

碳中和目标下湖南省“三生”空间 碳排放系数测度与战略模拟

黄淼^{1,2}, 文宁^{1,2}, 李亚涛^{1,2}, 罗治勇^{1,2}, 刘华平^{1,2}, 曾勤^{1,2}

(1.湖南省国土资源规划院, 湖南长沙 410007; 2.国土资源评价与利用湖南省重点实验室, 湖南长沙 410007)

摘要: [目的] 在碳中和目标下, 探究湖南省“三生”功能时空演变及其未来碳排放分布格局, 为全国各省降碳减排提供决策参考。[方法] 基于“三生”功能评价模型、“三生”空间碳排放系数测度模型, 结合区域“三生”功能的各类数据和时空分异规律, 探究湖南省“三生”功能与碳排放量时空关系及其未来碳排放分布格局规划战略。[结果] ①2000—2020年湖南省县域“三生”空间时空分异特征明显, 生态功能空间呈现“西强东弱”格局, 时间上呈先降后升的趋势, 而生产功能和生活功能总体变化不大。②2000—2020年湖南省县域碳排放整体上差距不大, 而在局部地区较为集聚, 且差距在不断扩大。③2000—2020年湖南省“三生”功能与碳排放关联时空关联总体较强, 不同空间类型影响程度存在差异性。④综合考虑2035年湖南省国土空间总体格局规划, 2035年湖南省的“三生”空间碳排放系数分布可优化为6个组合类型。[结论] 湖南省各县域“三生”空间碳排放系数分布格局受自然禀赋和经济发展影响较大, 需在主体功能区战略的基础上, 加强区域协同, 细化县域“三生”空间管控, 以提前实现碳中和目标。

关键词: 碳中和; “三生”空间; 国土空间规划; 主体功能区; 碳排放

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2024)05-0382-10

中图分类号: F301.2, X826

文献参数: 黄淼, 文宁, 李亚涛, 等. 碳中和目标下湖南省“三生”空间碳排放系数测度与战略模拟[J]. 水土保持通报, 2024, 44(5): 382-391. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.20240729.001; Huang Miao, Wen Ning, Li Yatao, et al. Productional-living-ecological space carbon emissions analysis and strategic simulation in Hunan Province under target of carbon neutrality [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2024, 44(5): 382-391.

Productional-Living-Ecological Space Carbon Emissions Analysis and Strategic Simulation in Hunan Province Under Target of Carbon Neutrality

Huang Miao^{1,2}, Wen Ning^{1,2}, Li Yatao^{1,2}, Luo Zhiyong^{1,2}, Liu Huaping, Zeng Qin^{1,2}

(1. Hunan Planning Institute of Land and Resources, Changsha, Hunan 410007, China;

2. Hunan Key Laboratory of Land Resources Evaluation and Utilization, Changsha, Hunan 410007, China)

Abstract: [Objective] Under the goal of carbon neutrality, we explore the spatial and temporal evolution of the function of productional-living-ecological (P-L-E) in Hunan Province and its distribution pattern of carbon emissions in the future in order to provide strategy-making references for carbon emission reduction in all provinces of the country. [Methods] Based on the P-L-E function evaluation prediction and productional-living-ecological carbon emission distribution measurement models, combined with various data on the regional P-L-E function and the spatial-temporal differentiation law, this study explored the spatial-temporal relationship between the function of P-L-E and the carbon emissions in Hunan Province and the planning strategy of the distribution pattern of carbon emissions in the future. [Results] ① From 2000 to 2020, the spatial and temporal differentiation of P-L-E in counties of Hunan Province was obvious, and the spatial pattern of the ecological function was strong and weak in the west and east, respectively which showed a trend of first decreasing and then increasing, while the production and life functions overall did not change

收稿日期: 2024-04-19

修回日期: 2024-06-07

资助项目: 湖南省重点领域研发计划项目“智慧湖南国土空间规划关键技术研究示范”(2019SK2101); 湖南省自然科学基金“国土空间详细规划碳排放测算与管控研究”(2024JJ8370); 湖南省自然科学基金“基于‘双碳’的城市更新片区详细规划技术与机制响应研究”(2023JJ60571)。

第一作者: 黄淼(1987—), 男(汉族), 湖南省长沙市人, 硕士, 工程师主要从事国土空间规划及土地工程。Email: hm20209087@163.com。

通信作者: 文宁(1975—), 男(汉族), 湖南省株洲市人, 硕士, 教授级高级工程师, 主要从事国土空间规划方面的研究。Email: 461878021@qq.com。

much from 2000 to 2020. ② The county-level carbon emissions in Hunan Province as a whole were not far apart but were concentrated in some areas, and the gap was widening. ③ The spatial-temporal correlation between the P-E-L function and carbon emissions was strong, and the influence degree of different spatial types was different. ④ Considering the general layout of land and space of Hunan Province in 2035, the coefficient of ‘P-E-L’ carbon emissions distribution could be optimised to six combination types in 2035. [Conclusion] Natural endowment and economic development exert a considerable influence on the distribution pattern of ‘P-E-L’ carbon emissions coefficient in counties of Hunan Province. Moreover, regional synergy should be strengthened on the basis of the strategy of main functional zones and refinement control of the county-level P-E-L to achieve the target of carbon neutrality ahead of time.

Keywords: carbon neutrality; productional-living-ecological space; territorial space planning; main function area; carbon emissions

2016年以来,多个领域学者对碳中和的研究主要集中在碳收支核算、碳收支与土地利用结构的关系、碳平衡、碳补偿、碳排放的时空耦合、时空分异等方面^[1-3]。在进入国土空间规划时期后,有学者开始研究“双评价”体系、“三生”空间体系^[4-5]等与国土空间功能区划的关系。近几年,在“双碳理论”的催化下,学者们在结合碳中和计算方法的前提下,对主体功能区划的理论进行有效的创新,提升了主体功能区战略的可操作性。然而,如何将碳中和要素有效融合到区域国土空间战略规划中并进行有效的传导,并不能简单地依靠主体功能区这个宏观的国土空间功能区划,因此,基于碳中和视角的“三生”空间研究逐渐增加。

传统“三生”空间的主流划定模式是构建“三生”空间分类与评价体系后划定土地功能分区^[6-8],之后地理类的概念逐渐被引入“三生”空间研究体系中^[9-11],分别在生产、生活和生态等3类空间中进行演示和分析,所得出的结论可以从数据精确尺度上分为两类:即土地利用数据类和面板数据类^[12-16]。新时期国土空间规划提出将“生态、生产、生活”三生功能理论引入国土空间综合分区^[17-20],核心在于对国土空间的“三生”功能中的主要功能进行识别^[21-23],之后将识别结论作为“三生”空间的分类主要依据^[24-26]。因此,碳中和战略要在国土空间规划落地,就应当探索如何将碳排放要素融入到“三生”空间的“三生”功能中。本文创造性提出了“三生”功能评价模型、“三生”空间碳排放系数测度模型,将区域“三生”功能的各类数据与时空分异规律有机融合,结合国土空间规划格局,将碳中和战略实体化为一种空间规划战略,形成富有降碳减排指导意义的“三生”空间碳排放系数规划战略,为全国各省降碳减排提供决策参考。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

湖南省位于长江经济带和中国南岭山地森林重

点生态功能区,其生态战略位置对于全国生态体系功能稳定具有重要意义。该省辖14个地级市(州),共有122个县级区划。2021年,该省常住人口为 6.62×10^7 人,地区生产总值 4.57×10^{12} 元,人均地区生产总值约 6.90×10^4 元。

1.2 数据来源

本研究引用的数据主要包括湖南省能源消耗、经济发展、居民生活、农业生产、城市建设和规划数据。湖南省能源消耗数据来源于湖南省各县(市、区)2000—2020年的《中国能源统计年鉴》,经济发展、居民生活、农业生产数据来源于2000—2020年的《湖南省统计年鉴》,城市建设数据来源于2000—2020年的《中国县城建设统计年鉴》,规划数据来源于《湖南省国土空间总体规划(2021—2035年)》(公众版)。

2 研究理论与方法

2.1 空间自相关分析

本文运用全局莫兰指数与局部莫兰指数对湖南省“三生”功能以及碳排放空间格局进行研究。

2.1.1 全局莫兰指数 全局莫兰指数可度量“三生”空间要素之间的空间关联与空间差异程度,取值区间处于 $[-1, 1]$,全局莫兰指数大于0,表示数据存在空间正相关,其值趋向于1时,表示县域“三生”功能相关性越明显,即三生空间的县域单元呈现空间集聚分布;全局莫兰指数小于0,表示县域“三生”功能与周围县域存在显著差异,其值越趋近于-1,即表示县域“三生”功能在空间上存在差异越大;全局莫兰指数等于0则表示不存在空间关联性,公式为:

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

2.1.2 冷热点分析 冷热点分析能反映空间数据统计意义上显著的高值和低值集聚,利用软件计算Getis-Ord G_i^* 指数,以Z值得分和P值检验作为冷

热点类型识别的依据。参照以往经验,用最佳自然断裂法对每个年份的 G_i^* 统计量从高到低分成 5 类,即 H-H, H-L, L-H, L-L 和不显著 5 种情况。

$$G_i^*(d) = \sum_{i=1}^m W_{ip}(d) x_p / \sum_{i=1}^n x_i \quad (2)$$

式中: $G_i^*(d)$ 为冷热点指数大小; x_i 和 x_p 分别为县域 i 和 p 的热度指数; W_{ip} 为空间权重矩阵。

2.2 “三生”功能评价模型

结合自然资源部发布的《县级国土空间总体规划编制指南》,划定“三生”空间实际上是对国土空间的整体区划,分析应充分考虑生态环境保护、社会经济布局、人口分布、国土利用等因素,当出现多重使用功

能时,应突出主导功能的规划分区类型。

“三生”功能评价体系是综合生产功能、生态功能和生活功能 3 个方面的集成评价体系,生产功能评价指标主要包括耕地规模全省比例、粮食产量承载全省比例、第一产业增加值比重、人均 GDP、第二三产业增加值比重、固定投资总额;生态功能评价指标主要包括化肥投入强度、生态用地地位、生态用地面积、森林覆盖率、水网密度、碳排放强度、碳吸收强度等;生活功能评价指标主要包括社会消费品零售总额、城乡收入平衡指数、农村从业人口密度、人口聚集度、人口城镇化率、人均建设用地面积等(表 1)。

表 1 湖南省县域“三生”功能评价指标体系

Table 1 Evaluation index system of production-living-ecological function in counties of Hunan Province

一级指标	二级指标	三级指标	指标属性	综合权重
生产功能	农业生产功能	耕地规模全省占比/%	+	0.159
		粮食产量承载全省比例/%	+	0.113
		第一产业增加值比重/%	+	0.128
	经济发展功能	人均 GDP/(10^8 元/人)	+	0.244
		第二、三产业增加值比重/%	+	0.272
		固定投资总额/ 10^8 元	+	0.084
生态功能	环境净化功能	化肥投入强度/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	-	0.073
		生态用地地位/%	+	0.112
		生态用地面积/($\text{m}^2/\text{人}$)	+	0.223
	生态维持功能	森林覆盖率/%	+	0.169
		水网密度/%	+	0.114
		碳排放效率	碳排放强度/($10^4 \text{ t}/\text{hm}^2$)	-
		碳吸收强度/($10^4 \text{ t}/\text{hm}^2$)	+	0.155
生活功能	社会保障功能	人均社会消费品零售总额/(10^8 元/ 10^4 人)	+	0.151
		城乡收入平衡指数/%	+	0.189
		农村从业人口密度/(人/ hm^2)	+	0.166
		人口聚集度/(人/ hm^2)	+	0.171
	居住承载功能	人均建设用地面积/($\text{m}^2/\text{人}$)	+	0.168
		人口城镇化率/%	+	0.155

由于各个评价指标的量纲存在差异,需要对其进行标准化处理,标准化处理采用极值法。其中,正向指标:指标值越大对整体评价越有利,负向指标:指标值越小对整体评价越有利。

正向指标:

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{i,\min}}{X_{i,\max} - X_{i,\min}} \quad (i=1,2,3\cdots) \quad (3)$$

负向指标:

$$Z_{ij} = \frac{X_{i,\max} - X_{ij}}{X_{i,\max} - X_{i,\min}} \quad (i=1,2,3\cdots) \quad (4)$$

为了评价结果更客观,减少主观因素对指标影响,采用熵权法确定各项指标权重,熵权法具体流程

如下:

(1) 某一指标的比重(H_{ij})。

$$H_{ij} = Z_{ij} / \sum_{i=1}^m Z_{ij} \quad (i=1,2,3\cdots m) \quad (5)$$

式中: H_{ij} 表示第 i 个年份第 j 项指比重值; Z_{ij} 表示各项指标标准化值; n 表示指标个数, $j=1,2\cdots n$ 。

(2) 某一指标的熵值(S_j)。

$$S_j = -k \sum_{i=1}^n H_{ij} \ln H_{ij} \quad (k>0) \quad (6)$$

(3) 某一指标的权重(W_j)。

$$W_j = (1 - S_j) / \sum_{j=1}^n S_j \quad (n=1,2,3\cdots) \quad (7)$$

式中: S_j 表示指标熵值。

(4) “三生”功能评价模型。

$$X_i = \sum_{j=1}^m (W_j \cdot z_{ij}) \quad (n=1,2,3\cdots) \quad (8)$$

式中: X_i 表示“三生”功能值; Z_{ij} 表示各个指标的标准化值。

2.3 地理加权回归模型

地理加权回归(GWR)是建立在“临近相关”假设前提下的一种有效探测空间连续异质性方法,适用于大型空间数据集,能反映研究区整体情况,兼顾研究对象的局部空间特征,能准确地反映变量间的空间关系。计算公式为:

$$V_i = \alpha_0(X_i, Y_i) + \sum_{j=1}^k x_j(X_i, Y_i)x_{ij} + \epsilon_i \quad (9)$$

式中: V_i 表示碳排放量; α_0 是回归常数; n 为县域单元数; X_i 表示第 i 个样本的“三生”功能值, X_{ij} 表示第 i 个样本的第 j 个“三生”功能系数, (X_j, Y_i) 表示第 i 个县域的地理位置坐标(作为地理加权); $\alpha_0(X_i, Y_i)$ 表示第 i 个县域上的第 j 个回归系数,是地理位置函数; ϵ_i 是随机误差。

2.4 “三生”空间碳排放系数测度模型

测算未来某个时期的“三生”空间碳排放系数空间分布,需要分别掌握以往碳排放、三生空间分布的时空分异规律,利用三生功能值、碳排放与“三生”空间回归系数的计算结果,计算公式为:

$$T_C = X_B + \frac{(T-B)}{(T-A)} \times (X_B - X_A) \times \sqrt{\frac{(t_1)^2 + (t_2)^2 + (t_3)^2}{3}} \quad (10)$$

式中: C 为未来某个年份; A, B 表示以往年份(设定 $C > B > A$); T_C 为未来年份 C 某个县域单元“三生”

空间碳排放系数测度值; X_a, X_b 分别表示年份 A, B 期间三生功能值; t_1, t_2, t_3 分别表示年份 A, B 期间生态空间、生产空间和生活空间与碳排放地理加权回归系数平均值。

3 结果与分析

3.1 “三生”功能时空演化特征

根据“三生”功能评价模型计算得到 2000—2020 年湖南省县域“三生”功能值,总体呈现以武陵山和雪峰山为轴线分布的西部和中部低、东部高的空间格局特征(图 1)。2000 年,处于低值和较低值区的县域数量较多,占总体的 76.83%,主要分布在湘西州、张家界的山区丘陵地区,这些地区受地形地貌影响,生态功能强,而生产、生活功能较弱。中高值区主要以块状分布在湘北、湘中地区,这些区域位于广阔的洞庭湖盆地,地势平坦开阔,为农产品主产区,人居环境良好,因此该区域的生产生活功能值较高。2010 年,湘江流域附近的县域“三生”功能区域分异显著,低值区县域数量下降,中值区县域数量显著提升,主要位于常德、沅江、湘阴、望城、宁乡和湘乡等市县,而较高值区域为长沙市和湘潭市的部分区县。2020 年,“三生”功能值相较 2010 年变化不明显,其中低值区县域数量下降,较高值区和高值区提升,分布范围以长株潭城市群为核心向外扩散。衡阳市和益阳市跃升为高值区,原因是湖南省“环长株潭城市群”区域发展战略,长株潭城市群为中心的经济圈带动了周边的社会经济发展,相应提升了人民生活水平也,使得“环长株潭城市群”区域的生产功能和生活功能大幅度提升。

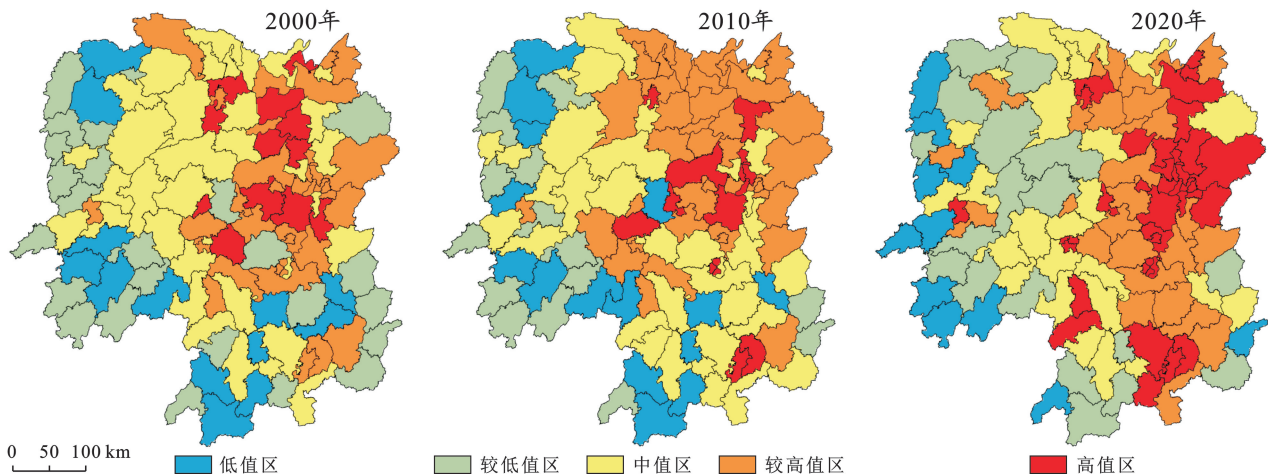


图 1 2000—2020 年湖南省县域“三生”功能值的时空差异

Fig.1 Spatial and temporal evolution of production-living-ecological function values in counties of Hunan Province from 2000 to 2020

2000—2020 年,湖南省存在“三生”功能高值与高值聚集、低值与低值聚集的空间聚类现象。县域

“三生”功能中,生活功能的全局莫兰指数最高(表 2),生产功能的全局莫兰指数呈现缓慢上升趋势。

势,生态功能的基本呈现先缓慢下降的趋势。在城镇化快速发展的前期阶段,湖南省县域生产功能和生活功能的空间聚集程度均有所提高,自相关程度在不断加强,生态的功能空间的迅速扩张受到挤压;当城镇化快速发展的中后期阶段,社会进入缓慢发展时期,生产功能和生活功能集聚程度稍明显,而生态空间集聚减弱,自相关程度削弱,说明生产、生活功能的聚集程度有所下降,相邻区域生产、生活功能趋同性正在减弱。

表 2 2000—2020 年湖南省“三生”功能全局莫兰指数

Table 2 Global Moran's *I* index of production-living-ecological functions in Hunan Province from 2000 to 2020

功能分区	全局莫兰指数			
	2000 年	2010 年	2020 年	
“三生” 功能	生态功能	0.47	0.43	0.30
	生产功能	0.28	0.30	0.33
	生活功能	0.33	0.42	0.46

3.2 “三生”功能时空分异特征

从时间维度来看,2000 年以前,湖南省生态功能呈现“西强东弱”的格局,西部地区较强的生态功能依赖于湘西、湘东南、湘南地区的较高森林覆盖率(图 2)。2000—2010 年生态功能值有下降趋势,随着城镇化的快速推进,各市县大拆大建,生产空间和生活空间不断挤占生态用地,生态系统的生态功能遭到侵害,造成生态功能下降。2020 年前后,在国家“生态文明战略”的指导下,湖南省先后实施长江经济带生态修复工程、“山水工程”和矿山生态修复等一系列生态工程,生态功能恢复到 2000 年水平。

2000—2020 年期间,湖南省生产功能一直呈现“东强西弱”的格局,随着社会经济结构在不断调整优化,这种格局不断加深,这是因为湖南省的工业生产区主要分布于长株潭地区和京港澳高速重点发展轴带沿线地区。近年来,在产业转型的催化下,湖南省产业结构优化效果显著,西部生产功能低值区不断向中值区、高值区升级,位于生产功能中值区县域面积持续扩大。总体来看,湖南省多数县域处在生产功能中低值区面积最大,高值区面积最小。

2000—2020 年期间,湖南省的生活功能的与其生产功能高度相关。随着生产经济不断发展,湖南省人民的物质生活水平不断提升,基础服务设施建设越来越完善,交通发展便利,生活功能水平快速提升。全省西部生活功能低值区面积不断缩小,不断向生活功能高值区的东部靠拢,全省生活功能持续提升。

3.3 “三生”功能与碳排放关联时空演变特征

3.3.1 湖南省三生功能与碳排放量冷热点分析 利用 2000,2010,2020 年 3 个时间节点的研究要素间的

关联系数值,按照相同间隔划分为热点区(H-H),次热点区(H-L),次冷点区(L-H),冷点区(L-L)和不显著 5 个等级,得到湖南省县域碳排放的空间格局热点演化图(图 3)。相比于全局空间自相关分析,热点分析对于“三生”空间碳排放的集聚状态反映得更加明显。

从整体上来看,2000—2010 年湖南省县域“三生”空间碳排放的冷热点格局在中的生态空间和生活空间中相对稳定,而在生产空间中转化较为明显。生态空间碳排放量的热点集中在西部怀化地区,生活空间碳排放量的热点集中在长株潭、衡阳、郴州地区,冷点往湘南地区扩张。而生产空间碳排放量热点往长株潭地区收缩,次热点区由 3 个减少至 1 个,冷点区由的 1 个往西部扩张至 15 个,次冷点区由 2 个变为无,冷点区则与生活空间格局相似,热点聚集于地区和京港澳高速重点发展轴带沿线地区,冷点往湘南地区扩张。而从 2000 年到 2010 年,生产空间碳排放量热点往长株潭地区收缩,次热点由 3 个减少至 1 个,冷点区由的 1 个往西部扩张至 15 个,次冷点区由 2 个变为无,热点和次热点变化较小,与生活空间格局相似,聚集于长株潭地区,与这些地区近年来三生空间碳排放量的增加或减小有关。2010 年到 2020 年,生产空间碳排放量热点变化不大。从 2000—2020 年的碳排放量冷热点格局变化来看,这也表明了湖南省县域碳排放整体上差距变化不大,而在局部地区较为集聚,且差距在不断扩大。

3.3.2 湖南省三生功能与碳排放量 GWR 模型拟合分析 为分析湖南省县域“三生”功能与碳排放空间的关联程度,对湖南省 122 个县区“三生”空间与碳排放进行地理加权回归分析。为避免时间截面上数据的误差,将 3 期研究节点的生态功能、生产功能、生活功能和碳排放量等指标求取平均值后,再分别进行空间回归分析,得到湖南省县域“三生”空间与碳排放量关联的空间回归系数分布图(图 4)。

对“三生”功能与碳排放的空间关系进行探测,从观测所得 V 值中减去拟合 V 值计算残差值,对残差进行标准化,标准残差值越接近 0,表明 GWR 模型预测值与实际值越接近,表明目标变量之间的回归关系越显著。GWR 模型拟合出“三生”空间的结果均有 4 种区间,为进一步探究碳排放与“三生”功能的空间回归关系类型,进一步计算“三生”功能与碳排放量间的回归系数,数值为正,说明“三生”功能与碳排放量为正相关,反之为负相关;数值越接近 0,说明影响越弱,反之越强(见图 4)。

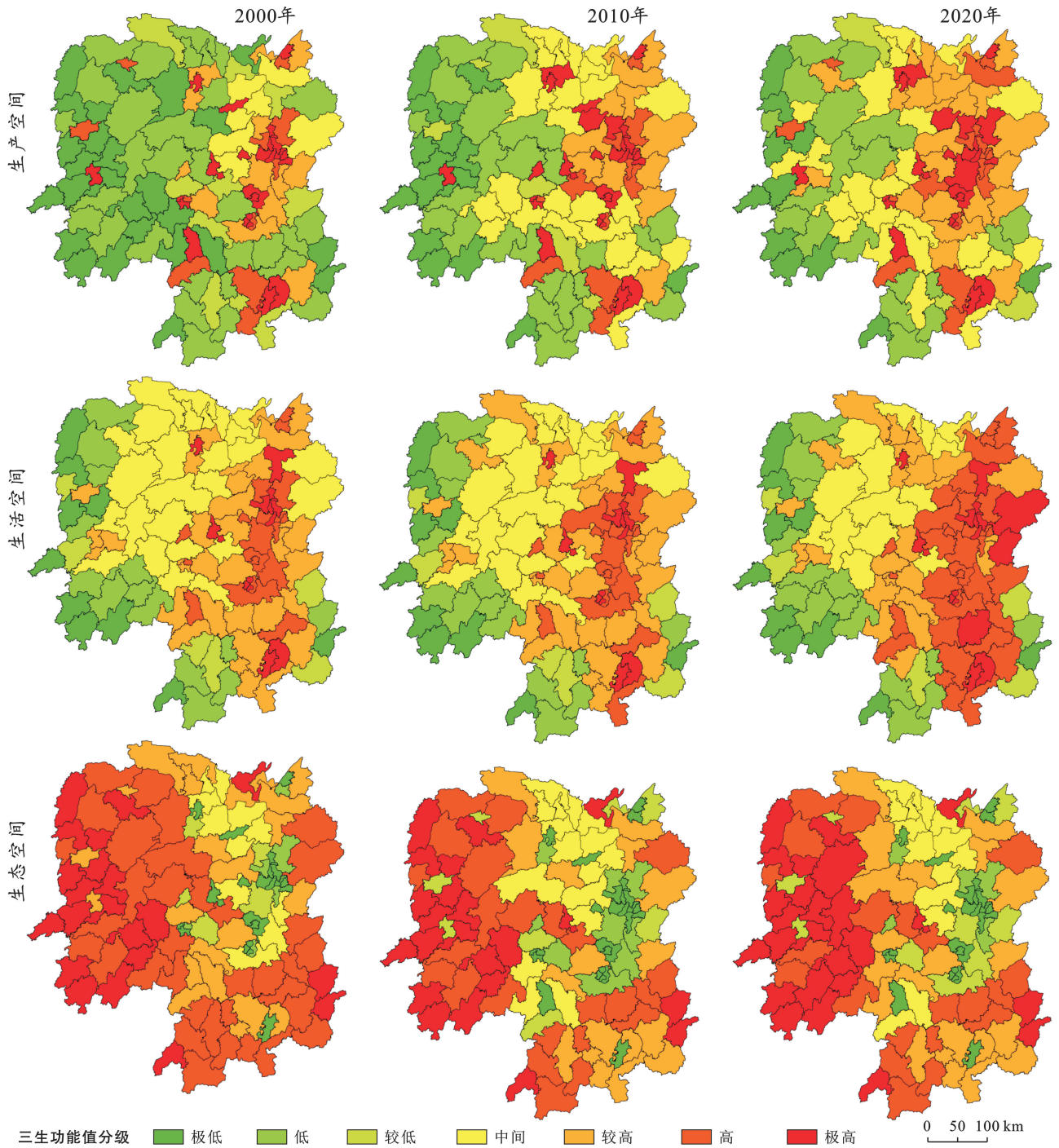


图 2 2000—2020 年湖南省县域“三生”功能值时空分布

Fig.2 Spatial and temporal distribution of production-living-ecological in counties of Hunan Province from 2000 to 2020

由图 4 可知,3 种空间功能的回归系数均出现负数和正数,说明不同空间功能与碳排放均呈现正负相关性。从“三生”空间的碳排放回归系数值大小来看,整体呈现东高西低的格局,高值区主要集中于湘东的长株潭地区,低值区则分布在湘西和湘中南一带,中值区则分布在益阳、永州地区,可见碳排放量受生态空间因素的影响最大,其次为生产空间,最后是生活空间,分析可知碳排放对生态空间质量敏感度最高,

生态功能强且生产功能弱的地区,相对碳排放最少;生态功能弱且生产功能强的地区,相对碳排放最多,生活功能的强弱与生态功能和生产功能在一定程度上能耦合或者互补。

3.4 湖南省“三生”空间碳排放系数分布测算

基于 2010,2020 年湖南省县域“三生”功能值以及 2020 年湖南省县域生态空间、生产空间和生活空间与碳排放地理加权回归系数平均值,通过“三生”空

间碳排放系数测度模型对 2035 年湖南省县域“三生”空间碳排放系数分布进行计算,将计算结果划分为 7 个区(见图 5)。

关于“三生”空间碳排放系数测度模型的准确性

和可能误差,与测度模型中的年份选取及其年度的“三生”功能方面的数据相关,因此,使用该预测模型时应尽量选取不同的年份数据进行多次测算后,求得平均值后方可减小误差。

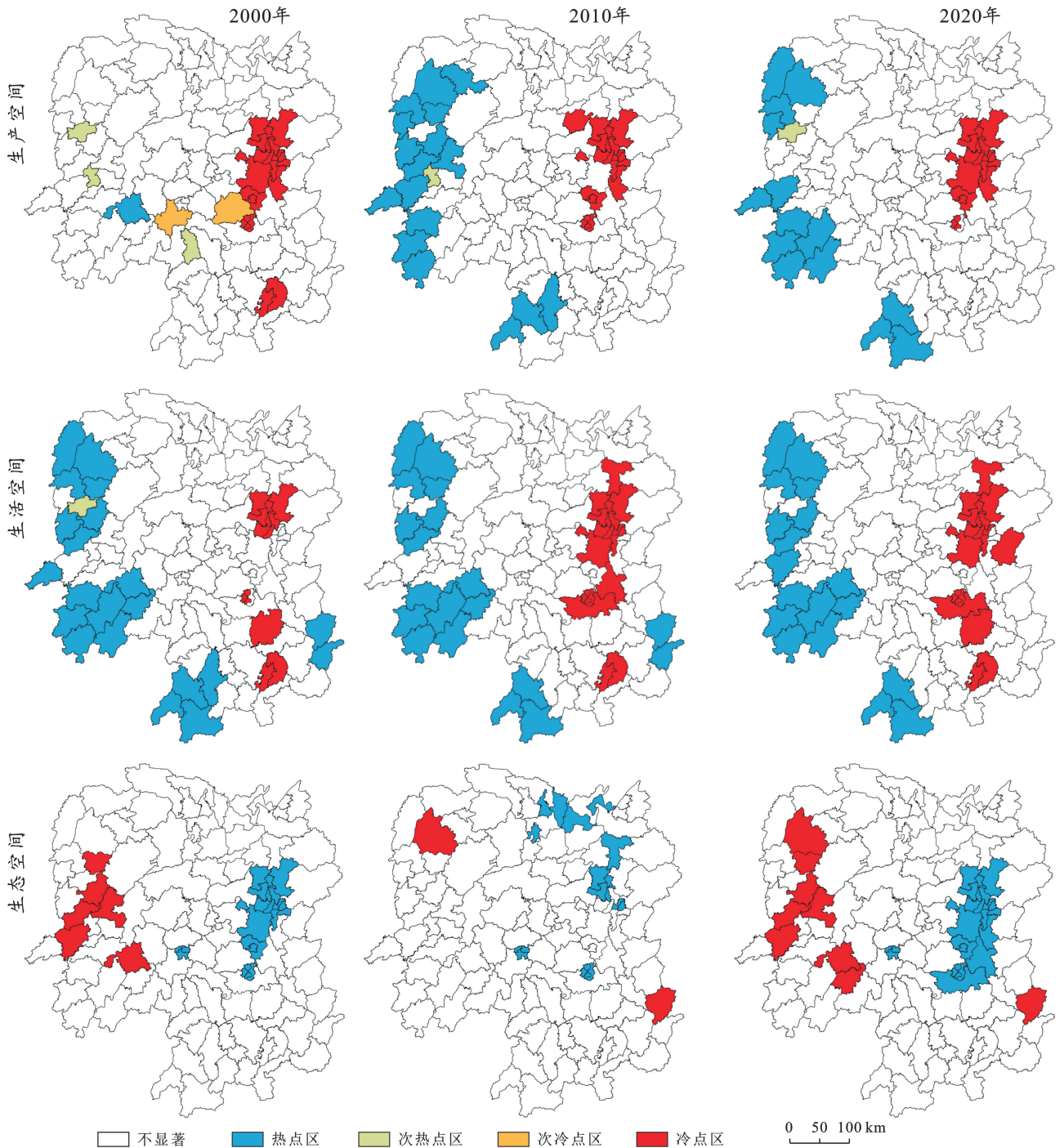


图 3 2000—2020 年湖南省县域“三生”空间中碳排放量时空分布

Fig.3 Spatial-temporal distribution of carbon emission of production-living-ecological functions space in counties of Hunan Province from 2000 to 2020

由以上计算结果可见,2035 年湖南省“三生”空间碳排放系数分布空间格局差异较大,一方面有助于缓解功能单一带来的多样化需求缺失,但同时国土空

间的多功能的转换引起的空间矛盾和冲突。因此,从碳排放的角度提出优化“三生”功能时空格局策略是科学的,特别是结合各级国土空间规划,维持生态系

统稳定、提升居民生活品质和提高产业发展质量的“三生”功能,是对国土空间规划的主体要求。

综合考虑 2035 年湖南省国土空间总体格局规划,最终将湖南省的“三生”空间碳排放系数划分为

6 个组合类型:碳汇功能生态保育区、碳汇功能生活提升区、低碳发展生产提升区、低碳发展生活提升区、碳源控制生活提升区和碳源控制生态提升区(见图 6)。

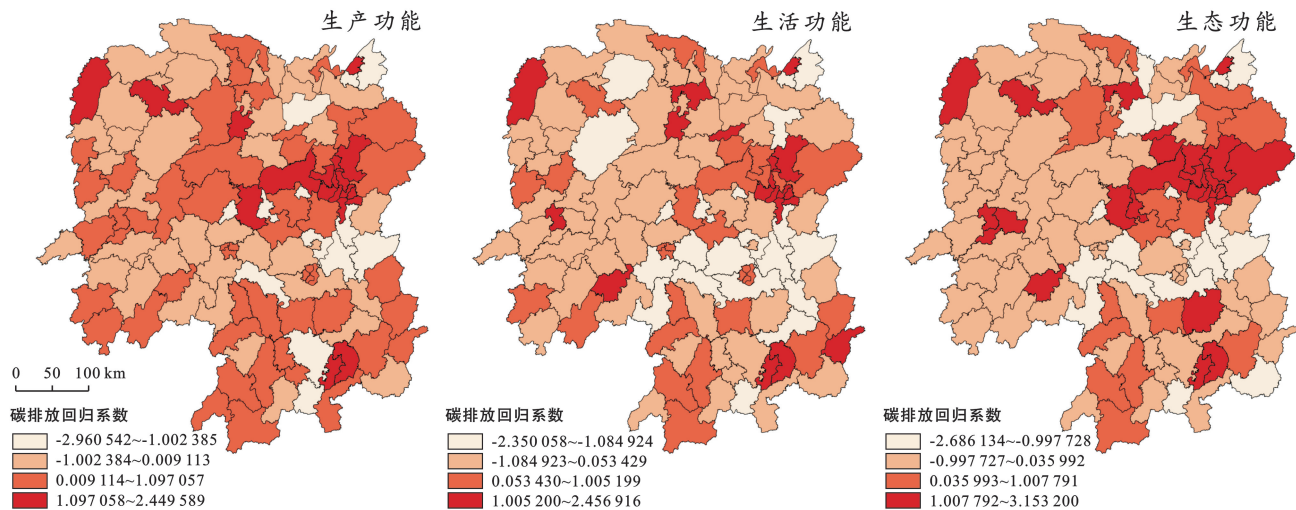


图 4 2000—2020 年湖南省县域“三生”功能与碳排放量时空回归系数

Fig.4 Spatial-temporal regression coefficients of production-living-ecological functions and carbon emissions in counties of Hunan Province from 2000 to 2020

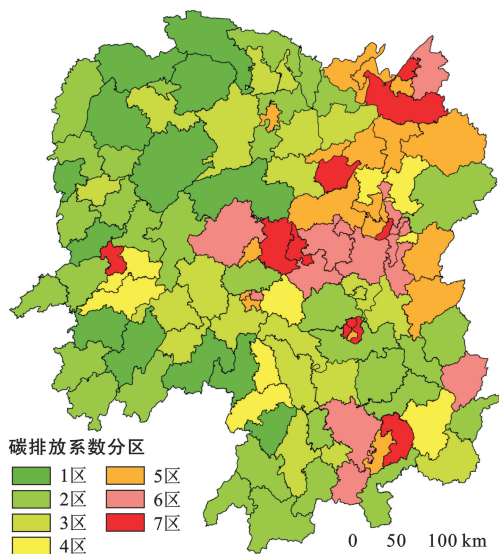


图 5 2035 年湖南省县域“三生”空间碳排放系数分布

Fig.5 Distribution of carbon emission coefficient of production-living-ecological space in counties of Hunan Province in 2035

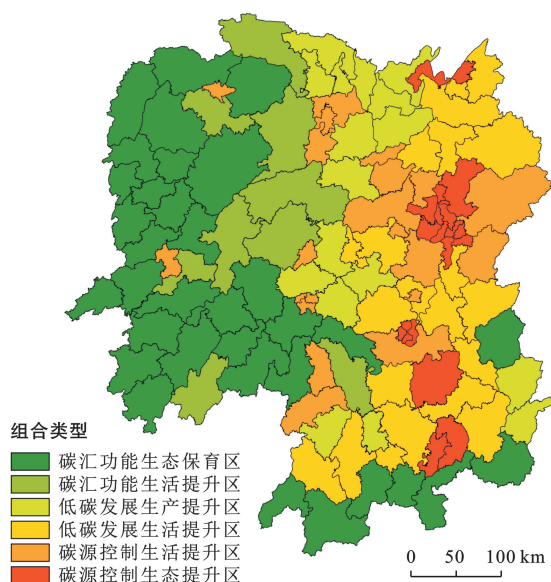


图 6 2025—2035 年湖南省县域“三生”功能碳排放系数分布类型

Fig.6 Distribution types of carbon emission coefficient of production-living-ecological coefficient at county level in Hunan Province from 2025 to 2035

4 结论

(1) 湖南省县域“三生”空间时空演化机制、时空分异特征明显。湖南省县域生态功能一直呈现“西强东弱”的格局,2000—2020 年,呈现先降后升的趋势,而生产功能和生活功能格局与之相反。

(2) 湖南省县域碳排放的冷热点格局在“三生”空间中的生态空间和生活空间中转换不明显,而在生产空间中转化体现较为明显。

(3) 对湖南省县域“三生”功能与碳排放进行地理加权回归分析得出,碳排放量受生态空间因素的影响最大,其次为生产空间,最后是生活空间。

(4) 基于 2010,2020 年湖南省县域三生功能相关数据,通过“三生”空间碳排放系数测度模型对 2035 年湖南省县域相关分布进行计算,综合考虑 2035 年湖南省国土空间总体格局规划,将湖南省的“三生”空间碳排放系数分布优化为 6 个组合类型。

本文的不足之处在于:碳排放是由人口、土地、能源、经济、规划等因素组成的区域复合系统,本研究果的经济、土地利用、能源因素等数据,很难保证时效性、系统性,同时也难以兼顾自然与社会经济的不同属性。未来全国各省的碳中和目标的实现,应结合主体功能区战略,细化县域“三生”空间,有针对性地优化调整能源结构、产业结构、用地结构等用指标形势进行下达,同时大力发展清洁能源,推进高质量发展和生态文明建设。

参考文献(References)

- [1] 刘燕.论“三生空间”的逻辑结构、制衡机制和发展原则[J].湖北社会科学,2016(3):5-9.
Liu Yan. On the logical structure, balance mechanism and development principle of “Sansheng Space” [J]. Hubei Social Sciences, 2016(3):5-9.
- [2] 罗谷松,李涛.碳排放影响下的中国省域土地利用效率差异动态变化与影响因素[J].生态学报,2019,39(13):4751-4760.
Luo Gusong, Li Tao. Dynamic change and driving factors of land use efficiency differences affected by carbon emissions at the provincial level in China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2019,39(13):4751-4760.
- [3] 徐影,郭楠,茹凯丽,等.碳中和视角下福建省国土空间分区特征与优化策略[J].应用生态学报,2022,33(2):500-508.
Xu Ying, Guo Nan, Ru Kaili, et al. Characteristics and optimization strategies of territorial space zone in Fujian Province, China based on carbon neutrality [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2022,33(2):500-508.
- [4] 王亚飞,樊杰,周侃.基于“双评价”集成的国土空间地域功能优化分区[J].地理研究,2019,38(10):2415-2429.
Wang Yafei, Fan Jie, Zhou Kan. Territorial function optimization regionalization based on the integration of “Double Evaluation” [J]. Geographical Research, 2019, 38(10):2415-2429.
- [5] Cui Xinghua, Xu Ning, Chen Wanxu, et al. Spatio-temporal variation and influencing factors of the coupling coordination degree of production-living-ecological space in China [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022,19(16):10370.
- [6] Xiao Pengnan, Xu Jie, Zhao Chong. Conflict identification and zoning optimization of “production-living-ecological” space [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022,19(13):7990.
- [7] Zhang Zuo, Li Jiaming. Spatial suitability and multi-scenarios for land use: Simulation and policy insights from the production-living-ecological perspective [J]. Land Use Policy, 2022,119:106219.
- [8] 金星星,陆玉麒,林金煌,等.闽三角城市群生产—生活—生态时空格局演化与功能测度[J].生态学报,2018,38(12):4286-4295.
Jin Xingxing, Lu Yuqi, Lin Jinhuang, et al. Research on the evolution of spatiotemporal patterns of production-living-ecological space in an urban agglomeration in the Fujian Delta Region, China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2018,38(12):4286-4295.
- [9] 吴艳娟,杨艳昭,杨玲,等.基于“三生空间”的城市国土空间开发建设适宜性评价:以宁波市为例[J].资源科学,2016,38(11):2072-2081.
Wu Yanjuan, Yang Yanzhao, Yang Ling, et al. Land spatial development and suitability for city construction based on ecological-living-industrial space: Take Ningbo City as an example [J]. Resources Science, 2016, 38(11):2072-2081.
- [10] 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(6):308-316.
Liu Shunxin, Huang Yun. Evaluation and coupling coordination analysis of landscape ecological security of Wanzhou district from the perspective of production-life-ecological space [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2020,27(6):308-316.
- [11] 张琴琴,瓦哈甫·哈力克,麦尔哈巴·麦提尼亚孜,等.基于SD模型的吐鲁番市生态—生产—生活承载力分析[J].干旱区资源与环境,2017,31(4):54-60.
Zhang Qinqin, Wahap Halik, Marhaba Matniyaz, et al. Evolution trends of the ecological-economic-social capacities based on SD model in Turpan City [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2017, 31(4):54-60.
- [12] 杨盼盼,王念秦,郭有金,等.城镇化与地质环境耦合协调时空演化分析:以临潼区为例[J].科学技术与工程,2020,20(9):3790-3797.
Yang Panpan, Wang Nianqin, Guo Youjin, et al. Analysis of spatial-temporal evolution of the coupling coordination between urbanization and geological environment: A case study of Lintong District [J]. Science Technology and Engineering, 2020,20(9):3790-3797.
- [13] 戴文远,江方奇,黄万里,等.基于“三生空间”的土地利用功能转型及生态服务价值研究:以福州新区为例[J].自然资源学报,2018,33(12):2098-2109.
Dai Wenyuan, Jiang Fangqi, Huang Wanli, et al. Study on transition of land use function and ecosystem service value based on the conception of production, living and ecological space: A case study of the Fuzhou new area [J]. Journal of Natural Resources, 2018, 33(12):2098-2109.

- [14] 杨清可,段学军,王磊,等.基于“三生空间”的土地利用转型与生态环境效应:以长江三角洲核心区为例[J].地理科学,2018,38(1):97-106.
Yang Qingke, Duan Xuejun, Wang Lei, et al. Land use transformation based on ecological-production-living spaces and associated eco-environment effects: A case study in the Yangtze River delta [J]. Scientia Geographica Sinica, 2018,38(1):97-106.
- [15] 罗刚,廖和平,李强,等.基于“三生空间”的土地利用主导功能转型及其生态环境响应:以重庆市巴南区为例[J].西南大学学报(自然科学版),2018,40(4):105-113.
Luo Gang, Liao Heping, Li Qiang, et al. A study of land use function transformation based on ecological-production-living spaces and associated eco-environment response: A case study of Banan district [J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2018, 40(4):105-113.
- [16] 张巍.基于碳平衡分区的陕西省重点生态功能区发展思路[J].西部资源,2019(1):198-201.
Zhang Wei. The development thinking about the key ecological functional areas of Shaanxi Province based on carbon balance zoning [J]. Western Resources, 2019 (1):198-201.
- [17] 沈潇.山地乡村“三生空间”发展水平及优化策略研究:以大悟县宣化店镇为例[D].湖北武汉:华中科技大学,2017.
Shen Xiao. Research on the “Production-life-ecology space” development level and optimization strategy in mountainous villages: A case study of Xuanhuadian Town, Dawu County [D]. Wuhan, Hubei: Huazhong University of Science and Technology, 2017.
- [18] 梁晨,李建平,李俊杰.基于“三生”功能的我国农村人居环境质量与经济发展协调度评价与优化[J].中国农业资源与区划,2021,42(10):19-30.
Liang Chen, Li Jianping, Li Junjie. The evaluation of the quality of rural human settlements and its coordination with regional economy in China based on the production-living-ecological theory [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2021,42(10):19-30.
- [19] 张云路,李雄,孙松林.基于“三生”空间协调的乡村空间适宜性评价与优化:以雄安新区北沙口乡为例[J].城市发展研究,2019,26(1):116-124.
Zhang Yunlu, Li Xiong, Sun Songlin. Evaluation and optimization of rural space suitability based on “the production, living and ecological space coordination”: Take Beishakou township, the Xiongan new area as an example [J]. Urban Development Studies, 2019, 26 (1):116-124.
- [20] 廖李红,戴文远,陈娟,等.平潭岛快速城市化进程中三生空间冲突分析[J].资源科学,2017,39(10):1823-1833.
Liao Lihong, Dai Wenyuan, Chen Juan, et al. Spatial conflict between ecological-production-living spaces on Pingtan Island during rapid urbanization [J]. Resources Science, 2017,39(10):1823-1833.
- [21] Du Wenxing, Wang Yuxia, Qian Dingyi, et al. Process and eco-environment impact of land use function transition under the perspective of production-living-ecological spaces: Case of Haikou City, China [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022,19(24):16902.
- [22] 张永蕾,栾乔林,熊昌盛,等.基于多源空间数据的“三生”空间异质性评价与分区划定[J].农业工程学报,2021,37(10):214-223.
Zhang Yonglei, Luan Qiaolin, Xiong Changsheng, et al. Spatial heterogeneity evaluation and zoning of production-living-ecological space based on multi-source spatial data [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021,37(10):214-223.
- [23] 赵瑞,刘学敏.京津冀都市圈“三生”空间时空格局演变及其驱动力研究[J].生态经济,2021,37(4):201-208.
Zhao Rui, Liu Xuemin. Analysis on spatial-temporal changes and driving forces of “production-living-ecological” spaces in Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan area [J]. Ecological Economy, 2021,37(4):201-208.
- [24] 胡振,龚薛,刘华.基于BP模型的西部城市家庭消费碳排放预测研究:以西安市为例[J].干旱区资源与环境,2020,34(7):82-89.
Hu Zhen, Gong Xue, Liu Hua. Prediction of household consumption carbon emission in western cities based on BP model: Case of Xi'an City [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2020,34(7):82-89.
- [25] 陈炜,殷田园,李红兵.1997—2015年中国种植业碳排放时空特征及与农业发展的关系[J].干旱区资源与环境,2019,33(2):37-44.
Chen Wei, Yin Tianyuan, Li Hongbing. Spatiotemporal distribution characteristics of carbon emission from plant industry and the relationship with agriculture development in China from 1997 to 2015 [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2019,33(2):37-44.
- [26] 涂玮,刘钦普.长江经济带旅游碳排放与旅游碳承载力关系研究[J].生态科学,2023,42(2):219-227.
Tu Wei, Liu Qinpu. Study on the relationship between tourism carbon emission and tourism carbon carrying capacity in the Yangtze River economic belt, China [J]. Ecological Science, 2023,42(2):219-227.