河南省沿黄典型粮食主产区国土空间“三生”功能演化特征

冯晓娟[1,2], 王振刚[3], 马泉来[2], 路 中[4], 雷国平[5]

〔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(资源环境承载能力评价与监测预警研究), 河南 郑州 450007; 3.中原科技学院, 河南 许昌 461100; 4.黄河勘测规划设计研究院, 河南 郑州 450003; 5.东北大学, 辽宁 沈阳 110169〕

摘 要: [目的]明晰典型粮食主产区国土空间“三生”功能时空演化规律及耦合协调特征,为保障国家粮食安全,促进国土空间健康可持续发展提供科学支撑。[方法]以河南省黄河沿岸的原阳、封丘等6个主要产粮大县(市)为研究区,构建“三生”功能评价指标体系,结合GIS的空间数据分析方法和耦合协调度模型,探究2008—2023年国土空间生产、生活和生态“三生”功能状态及协调特征,并提出调控策略。[结果]①2008—2023年研究区“三生”功能的综合功能平均值由2008年的0.147提高到2023年的0.364,增幅达147.62%,表明该地区国土功能逐渐强化,但生产功能和生活功能评价得分明显高于生态功能;②研究期内该地区“三生”功能等级整体显著提升,且存在空间持续分异特征,功能演变均呈现“东高西低”的梯度分异格局;③2008—2023年该地区“三生”功能的耦合协调度区间值为[0.263,0.515],15 a间跨越4个协调度等级,即从中度失调型到勉强协调型,相邻年度区间水平差异较小,整体较为均衡。[结论]针对研究区“三生”功能时空分异及协调度提升需求,应通过优化空间布局,强化生产与生态协同,完善区域协作机制,以推动区域粮食安全与可持续发展。

关键词: 国土空间;“三生”功能;耦合协调度;河南省;沿黄典型粮食主产区

文献标识码: A **文章编号:** 1000-288X(2026)05-0458-10 **中图分类号:** F301.24

文献参数: 冯晓娟, 王振刚, 马泉来, 等.河南省沿黄典型粮食主产区国土空间“三生”功能演化特征[J].水土保持通报, 2026, 46(5): 458-467. Feng Xiaojuan, Wang Zhengang, Ma Quanlai, et al. Evolution characteristics of production-living-ecological functions of territorial space in typical major grain-producing areas along Yellow River in Henan Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2026, 46(5): 458-467.

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2026.05.004 **CSTR:32312.14.stbctb.2026.05.004**

Evolution characteristics of production-living-ecological functions of territorial space in typical major grain-producing areas along Yellow River in Henan Province

Feng Xiaojuan[1,2], Wang Zhengang[3], Ma Quanlai[2], Lu Zhong[4], Lei Guoping[5]

〔1.*Songshan Shaolin Wushu College*, *Dengfeng*, *Henan* 452470, *China*; 2.*Science and Technology Innovation Centre of Nature Resources of Henan Province* (*Evaluation Monitoring and Early Warning of Resource Environmental Bearing Capacity*), *Zhengzhou*, *Henan* 450007, *China*; 3.*Zhongyuan Institute of Science and Technology*, *Xuchang*, *Henan* 461100, *China*; 4.*Yellow River Engineering Consulting Co., Ltd.*, *Zhengzhou*, *Henan* 450003, *China*; 5.*Northeastern University*, *Shenyang*, *Liaoning* 110169, *China*〕

Abstract: [Objective] The spatiotemporal evolution patterns and coupling coordination characteristics of production-living-ecological functions of territorial space in typical major grain-producing areas were clarified in

收稿日期:2025-09-17 **修回日期:**2026-04-21 **采用日期:**2026-04-22

资助项目:河南省科技厅软科学项目“高质量发展背景下河南沿黄粮食主产区国土空间优化路径研究”(262400410246);河南省高等学校重点科研项目(27A630019);河南省科技攻关项目(252102320211, 252102321114);河南省豫地科技集团重点科研项目(JTZDKY2026003)

第一作者:冯晓娟(1987—),女(汉族),河南省郑州市人,硕士,副教授,主要从事土地利用与规划方面的研究。Email:295289111@qq.com。

通信作者:马泉来(1992—),男(汉族),河南省郑州市人,硕士,工程师,主要从事国土空间规划与评价研究。Email:maquanlai0716@163.com。

order to provide scientific support for national food security and the healthy and sustainable development of territorial space. [Methods] Taking six major grain-producing counties (cities) along the Yellow River in Henan Province, including Yuanyang and Fengqiu counties, as the study area, this study constructed an evaluation indicator system for production-living-ecological functions. Combined with GIS spatial data analysis methods and the coupling coordination degree model, we explored the status and coordination characteristics of the production, living and ecological functions of territorial space from 2008 to 2023, and proposed targeted mitigation strategies. [Results] ① From 2008 to 2023, the average comprehensive function score of the production-living-ecological functions in the study area increased from 0.147 in 2008 to 0.364 in 2023, representing an increase of 147.62%. This indicated that the territorial space functions of the area were gradually strengthened. However, the evaluation scores of production and living functions were significantly higher than that of the ecological function. ② During the study period, the overall grade of the production-living-ecological functions in this area was significantly improved, with continuous spatial differentiation characteristics. The functional evolution presented a gradient differentiation pattern of “high in the east and low in the west.” ③ From 2008 to 2023, the coupling coordination degree of the production-living-ecological functions in this area ranged from 0.263 to 0.515. Over the 15 years, it spanned four coordination degree grades, from moderately disordered type to barely coordinated type. The differences in the interval levels between adjacent years were relatively small, and the overall situation was relatively balanced. [Conclusion] In response to the spatiotemporal differentiation and the need for improvement in the coupling coordination degree of the production-living-ecological functions in the study area, it is necessary to optimize the spatial layout, strengthen the synergy between production and ecology, and improve the regional collaboration mechanism to promote food security and sustainable development.

Keywords: territorial space; production-living-ecological functions; coupling coordination degree; Henan Province; typical grain-producing areas along Yellow River

稳定粮食生产对保障人民群众基本生活,保持经济社会发展稳定,助推乡村全面振兴等国家战略至关重要[1]。由中共中央、国务院印发的《加快建设农业强国规划(2024—2025年)》中再次强调粮食主产区是保障国家粮食安全的“压舱石”。河南省沿黄粮食主产区,作为中国重要粮食生产基地,肩负着黄河流域生态保护和高质量发展的双重使命,自然资源禀赋与地理位置优势得天独厚[2]。尽管当地耕地种植条件优良,但受近年来城镇空间无序扩张影响,农业生产空间和生态保育空间不断被侵占、蚕食,粮食安全和生态安全面临严重威胁[3]。因此,明晰当地国土空间“三生”功能演化规律,系统诊断国土利用中的现存矛盾与短板,对于优化区域国土空间配置、筑牢粮食安全与生态安全屏障具有重要现实意义。

学界已围绕国土空间功能评价做了系统性研究。其中,国外学界尚未系统构建“三生空间”理念[4],相关研究多立足国土空间发展战略背景,围绕土地多功能利用问题展开探讨,即通过构建评价指标体系对土地利用的多功能性展开剖析与探讨[5-6];国内学者则开展了一系列以“三生”为视角的国土空间格局与多功能利用研究,即通过构建评价指标体系对土地利用的多功能性及其优化利用研究,主要集中在:①研究内容上,重点聚焦“三生”功能的概念界定与分类体系构建,功能识别与综合评价,空间冲突诊断,耦合协调关系及空间格局优化等核心方向[7-9],研究内容持续深化,视角日趋多元;②研究对象及尺度上,研究对象涵盖城市、乡村、生态敏感区、矿粮复合区、农村居民点等典型区域[10-13],研究尺度贯穿流域、城市群、省域、市域、县域、村镇等多级单元,实现了多区域、多尺度的全覆盖研究[14-17]。但现有研究对区域特殊性关注不足,针对中部典型粮食主产区、黄河流域生态保护和高质量发展战略叠加区的“三生”功能演化与协调机制研究仍较为薄弱,此类区域发展与保护矛盾突出,其“三生”功能互动关系复杂,亟需针对性研究;③研究方法上,主要通过构建涵盖社会、经济、生态多维度的指标因子,或基于不同土地利用类型赋值计算综合评价值,结合多层次分析法、景观格局分析、空间分析及Markov-FLUS-MCR、耦合MOP-FLUS等模型,开展“三生”功能识别与格局优化,提升国土空间利用效率[18-21]。但既有研究多侧重静态格局刻画,对“三生”功能长时序动态演化过程及内在驱动机制的探讨不足,难以深刻揭示其协同或冲突的动态演变规律。

河南省沿黄粮食主产区为河南省推动黄河流域生态保护和高质量发展战略核心区，在推动国家生态文明建设及商品粮供应安全上发挥着重要作用，其包括原阳县、封丘县等在内的6县（市）更是当地产粮集中片区。选取该区为研究区，通过构建“三生”功能评价指标体系，结合GIS的空间数据分析方法和耦合协调度模型，来探析当地国土空间生产、生活和生态“三生”功能状态及协调特征并提出对策，对该地区构建可持续国土空间开发保护新格局，优化国土资源配置具有重要现实意义。

1 研究区概况

研究区为黄河干流中游北岸的河南省6个县级行政单元，包含原阳县、封丘县、延津县、长垣市、滑县和濮阳县〔简称“沿黄6县（市）”〕，总面积7 657.15 km^2。该地区为豫北平原的核心粮食生产带，地貌以平原为主，属温带大陆性季风气候类型，四季分明，因受降水年际与空间分布不均影响，季节性干旱频发。区域农业开发条件良好，其中农业生产用地比例近80%，是河南省乃至全国重要的粮食主产区之一。依据第7次全国人口普查数据，2023年末区域常住人口达474万，GDP总量1 740亿元，土地利用开发强度大，人类活动扰动显著。因此在较小时空尺度下，该区自然-经济-政策信息富集，国土空间的地域特色鲜明，研究代表性突出。

2 研究方法

2.1 数据来源及预处理

考虑到2008年为中国21世纪国土发展及“四万亿”经济刺激计划的起始点，而2023年末为大部分县（市）国土空间规划编制完成时间节点，以及综合考虑数据的可获得性，确定研究时段为2008—2023年，同时以5 a为时间间隔，进行数据的搜集与整理。其中国土空间基础数据来自中国科学院资源环境科学数据中心（http://www.resdc.cn）“中国土地利用现状遥感监测数据（30 m）”，该数据生产制作是以Landsat系列影像为基础，通过人工目视解译生成，是目前中国精度较高的土地利用遥感监测数据产品，并已广泛应用于国土资源利用等多个领域。该数据已有较多应用于河南省沿黄地区的同类研究案例，其30 m空间分辨率能够清晰反映县域尺度的土地利用格局，在研究区具有良好的适用性与数据精度[2]；社会经济数据主要依托2009—2024年研究区覆盖的6县（市）统计年鉴（实际对应数据时段为2008—2023年）、《国民经济发展和社会发展公报》及政府公开工作报告获取。针对少数县（市）个别指标存在的数据缺失问题，采用插值法、平均法等统计方法，结合其他年份已知数据进行补充测算。

2.2 评价指标体系构建

遵循科学性、层次性及可量化性的原则，借鉴已有研究成果[22-23]和研究区现实情况，选取与国土空间密切相关，出现频率较高且符合“三生”空间要求的18个指标来构建“三生”功能评价指标体系。其中生产功能包括粮食产量等6个相关指标，其选取以保障粮食安全与促进产能升级为核心导向；生活功能从生活服务功能和生活保障功能方面选取，指标设计强调惠民实效与品质提升的有机统一；生态功能指标主要从生态维持和承载功能方面选取，其筛选需统筹环境压力响应与自净功能发挥的双向考量，以科学评估区域生态系统的健康状态与可持续支撑潜力。

2.3 综合功能指数确定

熵值法基于整体性视角对各变量蕴含的不确定性进行测度，能够有效弱化评价分析过程中的不确定性，进而提升评价过程的客观性。采用熵值法[24]确定各指标体系权重（表1）。然后采用双层加权求和法进行综合评价，计算公式为

$$F=\sum_{i=1}^{n}\left(\sum_{j=1}^{m}X_{ij}\cdot W_{ij}\right)\times W_i \tag{1}$$

式中：F为系统综合功能指数；X_{ij}为第i个子系统中第j个指标的标准化值；W_{ij}为第i个子系统中第j个指标的权重；W_i为第i个子系统的权重。

2.4 耦合协调度模型

耦合协调度模型作为测度环境与经济系统协同发展水平的重要工具，通常用于综合表征二者的整体功能协调程度。参考以往学者研究[25]，构建适配国土空间特征的耦合协调度模型，该模型已在中国部分省份及典型区域的国土空间功能发展协调测度中开展实证应用。从国土空间的生产、生活和生态功能出发，通过测算三者的耦合协调度，定量评判其协调发展水平，计算公式为

$$C=\left\{\frac{f_1\cdot f_2\cdot f_3}{(f_1+f_2)\times(f_1+f_3)\times(f_2+f_3)}\right\}^{1/3} \tag{2}$$

$$T=\alpha f_1+\beta f_2+\gamma f_3 \tag{3}$$

$$S=\sqrt{C\cdot T} \tag{4}$$

式中：C为耦合度，核心测度指标，用于测度国土空间生产功能、生活功能与生态功能3大子系统间的交互作用强度；f_i为各功能子系统的修正评价指数，沿用前文统一测算框架，即采用熵值法进行客观赋权，经指标标准化处理与加权求和计算得出[24]；T为“三

生”功能的综合评价指数,综合表征国土空间系统整体协调发展的水平;α,β,γ为“三生”功能的重要性权重系数,鉴于国土空间的可持续发展依赖于生活、生产、生态功能的协调共进,3者具有同等重要性,因此本文采用等权赋值思路,设定各功能子系统的重要性权重系数均为1/3;S为耦合协调度,作为系统协同水平的综合测度指标,其数值大小直接反映国土空间系统耦合协调程度的高低,S值越高,表明系统各功能子系统间的协同发展水平越优。根据S值大小可以将耦合协调发展水平分为8个阶段(表2)[26]。

表1　国土空间“三生”功能评价指标体系

Table 1　Evaluation indicator system of production-living-ecological functions of territorial space

类型	一级指标	二级指标	权重	指标属性	选取依据与理由
生产功能	农业生产功能	X_1第一产业生产总值/亿元	0.055	正	衡量区域农业生产总产出的核心指标
		X_2粮食作物播种面积/10^3hm^2	0.045	正	落实“藏粮于地”战略的核心载体
		X_3乡村人口人均粮食产量/(人·kg^{-1})	0.067	正	体现劳动生产率与粮食自给能力
		X_4人均地区生产总值/(元·人$^{-1}$)	0.053	正	表征工业化与城镇化水平
	非农业生产功能	X_5第二产业增加值/万元	0.065	正	反映农产品加工业等支柱产业贡献
		X_6第三产业增加值/万元	0.045	正	体现服务业对经济的拉动作用
生活功能	生活服务功能	X_7人均可支配收入/元	0.049	正	衡量居民购买力的核心指标
		X_8燃气普及率/%	0.036	正	反映能源安全保障能力
		X_9人均供水量/(t·人$^{-1}$)	0.065	正	体现水资源供给稳定性
		X_{10}医疗卫生机构床位数/个	0.079	正	医疗服务可及性核心指标
	生活保障功能	X_{11}人均道路面积/(m^2·人$^{-1}$)	0.063	正	交通基础设施水平
		X_{12}普通中学在校学生数/人	0.058	正	教育资源供给能力
生态功能	生态压力功能	X_{13}单位GDP工业废水排放量/(10^4 t·人$^{-1}$)	0.041	负	量化工业水污染压力
		X_{14}单位GDP工业烟(粉)尘排放量/t	0.039	负	量化工业大气污染压力
		X_{15}农用化肥施用量/t	0.071	负	表征生态系统所承受的人为干扰程度
	生态净化功能	X_{16}人均公园绿地面积/(m^2·人$^{-1}$)	0.063	正	反映区域生态缓冲与净化能力
		X_{17}废水治理处理能力/(10^4 t·d^{-1})	0.052	正	反映污水处理能力
		X_{18}废气治理设施处理能力/(10^4 m^3·h^{-1})	0.054	正	反映废气处理能力

表2　河南省沿黄6县(市)国土空间“三生”功能耦合协调度类型划分

Table 2　Classification of coupling coordination degree types of production-living-ecological functions in territorial space of six counties (cities) along Yellow River in Henan Province

耦合协调程度	严重失调	中度失调	轻度失调	濒临失调	勉强协调	初级协调	中级协调	高级协调
耦合协调度	0～0.2	0.2～0.3	0.3～0.4	0.4～0.5	0.5～0.6	0.6～0.7	0.7～0.8	0.8～1.0

3　结果分析

3.1　“三生”功能时序变化特征

研究结果显示(图1),研究期内,河南省沿黄粮食主产区国土空间“三生”功能整体呈现稳定增长的态势,综合功能分均值由2008年的0.147提高到2023年的0.364,增长了147.62%,其中2008—2013年增幅为33.82%,2013—2018年增幅为38.12%,2018—2023年增幅为33.90%。从各县增幅看,研究区呈现出不同的发展态势,其中长垣市增幅最大,增长了182.39%;其次是延津县、滑县等地区,增长率分别为157.45%和152.23%,可见,这些地区15 a来致力于区域经济发展,提高居民生活水平;原阳县、封丘县增速紧跟其后,增长率分别为145.76%和141.67%,增幅相对较慢的是濮阳县,增长了121.56%,或源于该县处于经济与产业转型升级的瓶颈突破阶段。

从“三生”功能分项评价结果可知,河南省沿黄6县(市)生产功能分均值从2008年的0.083,上升到2013年的0.106,再上升到2018年的0.147,最后上升到2023年的0.176,这3个阶段中研究区生产功能分均值分别提升了27.31%,38.96%和19.98%,整体提升了112.25%,其中封丘县、延津县、原阳县处于经济生产快速增长状态,而滑县经济发展速度较慢。从生活功能评价结果来看,在“三生”功能发展中,生活功能增幅最为明显,该功能分均值从2008年的0.042上升到2013年的0.065,再上升到2018年的0.097,最

后上升到2023年的0.152，3阶段增幅分别是52.76%，49.23%和57.51%，2013—2018年15 a间提升了259.06%。其中，滑县居民的生活水平提高最快，长垣市、延津县和原阳县次之，濮阳县和封丘县居民的生活质量提高较少。

从生态功能的评价看，河南省沿黄6县（市）在研究期都呈现出了上升的态势，生态功能分均值从2008年的0.021上升到2013年的0.026，再上升到2018年的0.028，最后上升到2023年的0.037，三阶段分别上升了21.26%，8.44%和31.74%，整个研究期上升了76.19%，其中滑县的生态功能评分增幅最大，濮阳县的生态功能评分增幅相对较小。

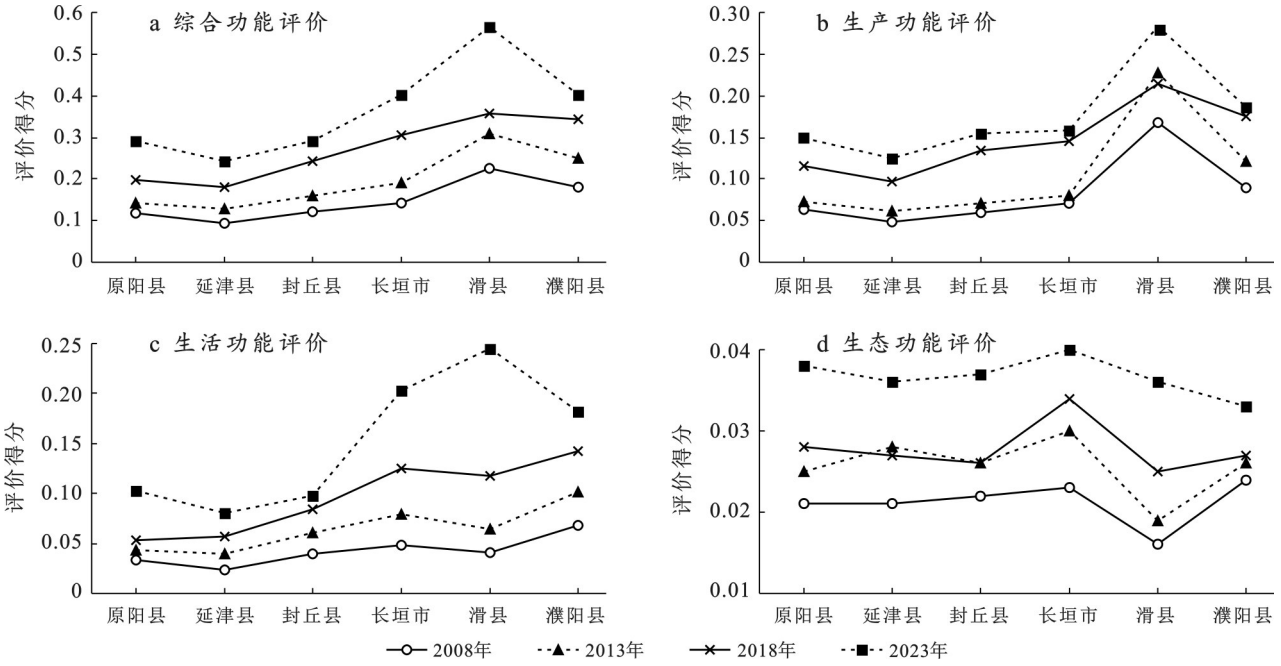


图1 河南省沿黄6县（市）2008—2023年国土空间“三生”功能评价得分

Fig.1 Evaluation scores of production-living-ecological functions in six counties (cities) along Yellow River in Henan Province from 2008 to 2023

整体来看，研究期内河南省沿黄6县（市）“三生”功能提升幅度较为显著，各阶段演化进程的核心驱动机制与政策、投资及结构转型紧密相关：2008—2013年受“四万亿”投资计划与强农惠农政策牵引，叠加中原经济区规划启动，农业生产功能与生活功能同步稳步增长，其中滑县、长垣市依托产业承接基础优势，属综合功能增幅领跑区域；2013—2018年受益于“三生”空间理念落地与新型城镇化加速推进，高标准农田建设与产城融合进程加快，推动“生产-生活”功能协同提升，延津县依托“中国第一麦”品牌效应，生产功能优势进一步凸显；2018—2023年在黄河流域生态保护和高质量发展战略与乡村振兴战略双重驱动下，生态功能实现加速提升，生产与生活功能亦保持高位增长态势，滑县、长垣市生态修复成效突出，而濮阳县受传统产业绿色化改造滞后制约，生态功能提升动力不足，成为制约其综合功能跃升的短板。研究区“三生”功能呈现出生产、生活功能持续高位增长，生态功能后期加速追赶的演化路径。滑县始终保持领先水平，原阳县、封丘县稳步跟进，濮阳县则在生态维度的滞后影响了整体时序提升节奏，反映区域“三生”功能演化是宏观政策导向、地方资源禀赋与产业转型能力交互作用的结果。

3.2 “三生”功能空间变化特征分析

在国土空间“三生”功能评价得分基础上，采用自然断裂法（Jenks Natural Breaks），将国土空间类型分为低、较低、一般、较高、高（Ⅰ—Ⅴ）5个等级[27]。结果显示，2008—2023年研究区的生产功能具有显著的空间分化，表现为“东北高，西南低”的空间格局（图2）。生产功能总体上呈现上升趋势，从2008—2023年的分级值变化可以看出，大部分地区在该时段实现1～2个等级的提升。其中滑县作为传统农业大县，耕地比例超85%，且农业机械化、规模化种植程度高，生产功能分级值始终保持较高水平，2008年处于Ⅳ级，2013年攀升至Ⅴ级后保持稳定，始终处于区域领先地位，印证其“豫北粮仓”的核心地位。这与《全国国土空间规划纲要（2021—2035年）》中“永久基本农田重点用于粮食生产”的要求高度契合——东部区域因耕地质量高，连片性好，更易满足“大稳定，小调

整”的耕地保护政策。延津县、濮阳县虽起点较低,但增幅较大,均实现两个等级的跃升。原阳县、封丘县与长垣市发展态势同步,2018年前后其生产功能评价得分均提升至Ⅲ级区间,并在此后保持稳定增长态势。西南地区表现出明显的追赶态势,特别是延津县的快速发展缩小了与东北区域的差距。

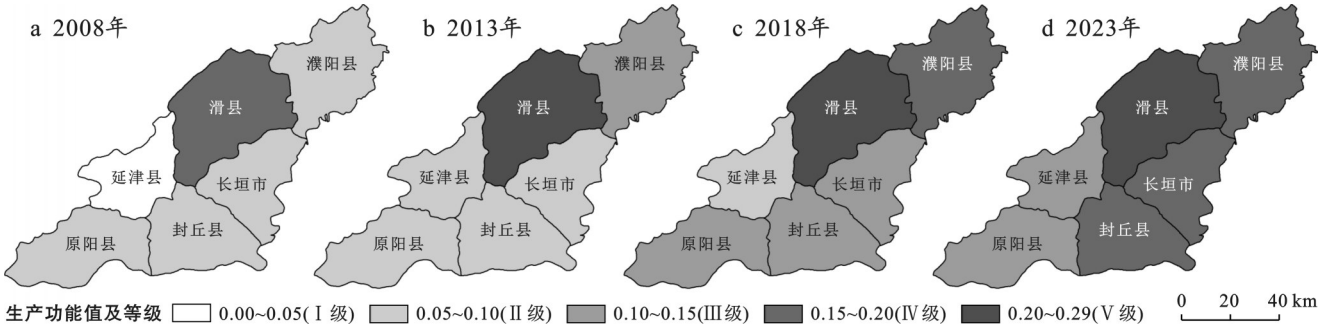


图 2　河南省沿黄 6 县(市)2008—2023 年生产功能分布特征

Fig.2　Distribution characteristics of production functions of six counties (cities) along Yellow River in Henan Province from 2008 to 2023

研究期内,河南省沿黄 6 县(市)全域生活功能分级值均呈现上升态势,表明当地居民生活质量普遍得到改善,但也表现出“东北高,西南低”的空间格局(图 3),说明各地区发展速度不均衡,形成了明显的发展梯度。

处于第一梯度的长垣市和滑县,在 2023 年均达到最高级别Ⅴ级,15 a 间均提升了 4 个等级,发展速度最快,这主要得益于长垣市、滑县这些东部县(市)的工业化带动,与国家发展改革委印发的《“十四五”新型城镇化实施方案》中“引导人口和经济向城市群、都市圈集聚”的导向一致;处于第二梯度的濮阳县和原阳县,分别达到Ⅳ级和Ⅲ级水平,均提升 2 个等级;处于第三梯度的延津县和封丘县,2023 年均为Ⅱ级,发展相对较慢,15 a 间仅提升 1 个等级,这些西部滩区县(市)生活功能提升缓慢,反映出城镇化进程与公共服务资源配置的失衡。

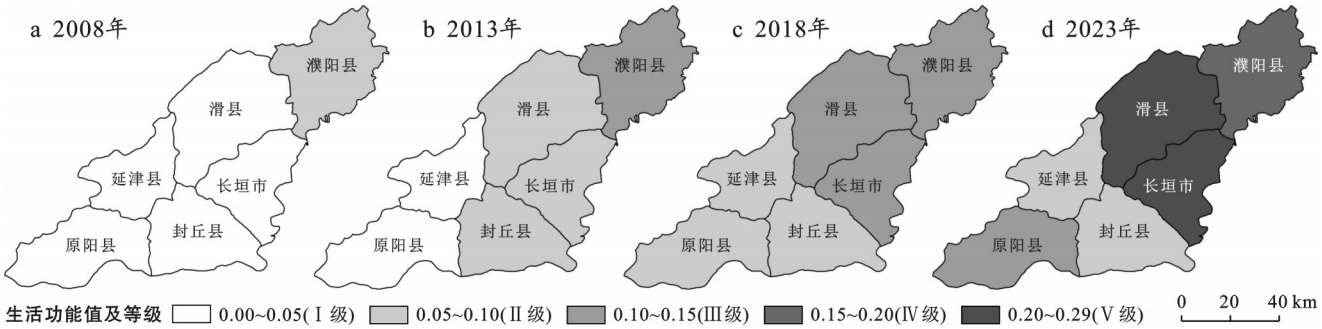


图 3　2008—2023 年河南省沿黄 6 县(市)生活功能分布特征

Fig.3　Distribution characteristics of living functions of six counties (cities) along Yellow River in Henan Province from 2008 to 2023

研究期内,河南省沿黄 6 县(市)的生态功能区域差异明显但整体提升,呈现“东高西低,北升南稳”的空间分布特征(图 4)。长垣市作为东部县(市),依托黄河故道防护林实现生态提质,其生态功能分级值一直领先于其他地区,2023 年已达到Ⅳ级,而西部地区如原阳、延津、封丘等县作为黄河滩区的重要组成部分,受黄河行洪、泥沙淤积等自然条件限制,生态功能提升受限,其生态功能等级相对接近,2023 年均达到Ⅲ级。滑县作为北部县(市),生态功能从 2008 年的Ⅰ级提升至 2023 年的Ⅲ级,增幅明显。这与当前西部滩区生态功能提升主要依赖自然恢复、微地形改造等修复技术支撑有关。

3.3　“三生”功能耦合协调性时空分析

国土空间系统动态演化特征存在彼此消长的协同关系,这种协同关系可以通过耦合协调度来反映。基于国土空间“三生”功能综合评估结果,实现河南省沿黄 6 县(市)“三生”功能耦合协调度类型划分(表 3)。时间序列分析结果显示,2008—2023 年研究区的耦合协调度均值均呈显著上升趋势,由 0.296 增至 0.463,整体协调等级从中度失调向濒临失调阶段迈进,系统协调水平持续提升。2008 年各县(市)耦合协调度分布于[0.263,0.335]区间内,其中延津县耦合

协调度最低，滑县居首，对应协调类型依次为中度失调与轻度失调。2013年耦合协调度值则提升至[0.304，0.407]，最低值为延津县，最高值为濮阳县，协调类型分别为轻度失调和濒临失调，与2008年相比，中度失调县（市）已不存在，轻度失调县（市）占据比例较大，濮阳县已进入濒临失调。2018年，耦合协调度分布于[0.345，0.459]区间内，最小值仍集中于延津县，最大值依旧出现在滑县。相较于2013年，该年份轻度失调县域数量显著缩减，濒临失调县域比例呈逐步攀升态势。至2023年，耦合协调度区间提升至[0.412，0.515]，延津县与滑县分别保持最小值与最大值地位，对应协调类型进一步演变为濒临失调和勉强协调，该时期研究区轻度失调县域完全消失，濒临失调县域数量持续增加，勉强协调县域亦首次显现。

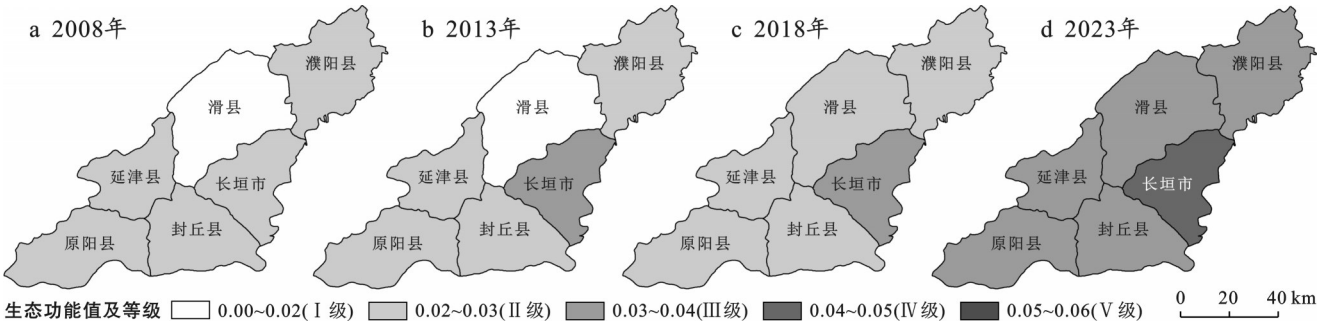


图4 2008—2023年河南省沿黄6县（市）生态功能分布特征

Fig.4 Distribution characteristics of ecological functions of six counties (cities) along Yellow River in Henan Province from 2008 to 2023

表3 河南省沿黄6县（市）国土空间“三生”功能耦合协调度

Table 3 Coupling coordination degree of production-living-ecological functions of territorial space in six counties (cities) along Yellow River in Henan Province

县（市）	2008年	2013年	2018年	2023年
原阳县	0.282	0.318	0.356	0.423
延津县	0.263	0.304	0.345	0.412
封丘县	0.283	0.321	0.378	0.413
长垣市	0.289	0.341	0.428	0.506
滑 县	0.335	0.365	0.459	0.515
濮阳县	0.321	0.407	0.445	0.506

空间维度上，2008—2023年河南省沿黄6县（市）“三生”功能耦合协调度呈现“东部高，中西部相对较低”的梯度特点，但梯度差异逐渐缩小。15 a间跨越4个协调度等级，即从中度失调到勉强协调，整体水平差异较小，总体比较均衡（图5）。2008年区域各县（市）耦合协调度差异较小，尚未形成明显的空间分异格局；2013年耦合协调度空间分布出现分化，东部濮阳县率先进入濒临失调区间；2018和2023年东部集聚效应明显，长垣市、滑县、濮阳县3个东部县（市）发展较为同步，且整体水平较高，耦合协调度从濒临失调到勉强协调；西部地区的原阳县、封丘县、延津县耦合协调度相对较低，从轻度失调到濒临失调。研究区“三生”功能耦合协调度受国土空间规划“三区三线”与黄河流域生态保护政策双轮驱动：濮阳县、滑县等东部县（市）依托区位优势，较早优化生产-生活-生态空间协同，协调度提升速度较快，率先达到勉强协调区间；原阳县、封丘县等西部县（市）受地形与历史限制，早期协调度偏低，近年来随着滩区湿地保护等生态修复与优质小麦基地等生产转型的逐步改善，梯度差异缩小。

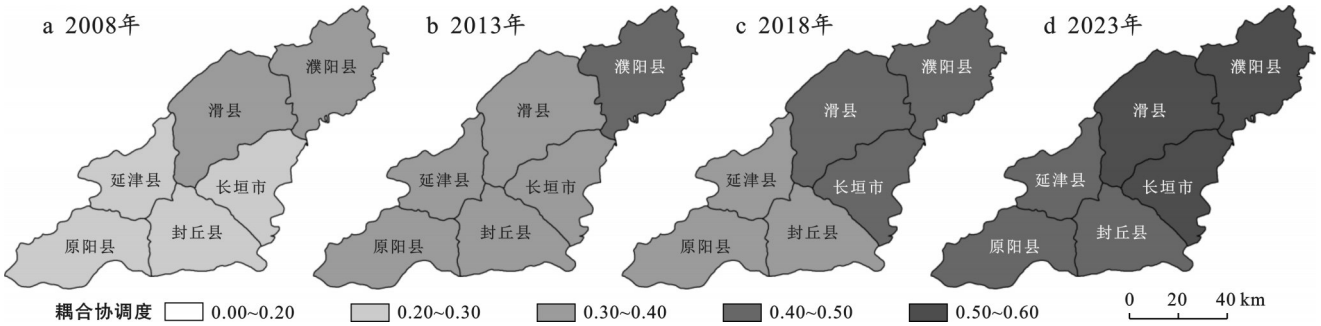


图5 河南省沿黄6县（市）2008—2023年“三生”空间耦合协调格局

Fig.5 Spatial coupling coordination pattern of production-living-ecological functions in six counties (cities) along Yellow River in Henan Province from 2008 to 2023

4　讨　论

基于动态视角揭示河南省沿黄粮食主产区“三生”功能的时空演化规律,量化了功能演化的速度、方向及协调度等级跃迁,弥补了以往研究偏重静态格局分析的不足,为当地国土空间规划提供了动态决策依据。需指出的是,受数据获取条件限制,现有研究时段(2008—2023年)对2019年《黄河流域规划纲要》实施效果的长期评估尚不充分,该《纲要》作为指导黄河流域生态保护和高质量发展的纲领性文件,其政策效应需更长时序数据才能充分显现。此外,现有指标体系虽能较好反映研究区“三生”功能历史演变特征,但在分析过程中尚未充分考虑未来政策情景中可能显著影响研究区“三生”功能的潜在驱动因子,空间解析与情景预判深度仍有进一步提升空间。未来研究可从以下两方面深化:①延长时序与补充数据,充分考虑政策叠加影响:待2030年后积累更完整政策效应数据时,可对比分析《纲要》实施的10 a以上长期效果,同时结合《中华人民共和国黄河保护法》等后续政策的影响,精准解析相关政策对研究区“三生”功能的综合作用机制;②引入动态模拟模型,增强空间解析深度:采用CLUE-S地理模拟模型结合系统动力学SD模型,构建“自然-经济-政策”多情景模拟框架,预测不同政策导向下“三生”功能的远期演变路径,并引入莫兰指数分析“三生”功能空间集聚特征,借助地理探测器识别驱动因子的空间异质性,进一步揭示功能冲突的热点区域与协同优化的关键节点。

通过上述拓展,可更精准评估新政策对“三生”功能演化的实际影响,为黄河流域国土空间动态治理提供更科学的预判工具。基于县域尺度得出河南省沿黄6县(市)耦合协调度“东高西低”的梯度分化规律,即东部濮阳县、滑县依托工业化与城镇化实现“三生协同”,而西部滩区因生态约束陷入“生产提升,生态恶化”困境,这为黄河流域国土空间治理提供了差异化分区依据,从而推动探索差异化管控和跨区域协同治理的新路径。此外,县域尺度数据可能掩盖乡镇级异质性,未来可结合高分遥感影像与实地调研细化研究,解析乡镇功能冲突,这些都值得今后进一步深化研究。

5　结　论

(1)研究期内,河南省沿黄粮食主产区6县(市)“三生”功能整体提升了147.62%,分阶段增幅依次为2008—2013年的33.82%,2013—2018年的38.12%,2018—2023年的33.90%,同时各阶段变化的核心驱动机制与政策、投资及结构转型紧密相关。同时从各县(市)来看,长垣市增幅最大,其次是延津县和滑县,濮阳县增幅最小。近15 a来河南省沿黄粮食主产区“三生”功能整体实现显著增长,但县域间发展不均衡特征突出,长垣因工业化与城镇化优势领跑,濮阳县则因发展相对滞后导致增幅最小,反映出区域“三生”功能演化的阶段性差异与空间异质性。

(2)“三生”功能空间分异持续,生产、生活功能评价分值高于生态功能,反映“生产-生活优先,生态滞后”的发展路径依赖及粮食安全与城镇化中的生态经济矛盾;生产、生活功能呈“东北高,西南低”格局,生态功能呈“东高西低,北升南稳”空间分布特征,凸显了粮食主产区在保障生产生活需求与生态保护间的矛盾,需关注不同功能空间的协同优化。

(3)2008—2023年河南省沿黄粮食主产区6县(市)“三生”功能耦合协调度均值由0.296升至0.463,从中度失调转为濒临失调,跨越4个协调等级;空间呈“东部高、中西部低”梯度格局,东部的濮阳县、滑县耦合协调度较高,西部的原阳县、封丘县耦合协调度较低,梯度差异逐渐缩小,揭示出“生态功能滞后”“县域发展不均衡”的核心问题,未来需实施分区管控策略:东部强化生产功能和生态功能的协同,中西部以生态修复和产业转型双轮驱动,全域构建空间功能平衡机制,辅以跨区域协作与生态补偿。通过分区协同与机制创新,旨在推动“三生”功能向初级协调度跃迁,为国家粮食安全与黄河流域生态保护协同提供实践范式。

参考文献(References)

[1] 潘文轩.化解主产区粮食保障与经济发展两难矛盾:粮食产销区横向利益补偿视角[J].经济学家,2025(6):118-128.
Pan Wenxuan. Resolve the dilemma between grain security and economic development in major grain production areas: From the perspective of horizontal benefit compensation between grain production and sales areas [J]. Economist, 2025(6):118-128.

[2] 周浩,马泉来,杨崇科,等.基于MODIS的沿黄粮食主产区耕地利用水分盈亏特征分析[J].农业工程学报,2023,39(7):119-127.
Zhou Hao, Ma Quanlai, Yang Chongke, et al. Cultivated land changes induced water surplus and deficit characteristics in the main grain-production areas along the Yellow River using MODIS [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2023, 39(7): 119-127.

[3] 牛海鹏,赵晓鸣,肖东洋,等.黄河流域(河南段)耕地多功能时空格局演变及其权衡协同关系[J].农业工程学报,2022,38(23):223-236.
Niu Haipeng, Zhao Xiaoming, Xiao Dongyang, et al. Spatial-temporal pattern evolution and trade-off relationship of cultivated land multifunction in the Yellow River basin (Henan section) [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2022, 38(23): 223-236.

[4] Lin Gang, Jiang Dong, Fu Jingying, et al. A review on the overall optimization of production-living-ecological space: Theoretical basis and conceptual framework [J]. Land, 2022,11(3):345.

[5] Borrelli I P. Territorial sustainability and multifunctional agriculture: A case study [J]. Agriculture and Agricultural Science Procedia, 2016,8:467-474.

[6] He Jianhua, Li Chun, Yu Yan, et al. Measuring urban spatial interaction in Wuhan Urban Agglomeration, Central China: A spatially explicit approach [J]. Sustainable Cities and Society, 2017,32:569-583.

[7] 刘继来."三生空间"评价的基础理论与方法论[J].地理研究,2025,44(12):3222-3247.
Liu Jilai. The foundation for "production-living-ecological" space evaluation: Theory and methodology [J]. Geographical Research, 2025,44(12):3222-3247.

[8] 曲衍波,王世磊,李岩,等.基于多功能适宜性的黄河三角洲国土空间潜在冲突特征与优化格局研究[J].地理科学,2023,43(2):301-312.
Qu Yanbo, Wang Shilei, Li Yan, et al. Characteristics of potential conflicts of territorial space and optimization pattern in the Yellow River delta based on multi-functional suitability [J]. Scientia Geographica Sinica, 2023, 43(2):301-312.

[9] 周侗,王佳琳.中原城市群乡村"三生"功能分区识别及调控路径[J].地理科学,2023,43(7):1227-1238.
Zhou Tong, Wang Jialin. Classifying and regulation pathway of rural "production-living-ecology" regional area in the center plains urban agglomeration [J]. Scientia Geographica Sinica, 2023,43(7):1227-1238.

[10] 杨欣蕾,方斌,樊彤彤,等.经济发达地区"三生"功能城乡梯度分异与空间溢出效应:以南京市为例[J].地理研究,2026,45(1):145-164.
Yang Xinlei, Fang Bin, Fan Tongtong, et al. Rural-urban gradient divergence and spatial spillover effects of "production-living-ecological" functions in economically developed regions: A case study of Nanjing [J]. Geographical Research, 2026,45(1):145-164.

[11] 涂雯,马理辉,冯喆.乡村振兴视角下"三生"空间格局演变及优化策略:以陕西省米脂县高西沟村为例[J].水土保持通报,2023,43(2):372-380.
Tu Wen, Ma Lihui, Feng Zhe. Evolution and optimization strategy of productive-living-ecological spatial pattern in perspective of rural revitalization: A case study at Gaoxigou Village, Mizhi County, Shaanxi Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023,43(2):372-380.

[12] 邓彤,罗志军,曾建玲.基于适宜性和空间功能值的德兴市矿粮复合区"三生"空间优化研究[J].水土保持研究,2024,31(1):395-407.'
Deng Tong, Luo Zhijun, Zeng Jianling. Study on the spatial optimization of 'production-living-ecology' in mine-grain complex area of Dexing City based on suitability and spatial function value [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2024,31(1):395-407.

[13] 邹亚锋,饶钰飞,罗艺婷,等.基于三生功能及其协调性的农村居民点布局优化[J].资源科学,2022,44(11):2260-2275.
Zou Yafeng, Rao Yufei, Luo Yiting, et al. Spatial layout optimization of rural settlements based on production-living-ecological functions and coordination [J]. Resources Science, 2022,44(11):2260-2275.

[14] 何青松,张雪韵,高原.长江中游城市群三生功能权衡关系对城市扩张的响应:本地与邻地效应视角[J].中国土地科学,2025,39(10):74-87.
He Qingsong, Zhang Xueyun, Gao Yuan. Response of production-living-ecological functions trade-offs to urban expansion of urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze River: From the perspectives of local and neighborhood effects [J]. China Land Science, 2025,39(10):74-87.

[15] 逯承鹏,纪薇,刘志良,等.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[J].地理科学,2022,42(4):579-588.
Lu Chengpeng, Ji Wei, Liu Zhiliang, et al. Spatial-temporal pattern and influencing factors of the "production-living-ecological" functional space of the Yellow River basin at county level in Gansu, China [J]. Geographical Science, 2022,42(4):579-588.

[16] 孙远洋,张蕾,何国钰,等.城乡梯度视角下武汉市"三生"功能耦合协调时空演变及影响因素[J].农业工程学报,2025,41(8):261-271.
Sun Yuanyang, Zhang Lei, He Guoyu, et al. Spatio-temporal evolution and influencing factors in coupling coordination of "production-living-ecology" functions in Wuhan City from the perspective of urban-rural gradient [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2025,41(8):261-271.

[17] 王道远,王瑾,刘慧芳,等.山西省生态系统服务与经济发展耦合协调性及驱动因素研究[J].地域研究与开发,2024,43(6):52-59.

Wang Daoyuan, Wang Jin, Liu Huifang, et al. Research on coupling coordination and driving factors of ecosystem services and economic development in Shanxi Province [J]. Areal Research and Development, 2024,43(6):52-59.

[18] 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.
Sui Hongjun, Song Ge, Zhang Hongmei. Identification of production-living-ecological space at Keshan County level in main grain producing areas in northern Songnen Plain, China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020,36(19):264-271.

[19] 李红润,刘慧芳,王瑾,等.基于Markov-FLUS-MCR模型的晋中市“三生”空间优化[J].农业工程学报,2022,38(10):267-276.
Li Hongrun, Liu Huifang, Wang Jin, et al. Optimization of production-living-ecological space based on Markov-FLUS-MCR model in Jinzhong, Shanxi of China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2022,38(10):267-276.

[20] 赵寿露,李石华,许新惠,等.耦合MOP-FLUS模型的滇中城市群“三生”空间格局优化[J].水土保持研究,2022,29(4):322-328.
Zhao Shoulu, Li Shihua, Xu Xinhui, et al. Production-life-ecological space pattern optimization of the urban agglomeration in central Yunnan based on coupled MOP and FLUS model [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2022,29(4):322-328.

[21] 苑韶峰,吴妙豪,杨丽霞,等.浙江省城乡国土空间“三生”功能协同效应时空演变、区域差异及驱动因素分析[J].农业工程学报,2025,41(19):295-305.
Yuan Shaofeng, Wu Miaohao, Yang Lixia, et al. Spatiotemporal evolution, regional disparities, and driving mechanisms for the synergistic effects of production-living-ecological functions in urban-rural land spaces in Zhejiang Province of China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2025,41(19):295-305.

[22] 徐磊,王建鹏,张贵军,等.环京津地区“三生”功能演化特征及分区调控研究[J].城市问题,2022(10):35-44.
Xu Lei, Wang Jianpeng, Zhang Guijun, et al. Functional evolution characteristics and zoning control of the “production-living-ecological” functionin of the region around Beijing and Tianjin [J]. Urban Problems, 2022(10):35-44.

[23] 付晶莹,郜强,江东,等.黑土保护与粮食安全背景下齐齐哈尔市国土空间优化调控路径[J].地理学报,2022,77(7):1662-1680.
Fu Jingying, Gao Qiang, Jiang Dong, et al. Optimal regulation of spatial planning in the context of black soil preservation and food security in Qiqihar [J]. Acta Geographica Sinica, 2022,77(7):1662-1680.

[24] 李慧燕.“三生”空间理念下京津冀城市群新型城镇化协调发展研究[J].生态经济,2021,37(5):92-98.
Li Huiyan. Research on new urbanization coordinated development of Beijing-Tianjin-Hebei city cluster based on the concept of “production-living-ecology” Space [J]. Ecological Economy, 2021,37(5):92-98.

[25] 纪璇,李琳娜,程明洋.安徽省县域乡村“三生”功能及耦合协调时空格局分析[J].中国农业资源与区划,2022,43(10):150-161.
Ji Xuan, Li Linna, Cheng Mingyang. The spatio-temporal pattern of rural “production-living-ecological” function and coupling coordination at county level of Anhui Province [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2022, 43(10): 150-161.

[26] 王淑佳,孔伟,任亮,等.国内耦合协调度模型的误区及修正[J].自然资源学报,2021,36(3):793-810.
Wang Shujia, Kong Wei, Ren Liang, et al. Research on misuses and modification of coupling coordination degree model in China [J]. Journal of Natural Resources, 2021,36(3):793-810.

[27] 王凤娟,肖琼琪,肖国安.粮食主产区的粮食安全贡献度与农技创新耦合协调特征及其影响因素[J].经济地理,2025,45(7):178-187.
Wang Fengjuan, Xiao Qiongqi, Xiao Guoan. Influencing factors of the coupling and coordination between the contribution to food security and agricultural technology innovation in major grain producing areas [J]. Economic Geography, 2025,45(7):178-187.