

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2024.05.045.

马炎生, 吴大放, 罗改改. 长株潭“三生”空间适宜性耦合协调度分析[J]. 水土保持研究, 2024, 31(5): 389-398.

Ma Yansheng, Wu Dafang, Luo Gaigai. Analysis on the Suitability Coupling Coordination Degree of Production-Living-Ecology Space in Changsha-Zhuzhou-Xiangtan[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2024, 31(5): 389-398.

长株潭“三生”空间适宜性耦合协调度分析

马炎生¹, 吴大放², 罗改改¹

(1.湖南省第一测绘院, 长沙 410000; 2.广州大学 地理科学与遥感学院, 广州 510006)

摘 要: [目的]探索“三生”空间适宜性之间的耦合协调关系,明确国土空间发展的主要矛盾和影响因素,为促进长株潭地区“三生”空间协调发展提供科学依据。[方法]基于长株潭地区发展现状,构建“三生”空间适宜性评价指标体系,分别评价生产、生活、生态空间的适宜性,并采用耦合协调度模型基于三类适宜性的空间分布分析耦合协调性,探索“三生”空间适宜性之间的作用关系。[结果]2000—2020 年生产空间面积先减后增、生活空间面积加速递增、生态空间面积加速递减,大量农业生产空间和林地生态空间转化为工业生产空间和城市生活空间。“三生”空间适宜性呈现出由市区向外扩散的“生活—生产—生态”圈层空间格局特征,生产空间适宜性北高南低、中高外低,生活空间适宜性呈现“一片八核多点”分布特征,生态空间适宜性东高西低、南高北低。基于适宜性的“三生”空间格局中,生产、生活和生态空间分别占国土面积的 34.36%, 19.55% 和 46.09%, 其与“三生”空间现状差异明显,突出生态保护的重点区域。研究区整体处于基本协调水平,高度协调、基本协调、临界失调和失调区域面积分别占国土面积的 56.29%, 36.65%, 6.91% 和 0.16%。“三生”空间适宜性耦合协调度空间分异明显,反映出不同的国土空间发展矛盾,需采取针对性措施促进“三生”空间协调发展。[结论]“三生”空间适宜性之间呈现生态空间与生产或生活空间不协调、生产和生活空间较协调的特点,生态空间与生产空间之间、生态空间与生活空间之间适宜性的不协调是长株潭地区国土空间发展的主要矛盾,地形地貌是影响“三生”空间适宜性耦合协调度的根本因素。

关键词: “三生”空间; 适宜性评价; 耦合协调度; 长株潭

中图分类号: F301.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2024)05-0389-10

Analysis on the Suitability Coupling Coordination Degree of Production-Living-Ecology Space in Changsha-Zhuzhou-Xiangtan

Ma Yansheng¹, Wu Dafang², Luo Gaigai¹

(1. The First Surveying and Mapping Institute of Hunan Province, Changsha 410000, China;

2. School of Geography and Remote Sensing, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China)

Abstract: [Objective] The aims of this study are to explore the coupling and coordinated relationship between the suitability of production-living-ecological space, to clarify the main contradictions and influencing factors of the development of territorial space, and to provide scientific basis for promoting the coordinated development of production-living-ecological space in Changsha-Zhuzhou-Xiangtan area. [Methods] Based on the development status of Changsha-Xiangtan area, the evaluation index system of spatial suitability of production-living-ecology space was constructed to evaluate the suitability of production, living and ecology space, respectively. The coupling coordination degree model was used to analyze the spatial distribution based on the three types of suitability to explore the relationship between the spatial suitability. [Results] The area of production space was first reduced and then increased, the area of living space increased rapidly, and the

收稿日期: 2024-02-29

修回日期: 2024-03-20

资助项目: 广东省普通高校创新团队项目(人文社科)(2023WCXTD019); 广州市教育局高校科研项目(研究生教育改革研究项目)(202235269); 广州大学 2023 年度探索性试验建设项目“国土空间规划“一张图”制作”(SJ202310)资助

第一作者: 马炎生(1982—), 男, 湖南省澧县人, 高级工程师, 测绘工程硕士, 主要从事国土空间规划相关工作。E-mail: 28128138@qq.com

通信作者: 吴大放(1981—), 男, 湖南岳阳人, 博士, 副教授, 研究方向为土地资源开发与利用与保护。E-mail: wudaf2004@163.com

<http://stbcj.paperonce.org>

area of ecological space decreased rapidly. From 2000 to 2020, a large number of agricultural production space and forest land ecological space transformed into industrial production space and urban living space. The spatial suitability of production-living-ecology space presented the spatial pattern characteristics of ‘life-production-ecology’ circle layer, which spreaded from Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban area. The suitability of production space was high in north and low in south, high inside and low outside. The suitability of the living space presented the characteristics of ‘one piece, eight cores and multiple points’. The suitability of ecological space was high in east and low in west, high in south and low in north. In the production-living-ecology space pattern based on suitability, production, living and ecology space accounted for 34.36%, 19.55% and 46.09% of the land area, respectively. It was obviously different from the spatial situation of production-living-ecology space, highlighting the key areas of ecological protection. The research area was at a relative coordination level. High coordination, basic coordination, critical imbalance and imbalance areas accounted for 56.29%, 36.65%, 6.91% and 0.16% of the land area, respectively. The spatial differentiation of the spatial suitability of production-living-ecology space was obvious, reflecting the different development contradictions of territorial space development, so targeted measures should be taken to promote the coordinated development of production-living-ecological space. [Conclusion] The spatial suitability of production-living-ecology space presented the characteristics of the disharmony between ecological space and production or living space, and the relative coordination between production and living space. The incompatibility between ecological space and production space and between ecological space and living space is the main contradictions in the development of territorial space in Changsha-Zhuzhou-Xiangtan area. Topography is the fundamental factor affecting the coupling and coordination of the spatial suitability of the production-living-ecological space.

Keywords: production-living-ecology space; suitability evaluation; coupling coordination degree; Changsha-Zhuzhou-Xiangtan

国土空间协调发展是生态文明建设和高质量发展的要求,基本原则是“以最少的资源消耗支撑经济社会持续发展”,强调土地资源利用效率在国土空间治理体系中的重要性^[1]。国土空间的复合性和异质性决定其兼具生产、生活和生态功能^[2-4],并对 3 种功能表现出不同的适宜性。国土空间适宜性是指国土空间对生态保护、生产发展、城镇建设等不同开发保护利用方式的适宜性程度^[5],评价的基础是现状发展条件,影响土地利用的产投效益^[1],因此国土空间协调发展的关键在于形成适宜的、高效合理配置的生产、生活和生态空间格局。空间的连续性和物质、能量的流动性形成了“三生”空间之间相互作用机制,表现出相互胁迫、偏利共生、协同共赢等发展现象^[6-8]。“三生”空间相互挤压、人地矛盾突出、区域发展不协调、林草植被退化等问题即是“三生”空间发展不协调的表现^[9-10],主要原因是区域资源条件不适应国土空间开发的方式和程度,导致系统问题产生^[11]。通过探索土地利用对“三生”功能的适宜性,并分析三者之间的耦合协调关系,有利于厘清“三生”空间的作用关系,明确最优国土空间功能,指示土地利用协调方向,为土地资源优化配置,提高

土地产投效益,解决人地矛盾等提供依据。

国外研究主要体现在土地适宜性和多功能效益协调性方面^[11-12],该研究源于 19 世纪早期的农业区位理论^[5],之后围绕土地利用功能和区位规划模式展开了大量研究^[13-14],土地利用的多功能效益及其相互作用的复杂关系逐渐被揭露^[15],研究视角转向土地适宜性评价和多功能效益协调发展,形成了土地利用规划、土地可持续利用、土地生态安全等理论^[14-16],当前多结合模型算法和 GIS 技术对土地适宜性的空间特征及功能效益变化机制进行探讨^[17]。国内主要从“三生”空间适宜性和空间视角的耦合协调度两方面分别进行研究^[3,18]。“三生”空间适宜性主要从功能目标、研究对象、评价方法等方面开展研究^[11,19],从省、市、县等行政单位的单一功能适宜性评价向跨地域的流域、干旱区域、沿海地区等复杂空间的多元化功能协调评价转变^[19],研究方法从基于评价体系和数学模型逐渐转变为与 GIS 技术应用相结合^[20-22],评价过程更多考虑适宜性与影响要素的关系^[18,23]。国土空间耦合协调度的研究源于“社会—经济—自然”复合生态系统理论^[24-26],研究焦点在于“三生”空间利用质量、生态

环境保护、城市发展规划等研究对象之间的辩证关系,主要结合评价体系和耦合协调度模型探索研究对象之间的耦合协调程度^[24-28]。总体来看,土地利用多元关系的揭示、理论和算法研究的深入、3S 等新技术的应用拓展了“三生”空间适宜性及协调性分析视角,明确了“三生”空间适宜性与其关联要素协调机制的重要性。目前,国内外研究多针对土地空间开发利用的适宜性及其与关联要素展开,较少探讨“三生”功能适宜性之间的耦合协调度^[18],难以解释“三生”空间适宜性差异及其影响国土空间发展的内在关系,如何利用“三生”空间适宜性的耦合协调关系来指导国土空间规划还有待探索。同时,以往的土地生态适宜性评价中反映植被的指标主要为宏观性的土地利用类型,较少从微观角度考虑植被生长状况,本研究创新性引入 NDVI 植被指数,以真实反映植被现状,完善生态适宜性评价体系。

长株潭城市群是两型社会建设的重要试验场,其中长沙、株洲、湘潭(以下简称长株潭)三市发挥了不可替代的核心作用,是我国城市群建设的典范。“十四五”时期是长株潭一体化发展的关键时期,这要求协调“三生”空间发展关系,优化国土空间格局。研究从“三生”空间开发利用条件适宜的角度构建适宜性评价体系,利用耦合协调模型在网格尺度上探讨长株潭“三生”空间适宜性的耦合协调度,明确各类功能适宜性之间的作用关系,为长株潭国土空间规划提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

长株潭位于湖南省中东部,包括长沙、株洲、湘潭三市,沿湘江呈“品”字形分布,地理坐标介于 26°18′—28°41′N,111°58′—114°13′E(图 1),东临宜春市、萍乡市、吉安市,西南连郴州市、衡阳市、娄底市,北接益阳市、岳阳市,总面积约 281.06 万 hm²。地形地貌以平原、丘陵为主,海拔 17~2 106 m,总体地势南高北低。气候属亚热带季风气候,四季分明、雨热同期,年均气温 17.2℃,年均降水量 1 361.6 mm,年日照时数 1 634.4 h,湘江由南向北穿过,水网密布,水资源丰富,土壤以红壤和水稻土为主。长株潭是湖南省经济社会发展的核心地区,2022 年区域生产总值占全省的 41.7%,高新技术、制造业发展尤为迅速。目前研究区以生态空间为主,但随着工业化和城市化进程推进,生产和生活空间不断扩张,生态空间持续被压缩,20 年间耕地减少 5.62 万 hm²,林地减少 4.58 万 hm²,建设用地增加 12.23 万 hm²,“三生”空间交织碰撞剧烈,给区域发展与管理带来了新的挑战。

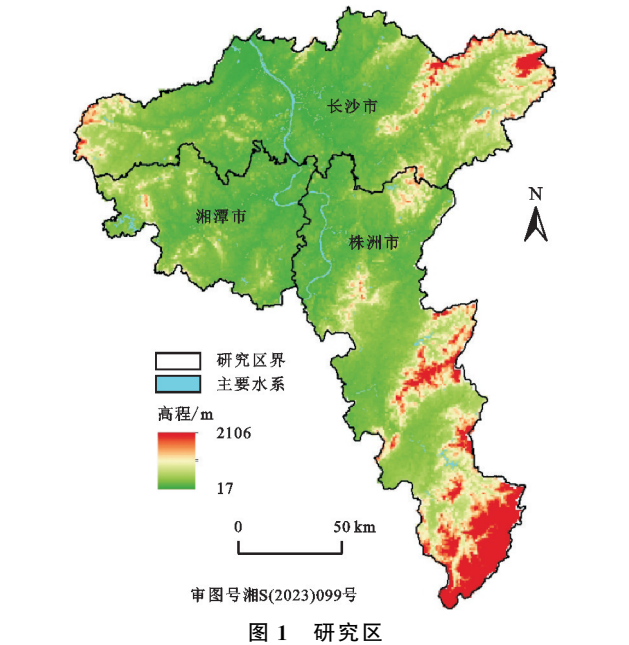


Fig. 1 The study area

1.2 基础数据及“三生”空间分类

考虑数据的可得性、合规性和一致性,基础数据主要包括研究区的 2000 年、2010 年、2020 年三期国土三调变更数据、2020 年遥感影像(分辨率 1.05 m),2020 年归一化植被指数(NDVI),2011—2020 年气象数据,数字高程模型(DEM),2015 年地理国情数据。数据来源主要为湖南省第一测绘院、中国科学院资源环境科学与数据中心、地理空间数据云平台。

利用 ArcGIS 在 CGCS2000 坐标系统中配准基础数据,根据遥感影像将道路、村庄等地理国情数据修正到 2020 年,数据统一重采样至 1 km 栅格,土地利用数据归类为耕地、园地、林地、草地、水域、建设用地和未利用土地 7 个一级类型及 28 个二级类型。参考现有研究^[3,5-8],根据土地利用的主导功能,将“三生”空间划分为 8 个二级分类(表 1)。

表 1 “三生”空间分类
Table 1 Production-living-ecological space classification

一级分类	二级分类	土地利用类型
生产空间	农业生产空间	水田、旱地、水浇地、果园、茶园、其他园地
	工业生产空间	工业用地、采矿用地、交通运输用地
生活空间	城市生活空间	城镇用地
	乡村生活空间	农村居民点
生态空间	林地生态空间	有林地、灌木林、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
	水生生态空间	河渠、湖泊、水库坑塘、滩涂、滩地
	其他生态空间	盐碱地、沼泽地、裸土地、裸岩石质、其他用地

1.3 “三生”空间适宜性评价模型

1.3.1 评价指标体系构建 参考相关研究^[2,5,9-12,21,23],尽可能采用同类测定指标构建评价体系,使用分等赋分法对评价因子划分等级(表 2)。

(1) 生产空间适宜性。生产的主要内容是农业生产和工业生产^[5]。农业生产主要考虑气温、降雨、土壤、坡度等自然条件和土地利用类型,以及农业生产物资获取的便利性。工业生产主要考虑建设地形、土地利用类型、交通条件等。综合考虑自然气候、土地利用、开发条件和可达性,选取 12 个测定指标进行评价。

(2) 生活空间适宜性。生活空间主要是城市生活空间和乡村生活空间,主要考虑地形建设条件、土地利用类型和生活便利性^[12,21],选取 5 个测定指标

进行评价。

(3) 生态空间适宜性。生态空间主要考虑植被的生长条件、植被现状、人为干扰程度^[10-11],其中植被现状除了以土地利用类型为评价指标,还采用 NDVI 植被指数反映植被生长状态,NDVI 值越大,植被一般越繁茂、覆盖度越高,反之则可能为非植被覆盖地类。根据人口分布情况和人为活动规律,利用图斑到中心城镇和村庄、主要公路的距离反映人为干扰情况。选取 8 个测定指标进行评价。

表 2 “三生”空间适宜性评价指标体系

Table 2 Production-living-ecology space suitability evaluation index system

目标层	准则层	指标层	指标分类及分值				
			100	80	60	40	20
“三生” 空间 适宜性	生产空间 适宜性	年平均气温/℃	>18	17~18	16~17	15~16	<15
		年均降雨量/mm	>1800	1700~1800	1600~1700	1500~1600	<1500
		上层(0-30 cm)土壤质地	壤土	—	黏土	—	沙土
		上层(0-30 cm)土壤有机质含量/%	>3	2~3	1~2	0.5~1	<0.5
		高程/m	<150	150~299	300~499	500~799	>800
		坡度/(°)	≤2	2~6	6~15	15~25	>25
		土地利用类型	耕地、工业用地、采矿用地、交通运输用地	城镇建设用 地、村庄建设用 地	园地、草地、空闲地	林地	其他
		距城市中心最近距离/km	<2	2~5	5~8	8~15	>15
		距乡镇中心最近距离/km	<1	1~2	2~3	3~5	>5
		距村庄最近距离/km	<0.5	0.5~1	1~1.5	1.5~2	>2
		距水域最近距离/km	<1	1~3	3~5	5~10	>10
		距主要公路最近距离/km	<1	1~3	3~5	5~10	>10
	生活空间 适宜性	地形指数	<100	100~199	200~299	300~399	≥400
		土地利用类型	城镇用地	农村居民点	工业用地、采 矿用地、交 通运输用地	耕地、林地、园 地、草 地	其他
		距城市中心最近距离/km	<1	1~3	3~5	5~10	>10
		距乡镇中心最近距离/km	<0.5	0.5~1	1~1.5	1.5~2	>2
		距村庄最近距离/km	<0.2	0.2~0.5	0.5~1	1~1.5	>1.5
		高程/m	>800	500~799	300~499	150~299	<150
		坡度/(°)	>25.0	15.1~25.0	6.1~15.0	2.1~6.0	≤2.0
	生态空间 适宜性	土地利用类型	湖泊、滩地、裸土地、沼泽地	有林地、高覆盖度草地、中覆盖度草地	灌木林、疏林地、其他林地、低覆盖度草地	耕地、园地、河渠、水库坑塘、裸岩石质地	各类建设用地、其他
		NDVI	>0.83	0.75~0.83	0.64~0.75	0.48~0.64	<0.48
		距城市中心最近距离/km	>15	8~15	5~8	2~5	<2
		距乡镇中心最近距离/km	>5	3~5	2~3	1~2	<1
		距村庄最近距离/km	>1.5	1~1.5	0.5~1	0.2~0.5	<0.2
		距主要公路最近距离/km	>5	3~5	1~3	0.5~1	<0.5

注:1.表 2 中地形指数^[10,23]基于 DEM 数据采集测算点周围 4 个邻域单元高程值计算平均高差。2.其他指某功能适宜性的土地利用类型中未提到的其他用地类型集合。

1.3.2 单空间适宜性评价 根据指标特点采用相应的分级方法得到评价因子分值,包括分配法、自然断裂法和标准化法。其中,坡度按照《第三次全国国土调查技术规程》(TD/T1055-2019)分级;上层土壤质地参考相关研究^[11]分级;NDVI 采用自然断裂法分级;其他指标采用分配法进行分级^[2]。通过等权线性

加权法分别计算“三生”空间适宜性。利用自然断裂法^[2]将“三生”空间适宜性值由高至低依次划分为“高度适宜”“基本适宜”“临界适宜”“不适宜”4 个等级。适宜性值计算公式为:

$$f(x)=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n x_i$$

(1)

式中: $f(x)$ 为各准则层的适宜性值; x_i 为评价因子分值; n 为各准则层评价指标数量。

1.3.3 基于适宜性的“三生”空间划定 以单空间适宜性评价结果为基础,进行空间单元的“三生”功能适宜性对比,选择最适宜的功能作为空间单元的目标功能,划定基于适宜性的研究区“三生”空间格局,以此分析研究区“三生”空间发展特征及趋势。对比遵循最适宜原则,在不同功能适宜等级相同情况下,按照“生态—生活—生产”先后顺序^[3,21-22]依次确定。

1.3.4 耦合协调度计算 从生产、生活和生态的角度评估不同功能适宜性的耦合协调程度,计算公式^[23-25]为:

$$D=\sqrt{C\times T}$$
 (2)

$$T=\alpha\times U_p+\beta\times U_l+\gamma\times U_e\quad(\alpha=\beta=\gamma=1/3)$$
 (3)

$$C=\sqrt[3]{\frac{U_p\times U_l\times U_e}{(U_p+U_l+U_e)^3}}$$
 (4)

$$U=\sum_{i=1}^n\frac{1}{n}X_i$$
 (5)

式中: D 为耦合协调度; T 为各子系统的总体适宜度; C 为耦合度; U 为子系统的性能,本研究有 3 个子系统, U_p,U_l 和 U_e 分别为生产空间、生活空间和生态空间适宜度; X_i 为指标 i 在每个子系统标准值。耦合协调度的值介于 0~1,值越高表示耦合协调度越高。

2 结果与分析

2.1 “三生”空间时空特征

根据 2000 年、2010 年和 2020 年“三生”空间分布图(图 2)可知,整体上“三生”空间呈现以长株潭市区为中心向外扩散的“生活—生产—生态”圈层空间格局。根据表 3 可知,生态空间>生产空间>生活空间,2000 年、2010 年和 2020 年生态空间分别占总面积的 66.97%,66.62%和 65.44%,生产空间分别占总面积的 31.01%,30.89%和 31.13%,生活空间分别占总面积的 2.01%,2.50%和 3.43%。林地生态空间、农业生产空间和城市生活空间分别是生态空间、生产空间和生活空间的主要空间类型。其中,林地生态空间和农业生产空间占比较大,二者之和占总面积的 90%以上,形成了国土空间本底。

生产空间呈现“先减后增”趋势,其中农业生产空间持续减少,工业生产空间持续增加,主要为望城经济技术开发区、长沙国家高新技术产业开发区、长沙经济技术开发区建设增加的工业生产空间。生活空间呈现“加速递增”趋势,占比由 2000 年的 2.01%增加至 2020 年的

3.43%,主要是城市生活空间迅速增加,乡村生活空间相对平稳。生态空间呈现“加速递减”趋势,占比由 2000 年的 66.98%减少至 2020 年的 65.44%,主要是林地生态空间迅速减少所致,其他生态空间相对平稳。城市生活空间和工业生产空间迅速扩张,反映出城镇化和工业发展加快;林地生态空间和农业生产空间迅速减少,反映出林地和耕地是建设用地的来源。“三生”空间的变化特征说明长株潭进入城镇化快速发展时期,“三生”空间之间已产生剧烈的相互作用,而发展的代价是林地和耕地的占用,必须充分协调“三生”空间的相互关系,促进区域耦合协调发展。

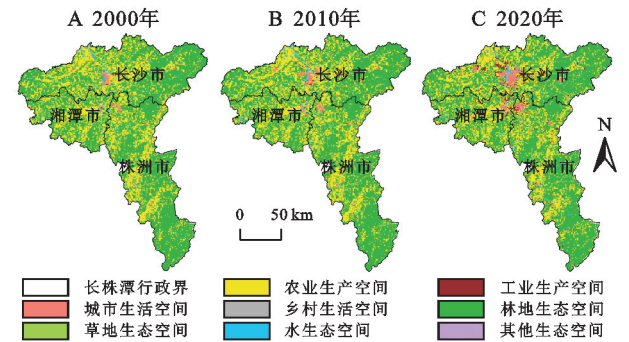


图 2 2000—2020 年长株潭“三生”空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of production-living-ecology space from 2000 to 2020

表 3 2000—2020 年长株潭“三生”空间面积占比及变化

Table 3 Area percentage and change of production-living-ecology space from 2000 to 2020

“三生”空间	面积占比/%			面积占比变化率/%	
	2000 年	2010 年	2020 年	2000—2010 年	2010—2020 年
农业生产空间	30.81	30.35	28.81	−1.46	−5.07
工业生产空间	0.21	0.54	2.32	157.14	329.63
城市生活空间	0.97	1.42	2.38	46.39	67.61
乡村生活空间	1.04	1.08	1.05	3.85	−2.78
林地生态空间	63.69	63.30	62.06	−0.61	−1.96
草地生态空间	1.44	1.43	1.35	−0.69	−5.59
水生态空间	1.84	1.88	2.00	2.17	6.38
其他生态空间	0.00	0.01	0.03	—	200.00

2.2 “三生”空间适宜性

2.2.1 生产空间适宜性 根据图 3 和表 4 可知,生产空间适宜性整体呈现“北高南低、中高外低”的空间格局,以高度适宜和基本适宜为主,占总面积的 68.73%。高度适宜和基本适宜生产空间集中分布于长沙市中部、株洲市北部和湘潭市东部地区,处于三市相交区域,湘江由南向北穿过该区域,高程较低、地势平坦,水资源丰富,是长株潭主要生产、生活区域,距离城市、乡镇距离较近,交通路网密度大,适宜开展生产活动。临界适宜和不适宜空间主要分布在株洲市的炎陵县、茶陵县和攸县,长沙市的浏阳市北部和宁乡市西部,以及

湘潭市的湘乡市西部,该区域地形主要为丘陵、山地,高程较高、坡度较大,距离城市中心、水域和公路较远,土地开发利用难度较大,不适合发展生产。

2.2.2 生活空间适宜性 生活空间适宜性整体呈现“一片八核多点”的空间格局,以临界适宜为主,占总面积的 51.65%。临界适宜生活空间整体上均匀分布于研究区,该区域由于地形指数值较大、土地利用类型以耕地、林地为主,距离城市中心较远,生活适宜性较低;高度适宜和基本适宜生活空间围绕各市县中心城区集聚分布,整体上呈现出 8 个核心区域,即“长株潭市域—长沙县—望城区”核心、宁乡市核心、“韶山市—湘乡市”核心、浏阳市核心、醴陵市核心、攸县核心、茶陵县核心和炎陵县核心,而在广大农村区域呈点状散布;不适宜生活空间呈“多点集中分布”的空间格局特征,整体上集中分布于长沙市东北部的浏阳市和株洲市的攸县、茶陵县和炎陵县境内,地形以山地为主,地理位置偏远,地形指数和土地利用类型的生活适宜性最低。

2.2.3 生态空间适宜性 生态空间适宜性呈现“南高北低、东高中低”的空间格局,以基本适宜和临界适宜为主,占总面积的 69.08%。高度适宜和基本适宜区域集中分布在株洲市的炎陵县、茶陵县和攸县,长沙市的浏阳市东部、北部和宁乡市西部,地形以丘陵、山地为主,高程较高、坡度较大,植被主要为乔木林,NDVI 指数值较大,且距离城市、乡镇、公路距离较远,人为干扰较少,植被生长良好,适合发展生态空间。对比发现,生态空间适宜性与生产空间适宜性的空间分布相反,与地形地貌存在明显的相关性。

表 4 “三生”空间适宜性面积占比

Table 4 Area percentage of the spatial suitability area of production-living-ecology space

适宜性等级	高度适宜 占比/%	基本适宜 占比/%	临界适宜 占比/%	不适宜 占比/%
生产空间适宜性	33.63	35.10	21.67	9.60
生活空间适宜性	6.93	35.73	51.65	5.69
生态空间适宜性	21.27	25.01	44.07	9.65

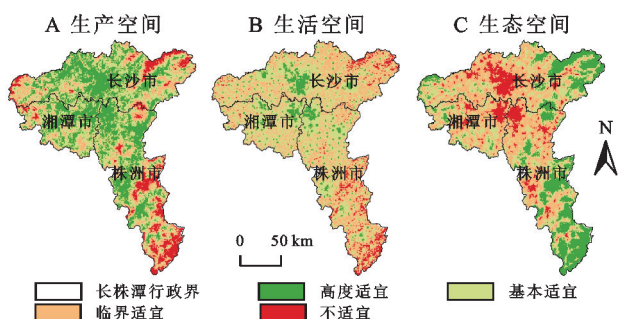


图 3 长株潭“三生”空间适宜性分布

Fig. 3 Production-living-ecology space suitability distribution of Changsha-Zhuzhou-Xiangtan

2.3 基于适宜性的“三生”空间划分

“三生”空间划分结果见图 4A。生产空间、生活空间和生态空间面积依次为 96.57 万 hm^2 , 54.95 万 hm^2 , 129.54 万 hm^2 , 分别占总面积的 34.36%, 19.55% 和 46.09%。总体上“三生”空间具有显著的空间异质性特征,“生活—生产—生态”的圈层空间格局特征相较于现状更加显著。东部、南部和西部地区生态空间集中分布,中部长株潭市区及周边区域生活空间集中连片分布,生产空间则穿插分布于生态空间和生活空间之间。

整体来看,基于适宜性的“三生”空间格局与“三生”空间现状差异明显。相比 2020 年“三生”空间现状,基于适宜性的“三生”空间格局在生产空间上将增加 9.08 万 hm^2 ,生活空间将增加 45.31 万 hm^2 ,生态空间将减少 54.39 万 hm^2 。生活空间增加的区域以市区为中心向外扩展,其中西扩特征明显,整体分散、局部集中分布在长沙和湘潭西部。生产空间沿生活空间外围分布,增加的区域主要在长沙东部、北部和株洲东部,分布较为集中。生态空间减少的区域为生产和生活空间增加的区域,主要在研究区东部和南部集中分布,在西部分散分布。“三生”空间的差异表明,研究区中部和北部适合生活和生产空间,东部、南部适合生态空间,这为区域国土空间协调发展提供了依据。同时,大量生态空间转化为生活和生产空间,说明研究区的发展条件现状有利于开发利用而不利于生态保护,这些变化区域应注重生态保护,生态环境一旦被破坏将难以恢复,应根据生态空间与生活、生产空间的转化特点采取针对性的保护措施。

2.4 “三生”空间适宜性耦合协调度

采用自然断裂法将“三生”空间耦合协调度划分为 4 个等级,即失调 ($D < 0.54$)、临界失调 ($0.55 < D \leq 0.66$)、基本协调 ($0.67 < D \leq 0.69$)、高度协调 ($D > 0.70$),得到“三生”空间耦合协调度等级空间分布图 (图 4B)。经统计,研究区“三生”空间耦合协调度均值为 0.69,整体处于基本协调水平。

从数量上看,高度协调、基本协调、临界失调和失调区域面积分别为 158.20 万 hm^2 , 103.00 万 hm^2 , 19.41 万 hm^2 , 0.45 万 hm^2 , 分别占总面积的 56.29%, 36.65%, 6.91% 和 0.16%。高度协调和基本协调区域占总面积的 92.94%, 失调区域仅占 0.16%, 表明当前“三生”空间适宜性耦合协调度总体良好,但临界失调区域已有一定规模,“三生”空间协调发展受到威胁。

从空间上看,失调区域主要分布在长株潭三市市区,生产和生活空间高度适宜,但生态空间不适宜。该区域位于城市生活空间,处于湘江冲积平原,地形

平缓,土地利用类型主要为城镇建设用地,距离城市中心和主要公路距离较近,是人为活动的主要区域。区域 NDVI 指数值极低,城市绿地较少,“三生”空间发展极不平衡。临界失调区域主要分布在长株潭三市市区,以及株洲市南部区域。位于市区的临界协调区域的“三生”空间适宜性特征与失调区域类似,生活空间与生态空间适宜性之间的耦合协调度较低。该区域地形指数、高程、坡度相比失调区域有所增加,生活空间适宜性稍有降低,减少了生活空间和生态空间适宜性的差异,属于临界失调。市区外围城乡结合带的生产适宜性总体高于生活适宜性,空间功能由生活向生产转变,生产和生活空间与生态空间适宜性的差异是导致临界失调的主要原因。株洲市南部临界失调区域的土地利用类型以林地为主,地形起伏度大,坡度较陡,自然条件使其难以开发,生态空间适宜性高,而生产和生活空间适宜性较低。基本协调区域主要围绕临界失调区域,分布在研究区中部、西北和南部。该区域生活空间适宜性中等,生产和生态空间适宜性呈相反特征。中部和西北部区域高程相对较低,地形较平缓,距离城市中心较远,但距离乡镇中心、村庄较近,土地利用类型以耕地为主,NDVI 指数中等,农村居民点密集,是城镇周边主要的农业生产区域,主要矛盾是农业生产空间与林地生态空间的相互挤压。南部区域地形以丘陵山地为主,土地利用类型主要是林地,NDVI 指数较高,坡度较陡,基础设施密度相对较低,生态空间适宜性较高,不适合大规模开发。高度协调区域主要位于研究区中南部和东部,该区域地形起伏度一般,与乡镇、村庄、主要公路距离适中,“三生”空间适宜性趋于一致,“三生”空间适宜性耦合协调度高。

总体上“三生”空间适宜性耦合协调度以市区为中心,呈现“中间低四周高”的空间格局,东部区域整体高于西部。市区耦合协调度低的原因是生活空间和生态空间适宜性程度相反,市区以外的区域耦合协调度低的原因是生产空间和生态空间适宜性程度相反,研究区主要需协调生态空间与生产和生活空间之间的关系,具体是协调城市生活空间与林地生态空间、农业生产空间与林地生态空间之间的关系。对比“三生”空间适宜性耦合协调度和评价指标,耦合协调度受地形地貌和土地利用类型影响显著,耦合协调度低的区域位于海拔较低、地势平坦的湘江冲积平原,土地利用类型主要为城镇建设用地,交通干线在该区域汇聚;耦合协调度高的区域主要位于地形起伏度大的丘陵地区,土地利用类型以耕地、林地为主,适合发展生态和生产空间。

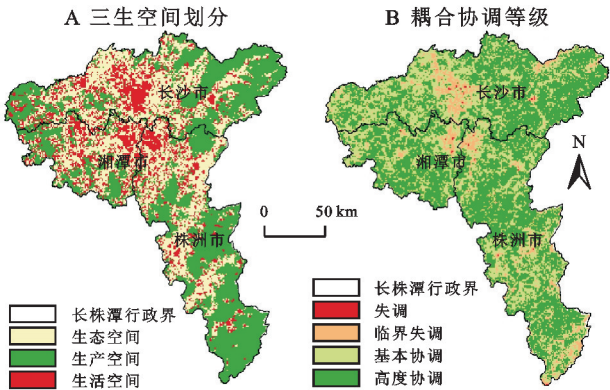


图 4 长株潭“三生”空间划分及耦合协调度空间分布
Fig. 4 Spatial division and coupling and coordination spatial distribution of Changsha-Zhuzhou-Xiangtan

3 讨论与结论

3.1 讨论与建议

构建评价体系进行空间适宜性评价,可为国土空间规划提供指导^[10]。研究结合生产、生活和生态 3 种功能,从地形地貌、开发条件、发展现状等角度选取相同或类似的评价指标构建适宜性评价体系,使不同功能空间的适宜性具备了良好的可比性,为耦合协调度分析提供了基础。为反映植被的生长状况,在生态空间适宜性评估中创新引入 DNVl 植被指数,增强了生态空间的识别能力,为空间适宜性等级划分提供更精准的数据基础。从评价指标的性质来看,主要为反映空间开发利用条件的指标,虽然难以完全表征人地复杂关系对空间开发利用的影响,但在一定程度上反映了研究区的自然条件和空间关系,评价结果对“三生”空间协调发展具有一定的参考意义。评价结果表明,“三生”空间适宜性在空间上与区域发展现状吻合良好,评价结果较为准确可靠。因受数据可得性限制,本研究的适宜性评价体系较少考虑人地复杂关系对“三生”空间适宜性的反馈影响,如环境污染、开发效益、人口密度等指标,可在下一步的研究中对评价指标体系进一步完善。

基于适宜性的“三生”空间划分是土地资源对于不同功能适宜性对比的结果,反映出土地资源利用效率的差异,其与“三生”空间现状的差异显示出单独以适宜性评价指导国土空间规划的局限性,即生态文明建设背景下,大量生态空间转化为生产和生活空间是不切实际的,所以不能单纯以适宜性作为国土空间规划的依据,而应综合不同功能适宜性评价结果和区域发展要求,分析深层次差异。根据差异区域适宜性可知,区域的生产和生活空间适宜性良好,通常被作为土地开发利用的后备资源,成为城镇扩张、开发区建设和农业生产的土地来源,因此在生态建设中应当特

别注意该区域的生态环境保护,加强生态监管,避免生态景观遭到破坏。同时,这些区域多为城乡结合带,人为干扰强烈,但却是促进区域协调发展的重点,景观类型丰富而呈现破碎化,生态过程易被阻断,形成生态陷阱和生态孤岛,是自然生态系统的薄弱环节,为生态建设的重点区域。

从“三生”空间适宜性耦合协调度的空间分布来看,与地形地貌和土地利用类型存在较强的关联性,即海拔较高、地形起伏度较大、建设用地较少的丘陵区域耦合协调度高,海拔较低、地形起伏度小、建设用地较多的平原区域耦合协调度低,这与陈斌^[25]、邹永偲等^[29]研究结论一致,地形地貌是影响“三生”空间适宜性耦合协调度的根本因素,其他相关研究^[11,30]也证明地形地貌对土地适宜性的空间分布起关键影响。地形地貌影响光、温、水等资源分配,造成土地开发利用资源投入和效率差异,高程较低、地势平坦、水资源丰富的区域优先发展人类聚集地,形成城镇、村庄,基础设施配套相对完善,建设用地分布占比高,交通条件便利,人为干扰强烈,导致生态空间不断被占用,造成“三生”空间失调。此外,从研究区各类空间变化情况来看,目前处于城镇化快速发展时期,城市向外扩张迅速,大量耕地和林地转化为城镇建设用地和工业用地,造成市区周边“三生”空间适宜性耦合协调度低。因此在国土空间开发利用中应注重地形地貌分析和城镇发展阶段的把握,厘清地形地貌带来的开发条件差异和衍生影响,把握生活和生产空间发展的“度”,确保“三生”空间协调持续发展。

明确“三生”空间适宜性耦合协调机制有利于了解区域发展潜力、优化资源配置和预防潜在问题。不同区域的适宜性耦合协调度存在差异,反映出深层次发展矛盾,需采用针对性思路促进“三生”空间协调发展。对于生活空间和生态空间适宜性不协调的失调区域和市区临界失调区域,城市生活空间对生态空间的挤压是不协调的主要原因。市区绝大多数土地成为了建设用地,保留的生态空间极少,同时区域人口密度大、干扰因素多样,导致生态空间生态系统难以维系,除地形不适宜之外,NDVI 指数极低,城市绿量太少。该区域的协调发展一方面是严格保护现有绿地,防止地类转变;另一方面应重视微小空间生态建设,利用零散分布的公园绿地、庭院绿化、道路绿化等完善城市绿地系统,增加城市绿量,加强城市绿地分类管理建设,形成连片森林、湿地生态系统,优化建设用地与城市绿地的空间格局,达到促进区域协调发展的目的。对于市区周边的临界协调区域,城市生活空间、农业生产空间、林业生态空间之间的相互挤压是

协调发展的主要矛盾,城市迅速扩张导致农业生产空间和林业生态空间减少,而农业生活空间的减少又进一步挤压林业生态空间。该区域应以限制城市扩张为重点,从根本上减少空间挤压压力,利用生态红线和耕地红线加强生态空间和农业生产空间的保护,特别是加强长株潭生态绿心的保护。农业生产空间应以提高土地利用效率、促进新质生产力发展、降低农业污染为重点,整合耕地资源,利用低效园地、闲置地、裸土地等尽可能发展林地、湿地等高生态服务功能的生态空间,提高城乡结合带的绿化覆盖率,打造城市外围绿色屏障。基本协调区域主要是生产空间与生态空间适宜性之间的不协调,该区域村庄居民点密布,以农业生产活动为主,对生态空间存在一定干扰与破坏。该区域主要是农业生产与林地生态系统之间的相互制约,应控制人为活动范围,对现有生态空间加强保护,提高生态系统稳定性。可识别生态系统关键要素,结合城市绿地系统形成全域多级生态网络,突出区域生态建设的重点空间。高度协调区域的“三生”功能适宜性较为均衡,有利于构建协调发展的多元空间,在保护生态空间的同时,可根据景观生态学理论适当开发利用,作为开发区、星城等建设区域,在分散城市压力的同时为区域发展提供新活力。

3.2 结论

(1) 研究区的“三生”空间呈现以市区为中心向外扩散的“生活—生产—生态”圈层空间格局特征。目前国土空间以生态空间为主,林地生态空间和农业生产空间占比较大。2000—2020 年期间大量农业生产空间和林地生态空间转变为工业生产空间和城市生活空间,形成了生产空间面积“先减后增”、生活空间面积“加速递增”、生态空间面积“加速递减”的变化特征,反映出研究区“三生”空间相互作用剧烈,研究区进入城镇化加速发展时期。

(2) 生产空间适宜性的空间格局整体呈现“北高南低、中高外低”特征,总体适宜性较高;生活空间适宜性的空间格局按照适宜程度整体呈现“一片八核多点”特征,适宜性以临界适宜为主;生态空间适宜性分布与生产空间的分布呈相反特征,整体从市区向四周适宜性逐渐递增,东部适宜性高于西部,受地形影响明显。

(3) 根据“三生”空间适宜性划分,生产、生活和生态空间分别占研究区国土面积的 34.36%,19.55%和 46.09%,由中心向外呈现“生活—生产—生态”圈层空间格局。基于适宜性的“三生”空间格局与“三生”空间现状差异明显,54.39 万 hm^2 的生态空间转化为生产空间和生活空间,应加强生态空间保护。差异区域是区域生态系统的薄弱环节,为生态建设的重点区域。

(4) “三生”空间耦合协调度为 0.69,整体处于基本协调水平。高度协调、基本协调、临界失调和失调区域面积分别占总面积的 56.29%,36.65%,6.91%和 0.16%,“三生”空间适宜性耦合协调度总体良好。“三生”空间适宜性的耦合协调度空间分布特征明显,总体呈现“中间低四周高”的分布格局,地形地貌是影响“三生”空间适宜性耦合协调度的根本因素,城镇发展阶段对其也有显著影响,高程低的市区及周边区域耦合协调度低,高程较高的丘陵区域耦合协调度高。研究区需协调的“三生”空间关系为生态空间与生产和生活空间之间的不协调,各耦合协调区域的不协调原因不同。失调区域和中部临界协调区域分布在市区,主要协调生活空间与生态空间的相互关系;研究区南部的临界协调区域及其周边的基本协调区域,主要协调生产空间与生态空间的相互关系;高度协调区域主要位于研究区中部和东部,主要加强生态保护,适当发展。

参考文献(References):

- [1] 金贵,郭柏枢,成金华,等.基于资源效率的国土空间布局及支撑体系框架[J].地理学报,2022,77(3):534-546.
Jin G, Guo B S, Cheng J H, et al. Layout optimization and support system of territorial space: An analysis framework based on resource efficiency[J]. Acta Geographica Sinica, 2022,77(3):534-546.
- [2] 张新鼎,崔文刚,韩会庆,等.基于“三生”适宜性的典型喀斯特乡村土地利用冲突识别及分析[J].水土保持研究,2023,30(4):412-422.
Zhang X D, Cui W G, Han H Q, et al. Identification and analysis of land use conflicts in typical karst villages based on ‘production-living-ecology’ suitability[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023,30(4):412-422.
- [3] 夏敏,冯新惠,夏俊林,等.综合土地多功能与适宜性的南京市溧水区“三生”空间划定[J].农业工程学报,2021,37(16):242-250.
Xia M, Feng X H, Xia J L, et al. Delineation of production-living-ecological space in Lishui District of Nanjing based on land multi-functions and suitability[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021,37(16):242-250.
- [4] 叶方霞,李扬镱,徐宇琪,等.三生功能视角下的全域土地综合整治分区模式研究:以武汉市黄陂区为例[J].国土资源科技管理,2023,40(6):27-38.
Ye F X, Li Y B, Xu Y Q, et al. Assessment on production-living-ecological functions and the zoning of land consolidation: A case study of Huangpi district of Wuhan City[J]. Scientific and Technological Management of Land and Resources, 2023,40(6):27-38.
- [5] 赖国华,胡宝清,李敏,等.桂西南-北部湾地区“三生”空间适宜性评价[J].水土保持通报,2020,40(6):221-227,331.
Lai G H, Hu B Q, Li M, et al. Evaluation on spatial suitability of ecological-living-industrial in southwestern guangxi-beibu gulf region[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020,40(6):221-227,331.
- [6] Lin G, Jiang D, Fu J Y, et al. A review on the overall optimization of production-living-ecological space: Theoretical basis and conceptual framework[J]. Land, 2022,11(3):345.
- [7] 李晓璐.安徽省“三生”空间功能耦合协调时空分异特征研究[D].安徽蚌埠:安徽财经大学,2022.
Li X L. Research on the temporal and spatial differentiation characteristics of ‘Sansheng’ spatial function coupling coordination in Anhui Province [D]. Bengbu, Anhui: Anhui University of Finance and Economics, 2022.
- [8] Lin G, Fu J Y, Jiang D. Production-living-ecological conflict identification using a multiscale integration model based on spatial suitability analysis and sustainable development evaluation: A case study of Ningbo, China [J]. Land, 2021,10(4):383.
- [9] 魏国恩,刘耀彬,李汝资,等.近 40 年鄱阳湖区“三生空间”格局转型与空间异质机制研究[J].生态学报,2024,44(6):1-15.
Wei G E, Liu Y B, Li S Z, et al. Pattern transformation and spatial heterogeneity mechanism of production-living-ecological spaces in Poyang Lake area in last 40 years[J]. Acta Ecologica Sinica, 2024,44(6):1-15.
- [10] 黎娜.“三生空间”适宜性视角下土地利用优化配置及空间模拟:以南昌市为例[D].南昌:南昌大学,2022.
Li N. Optimal Allocation and Spatial Simulation of Land Use from the Perspective of “Sansheng Space” Suitability: A case study of Nanchang City [D]. Nanchang: Nanchang University, 2022.
- [11] 韦志飞,黄辉.郴州市“三生”空间适宜性评价及其特征分析[J].国土资源导刊,2023,20(3):61-68.
Wei Z F, Huang H. Evaluation and characteristics analysis of the production-living-ecological space suitability in Chenzhou prefecture[J]. Land & Resources Herald, 2023,20(3):61-68.
- [12] Snelder T, Lilburne L, Booker D, et al. Land-use suitability is not an intrinsic property of a land parcel[J]. Environmental Management, 2023,71(5):981-997.
- [13] Karimi A, Brown G. Assessing multiple approaches for modelling land-use conflict potential from participatory mapping data[J]. Land Use Policy, 2017,67:253-267.
- [14] Rahmani M, Lotfata A, Zebardast E, et al. Land use suitability assessment for economic development at the provincial level: The case study of Yazd Province, Iran [J]. Sustainable Cities and Society, 2022,87:104163.
- [15] Ingle S N, Nagaraju M S S, Gadge P S, et al. GIS based land use suitability of diversified cropping systems in Bareilly watershed[J]. International Journal of Economic Plants, 2021,8(4):231-236.

- [16] Li S N, Zhu C M, Deng X D. Exploring the urban-rural gradient effects of construction land expansion processes on land use function trade-off/synergy in rapidly urbanizing areas[J]. *Land Degradation & Development*, 2024, 35(1):46-61.
- [17] Kang Z Q, Wang S, Xu L, et al. Suitability assessment of urban land use in Dalian, China using PNN and GIS[J]. *Natural Hazards*, 2021, 106(1):913-936.
- [18] 姚成斌,周明忠,张迪,等.乌蒙山区县域三生空间功能耦合协调的时空特征与格局演化[J].贵州师范大学学报:自然科学版,2024,42(1):45-54.
- Yao C B, Zhou M Z, Zhang D, et al. Spatio-temporal characteristics and evolution of production-living-ecological space function coupling coordination in Wumeng Mountain Area[J]. *Journal of Guizhou Normal University:Natural Sciences* 2024,42(1):45-54.
- [19] 李龙,吴大放,刘艳艳,等.生态文明视角下喀斯特地区“双评价”研究:以生态敏感区宁远县为例[J].自然资源学报,2020,35(10):2385-2400.
- Li L, Wu D F, Liu Y Y, et al. “Double evaluations” of Karst Area from the perspective of ecological civilization: A case study of Ningyuan in ecologically sensitive area[J]. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(10): 2385-2400.
- [20] 曹琴.GIS技术在农业生产适宜性评价中的应用[J].农业科技与信息,2022,19(24):122-124,128.
- Cao Q. Application of GIS technology in suitability evaluation of agricultural production [J]. *Agricultural Science-Technology and Information*, 2022,19(24):122-124,128.
- [21] 王孚鑫,王元,吴婷婷,等.基于“三生”空间协调的彭泽县空间适宜性评价与优化[J].江西农业学报,2023, 35(10):169-176.
- Wang F X, Wang Y, Wu T T, et al. Evaluation and optimization of spatial suitability of Pengze County based on production-living-ecological space coordination [J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2023,35(10):169-176.
- [22] Yu S H, Deng W, Xu Y X, et al. Evaluation of the production-living-ecology space function suitability of Pingshan County in the Taihang mountainous area, China[J]. *Journal of Mountain Science*, 2020,17(10): 2562-2576.
- [23] 曾艳,廖成浩,刘建生,等.“三生”功能视角下城市近郊区村庄发展适宜性评价与分类:以江西抚州临川区为例[J].农业资源与环境学报,2023,40(6):1-16.
- Zeng Y, Liao C H, Liu J S, et al. Evaluation and classification of village development quality in suburban areas from the perspective of “production-life-ecological” function: A case from Linchuan District, Fuzhou, Jiangxi Province, China[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2023,40(6):1-16.
- [24] 吴大放,甘梓莹,宁芳洁,等.珠三角地区近20年城镇化与景观生态安全耦合协调分析[J].环境工程技术学报,2024,14(1):298-307.
- Wu D F, Gan Z Y, Ning F J, et al. Coupling and coordination analysis of urban spatial expansion and landscape ecological security in the Pearl River Delta in the past 20 years[J]. *Journal of Environmental Engineering Technology*, 2024,14(1):298-307.
- [25] 陈斌,徐尚昭,周阳阳,等.“三生空间”视角下宜昌市景观生态安全评价及其耦合特征分析[J].水土保持研究,2022,29(4):344-351.
- Chen B, Xu S Z, Zhou Y Y, et al. Evaluation and coupling coordination analysis of landscape ecological security of Yichang from the perspective of production-life-ecological space [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2022,29(4):344-351.
- [26] 嵇娟,陈军飞,丁童慧,等.长三角城市群城市洪涝韧性与其生态系统服务耦合协调研究[J].生态学报,2024,44(7):1-14.
- Ji J, Chen J F, Ding T H, et al. Coupling coordination between urban flood resilience and ecosystem services in the Yangtze River Delta urban agglomerations[J]. *Acta Ecologica Sinica*,2024,44(7):1-14.
- [27] 李诗涵,陈秋霞,许章华,等.福州都市圈社会经济水平与生态环境韧性的时空演化及耦合协调性[J].水土保持通报,2023,43(6):311-323.
- Li S H, Chen Q X, Xu Z H, et al. Spatiotemporal evolution and coupling coordination of socio-economic level and ecological resilience in Fuzhou metropolitan area[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2023,43(6):311-323.
- [28] Wang S, Tian M, Ding Q B, et al. Study on coupling coordination degree of urbanization and ecological environment in Chengdu-Chongqing economic circle from 2002 to 2018[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2024,31(2):3134-3151.
- [29] 邹永偲,兰安军,范泽孟,等.“三生空间”视角下贵州省景观生态安全评价及其耦合特征分析[J].水土保持研究,2024,31(3):432-442.
- Zou Y C, Lan A J, Fan Z M, et al. Evaluation of landscape ecological security and its coupling characteristics analysis in Guizhou Province from the perspective of production-living ecology space [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2024,31(3):432-442.
- [30] 罗改改,陆禹.衡阳县农业开发适宜性评价[J].国土资源导刊,2022,19(2):53-58.
- Luo G G, Lu Y. Agricultural development suitability evaluation of Hengyang County[J]. *Land & Resources Herald*, 2022,19(2):53-58.