

少数民族聚居区“三生空间”功能耦合协调度时空演变及与人类活动强度关系

——以贵州省少数民族自治州为例

张雪松^{1,2}, 徐梓津^{1,2,3}

(1.华中师范大学 地理过程分析与模拟湖北省重点实验室, 武汉 430079;

2.华中师范大学 城市与环境科学学院, 武汉 430079; 3.贵州财经大学, 贵阳 550025)

摘要:为了进一步提升我国少数民族地区新型城镇化发展质量,促进区域协调可持续发展,构建贵州少数民族自治州“三生空间”功能系统水平的评估指标体系,利用耦合—协调度模型测算研究区空间发展协调水平;测算了少数民族聚居区人类活动强度并引进响应指数分析两者的关系。结果表明:(1)研究区2015年以前“三生空间”功能系统耦合协调度水平存在波动,2015年以后呈现稳定协调发展趋势;(2)贵州省少数民族地区“三生空间”功能系统耦合协调度与人类活动强度两者在剧烈的相互影响中趋于稳定。生产空间功能(经济发展)与生态空间功能(生态保护)之间的平衡是提高区域可持续发展能力的难点和重点;少数民族聚居区显示出“三生空间”功能系统耦合协调度与人类活动强度中度相关性,显示出少数民族聚居区具有其自身特点;制定符合少数民族地区实际的发展办法,可以有效缓解少数民族地区人地矛盾。

关键词:乡村振兴;三生空间;耦合协调度;人类活动;贵州省;少数民族

中图分类号:K901

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2021)06-0268-06

Spatial Temporal Evolution of Functional Coupling Coordination Degree of Production-Living-Ecological Space and Its Relationship with Human Activity Intensity in Ethnic Minority Areas —Taking Minority Autonomous Prefecture of Guizhou as an Example

ZHANG Xuesong^{1,2}, XU Zijin^{1,2,3}

(1.Key Laboratory of Geographical Process Analysis and Simulation, Central China Normal

University, Wuhan 430079, China; 2. College of Urban and Environmental Sciences, Central China Normal

University, Wuhan 430079, China; 3.Guizhou University of Finance and Economics, Guiyang 550025, China)

Abstract: In order to further improve the development quality of new urbanization in ethnic minority areas and promote regional coordinated and sustainable development, we constructed the evaluation index system for function system level of production-living-ecological space in Ethnic Minority Autonomous Prefecture of Guizhou. The coupling coordination degree model was used to calculate the spatial development coordination level of the study area. The intensities of human activities in minority areas were calculates, and the relationship between them was analyzed by introducing response index. The results show that: (1) before 2015, the coupling coordination degree of functional system of production-living-ecological space fluctuated, and after 2015, it presented the stable and coordinated development trend; (2) the coupling coordination degree of the function system of production-living-ecological space and the intensity of human activities tended to be stable in the fierce interaction in minority areas of Guizhou Province. The balance between production space function

收稿日期:2020-11-27

修回日期:2020-12-22

资助项目:湖北省国土整治中心2021年度专项科研课题;自然资源部土地整治重点实验室江汉平原一体化国土整治修复湖北科研工作站2021年度专项科研课题(HBZC-CG-2021-Z1011)

第一作者:张雪松(1971—),男,湖北广水人,博士,教授,主要从事国土空间规划、国土整治、景观生态学研究。E-mail:zxsgis@263.net

通信作者:徐梓津(1987—),女,辽宁大连人,博士研究生,研究方向为土地资源管理与国土空间规划。E-mail:240917886@qq.com

(economic development) and ecological space function (ecological protection) is the difficulty and key to improve regional sustainable development ability. There is a moderate correlation between the coupling coordination degree of function system of production-living-ecological space and the intensity of human activities in the minority areas, indicating that the minority areas have their own characteristics. Formulating development measures in line with the actual situation of minority areas can effectively alleviate the contradiction between people and land in the minority areas.

Keywords: rural revitalization; production-living-ecological space; spatial coupling coordination; human activities; Guizhou Province; ethnic minority areas

中国是一个统一的多民族国家,全国第七次人口普查数据显示,我国少数民族人口占总人口的 8.89%,其分布广泛但主要集中在西部及边疆地区。少数民族因其独特的民俗文化具备其独有的特点。在国家民族共同繁荣政策及乡村振兴背景下,怎样深入挖掘少数民族集聚区发展过程中存在的问题,如何协调少数民族集聚区发展与宜居、发展与保护之间的关系,成为当下研究的重点。明确少数民族集聚区生产空间、生活空间、生态空间在功能上的协调发展水平及其与人类活动强度之间的关系,探索解决少数民族集聚区在发展振兴过程中的问题,进一步提升我国少数民族地区新型城镇化发展质量,促进少数民族集聚区经济、社会、生态的协调可持续发展,成为区域发展面临的重大命题^[1]。

国内已有的“三生空间”研究多集中在概念的定义和内涵的界定、时空格局演变研究、分类与功能评价、耦合协调性研究、对“三生空间”的子空间进行了相关研究等。其中,黄金川等^[2]对“三生空间”的概念和内涵做了详细的界定;陈钱钱等^[3]对江西省三生空间结构时空格局进行了多尺度分析;高星等^[4]做了基于“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;刘鹏飞等^[5]对中国城市生产、生活、生态空间质量水平格局与相关因素进行分析;王成等^[6-8]开展了重庆市乡村三生空间功能耦合协调的时空特征与格局演化方面的研究,并且对“三生空间”的子系统生产空间进行了有序性和适应性评价方面的研究。

国外在“三生空间”的研究方面侧重于制定和运用空间规划,并将空间区划的最新理论用于指导实际工作。欧盟各国以及日本等发达国家与地区展开了多轮空间规划工作^[9-10]。德国在推进空间规划的实际工作中,不断演化相关理论发展;荷兰的空间规划结合边远地区开发、劳动就业以及产业集聚区等区域特点制定措施^[11-12]。

通过相关文献梳理可以看出,“三生空间”研究主

要集中在基于现状的土地利用识别、国土空间规划、空间子系统的研究。大部分研究仅针对单个零散城市及发达地区城市的研究展开,对少数民族集聚区的“三生空间”功能评价研究较少,尤其缺少对西部欠发达地区少数民族集聚区的生产空间、生活空间、生态空间功能与人类活动强度相互作用与协调发展的综合研究。

基于此,本文从地市级空间尺度出发,选择贵州省少数民族自治州为研究样区,建立符合当地实际的“三生空间”功能水平评估指标体系,结合数据可获取性及权威性对研究样区 2012—2018 年生产空间、生活空间、生态空间功能水平进行综合评价,利用耦合—协调度模型测算研究区城市发展协调水平,并与当地人类活动强度结合分析,揭示少数民族集聚区国土空间功能时空演变与当地人类活动强度的分异规律,为少数民族集聚的区域可持续发展提供理论支撑与实践依据。

1 研究区概况和数据来源

1.1 研究区概况

贵州省共有 3 个少数民族自治州,分别是黔东南苗族侗族自治州(东经 107°17′—109°35′,北纬 25°19′—27°31′)、黔南布依族苗族自治州(东经 106°12′—108°13′,北纬 25°04′—27°29′)、黔西南布依族苗族自治州(东经 104°35′—106°32′,北纬 24°38′—26°11′)^[13]。各州 2020 年统计年鉴数据显示黔东南苗族侗族自治州少数民族人口占总人口数的 81.70%^[14]、黔南布依族苗族自治州少数民族人口占总人口数的 60.10%^[15]、黔西南布依族苗族自治州少数民族人口占总人口数的 49.80%^[16]。研究区土地利用结构见表 1。

研究区土地资源特点:(1) 山地丘陵多,坝区平地少,岩溶分布广;(2) 土地资源呈立体分布,分布的垂直带幅宽,自然坡度大,耕地分布自然坡度多在 15°~25°;(3) 土地类型破碎且复杂。

表 1 研究区土地利用结构

%

区域	耕地占比	林地占比	草地占比	城乡工矿及居民用地占比	水域及水利设施用地占比	未利用土地占比
黔东南苗族侗族自治州	14.11	67.54	7.26	2.73	1.52	6.84
黔南布依族苗族自治州	18.36	56.19	13.16	3.08	1.24	7.97
黔西南布依族苗族自治州	26.5	41.43	15.28	3.89	2.07	10.83

1.2 数据来源

由于贵州省 2012 年以前的经济社会数据统计口径不一致,2012 年之前和之后的数据不具备可比性。2019 年的经济社会数据还未正式公布,所以本研究选取 2012—2018 年的研究数据进行测算。研究中涉及的经济社会数据来源于《中国县域统计年鉴(县市卷)》、《贵州省统计年鉴》、《贵州省国民经济与社会发展公报》、贵州省各地州市年鉴;环境污染数据来源于贵州省统计局网站;其中个别缺失数据由 2012—2018 年平均增长差值计算代替。研究区的空间数据来源于地理国情检测云平台。

2 指标体系及模型构建

参考已有文献,结合欠发达地区实际,构建欠发达地区“三生空间”功能评价指标体系,所有数据均标准化处理,采用熵权法确定各指标权重,测算 2012—2018 年研究区“三生空间”功能系统水平及耦合协调度评价价值进行对比分析。同时,测算研究区 2012—2018 年的人类活动强度值,引入响应指数对两者的相关性进行科学分析。

2.1 “三生空间”功能评价

2.1.1 数据标准化 “三生空间”功能评价测算的数据涉及到经济、社会、空间、生态等各类数据,为了使各类数据具有可比性,需要消除变量间的量纲关系,所以本研究的数据均先进行标准化处理。数据标准化方法为:

(1) 正向指标:
$$X'_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(X_{ij})}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})}$$

(2) 负向指标:
$$X'_{ij} = \frac{\max(X_{ij}) - X_{ij}}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})}$$

2.1.2 熵权法 熵权法以整体的观念去度量各变量所包含的不确定性,能最大限度地消除评价分析中的不确定性,使评价更具有客观性^[17]。本研究中“三生空间”功能评价指标体系中各指标权重由该算法确定。其计算公式为:

(1) 原数据的规范化值:
$$R_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^n X_{ij}}$$

(2) 熵值计算:
$$e_j = -k \sum_{i=1}^n R_{ij} \ln R_{ij}$$
,其中 $-k > 0$,

一般令 $k = 1/\ln m, 0 \leq e_j \leq 1$ 。

(3) 各指标权重计算:
$$W_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^m g_j}$$

式中: R_{ij} 为基础数据标准化后的值; e_j 为各指标的熵值; $g_i = 1 - e_j$ 。

2.1.3 “三生空间”功能评价模型 利用“三生空间”功能系统评价模型^[18]对研究区生产空间、生活空间、生态空间功能系统的综合发展水平进行评价,以明确研究区“三生空间”功能系统综合发展水平。其计算公式为:

$$Q_k = \sum_{i=1}^m X'_{ij} W_j$$

式中: Q_k 为 k 子系统的功能评价价值, $k = 1, 2, 3$; Q_1, Q_2, Q_3 分别为生产空间功能系统评价价值、生活空间功能系统评价价值、生态空间功能系统评价价值。

2.1.4 “三生空间”功能评价指标体系 研究区“三生空间”功能系统是一个综合的复合系统,分为生产空间功能子系统、生活空间功能子系统、生态空间功能子系统。参考已有的研究成果,考虑研究数据的权威性和可获取性,生产空间功能子系统评价主要由经济水平和生产用地比重体现。本研究选取人均 GDP、生产总值增长率、固定资产投资增长率、人均可支配收入和生产用地比重 5 个指标;生活空间功能子系统评价主要由交通环境、教育环境、卫生环境、居住环境和生活用地比重体现,选取了路网密度、人均专任教师数、人均卫生机构床位数、人口密度和生活用地比重 5 个指标;生态空间功能子系统评价主要从生态环境污染、生态环境治理和生态用地比重体现,选取二氧化硫排放量、人均废水排放量、人均公共绿地面积、工业固体废物综合利用率、生活垃圾无害化处理率和生态用地比重共留个指标。结合研究区实际,构建“三生空间”功能评价指标体系,指标层权重由前述熵权法确定。由于各子系统对区域可持续发展的贡献目前无法定量计算,按照同等重要性确定权重各为 $1/3$ ^[19](表 2)。

2.2 耦合协调度模型

耦合协调度是从物理学中引入,是描述两个或两个以上系统相互作用影响的程度,耦合作用和协调程度决定了系统发展状况^[20]。其计算方法为:

$$C=[(Q_1Q_2Q_3)/(\frac{Q_1+Q_2+Q_3}{3})^3]^{\frac{1}{3}}$$

式中: C 为系统的耦合度,其值在 $0\sim 1$, C 越趋近于 1,说明“三生空间”系统的 3 个子系统耦合度越高。但耦合度只能说明“三生空间”系统内部各子系统相互作用的强弱及其相关性大小^[21],无法反映系统内部协调发展水平的高低。因此,引入耦合协调度模型,以分析研究区“三生空间”系统中 3 个子系统交互耦合的协调程度。其模型为:

$$D=\sqrt{C\cdot [(Q_1Q_2Q_3)/3]}$$

式中: D 为“三生空间”系统耦合协调度, D 值越高,代表耦合协调程度越高, D 值越低,代表耦合协调程度越低。

表 2 “三生空间”功能系统评价指标体系

目标层	准则层	指标层	指标性质
生产空间功能	经济水平	人均 GDP(元)	正向
		生产总值增长率(%)	正向
		固定资产投资增长率(%)	正向
		人均可支配收入(元)	正向
	生产用地比重	生产用面积/总用地面积(%)	正向
生活空间功能	交通条件	路网密度(km/km ²)	正向
	教育条件	人均专任教师数(人/万人)	正向
	卫生条件	人均卫生机构床位数(张/千人)	正向
	居住质量	人口密度(人/km ²)	负向
	生活用地比重	生活用面积/总用地面积(%)	正向
生态空间功能	环境污染	二氧化硫排放量(t/万人)	负向
		人均废水排放量(t)	负向
	环境治理	人均公共绿地面积(m ² /人)	正向
		工业固体废物综合利用率(%)	正向
		生活垃圾无害化处理率(%)	正向
	生态用地比重	生态用面积/总用地面积(%)	正向

2.3 人类活动强度测算模型

人类活动强度是表征人类对陆地表层影响和作用程度的综合指标^[22]。陆地表层人类活动强度的计算公式为:

$$HAILS=\frac{S_{CLE}}{S}\times 100\%$$

$$S_{CLE}=\sum_{i=1}^n(SL_i\cdot CI_i)$$

式中: $HAILS$ 为陆地表层人类活动强度; S_{CLE} 为建设用地当量面积; S 为研究区总面积; SL_i 为第 i 种土地利用/覆被类型的面积; CI_i 为第 i 种土地利用/覆被类型的建设用地当量折算系数; n 为区域内土地利用/覆被类型数。

建设用地当量(CLE)是指一种用于比较不同人类活动方式对陆地表层作用程度的,且通过土地利

用/覆被类型得到反映的度量单位^[23]。参考已有文献的研究^[24-25],不同土地利用类型的建设用地当量折算系数(CI)^[26]见表 3。

表 3 不同土地利用类型的建设用地当量折算系数

土地利用类型	CI
耕地	0.20
林地	0.13
草地	0.10
水域及水利设施用地	0.60
城乡工矿及居民用地	1.00
未利用地	0.00

2.4 “三生空间”功能耦合协调度对人类活动强度的响应模型

相关性分析是对两个或多个变量通过数理统计分析,以衡量变量因素之间的密切程度^[27]。为定量评价“三生空间”功能协调耦合度对人类活动强度的响应过程,本研究借鉴经济学中点弹性公式,引入“响应指数”表示“三生空间”功能协调耦合度对人类活动强度的影响程度。具体计算方法为:

$$R=\frac{d_D}{d_{HAILS}}\cdot \frac{HAILS}{D}$$

式中: d_D 为“三生空间”功能耦合协调度的导数; d_{HAILS} 为是人类活动强度的导数。

3 结果与分析

3.1 “三生功能”系统耦合协调度测算

根据对研究区各地州市“三生空间”功能系统耦合协调度的测算,研究区 2012—2018 年“三生空间”功能系统的耦合协调度总体呈现出向好水平,其中黔东南州苗族侗族自治州的“三生空间”功能系统耦合协调度出现大幅波动;黔西南布依族苗族自治州 2013 年“三生空间”功能系统耦合协调度出现低值;黔南布依族苗族自治州“三生空间”功能系统耦合协调度在 2012—2018 年总体稳定增强。黔南布依族苗族自治州、黔西南布依族苗族自治州 2014 年“三生空间”功能系统耦合协调度开始高于 0.5;黔东南州苗族侗族自治州“三生空间”功能系统耦合协调度 2014 年开始高于 0.5,2015 年达到峰值后回落,自 2016 年开始重新稳步提升(图 1)。

研究区“三生空间”功能系统耦合协调度的测算结果显示黔东南苗族侗族自治州在 2012—2016 年“三生空间”功能系统耦合协调度剧烈波动,显示出该地在 2012—2016 年人地矛盾突出,生产空间功能系统、生活空间功能系统、生态空间功能系统发展不平衡;黔西南布衣族苗族自治州在 2012—2014 年波动

剧烈,该地在此期间快速城镇化,引起当地“三生空间”转型和重构,表现出“三生空间”功能水平发展不协调、不充分。黔南布依族苗族自治州“三生空间”功能耦合协调水平在2012—2018年较为稳定,无明显剧烈波动;所以在少数民族集聚区,虽然少数民族语言沟通及民族习俗有别于其他地区,但是在经济社会发展过程中,考虑少数民族的特点,因地制宜地开展规划引导和给予政策支持,可以缓解少数民族地区人地关系矛盾,促进经济社会健康有序发展。

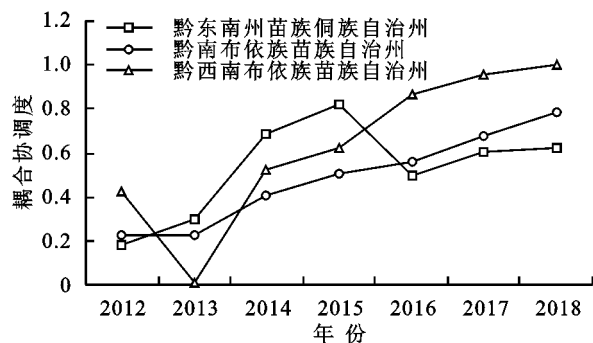


图1 研究区2012—2018年“三生空间”功能耦合协调水平

3.2 人类活动强度测算

研究区2012—2018年人类活动强度测算结果显示,黔东南苗族侗族自治州、黔南布依族苗族自治州、黔西南布依族苗族自治州人类活动强度较弱。研究区人类活动强度虽然在个别年份略有浮动,但是总体在持续加强(图2)。

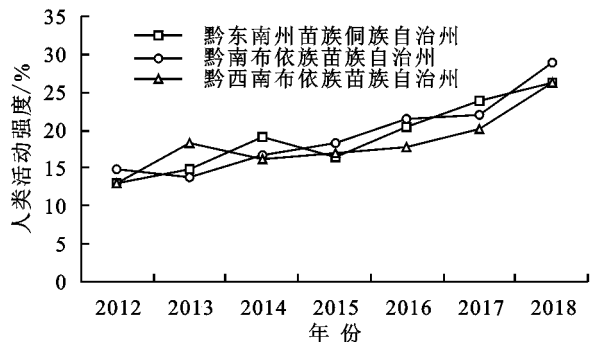


图2 研究区2012—2018年人类活动强度测算结果

2012—2018年,黔东南苗族侗族自治州、黔南布依族苗族自治州、黔西南布依族苗族自治州由于土地破碎化严重、喀斯特地貌分布广泛且可利用性有限和少数民族特有民俗文化等原因,社会经济发展不平衡并表现出人类活动强度较弱。总的来看,研究区人类活动强度虽然在个别年份略有浮动,但是随着区域发展规划的不断优化,城镇化加速,社会经济活动增强,研究区人类活动强度总体在持续加强。

3.3 “三生空间”功能耦合协调度对人类活动强度响应的测算

响应指数 R 为正数,表示人类活动强度与“三生

空间”功能耦合协调度之间呈现正响应关系,人类活动强度对“三生空间”功能耦合协调度具有正面影响; R 为负数时,表示“三生空间”功能耦合协调度与人类活动强度之间呈现负响应关系,人类活动强度对“三生空间”功能耦合协调度具有负面影响;当 R 为 0 时,表示人类活动强度与“三生空间”功能耦合协调度之间在理论上没有产生影响。

测算结果显示,2014年之前研究区“三生空间”功能耦合协调度对人类活动强度的响应程度无明显规律,相互之间的关系紊乱;在人类活动强度对生产、生活、生态空间胁迫的同时,也存生产、生活、生态空间人类活动强度的约束;黔东南苗族侗族自治州在2013年、2014年两年出现负响应,说明2013年与2014年该地人地关系发展不协调,表现为人类活动强度与生产、生活、生态空间系统的矛盾突出;2014年以后研究区“三生空间”功能耦合协调度对人类活动的响应程度趋于稳定(图3)。

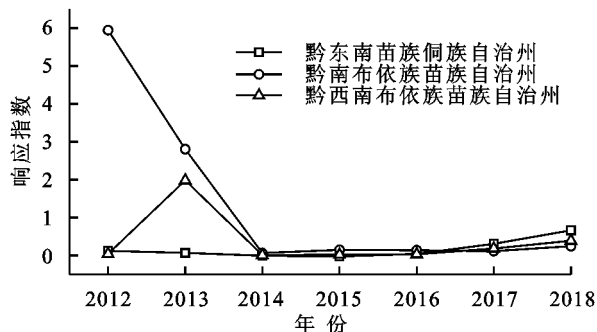


图3 研究区“三生空间”耦合协调度对人类活动强度的响应

4 结论

(1) 2012—2018年,贵州省少数民族地区的政策导向促进了当地“三生空间”功能系统的协调发展,其中生产空间功能(经济发展)与生态空间功能(生态保护)之间的平衡是提高可持续发展能力的难点和重点。在平衡两者的过程中会引起区域内经济发展水平和生态保护水平之间的波动。

(2) 贵州省少数民族地区2012—2018年人类活动强度持续不断增强,与当地“三生空间”功能系统耦合协调度具有一定的相关性。

(3) 2012—2018年,贵州省少数民族地区“三生空间”功能系统耦合协调度与人类活动强度两者在剧烈的相互影响中趋于稳定,2014年以前贵州省少数民族地区的经济与社会发展过快和过强带来严重的人地矛盾。但是,当地政府不断调整发展思路,在学习东中部地区经济社会发展经验的同时,尝试符合研究区实际的发展办法,有力地缓解了人地矛盾。

本文从“三生空间”功能的视角探究欠发达地区“三生空间”功能系统的耦合协调情况,构建了适用于贵州省少数民族地区“三生空间”功能评价指标体系;尝试并实现了欠发达地区“三生空间”功能系统研究的定量表达,丰富了少数民族地区“三生空间”功能系统的理论基础。然而,少数民族地区生产空间、生活空间、生态空间系统是一套具有综合性、复杂性和开放性的人地关系系统,而少数民族本身有具有独特的民风习俗,进一步探究少数民族地区不同民族特点下“三生空间”功能系统时空演变的内在规律及作用机制,以实现少数民族聚集区的可持续发展,是下一步研究的重要方向。

参考文献:

[1] 张军涛,翟婧彤.我国沿海中心城市“三生空间”耦合—协调度评价及优化策略[J].现代城市研究,2020,34(7):2-8.

[2] 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[J].地理科学进展,2017,36(3):378-391.

[3] 陈钱钱,舒晓波,曾凡彬.江西省三生空间结构时空格局多尺度分析[J].水土保持研究,2020,27(4):385-391.

[4] 高星,刘泽伟,李晨曦,等.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[J].生态学报,2020,40(20):1-10.

[5] 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[J].地理研究,2020,39(1):13-24.

[6] 王成,唐宁.重庆市乡村三生空间功能耦合协调的时空特征与格局演化[J].地理研究,2018,37(6):1100-1114.

[7] 王成,周明茗,李颖颖,等.基于耗散结构系统熵模型的乡村生产空间系统有序性研究[J].地理研究,2019,38(3):619-631.

[8] 王成,龙卓奇,樊荣荣.重庆市江津区乡村生产空间系统适应性评价及障碍因素分析[J].地理研究,2020,39(7):1609-1624.

[9] 蔡玉梅,顾林生,李景玉,等.日本六次国土综合开发规划的演变及启示[J].中国土地科学,2008(6):76-80.

[10] 陈仲常,张泽东.基于熵权法的重庆市主体功能区规划[J].重庆理工大学学报:社会科学版,2010,24(11):31-34.

[11] 樊杰,周侃,孙威,等.人文—经济地理学在生态文明建

设中的学科价值与学术创新[J].地理科学进展,2013,32(2):147-160.

[12] 魏后凯,高春亮.中国区域协调发展态势与政策调整思路[J].河南社会科学,2012,20(1):107-108.

[13] 贵州省统计局.贵州统计年鉴 2019[Z].北京:中国统计出版社,2019.

[14] 贵州省黔东南州统计局.黔东南州统计年鉴 2019[Z].北京:中国统计出版社,2019.

[15] 贵州省黔南州统计局.黔南统计年鉴 2019[Z].北京:中国统计出版社,2019.

[16] 贵州省黔西南州统计局.黔西南州统计年鉴 2019[Z].北京:中国统计出版社,2019.

[17] 王振坡,朱丹,王丽艳.区域协同下京津冀城市群城市综合承载力评价[J].首都经济贸易大学学报,2018,20(6):73-81.

[18] 史丹,白骏骄.产业结构早熟对经济增长的影响及其内生性解释:基于互联网式创新力视角[J].中央财经大学学报,2019(6):105-118.

[19] 欧惠,戴文远,黄万里,等.基于“三生空间”的福建省城市综合承载力研究[J].生态学报,2020,39(3):71-79.

[20] 刘浩,张毅,郑文升.城市土地集约利用与区域城市化的时空耦合协调发展评价:以环渤海地区城市为例[J].地理研究,2011,30(10):1805-1817.

[21] 韦晨,侯国林.基于“三生空间”功能评价的中原城市群国土空间特征及优化研究[J].湖南师范大学自然科学学报,2020,43(3):18-26.

[22] 徐勇,孙晓一,汤青.陆地表层人类活动强度:概念、方法及应用[J].地理学报,2015,70(7):1068-1079.

[23] 徐小任,徐勇.黄土高原地区人类活动强度时空变化分析[J].地理研究,2017,3(4):661-672.

[24] 韩美,张翠,路广,等.黄河三角洲人类活动强度的湿地景观格局梯度响应[J].农业工程学报,2017,33(6):265-274.

[25] 彭文君.喀斯特山区土地生态环境对人类活动的响应机制和耐受能力研究[D].贵阳:贵州大学,2018.

[26] 陈钱钱.江西省“三生”空间时空演化及其对人类活动强度的动态响应[D].南昌:江西师范大学,2020.

[27] 刘健,刘银坤.基于 Pearson 系数对气象因子与污染物的相关性研究[J].华北科技学院学报,2019,16(4):93-97.