态环境效应研究. 生态学报, 2020, 40(20): 7113-7122.
- [22] 李欣, 方斌, 殷如梦, 荣慧芳. 江苏省县域“三生”功能时空变化及协同/权衡关系. 自然资源学报, 2019, 34(11): 2363-2377.
- [23] 崔家兴, 顾江, 孙建伟, 罗静. 湖北省三生空间格局演化特征分析. 中国土地科学, 2018, 32(8): 67-73.
- [24] 刘继来, 刘彦随, 李裕瑞. 中国“三生空间”分类评价与时空格局分析. 地理学报, 2017, 72(7): 1290-1304.
- [25] 刘鹏飞, 孙斌栋. 中国城市生产、生活、生态空间质量水平格局与相关因素分析. 地理研究, 2020, 39(1): 13-24.
- [26] 张振龙, 侯珍珍, 孙鸿鹄, 郭松. 乡镇街道尺度国土“三生”空间功能评价及协调关系. 自然资源学报, 2022, 37(11): 2898-2914.
- [27] 董建红, 张志斌, 刘奔腾, 张新红. “三生”空间视角下西北地区生态环境质量分异机制的地理探测. 干旱区地理, 2023, 46(4): 515-526.
- [28] 金贵, 郭柏枢, 成金华, 邓祥征, 吴锋. 基于资源效率的国土空间布局及支撑体系框架. 地理学报, 2022, 77(3): 534-546.
- [29] 唐常春, 李亚平, 杜也, 孙威. 1980—2018年粤港澳大湾区国土空间结构演变. 地理研究, 2021, 40(4): 928-944.
- [30] 刘耀彬, 邱浩, 戴璐. 生态安全约束下城市群空间网络结构动态演变及关联特征分析——以环鄱阳湖城市群为例. 华中师范大学学报: 自然科学版, 2020, 54(4): 522-535.
- [31] 赵志刚, 余德, 韩成云, 王凯荣. 鄱阳湖生态经济区生态系统服务价值预测与驱动力. 生态学报, 2017, 37(24): 8411-8421.
- [32] 龙花楼, 陈坤秋. 基于土地系统科学的土地利用转型与城乡融合发展. 地理学报, 2021, 76(2): 295-309.
- [33] 金贵, 邓祥征, 张倩, 王占岐, 李兆华. 武汉城市圈国土空间综合功能分区. 地理研究, 2017, 36(3): 541-552.
- [34] 张海铃, 叶长盛, 胡梦珊. 基于生态安全格局的环鄱阳湖城市群生态修复关键区域识别及修复策略. 水土保持研究, 2023, 30(2): 393-402.
- [35] 李硕硕, 刘耀彬, 骆康. 环鄱阳湖县域新型城镇化对碳排放强度的空间溢出效应. 资源科学, 2022, 44(7): 1449-1462.
- [36] 杨帆, 熊素文, 雷婷, 赵子羽, 刘传虎. 城镇化进程中洞庭湖区“三生空间”格局演变与驱动机制. 生态学报, 2022, 42(17): 7043-7055.
- [37] 刘耀彬, 戴璐, 董玥莹. 环鄱阳湖区分区土地利用景观格局变化模拟研究. 长江流域资源与环境, 2015, 24(10): 1762-1770.
- [38] 张雄, 王芳, 张俊峰, 梁睿, 鞠登平. 长江中游城市群三生功能的空间关联性. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(11): 110-122.
- [39] 逯承鹏, 纪薇, 刘志良, 毛锦凰, 李京忠, 薛冰. 黄河流域甘肃段县域“三生”功能空间时空格局及影响因素识别. 地理科学, 2022, 42(4): 579-588.
- [40] 朱琳, 程久苗, 金晶, 费罗成, 程建. “三生”用地结构的时空格局及影响因素研究——基于284个城市面板数据. 中国农业资源与区划, 2018, 39(8): 105-115.
- [41] 王柱莲, 王平, 支林蛟. 环滇池地区2000—2020年“三生”空间格局演变及其驱动力. 水土保持通报, 2021, 41(6): 265-273, 281.
- [42] 焦庚英, 杨效忠, 黄志强, 张潇, 陆林. 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. 自然资源学报, 2021, 36(5): 1252-1267.
- [43] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 曹淑艳, 肖玉. 生态系统服务的供给、消费和价值化. 资源科学, 2008, 30(1): 93-99.
- [44] 李广东, 方创琳. 城市生态—生产—生活空间功能定量识别与分析. 地理学报, 2016, 71(1): 49-65.
- [45] 周浩, 金平, 夏卫生. 省级国土空间“三生”功能评价及其分区研究——以河南省为例. 中国土地科学, 2020, 34(8): 10-17.
- [46] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望. 地理学报, 2017, 72(1): 116-134.
- [47] 刘婷婷, 杨晓霞, 叶许春, 吴娟, 刘佳. 人类活动对2000—2020年鄱阳湖流域陆地植被覆盖变化的影响. 水土保持通报, 2022, 42(4): 320-329.
- [48] 刘润, 张杰, 蔡思怡, 余意峰, 毛怡. 长江中游城市群新型城镇化与城市居民生活质量耦合协调关系研究. 长江流域资源与环境, 2023, 32(7): 1349-1364.
- [49] 赵荣钦, 黄贤金, 郟文聚, 吴克宁, 陈银蓉, 王少剑, 卢鹤立, 方恺, 李宇. 碳达峰碳中和目标下自然资源管理领域的关键问题. 自然资源学报, 2022, 37(5): 1123-1136.
- [50] 扈万泰, 王力国, 舒沐晖. 城乡规划编制中的“三生空间”划定思考. 城市规划, 2016, 40(5): 21-26, 53.