

1990—2020 年河南省黄淮海平原国土空间“三生”功能时空演变

冯晓娟^{1,2}, 雷国平³, 马泉来^{2,4}, 杨崇科^{2,4}, 张艳艳¹

[1.嵩山少林武术职业学院, 河南 登封 452470; 2.河南省自然资源

科技创新中心(资源环境承载力评价与监测预警研究), 河南 郑州 450007;

3.东北大学土地管理研究所, 辽宁 沈阳 110169; 4.河南省资源环境调查一院, 河南 郑州 450007]

摘要: [目的] 对国土空间“三生”功能时空演变进行研究, 为区域国土空间新格局的构建, 实施监督国土空间规划和促进区域协调发展提供科学依据。[方法] 以河南省黄淮海平原为研究区, 基于 1990, 2005 和 2020 年土地利用遥感监测数据, 运用功能归并、地理网格采样和空间协调度等方法开展研究。[结果] 1990—2020 年, 生产、生活功能指数分别上升了 1.30% 和 20.83%, 且均呈西部低而中东部高的特点, 生态功能指数下降了 2.52%。生产功能指数以相对平衡状态为主, 生活功能变化幅度较小, 空间上呈零散分布特点, 生态功能空间变化幅度强烈。缩小区多位于研究区西南部, 扩张区集中于西部和东端。国土功能的协调度逐渐变差, 中高、高协调类型区面积均偏小, 低协调类型区扩张显著, 并成为最主要的功能协调类型, 中低和中协调类型区面积比例持续下降。[结论] 应依据研究区国土空间的功能服务特性, 合理统筹部署国土空间开发及利用, 促进国土空间的生产、生活与生态功能协调发展。

关键词: 国土空间; “三生”功能; 协调度; 黄淮海平原

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2022)04-0357-08

中图分类号: F292

文献参数: 冯晓娟, 雷国平, 马泉来, 等. 1990—2020 年河南省黄淮海平原国土空间“三生”功能时空演变 [J]. 水土保持通报, 2022, 42(4): 357-364. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2022.04.044; Feng Xiaojuan, Lei Guoping, Ma Quanlai, et al. Spatial-temporal evolution of productional-living-ecological function in Huanghuaihai Plain of He'nan Province during 1990—2020 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(4): 357-364.

Spatial-Temporal Evolution of Productional-Living-Ecological Function in Huanghuaihai Plain of He'nan Province During 1990—2020

Feng Xiaojuan^{1,2}, Lei Guoping³, Ma Quanlai^{2,4}, Yang Chongke^{2,4}, Zhang Yanyan¹

[1. Songshan Shaolin Wushu College, Dengfeng, He'nan 452470, China;

2. Science and Technology Innovation Centre of Nature Resources of He'nan Provinces

(Evaluation Monitoring and Early Warning of Resource Environmental Bearing Capacity, Zhengzhou,

He'nan 450007, China; 3. Land Management Institute, Northeastern University, Shenyang, Liaoning 110169, China;

4. The First Institute of Resources and Environment Investigation of He'nan Province, Zhengzhou, He'nan 450007, China]

Abstract: [Objective] The spatial and temporal evolution of productional-living-ecological functions was studied in order to provide a scientific basis for the construction of new regional land space patterns, implement and supervise territorial spatial planning, and ensure regional food security. [Methods] Functional integration, geographic grid sampling, and spatial coordination degree model methods were comprehensively applied to analyze land use remote sensing data from 1990, 2005, and 2020 in the Huanghuaihai Plain of He'nan Province with regard to the state and coordination characteristics of productional-living-ecological

收稿日期: 2021-12-22

修回日期: 2022-02-07

资助项目: 河南省重点研发与推广专项(科技攻关)“河南沿黄区耕地利用下水土资源平衡与优化利用研究”(222102320299); 河南省财政专项“河南省资源环境承载力监测预警技术方法及关键指标研究”(豫煤地[2021]26号); 湖南省自然科学基金项目(2021JJ40352)

第一作者: 冯晓娟(1987—), 女(汉族), 河南省郑州市人, 硕士, 讲师, 主要从事土地利用与规划方面的研究。Email: fxj0607@163.com。

通讯作者: 雷国平(1963—), 男(汉族), 黑龙江省青冈县人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为土地利用规划与土地管理研究。Email: guopinglei@126.com。

functions in the study area. [Results] From 1990 to 2020, the production and living function indexes increased by 1.30% and 20.83%, respectively, and were characterized as being low in the east and high in the central and east parts of the study area. Over the same time period, the ecological function index decreased by 2.52%. The production service functions were mainly in a relatively balanced state. The shrinking areas were mostly located in the southwest, and the expanding areas were concentrated in the west and the east. The variation of the living function was small, and the spatial distribution was scattered. The spatial variation of the ecological function was strong, with the shrinking area concentrated in the southwest. The expanding area comprised a circular distribution along the northwest, west, and south. The coordination degree of regional land function gradually deteriorated, and the area of middle-high and high-coordination areas were small. The area of low-coordination areas expanded rapidly, and became the most important type of regional land spatial function coordination. The area proportion of middle-low and middle-coordination areas continually decreased. [Conclusion] According to the functional service characteristics of the territorial space in the study area, the development and utilization of the territorial space should be reasonably coordinated and deployed, so as to promote the coordinated development of production, living and ecological functions of territorial space.

Keywords: geographical space; production-living-ecological functions; coordination feature; Huanghuaihai Plain

国土空间是人类生产、生活及生态文明建设的载体,是国土宏观尺度认识的基本范式^[1-3]。随着工业化、城镇化和农业现代化进程的加速推进,国土空间功能与格局都发生着剧烈变化,国土空间可持续开发与利用面临新特征新挑战^[4-5]。面对新发展阶段的新需求,党的十八大明确提出要从多功能角度确立国土空间开发新格局,与国土空间规划“三区三线”的划定相对应,旨在构建科学合理的生产、生活和生态格局,进一步优化国土空间开发利用保护新格局^[6]。因此,如何科学准确地开展国土空间生产、生活和生态“三生”功能评估,揭示其演化特征规律,对新时期落实细化主体功能区战略、实施监督国土空间规划、实现区域协调发展等具有重要意义。

有学者^[7-8]围绕国土空间功能评估已做了大量研究,在功能识别方面,有的针对特定的研究目标、研究尺度,依据各功能的表现量或生物物理过程进行功能的价值化表达,但该方法易受评价对象的社会发展状况的影响,相关研究结果也多停留于区域宏观尺度,难以精准确量区域内部功能的差异性特征^[9-10]。也有研究是依据不同类型用地的开发适宜性,基于用地分类体系即根据国家相关的土地分类标准对区域土地利用现状进行归并分类,遵循“自下而上、功能分级”的原则对国土空间的生产、生活和生态空间服务功能做量化从而识别国土空间功能^[11-13],这种方法实质是对土地利用类型进行归并和分类,能够在一定程度上弥补土地利用分类对生态功能考虑不足的缺点,也实际应用中也容易与其他用地分类系统进行衔接,但在精准应用方面仍存在诸多不足。在研究尺度方

面,已有的研究在宏观尺度上多以行政区为基本单元,进行大尺度的国土空间“三生”功能的识别与划定^[14-17],部分微观尺度研究,则以用地类型区为基本单元^[18-19],相关研究都难以打破行政区划和用地类型的限制,对中小尺度国土空间“三生”空间划定以及主体功能区的细化则表现出诸多不足。同时,国土空间作为多功能综合体,“三生”功能之间又存在相互关联、相互统一的关系,两种乃至多种功能复合形成的新的综合功能也是国土空间功能识别的重要问题。黄淮海平原农业生产历史悠久,是中国北方极为重要的粮食主产区和工业基地之一^[20-22],但在区域长时间高强度开发的背景下,黄淮海平原国土空间的结构和功能也发生巨大变化,其国土开发时序合理程度及空间布局科学性,以及国土空间功能协调性都需要进行科学精准的评估。鉴于此,本文选取河南省境内黄淮海平原主体区域为研究区,在多源遥感监测数据支持下,借助 ArcGIS 10.5 平台,综合运用功能归并、地理网格采样和空间协调度等模型方法,对研究区国土空间生产、生活和生态“三生”功能状态及协调特征开展研究,以期为区域内国土空间新格局的构建、实施监督国土空间规划和促进区域协调发展提供科学依据。

1 研究区概况及数据来源

1.1 研究区概况

河南省境内黄淮海平原主体区域位于河南省中东部,黄河中下游,包含开封、商丘、周口、驻马店、信

阳等12个省辖市,国土面积 $8.44 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。地处暖温过渡带,为大陆性季风气候区,春季易旱而夏季降雨充沛,地貌上主要为冲积平原地带,地势从西部低山丘陵过渡到东部平原。研究区属黄淮海平原粮食生产的核心区域,耕地种植条件优良,在河南省粮食生产乃至中国商品粮供给上占据着重要地位,该地区人口密度大、经济社会发展相对不足,传统的农业生产生活、较快的城镇化使得区域内国土空间开发利用与绿色可持续发展面临较大挑战^[23]。在当前区域生态文明建设和国土空间规划背景下,十分需要明晰区域内国土空间功能特征,加快构建区域国土空间开发利用保护新格局。

1.2 数据来源

基础数据源来自美国陆地资源卫星 Landsat 4,

5,8 的 TM/OLI 多光谱遥感影像,数据获取来自美国地质勘探局 USGS(<http://earthexplorer.usgs.gov/>),过程中涉及选用不同的 Landsat 卫星数字产品,辅以中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>)的“中国土地利用现状遥感监测数据”(该数据已应用于多地区的土地利用变化及其遥感监测动态研究,具有较高的准确率及实用性)和 Google Earth 数据。遥感影像数据在经过大气校正、几何纠正、图像增强等预处理的基础上,进行波段的标准假彩色融合,采取人机交互式目视解译方法完成土地利用数据的识别,地类编码和判读与中国科学院资源环境科学数据中心的“中国土地利用现状遥感监测数据”相一致,最终形成研究区土地利用现状分布数据(采用中科院 LUCC 分类体系,图1)。

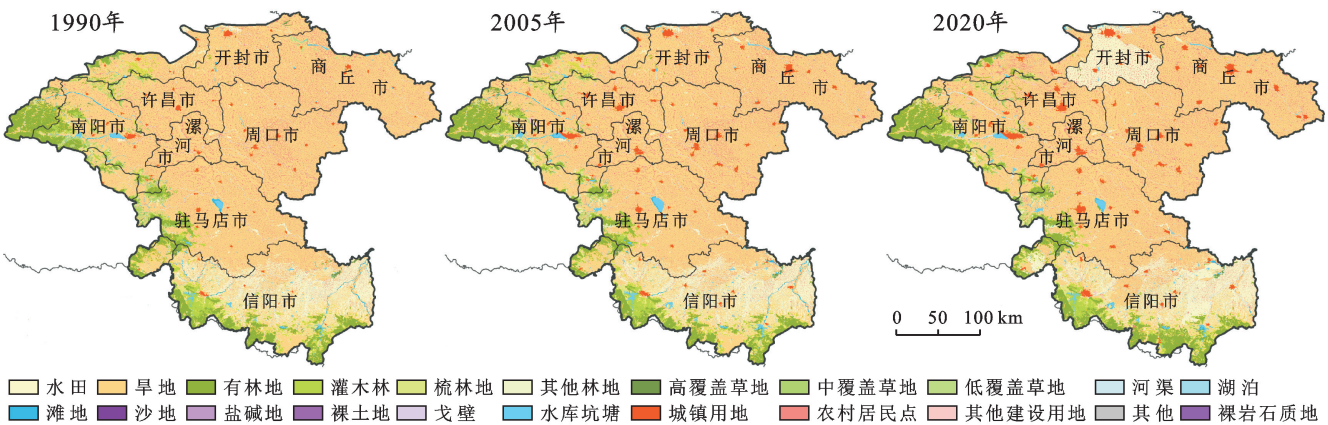


图1 河南省黄淮海平原1990—2020年土地利用类型分布

2 研究方法

2.1 国土空间“三生”功能评估

功能多样性及复合性是国土资源的基本属性,在考虑国土空间结构差异基础上,划分生产、生活、生态用地类型,依次明确其功能服务的强弱程度,运用功能归并法,并借鉴周浩和刘继来等^[11,13]构建的关于土地利用类型的“三生”功能评价体系赋值标准进行土地利用类型赋值(表1)。以生产功能为例,城镇用地、农村居民点和其他建设用地区域经济发展的核心用地类型,国土生产功能相对完整;水田和旱地的生产功能弱于建设用地,但强于其他用地类型,发挥半生产功能作用;草地开发利用形式粗放,生产功能相对较弱;林地、河渠湖泊和沼泽沙地等则以生态功能为主,生产功能非常弱,为便于分类统计,可将其视为无生产功能状态。将以上4种生产功能状态(完整、半、弱和无功能)所对应的土地利用类型分别赋值为5,3,1分和0分。

同时,为打破功能归并赋值过程中用地斑块的空间约束,借鉴土地利用变化分析中的网格采样手段,将区域内各斑块平均面积2~5倍大小的地理网格(1500 m×1500 m)视作生产、生活、生态功能评价的基本地域单元,尽可能地保留真实功能特性。然后对采样网格内土地利用类型数据进行生产、生活和生态功能赋值,将各自功能特性视作该网格的对应“三生”功能值,运用反距离权重插值法^[1]生成功能空间分布图,以评估国土空间“三生”功能特性:

$$F_i = \sum_{i=1}^n S_i \cdot W_i \quad (1)$$

式中: F_i 为各地理网格生产/生活/生态功能值; i 为用地类型; n 为各地理网格内用地类型总数; S_i 为地理网格内第*i*种用地类型面积(km^2); W_i 为第*i*种用地类型单位面积的生产/生活/生态功能赋分。

2.2 国土空间“三生”功能分异特征研究

从年内空间分布以及年际动态变化两方面研究国土空间“三生”功能分异特征:①结合空间分布特点,定性与定量相结合来分析国土空间“三生”功能的

年内空间分布特征；②自然裂点分级法根据自然数值的统计规律来获取特征点,以使各等级间的不同最大化^[24],在 ArcGIS 10.5 平台支持下,运用栅格运算法,分别计算 1990—2005 年和 2005—2020 年两个时

段栅格评价值的差值,然后基于自然裂点分级法划分为“缩小、保持、扩张”3 种变化类型,采用 GIS 空间统计技术对各格局变化特征进行分析,以反映国土空间的“三生”功能年际动态变化特征。

表 1 研究区国土空间功能评价赋值

分类体系	生产功能	生活功能	生态功能	分类体系	生产功能	生活功能	生态功能
11 水田	3	0	3	42 湖泊	0	0	5
12 旱地	3	0	3	43 水库坑塘	1	0	1
53 其他建设用地	5	0	0	44 永久性冰川雪地	0	0	5
51 城镇用地	5	5	0	45 滩涂	0	0	5
52 农村居民点	5	5	0	46 滩地	0	0	5
21 有林地	1	0	5	64 沼泽地	0	0	5
22 灌木林地	0	0	5	61 沙地	0	0	1
23 疏林地	0	0	5	62 戈壁	0	0	1
24 其他林地	0	0	3	63 盐碱地	0	0	1
31 高覆盖度草地	1	0	5	65 裸土地	0	0	1
32 中覆盖度草地	1	0	5	66 裸岩石质地	0	0	1
33 低覆盖度草地	1	0	3	67 其他用地	0	0	1
41 河渠	0	0	5				

2.3 协调度评估模型

借鉴相关学者的研究^[25-26],构建符合国土空间要求的国土空间协调度模型,该模型从生产、生活和生

态 3 个功能角度出发,评价国土空间功能的系统协调程度,并依此来定量识别生产、生活和生态 3 个功能的协调发展水平。其计算公式为:

$$D = \sqrt{\left\{ \frac{f_1 \times f_2 \times f_3}{(f_1 + f_2) \times (f_1 + f_3) \times (f_2 + f_3)} \right\}^{\frac{1}{3}} \times (\alpha f_1 + \beta f_2 + \gamma f_3)} \quad (2)$$

式中: D 为国土功能协调度, D 值越大,协调度越好。协调度反映了生产、生活和生态功能系统发展过程中彼此和谐一致水平; f_1, f_2, f_3 依次对应着国土空间生产、生活和生态功能指数; $\alpha f_1 + \beta f_2 + \gamma f_3$ 构成了国土空间综合功能指数,由于国土空间的良性循环与发展离不开其中任何一个功能的保障实现度,各功能同等重要; α, β, γ 系数分别取值 1/3。

3 结果与分析

3.1 国土空间“三生”功能年内分布特征

评估各地理网格的“三生”功能值,并运用空间插值法得到各研究时点功能分布图(图 2)。河南黄淮海平原既是河南省主要粮食产区所在地,又是该地区城镇化进程的主要分布区,人口密度大,国土空间受人类干扰强烈。30 a 以来,该地区对应的国土空间生产服务功能呈增加趋势,1990,2005 和 2020 年对应的国土空间生产功能均值分别是 2.30,2.32 和 2.33,空间上呈西部功能值低而中东部偏高的特点,反映了国土空间生产的用地集约性和产出高效性也随之增强特征;生活功能均值也呈现逐年上升趋势,3 个研

究时点功能值依次为 0.48,0.53 和 0.58,国土空间的生活功能稳步向良性方向发展,居民生活更为便捷、空间更加宜居,并在空间上呈西部、西南部功能值低,而中、东部高值零散分布的特点;生态功能均值分别为 3.17,3.14 和 3.09,生态服务功能呈持续下降趋势,主要原因在于经济社会生产建设不断挤压生态空间,导致林、草地面积逐年下降。值得注意的是,河南省近年来在该地区构建的横跨东西的黄河滩区生态涵养带和纵贯南北的南水北调中线生态保护带,将对该地区国土生态空间产生显著的积极影响。

3.2 国土空间“三生”功能年际动态变化特征

采用 GIS 空间叠加手段,对 1990,2005 和 2020 年“三生”功能数据进行差值叠加运算,分析不同时间段的功能“缩小、保持、扩张”特征,以反映研究区国土空间“三生”功能年际动态变化的差异性和阶段性特点。

3.2.1 生产功能 研究期内,河南黄淮海平原的国土空间生产功能以平衡状态为主,前后研究时间节点的国土空间生产服务功能基本保持不变。前一时间段(1990—2005 年),生产功能缩小的区域占全域面

积的3.11%，空间上主要分布在西部和西南部的南阳、信阳、洛阳等地，呈现明显的空间规律性分布特点，生产功能扩张区域的相对面积比例为3.79%，空间上也更集中分布在西部和西南部等地，与功能缩小区域表现出一致的空间分布特征；后一时间段（2005—2020年），功能缩小区域与功能扩张区域均呈现面积

减少的特点，其中功能缩小区域的相对面积比例变为1.86%，而功能扩张区域的相对面积比例减至1.60%，对应的功能保持区域面积比例则由上一时间段的93.10%增加至96.54%，空间上功能缩小区域仍倾向于分布在南阳、信阳等地，而功能扩张区域则更集中于洛阳、郑州等经济较为发达的地区（图3—4）。

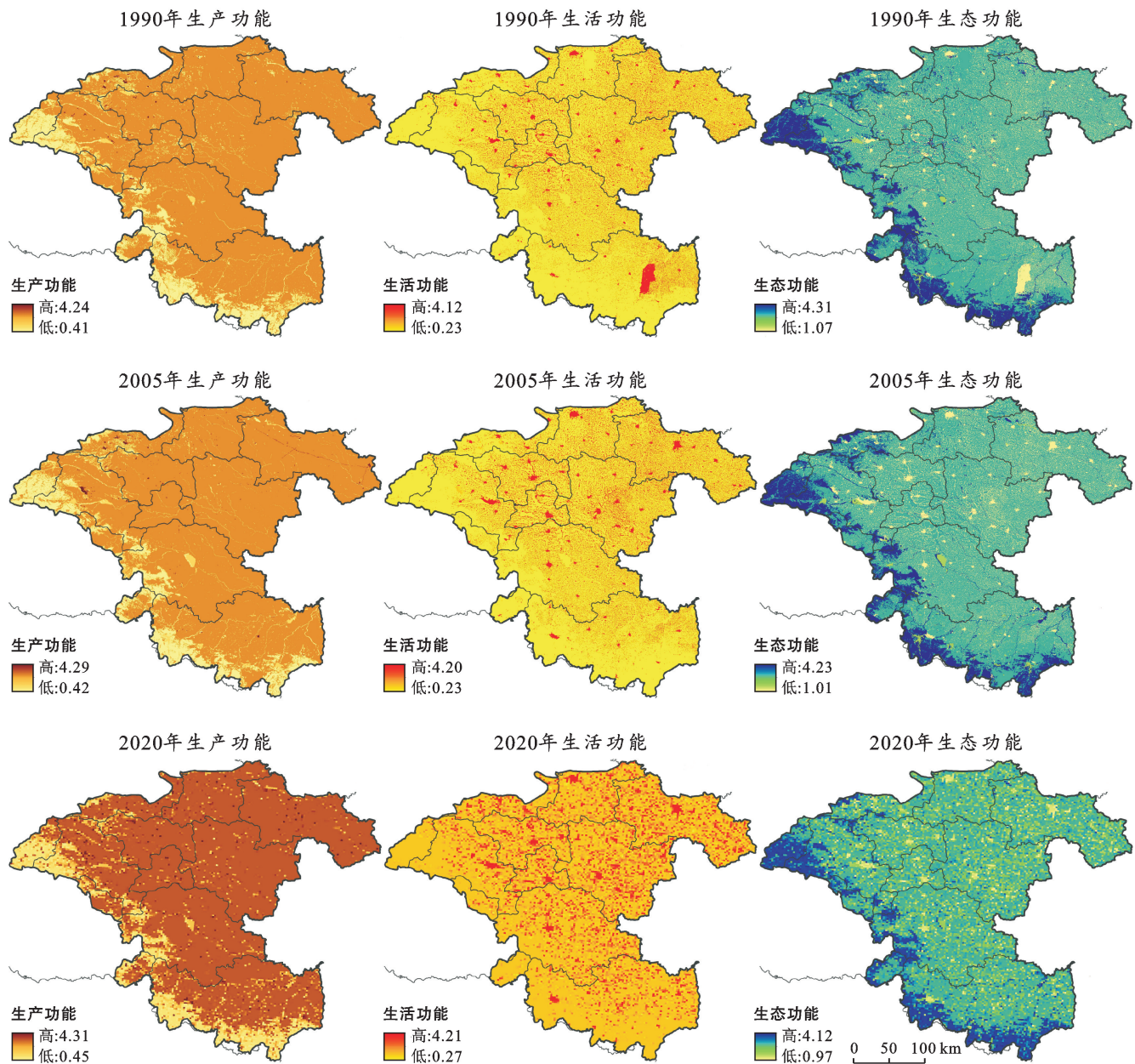


图2 河南省黄淮海平原国土空间“三生”功能综合评价结果

3.2.2 生活功能 前后两个时间段的不同功能变化类型面积变化幅度较小，国土空间功能较为稳定。前一时间段（1990—2005年），功能缩小区域面积占全域国土总面积的2.15%，而功能扩张比例为2.87%，相对于生产功能而言，生活功能的缩小与扩张区域多围绕主要城镇居住区进行，空间分布极为零散，规律

性特征较差，也反映了全域生活功能变化较为频繁的特点；后一时间段（2005—2020年），功能缩小和功能扩张的变化类型也表现出零散的空间分布特点，面积均有所增加，国土生活服务功能变化更为频繁。其中，功能缩小区域的面积比例增至2.88%。功能扩张区域比例增至3.62%，对应的保持区面积比例由上一时间

段的94.98%减少至93.50%(图3—4)。

3.2.3 生态功能 前一时间段(1990—2005年),生态功能缩小区面积占区域总面积的6.47%,空间分布零散,同时南部的信阳、南阳等地分布较为密集。功能扩张区的面积比例也达到4.90%,但空间规律特征更为显著,主要沿西北—西—南部呈环状分布。后一时间段(2005—2020年),功能缩小区和功能扩张区

均维持着较低的面积比例系数,其中功能缩小区面积比例为5.03%,扩张区为4.30%,对应的功能保持区面积比例则由上一时间段的88.64%增加至90.67%,相对于前一时间段,2005—2020年研究区生态功能变化强度有所放缓。因此建议该地区在国土空间规划工作中,在注重国土生产和生活服务功能增加的同时,要进一步加强其生态用地的科学规划力度。

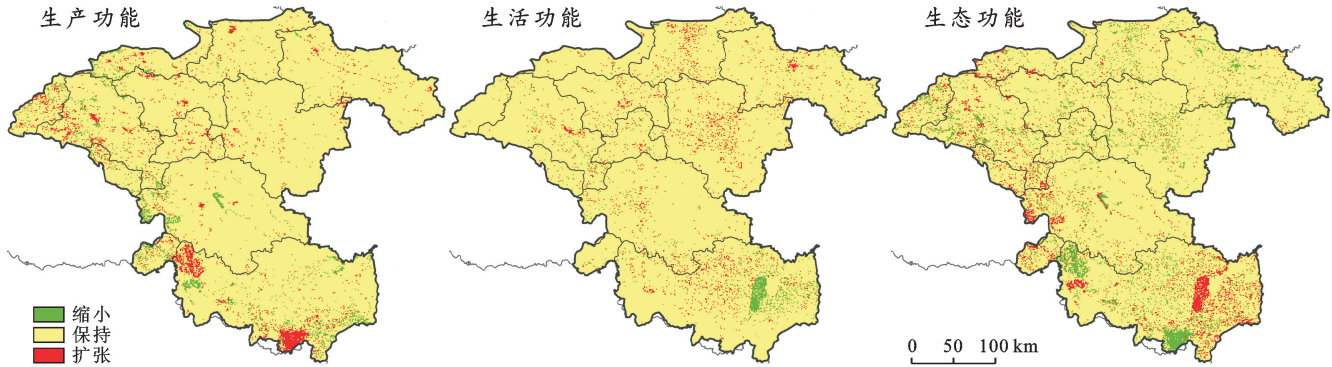


图3 河南省黄淮海平原1990—2005年国土空间功能的变化特征

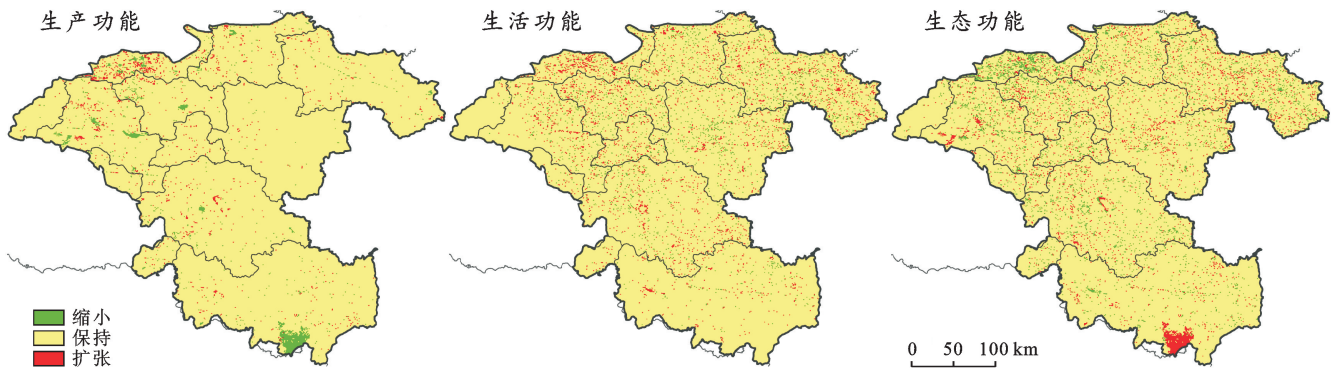


图4 河南省黄淮海平原2005—2020年国土空间功能的变化特征

3.3 国土空间“三生”功能协调特征

在人地关系矛盾背景下,国土空间系统动态演化特征体现为国土空间功能的对应变化。国土空间功能管理存在彼此消长的协同关系,这种协同关系可以通过协调度来反映。基于国土空间“三生”功能综合评估结果,对研究区国土空间协调特征进行研究,并采用自然裂点分级法进行等级划分(分为高、中高、中、中低和低5个等级),以使等级与等级之间的不同最大化(图5)。

作为全国重要的粮食主产区和人口密集区,黄淮海平原经历了较为明显的人类经济活动干扰影响。1990—2020年,河南黄淮海平原国土空间的生产、生活和生态功能的协调度逐渐趋于不利方向发展,中高协调、高协调类型区的面积小,而低协调类型区急剧扩张,并成为最主要的国土空间功能协调类型,中低协调和中协调类型区面积比例持续下降。具体而言,

1990年,研究区以低、中低和中度的协调状态为主,中低协调类型的面积比例达到70.23%,西部和东端多为山地丘陵带,生态功能强但生产功能、生活功能弱,为中度协调和低度协调类型的主要分布区;2005年,受人类经济生产活动影响,研究区生产功能和生态功能逐渐增强,而生活功能弱化,导致国土空间功能协调度下降,大面积中低协调区变成低度协调区,对应低协调类型的面积比例达到75.09%,而中低协调类型区面积比例降至20.47%,空间上多分布于西部、西北部等经济较为发达的城镇区;2020年,低度协调区面积继续扩张至82.71%,空间分布范围极广,中低协调面积比例则继续下降至14.49%,中度协调类型区面积比例则由2005年的3.00%降至2020年的1.34%,中高协调和高协调区的面积比例均维持在较低的水平(图6)。整体而言,30a间,河南省黄淮海平原生产功能和生态功能均呈上升趋势,但生活功能持续

下降,导致国土空间的生产、生活和生态功能的协调度逐渐趋于不利方向发展,中高协调和高协调类型区面积小,而低协调类型区急剧扩张,已成为最主要的国土

空间功能协调类型。因此,亟需依据该地区国土空间的功能服务特性,合理统筹部署国土空间开发及利用,促进国土空间的生产、生活与生态功能协调发展。

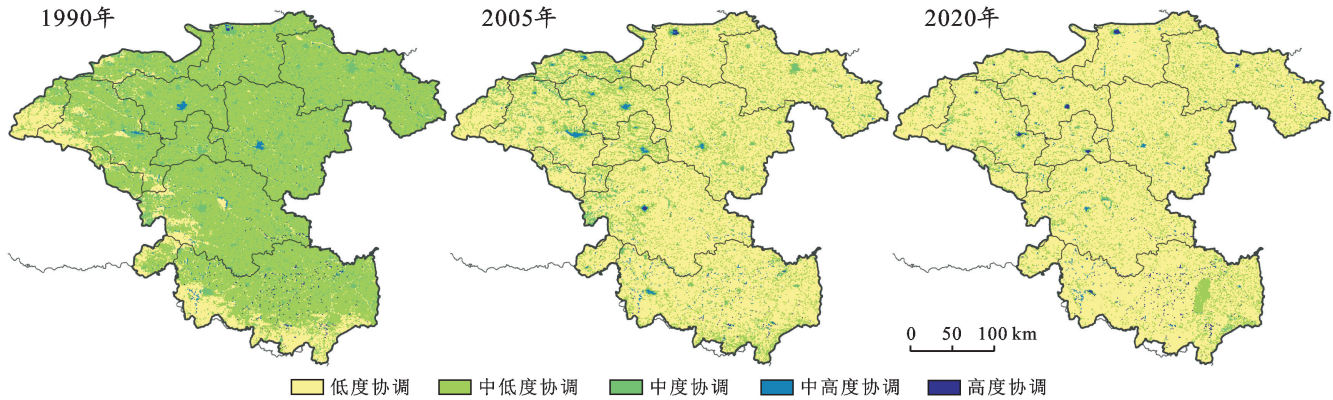


图5 河南省黄淮海平原国土空间功能协调度评价结果

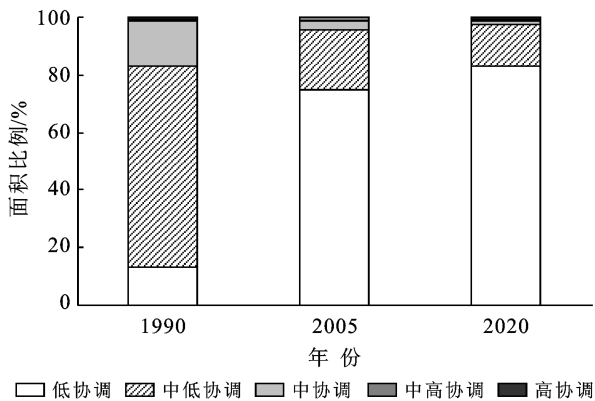


图6 河南省黄淮海平原国土空间功能协调度面积比例

4 结论

(1) 30 a 间,河南黄淮海平原的国土生产服务功能上升了 1.30%,由 1990 年的 2.30 增至 2020 年的 2.33,生活功能上升了 20.83%,生态功能值由 1990 年的 3.17 变为 2020 年的 3.09,其中生产、生活功能均呈西部功能值低而中东部高值零散分布特点,生态功能则呈现西部、南部高,东部、北部低特征,国土空间逐渐向用地更加高效、居民生活更为便捷、空间更加宜居方向发展。

(2) 国土空间生产、生活和生态功能保持区的面积比例系数均高于 90%。生产功能以平衡状态为主,生产服务功能基本保持不变,但功能缩小与功能扩张区域表现出面积同步减少,空间范围差异性萎缩的特点。前后两个时间段的生活功能面积变化幅度较小,国土空间功能稳定。生态功能空间变化强烈,功能缩小区与扩张类型区的面积比例系数均显著高于其他功能类型。

(3) 受长期人类经济生产活动影响,研究区生产功能和生活功能逐渐增强,生态功能弱化,导致国土空间功能协调度下降,生产、生活和生态功能整体协调度逐渐趋于不利方向发展,中高协调、高协调类型区面积比例极小,低协调类型区成为最主要的国土空间功能协调类型,其面积比例由 1990 年的 12.96% 增至 2020 年的 82.71%,中低协调和中协调类型区面积比例持续下降,西部与西北部的洛阳、郑州等地的协调度水平较其他地区更低。

[参 考 文 献]

- [1] 隋虹均,宋戈,张红梅.松嫩平原北部粮食主产区克山县三生空间识别[J].农业工程学报,2020,36(19):264-271.
- [2] 刘海龙,王跃飞,谢亚林,等.太原城市群三生空间时空演变特征及功能[J].水土保持通报,2020,40(5):310-318,327.
- [3] 龚亚男,韩书成,时晓标,等.广东省“三生空间”用地转型的时空演变及其生态环境效应[J].水土保持研究,2020,27(3):203-209.
- [4] Guo Liying, Wang Daolong, Qiu Jianjun, et al. Spatio-temporal patterns of land use change along the Bohai Rim in China during 1985-2005 [J]. Journal of Geographical Sciences, 2009,19(5):568-576.
- [5] Chen Yiping, Wang Kaibo, Lin Yishan, et al. Balancing green and grain trade[J]. Nature Geoscience, 2015, 8(10):739-741.
- [6] 王考,姚云峰,包金兰.县级尺度“三生”用地动态变化及其空间集聚特征[J].水土保持通报,2018,38(1):306-312.
- [7] 金贵,邓祥征,张倩,等.武汉城市圈国土空间综合功能分区[J].地理研究,2017,36(3):541-552.
- [8] 念沛豪,蔡玉梅,谢秀珍,等.基于生态位理论的湖南省国

- 土空间综合功能分区[J].资源科学,2014,36(9):1958-1968.
- [9] 畅田颖,张仲伍,乔旭宁.黄河流域 2000—2020 年“三生”空间土地利用转型及其生态环境效应[J].水土保持通报,2021,41(4):268-275.
- [10] 吕立刚,周生路,周兵兵,等.区域发展过程中土地利用转型及其生态环境响应研究:以江苏省为例[J].地理科学,2013,33(12):1442-1449.
- [11] 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[J].中国土地科学,2020,34(8):10-17.
- [12] 于莉,宋安安,郑宇,等.“三生用地”分类及其空间格局分析:以昌黎县为例[J].中国农业资源与区划,2017,38(2):89-96.
- [13] 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[J].地理学报,2017,72(7):1290-1304.
- [14] 林伊琳,赵俊三,张萌,等.滇中城市群国土空间格局识别与时空演化特征分析[J].农业机械学报,2019,50(8):176-191.
- [15] 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(7):1332-1338.
- [16] 马世发,马梅,蔡玉梅,等.省级尺度国土空间生态保护红线划定:以湖南省为例[J].热带地理,2015,35(1):43-50.
- [17] 朱媛媛,余斌,曾菊新,等.国家限制开发区“生产—生活—生态”空间的优化:以湖北省五峰县为例[J].经济地理,2015,35(4):26-32.
- [18] 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[J].地理学报,2016,71(1):49-65.
- [19] 于莉,宋安安,郑宇,等.“三生用地”分类及其空间格局分析:以昌黎县为例[J].中国农业资源与区划,2017,38(2):89-96.
- [20] 雷鸣,孔祥斌,张雪靓,等.黄淮海平原区土地利用变化对地下水资源量变化的影响[J].资源科学,2017,39(6):1099-1116.
- [21] 洪舒蔓,郝晋珉,周宁,等.黄淮海平原耕地变化及对粮食生产格局变化的影响[J].农业工程学报,2014,30(21):268-277.
- [22] 孟鹏,郝晋珉,周宁,等.黄淮海平原城镇化对耕地变化影响的差异性分析[J].农业工程学报,2013,29(22):1-10.
- [23] 欧阳竹,邓祥征,孙志刚,等.面向国民经济主战场的区域农业研究[J].地理学报,2020,75(12):2636-2654.
- [24] 田鹏,李加林,史小丽,等.浙江省土地利用格局时空变化及生态风险评价[J].长江流域资源与环境,2018,27(12):2697-2706.
- [25] 单薇,金晓斌,冉娜,等.江苏省土地利用“生产—生活—生态”功能变化与耦合特征分析[J].长江流域资源与环境,2019,28(7):1541-1551.
- [26] 庞丽,周兴,韦芦桂.2009—2018 年广西国土空间“三生”功能评价及耦合协调性分析[J].水土保持通报,2021,41(1):237-244.

(上接第 356 页)

- [25] 王军,严有龙,王金满,等.闽江流域生境质量时空演变特征与预测研究[J].生态学报,2021,41(14):5837-5848.
- [26] Anselin L. Local indicators of spatial association—LISA [J]. Geographical analysis, 1995,27(2):93-115.
- [27] 雷金睿,陈宗铸,吴庭天,等.海南岛东北部土地利用与生态系统服务价值空间自相关格局分析[J].生态学报,2019,39(7):2366-2377.
- [28] 孟斌,王劲峰,张文忠,等.基于空间分析方法的中国区域差异研究[J].地理科学,2005,25(4):393-400.
- [29] 胡碧松,张涵玥.基于 CA-Markov 模型的鄱阳湖区土地利用变化模拟研究[J].长江流域资源与环境,2018,27(6):1207-1219.
- [30] Wickramasuriya R C, Bregt A K, Van Delden H, et al. The dynamics of shifting cultivation captured in an extended constrained cellular automata land use model [J]. Ecological Modelling, 2009, 220(18): 2302-2309.
- [31] 黎云云,畅建霞,王义民.基于 CA-Markov 模型的黄河流域土地利用模拟预测研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2020,48(12):107-116.