

【区域绿色发展】

黄河流域“三生空间”协同发展水平测度及 路径优化*

宋保胜 李子甫 张朝辉

摘要:生产空间、生活空间与生态空间(简称“三生空间”)的协同发展是区域空间资源合理配置的基础,也是践行生态文明建设、推动经济高质量发展的重要保障。为揭示黄河流域“三生空间”协同发展水平、识别其制约因素并优化协同发展路径,本研究以区域协同发展视角,构建黄河流域“三生空间”协同发展效率评价指标体系,综合运用耦合协调度模型、障碍度模型及灰色关联分析法,对2008年、2013年、2018年及2023年黄河流域“三生空间”协同发展状况进行测度,并识别其影响因素。结果表明:(1)黄河流域“三生空间”协同发展整体呈改善趋势,但区域发展水平不均,空间分布呈“钟形”特征;(2)在“三生空间”子系统中,生态系统对协同发展的制约作用最为显著;(3)区域维度上,省际差异明显,河南、山东及四川的协同发展水平较高,青海与宁夏则水平较低,且对区域整体协同发展的拉动能力较弱;(4)短期内,“地均国内生产总值”“城镇登记失业率”“艺术表演团体数量”及“人均水资源量”等因素对协同发展影响较大;长期来看,粮食生产、农业机械化水平、第三产业发展、医疗教育资源配置及生态绿化水平等因素的障碍度较高,制约作用更为持续。基于此,建议强化顶层设计,统筹全局与局部的协同关系;提升黄河流域生态环境自净能力,增强区域资源环境承载量;提高资源要素空间匹配度,增强“三生空间”协同发展的系统韧性,从而全方位推动黄河流域高质量发展。

关键词:“三生空间”;耦合协调度模型;障碍度模型;协同发展;黄河流域

中图分类号:F205 **文献标识码:**A **文章编号:**2095-5766(2026)03-0131-11 **收稿日期:**2024-07-20

***基金项目:**2023年度河南省哲学社会科学规划项目“河南数字乡村支撑农业强省建设路径研究”(2023BJJ043);2024年度河南省重点研发推广项目(科技攻关)“区块链助推河南省农产品质量安全溯源技术突破及实际应用”(242102110345);国家社会科学基金项目“环境规制与产业集聚推进黄河流域绿色转型的协同机制及路径优化研究”(22BJY193)。

作者简介:宋保胜,男,河南农业大学经济与管理学院教授,博士生导师(郑州 450046)。

李子甫,男,河南农业大学经济与管理学院硕士生(郑州 450046)。

张朝辉,男,河南农业大学经济与管理学院副教授,通信作者(郑州 450046)。

一、问题提出及文献综述

黄河流域是我国重要的地理空间单元(辜寄蓉等,2019),拥有全国1/3的人口和7.8%的土地面积,横跨我国的东、中、西部地区,涉及多个国家生态安

全区(任保平等,2021)。黄河流域内拥有丰富的农业资源、矿产资源和水利资源,年均贡献全国近1/4的经济总量,是我国重要的粮食、能源和基础工业基地(徐福祥等,2022)。然而,近年来,随着经济的快速发展和城镇化水平的提升,黄河流域内资源环境承载能力、现有开发密度和发展潜力等方面面临

较大压力,给区域内经济社会高质量发展带来了一定程度的不确定性(张铃等,2021)。2019年,“黄河流域生态保护和高质量发展”被提升为国家重大发展战略。在经济社会高质量发展背景下,对黄河流域“三生空间”协同发展水平进行测度,分析“三生空间”协同发展的制约因素,探究“三生空间”协同发展的路径,对实现黄河流域经济社会多维系统可持续性发展至关重要。

现阶段关于“三生空间”协同发展方面的研究,大多聚焦于其定义及功能界定、协同度的测量和制约因素分析等方面。对于“三生空间”定义的理解与功能分类的界定,已有的研究主要基于普遍认同的基本含义(张令达等,2024;赵铮,2022),结合国土空间的多功能性和生态系统服务属性等理论来建立“三生空间”功能的分类框架(丁明磊等,2022)。“三生空间”功能的划分和优化调控方面,大多数学者采用空间功能比较优势指数和聚类分析等方法进行分区,再结合研究区自然属性和区域规划要求提出优化方案和调控对策(付晶莹等,2022;林树高等,2024);而有些学者采用生态—经济为导向,运用GIS空间分析,依据国土空间开发强度进行不同类别划分,依据比较优势理论进行国土空间资源的优化配置(陈晓杰等,2025)。对于“三生空间”协同发展水平测度方面,由于一些评价指标不可量化性,部分学者使用主观性较强AHP分析法和模糊评价法对区域“三生空间”协同发展水平进行测度(逯承鹏等,2022;靳祯雨,2024);也有一些学者在 ArcGIS 软件可视化功能和空间数据分析的支撑下,采用客观性较强的定量方法对区域“三生空间”协同发展水平进行测度,如熵权-TOPSIS 方法(程佳琦等,2024)、因子分析法(石丹等,2021)、耦合模型(王伟等,2023)、超效率SBM模型(李强等,2021)等。在制约“三生空间”协同发展方面,部分学者借助空间自相关分析“三生空间”协同关系类型及时空格局特征,设置自然和社会影响因子探究影响“三生空间”协同发展的因素(朱从谋等,2023;刘佳楠等,2025);也有些学者借助地理探测器等方法识别区域内“三生空间”协同发展水平分异的影响因素(董建红等,2023;牛雅萱等,2021)。

综上,学者们的前期研究,为区域内“三生空间”协同发展的后续研究奠定了基础。但现有研究仍存在深化和拓展的空间:如缺少“三生空间”协同

发展对区域内经济社会高质量发展作用机制方面的分析,缺乏对影响区域“三生空间”协同发展关键因素的挖掘,使得区域协同发展决策较难纳入宏观政策制定体系内。基于此,尝试在现有研究的基础上,按照“行为—识别—管理—优化”的思路,从“三生空间”协同如何服务区域内经济社会高质量发展的应然逻辑入手,厘清“三生空间”协同如何促进区域经济社会高质量发展的应然逻辑,利用耦合协调度模型、障碍度模型、灰色关联分析法,对黄河流域“三生空间”协同发展进行测度和影响因素识别,基于新发展理念,优化黄河流域“三生空间”协同发展路径,为实现黄河流域高标准生态保护与高质量转型发展的和谐统一提供一定的理论支撑和实践指导。

二、黄河流域“三生空间”协同发展的政策背景及理论分析

“三生空间”的协同发展是人与自然和谐共生的基础,也是构建生态文明建设的重要内容。从政策、理论和实践等层面分析黄河流域“三生空间”协同发展的必要性,为多维度探究区域空间资源合理利用提供理论依据,为推动黄河流域经济社会高质量发展提供理论框架。

(一)黄河流域“三生空间”协同发展的政策背景

近年来,随着黄河流域生产空间规模扩展较为迅速,生产和生活活动对空间的需求日益增多,加上空间稀缺性和功能外溢性的叠加,致使生产、生活和生态空间相互挤占,呈现失衡化状态,对黄河流域各省份社会经济高质量发展产生不同程度影响。为此,党中央从生态文明建设全局视角出发,将黄河流域生态保护和高质量发展提升到了国家战略地位,各地政府也出台相关政策来推动黄河流域自然环境与社会经济活动和谐发展。2012年11月党的十八大报告提出,“促进生产空间集约高效,生活空间宜居适度,生态空间山清水秀”,打造人与自然和谐共生的“三生空间”,为区域内经济社会发展指明了全新路径。2013年11月,党的十八届三中全会通过《中共中央关于全面深化改革若干重大问题的决定》,又一次强调“建立空间规划体系,划定生产、生活、生态空间开发管制界限”的要求,对区域内空间资源的界定与划分提出了明确的行动纲领。党的十九大报告也提出,形成节约资源和保

护环境的空间格局、产业结构、生产方式和生活方式,强调识别和划定“三生空间”的原则和方向。2021年10月8日,中共中央、国务院印发《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》,指出:黄河流域是国家生态安全的重要屏障,要加强区域内国土空间管理,要突出黄河流域治理的全局性、整体性和协同性。党的二十大报告中也提出:健全主体功能区制度,优化国土空间发展格局,推动黄河流域生态保护和高质量发展。2025年4月1日,国务院批复同意《黄河流域国土空间规划(2021—2035年)》(国函〔2025〕37号),是一项国家级国土空间专项规划,规划出了黄河流域可持续发展的空间蓝图,明确了黄河流域国土空间保护、开发、利用与修复的总体框架。上述一系列政策的颁布实施,从外在逻辑层面,为黄河流域科学合理布局生产、生活、生态空间,提升发展战略协同性,减少发展差异,推动“三生空间”一体化,加强生态文明建设,作出了明确部署,指明了未来发展方向,为实现黄河流域环境保护与经济发展之间的平衡和区域经济社会高质量协调发展提供依据和保障。

(二)黄河流域“三生空间”协同发展的理论分析

黄河流域“三生空间”协同发展是促进黄河流域生态保护和高质量发展的内在要求,也是协同理论、新发展理论和可持续发展理论的外延诠释。首先,黄河流域“三生空间”协同发展体现了系统科学中的协同理论。该协同理论是由联邦德国斯图加特大学教授、物理学家赫尔曼·哈肯于1971年创立,其核心概念包括序参量、役使原理和自组织原理,强调整个系统中子系统之间的相互作用,使各系统从无序到有序的转变规律。黄河流域“三生空间”协同发展是一种跨区域的公共产品的治理活动,遵循“全方位、全地域、全要素、全过程”协同理论,对流域内各空间主体和场域内生产空间、生活空间和生态空间进行统一规划、合理部署、及时衔接、全面协调,形成1+1>2的协同效应。其次,黄河流域“三生空间”协同发展遵循新发展理论,该理论包含创新、协调、绿色、开放、共享的新发展理念。其中,创新发展注重的是解决发展动力问题,协调发展注重的是解决发展不平衡问题,绿色发展注重的是解决人与自然和谐问题,开放发展注重的是解决发展内外联动问题,共享发展注重的是解决社会公平正义问题。黄河流域“三生空间”协同发展点多面广,包

含系统较多,情况较为复杂,遵循新发展理论,能够将城乡关系、人与自然关系等辩证思想融入政策设计,强调区域协调发展、绿色转型等,为解决发展不平衡、不充分问题提供了系统性框架。最后,黄河流域“三生空间”协同发展遵循可持续发展理论。该理论源于1987年联合国《我们共同的未来》报告,强调经济、生态、社会三方面的协调统一,要求人类在发展中讲究经济效率、关注生态和谐和追求社会公平,最终达到人类社会的全面发展。黄河流域“三生空间”协同发展的落脚点是可持续性,通过自上而下对土地空间的利用结构在时空尺度上进行合理规划、组合和布局,将区域内环境问题与发展问题有机地结合起来,已经成为一个有关社会经济发展的全面性战略。

(三)黄河流域“三生空间”协同发展的实践逻辑

黄河流域是受人地关系影响最为深刻的区域之一,由于其自然环境、地理区位的特殊性,导致其人居环境始终面临严峻挑战。从实践逻辑层面看,科学合理统筹规划黄河流域内生产、生活、生态空间布局,对于推进黄河流域经济社会高质量发展具有一定的实践意义。第一,“三生空间”协同发展,能够促使区域内各空间资源归集汇总,结合区域内环境承载能力、现有开发密度和发展潜力,合理调配空间布局,以减少区域各空间之间相互挤压,扩充生态空间,促使人口、资源、环境与经济在运行体系上实现动态协调平衡,进而提高黄河流域整体经济的竞争力和抗风险能力。第二,“三生空间”协同发展,能够加强区域内各空间相互之间的联系,利用区域内组织特性,运用调控手段来纠正“三生空间”在动态运行中产生的各种不协调因素,补齐资源要素短板,促使黄河流域内产业要素与生活要素有序搭配,实现经济社会高质量发展要素的高效率组合,发挥生产、生活、生态空间的最优结构效应。第三,“三生空间”协同发展,能够促进生产、生活和生态空间等领域内资源有序流动,提高资源要素之间的可选择性,调整区域内产业结构,进而合理开发利用自然资源,减少生态破坏,降低环境压力,提升资源边际利用效率,以适应生态和生活的需求,实现黄河流域内生产、生活方式向绿色可持续转型。因此,从实践层面分析,推动“三生空间”协同发展,能够较好地促进区域内产业要素、生活要素和生态要素有序搭配,促进资源要素相互转化,推

动社会经济高质量发展。

三、黄河流域“三生空间”协同发展的测度

基于黄河流域高质量发展对区域内“三生空间”协同发展的现实诉求,通过对黄河流域的“三生空间”协同发展进行定量测度,深入剖析其时空演变特征,并全方位识别影响“三生空间”协同发展的因素。通过多角度探究区域空间内资源的合理配

置路径,推动空间要素由无序冲突向有序协调演进,从而有效提升黄河流域国土空间利用质量。

(一)黄河流域“三生空间”协同发展测度指标体系构建

基于对“三生空间”协同发展特征的认知,并结合“三生空间”的内涵,构建以生产、生活、生态为维度的测度指标体系,用来衡量黄河流域9省份“三生空间”协同发展水平。该体系共涵盖3个子系统、6个二级指标(准则层)和40个三级指标,如表1所示。

表1 黄河流域“三生空间”协同发展测度指标体系

目标层	准则层	指标层	单位	指标说明	属性
生产空间	农业生产	人均粮食产量(x_1)	kg/人	粮食总产量/区域总人口	+
		垦殖系数(x_2)	%	耕地面积/区域土地总面积	+
		人均肉类产量(x_3)	kg/人	肉类总产量/区域总人口	+
		高标准农田率(x_4)	%	高标准农田面积/区域土地总面积	+
		农用机械总动力(x_5)	万千瓦	农用机械动力的额定功率总和	+
		第一产业增加值占GDP比重(x_6)	%	第一产业增加值/区域GDP	+
		地均国内生产总值(x_7)	亿元/km ²	区域生产总值/区域土地总面积	+
	非农生产	地均公共财政收入(x_8)	亿元/km ²	区域财政总收入/区域土地总面积	+
		工业增加值(x_9)	亿元	工业活动中新增部分价值	+
		建筑业总产值(x_{10})	万元	区域建筑业产值总和	+
		第三产业增加值占GDP比重(x_{11})	%	第三产业增加值/区域GDP	+
		第二产业增加值占GDP比重(x_{12})	%	第二产业增加值/区域GDP	+
		财政自给率(x_{13})	%	一般公共预算收入/一般公共预算支出	+
		人均GDP(x_{14})	万元/人	区域GDP/区域总人口	+
生活空间	生活保障	农村居民人均消费性支出(x_{15})	元/人	实际生活消费支出/区域总人口	+
		公路线路里程(x_{16})	千米	达标公路总长度	+
		社会消费品零售总额(x_{17})	亿元	各行业直接出售给居民的消费品总额	+
		居民消费价格指数(x_{18})	%	区域城市和农村指数加权	+
		人均一般公共预算支出(x_{19})	万元/人	一般公共预算支出/区域总人口	+
	社会保障	城镇登记失业率(x_{20})	%	城镇失业人数/(城镇从业人数+城镇失业人数)	-
		普通高等学校数(x_{21})	个	普通高等学校数量	+
		职工基本医疗保险参保人数(x_{22})	万人	参保职工基本医疗保险人数	+
		艺术表演团体数(x_{23})	个	各类专业艺术表演团体	+
		教育支出占一般公共预算支出比重(x_{24})	%	教育总支出/一般公共预算支出	+
生态空间	生态供给	医疗卫生机构床位数(x_{25})	万张	医院床位数	+
		普通高中招生数(x_{26})	人	区域当年普通高中招生总人数	+
		森林覆盖率(x_{27})	%	森林面积/区域土地总面积	+
		湿地覆盖面积(x_{28})	千公顷	区域湿地覆盖总面积	+
		人均生活用水(x_{29})	吨/人	生活用水总量/区域总人口	+
		污水处理厂集中处理率(x_{30})	%	城市生活污水处理量/城市生活污水排放总量	+
		工业节约用水量(x_{31})	万立方米	工业节水总量	+
		林业完成投资(x_{32})	万元	政府制定的林业发展规划投资总额	+
	生态净化	建成区绿化覆盖率(x_{33})	%	绿化覆盖面积/城市建成区面积	+
		环境污染治理投资占GDP比重(x_{34})	%	环境污染治理投资总额/GDP	+
		复合肥料用量(x_{35})	万吨	区域各类复合肥料施用总量	-
		每万人生活COD排放量(x_{36})	吨/万人	生活COD排放量/区域总人口	-
		每单位GDP二氧化硫排放量(x_{37})	吨/亿元	SO ₂ 排放总量/GDP	-
		每单位GDP烟粉尘排放量(x_{38})	吨/亿元	烟粉尘排放量/GDP	-
		人均工业废水排放量(x_{39})	吨/人	工业废水排放量/区域总人口	-
有效灌溉面积(x_{40})	千公顷	当年能正常灌溉的耕地面积	+		

资料来源:参考任保平等(2021)和徐福祥(2022)的研究成果,《中国统计年鉴》及黄河流域各省统计年鉴自行整理。

(二)黄河流域“三生空间”协同发展测度方法

为了对黄河流域“三生空间”协同发展情况进行测度,选择4个年份,观察黄河流域9个省份各子系统的协同发展情况。先采用熵权法计算协同发展测度指标体系中各指标的权重;再依据指标权重构建耦合协调度模型,测算协同发展水平;最后采取障碍度模型和灰色关联分析法,对影响协同发展的各类因素进行分析,从指标和区域两个维度识别障碍度和影响程度均较大的因素,作为协同发展的关键性指标。

1.基于熵权法确定指标权重

指标体系中的正向指标和负向指标分别进行数据标准化处理,其中*i*表示黄河流域各省份,*j*表示“三生空间”协同发展指标体系中的第*j*个指标。具体见式(1)和式(2)。

$$\text{正向指标: } y'_{ij} = 0.99 \frac{y_{ij} - \min_j y_{ij}}{\max_j y_{ij} - \min_j y_{ij}} + 0.01 \quad (1)$$

$$\text{负向指标: } y'_{ij} = 0.99 \frac{\max_j y_{ij} - y_{ij}}{\max_j y_{ij} - \min_j y_{ij}} + 0.01 \quad (2)$$

运用熵值法计算权重*w_j*,具体见式(3)。

$$P_{ij} = \frac{y'_{ij}}{\sum_{i=1}^n y'_{ij}}, \quad h = \frac{1}{\ln m}, \quad e_j = -h \sum_{i=1}^n P_{ij} \ln(P_{ij}),$$

$$d_j = 1 - e_j, \quad w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (3)$$

其中:*P_{ij}*是第*i*个区域第*j*项指标的比重,*e_j*是第*j*项指标的熵值,*d_j*是第*j*项指标的信息效用值。*w_j*是第*j*项指标的权重,*m*为样本个数,*n*表示指标个数。

2.构建“三生空间”耦合协调度模型

将黄河流域生产、生活、生态空间分别看作整个流域内“三生空间”协同发展的子系统,计算黄河流域“三生空间”协同发展的耦合协调度。具体见式(4)。

$$U_k = \sum_{i=1}^{v_k} w_i y'_{ij} \quad C = \left[\frac{\prod_{k=1}^n U_k}{\left(\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n U_k \right)^n} \right]^{\frac{1}{n}}$$

$$T = \sum_{k=1}^n \sigma_k U_k \quad D = \sqrt{C \times T} \quad (4)$$

其中*U_k*表示综合评价指数,*v_k*表示三生系统第*k*个子系统指标下按顺序排序的最大值,*σ_k*代表第*k*个子系统的权重。另外,在黄河流域内,9个省份在区域协同发展系统中具有同等重要性程度,因此权值相等,均为 $\frac{1}{9}$ 。*C*为耦合度,取值范围为[0,1],*D*为耦合协调度,*T*为耦合协调发展水平的综合评价指数。耦合协调度*D*取值在0~1之间,最大值亦即最佳协调状态;反之,耦合协调度*D*越小,则越不协调。本文耦合协调度划分为5个区间,如表2所示。

表2 耦合协调度类型划分

耦合协调度	耦合协调类型
$D \in [0,0.2)$	严重失调
$D \in [0.2,0.4)$	中度失调
$D \in [0.4,0.5)$	基本协调
$D \in [0.5,0.8)$	中度协调
$D \in [0.8,1.0]$	高度协调

资料来源:参考程佳琦等(2024)的分级标准,通过SPSSAU软件计算实现。

3.构建“三生空间”障碍度模型

为进一步分析黄河流域“三生空间”协同发展的制约因素,运用障碍度模型,诊断制约“三生空间”协同发展的障碍因子,模型如式(5)所示。

$$O_{ij} = \left[\frac{(1 - X_{ij}) \times w_{ij} \times 100\%}{\sum (1 - X_{ij}) \times w_{ij}} \right] \quad (5)$$

其中*O_{ij}*、*X_{ij}*和*w_{ij}*分别表示第*i*个子系统的第*j*个指标对某子系统层面的协同发展障碍度、指标的标准化值和权重,1-*X_{ij}*表示其偏离程度。

4.基于灰色关联分析法识别影响“三生空间”协同发展因素

选择参照序列*X₀*,参照序列为上文得到的9个省份协同发展耦合协调度,其余序列为*X_j*。

$$(X_0 \quad X_1 \quad \dots \quad X_n) = \begin{pmatrix} x_0(1) & x_1(1) & \dots & x_n(1) \\ x_0(2) & x_1(2) & \dots & x_n(2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_0(m) & x_1(m) & \dots & x_n(m) \end{pmatrix} \quad (6)$$

计算黄河流域各省份的关联系数*r*。

$$r[x_0(k), x_i(k)] = \frac{\min_k \min_i |x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max_k \max_i |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max_k \max_i |x_0(k) - x_i(k)|} \quad (7)$$

其中*ρ*是分辨系数,为防止绝对极差序列最大

值过大,特取值0.5。

关联系数是指某指标与黄河流域各省份“三生空间”协同发展耦合协调度的关联程度大小。对2008年、2013年、2018年和2023年等4个年份的关联系数求均值,计算出关联度 r_{0i} ,如式(8)所示。其中 m 为指标个数, ξ_i 为关联系数。

$$r_{0i} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \xi_i(k) \quad (8)$$

(三)黄河流域“三生空间”协同发展耦合协调度

1.数据的来源说明

选取2008年、2013年、2018年以及2023年黄河流域9个省份的40个评价指标,数据来源于黄河流域生态保护和高质量发展大数据平台、中国经济社会大数据研究平台、国家统计局官方网站、各省统计年鉴以及相应年份的国民经济和社会发展公报。部分缺失的数据通过插值法补足。

2.黄河流域9个省份之间“三生空间”协同发展耦合协调度

黄河流域“三生空间”协同发展中,各子系统具有相同的重要性,因此将目标层权重,即各子系统权重均设为1。对黄河流域2008年、2013年、2018年和2023年等4个年份的数据进行熵值分析,得到黄河流域“三生空间”协同发展各指标的权值。再由式(3)至式(4),计算出上述4个年份黄河流域内“三生空间”协同发展的耦合协调度,如图1所示。

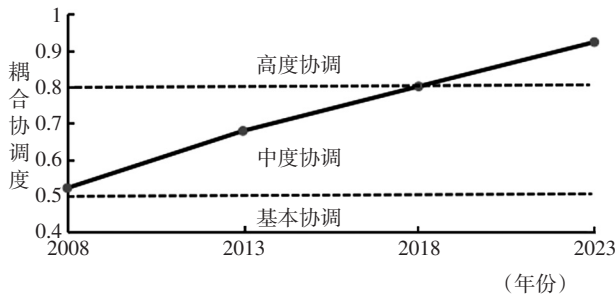


图1 黄河流域“三生空间”协同发展耦合协调度

数据来源:根据中国统计年鉴、黄河流域相关省份统计年鉴计算得到。

如图1所示,黄河流域“三生空间”耦合协调度在2008—2023年持续提升,由中度协调(0.53)逐步跃升至高度协调(0.93)。特别是2018年后,协同水平稳定在0.8以上,反映出在黄河流域生态保护和高质量发展国家战略推动下,流域内生产、生活、生

态空间的系统协同能力明显增强。

3.黄河流域各省份内部“三生空间”协同发展耦合协调度

在2008年、2013年、2018年和2023年等4个年份间,黄河流域“三生空间”协同发展水平稳步提升,但每个省份内部“三生空间”协同发展状况有所不同,需要对每个省份内部的“三生空间”协同发展情况进行测度。由式(3)和式(4)计算得出黄河流域内每个省份“三生空间”协同发展度,结果如图2所示。

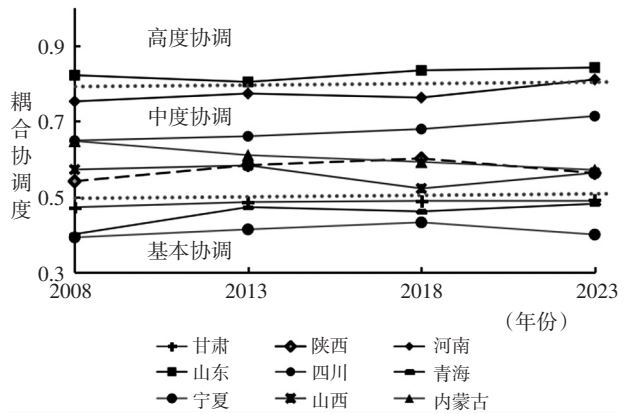


图2 黄河流域4个年份9个省份内的“三生空间”协同发展耦合协调度

数据来源:根据中国统计年鉴、黄河流域相关省份统计年鉴计算得到。

总体来看,黄河流域各省份“三生空间”协同发展呈微弱上升趋势,有6个省份保持在中度协调以上。局部上看,有4个省份“三生空间”协同度呈稳中有升,如山东、河南、四川、青海,表明这些省份在生产空间、生活空间、生态空间方面的合作与互补有一定成效。特别是山东在这4个年份的协同发展水平均保持在高度协调线以上,河南在这4个年份的协同发展水平逐渐接近、达到高度协调线,四川在这4个年份的协同发展水平有所提升,但仍排在中度协调区间,协调水平有待提升,青海在这4个年份的协同发展水平有所提升,但仍旧没有突破基本协调线。少部分省份“三生空间”协同度呈波动态势,如内蒙古、山西等,说明各省份内部之间“三生空间”协同度不太稳定。另外,陕西、甘肃在这4个年份间“三生空间”协同度变化幅度不大,较为稳定,都在基本协调与中度协调分界线附近,协同水平不高。宁夏在这4个年份间一直保持在基本协调水平,落后于其他省份。

四、黄河流域“三生空间”协同发展的障碍因子诊断

近年来,黄河流域“三生空间”耦合协调度稳步提升,但仍存在区域差异和某些方面的不足。为识别制约黄河流域“三生空间”协同发展的影响因素,运用障碍度模型和灰色关联分析法对制约黄河流域“三生空间”协同发展因素进行动态分析,探究关键的堵点和卡点,为全方位推动黄河流域“三生空间”协同发展提供依据。

(一)黄河流域“三生空间”协同发展障碍度分析

为突出当前阶段特征,选取2023年黄河流域9个省份的指标数据,计算区域内生产空间、生活空间、生态空间3个子系统下各项指标对黄河流域各省份子系统层面“三生空间”协同发展的障碍度,同时计算生产空间、生活空间、生态空间3个子系统在不同省份的障碍度,筛选出在各子系统指标中障碍度排在前20%的指标与前20%的子系统障碍度数据(排名顺序按指标层障碍度数值和子系统目标层障碍度数字排序)。

1.黄河流域“三生空间”各子系统层面的障碍度分析

采用障碍因子分析法对黄河流域“三生空间”各子系统层面的障碍度进行分析,通过式(5)得出

相应障碍度,并对制约因素排序,如表3所示。

(1)生产子系统各指标障碍度分析

从指标维度看,指标 x_7 有6个省份的障碍度数值排名前20%,指标 x_5 有5个省份的障碍度数值排名前20%,指标 x_8 、 x_{10} 分别有4个省份障碍度数值排名前20%。黄河中上游地区整体经济发展水平低,自然条件较差,农业机械化程度较低,生产能力不高,相互关联能力不够。可见 x_5 、 x_7 、 x_8 、 x_{10} 为制约黄河流域“三生空间”协同发展体系中影响生产空间发展水平的主要因素。

从区域维度看,青海有 x_5 、 x_7 、 x_8 、 x_{10} 4个指标的障碍度数值排名前20%,对正处在产业结构转型升级、产业优化调整中的青海省来说,需加大在这四个方面的投入。甘肃、内蒙古均有 x_7 、 x_8 、 x_{10} 3个指标的障碍度数值在4%以上,宁夏有 x_5 、 x_7 、 x_8 3个指标的障碍度数值排名前20%,陕西有 x_1 、 x_5 、 x_7 3个指标的障碍度数值排名前20%,这些省份均在黄河中上游地区,在社会经济高质量发展背景下,区域内产业转型困难,加上环境规制影响,这些省份的生产空间发展水平不高,协同带动能力不强。

(2)生活子系统各指标障碍度分析

从指标维度看,指标 x_{17} 有6个省份的障碍度数值排名前20%,指标 x_{22} 、 x_{23} 分别有5个省份的障碍度数值排名前20%,指标 x_{19} 、 x_{26} 分别有4个省份的障碍度数值排名前20%。由于人口基数大,公共预算支出真正分配到每个人就变得非常少,另外,随

表3 黄河流域“三生空间”协同发展各指标障碍度

单位:%

子系统	指标	河南	四川	青海	甘肃	宁夏	山西	内蒙古	山东	陕西	均值
生产空间	x_1	2.92	3.08	2.36	2.27	2.05	2.86	0.03	3.64	4.15*	2.60
	x_5	0.38	4.13*	4.49*	3.57	4.03*	4.29*	3.28	0.00	4.11*	3.14
	x_7	2.96	3.01	4.98*	4.65*	4.21*	4.08*	5.49*	0.00	4.03*	3.71
	x_8	0.00	5.57*	8.55*	4.31*	3.36	3.27	5.02*	0.00	3.68	3.75
	x_{10}	1.54	0.00	4.70*	4.10*	4.07*	3.51	5.03*	0.51	2.43	2.88
生活空间	x_{17}	2.37	2.29	5.03*	4.41*	4.33*	4.29*	4.86*	0.00	4.01*	3.51
	x_{19}	3.55	5.83*	3.36	4.93*	3.75	4.95*	3.52	3.60	4.66*	4.24
	x_{20}	4.38*	4.58*	0.00	2.20	3.11	2.10	3.72	4.74*	3.28	3.12
	x_{22}	3.21	1.39	4.49*	3.96*	3.93*	4.50*	4.01*	0.00	3.52	3.22
	x_{23}	0.00	3.22	4.64*	4.05*	4.21*	3.43	4.99*	3.14	4.04*	3.52
	x_{26}	0.00	3.08	4.79*	3.85	4.11*	3.82	4.64*	2.36	4.07*	3.41
生态空间	x_{27}	0.00	3.19	4.14*	4.73*	5.47*	4.58*	3.96*	4.10*	3.45	3.74
	x_{34}	2.81	3.10	4.63*	4.52*	4.61*	5.22*	4.61*	1.42	3.04	3.77
	x_{37}	6.46*	4.97*	5.56*	4.99*	4.72*	3.51	6.20*	0.00	5.97*	4.71
	x_{40}	15.94*	11.23*	0.00	9.98*	3.68	9.49*	10.93*	20.94*	10.97*	9.30

数据来源:根据中国统计年鉴、黄河流域相关省份统计年鉴计算得到。*表示排名前20%的指标值。

着物质生活的提高,人们对精神文化生活提出了更高的要求,而这些要求未能得到充分满足。可见 x_{17} 、 x_{19} 、 x_{22} 、 x_{23} 、 x_{26} 为制约黄河流域“三生空间”协同发展体系中影响生活空间发展水平的主要因素。

从区域维度看,青海、宁夏、内蒙古有 x_{17} 、 x_{22} 、 x_{23} 、 x_{26} 4项指标进入排名前20%,甘肃有 x_{17} 、 x_{19} 、 x_{22} 、 x_{23} 4项指标进入排名前20%,陕西有 x_{17} 、 x_{19} 、 x_{23} 、 x_{26} 4项指标进入排名前20%。区域内生产空间发展水平不高,收入水平低,普通教育弱,普惠医疗满足率低,制约黄河流域生活空间发展水平的提升。

(3)生态子系统各指标障碍度分析

从指标维度看,指标 x_{37} 、 x_{40} 有7个省份的障碍度数值排名前20%,指标 x_{27} 有6个省份的障碍度数值排名前20%,指标 x_{34} 有5个省份的障碍度数值排名前20%。随着工业发展与城市化建设,人类活动的干预日渐增强,各类资源盲目开采和不

合理应用,森林覆盖率低,人均水资源少,有效灌溉面积不多等因素,成为制约黄河流域“三生空间”协同发展体系中影响生态空间发展水平的主要因素。

从区域维度看,甘肃、内蒙古有 x_{27} 、 x_{34} 、 x_{37} 、 x_{40} 4项指标进入排名前20%,青海、宁夏有 x_{27} 、 x_{34} 、 x_{37} 3项指标进入排名前20%,山西有 x_{27} 、 x_{34} 、 x_{40} 3项指标进入排名前20%。黄河中上游部分省份自然资源禀赋较差,工业发展水平低,反哺生态维护和修复的能力不强。

2.黄河流域各省份“三生空间”协同发展障碍度分析

采用障碍因子分析法对黄河流域“三生空间”各子系统在不同省份的障碍度分析,通过各省份子系统障碍度汇总,得出各省份各子系统障碍度,并对制约因素排序如表4所示。

表4 黄河流域各省份“三生空间”协同发展障碍度

单位:%

	河南	四川	青海	甘肃	宁夏	山西	内蒙古	山东	陕西	均值
生产	33.77	29.52	38.97*	30.46	39.17*	33.68	25.58	22.15	33.33	31.85
生活	28.36	36.31	34.29	38.36*	26.81	32.91	40.13*	28.22	32.64	33.11
生态	37.87	34.17	26.74	31.18	34.02	33.40	34.29	49.63*	34.03	35.04
总计	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

数据来源:根据中国统计年鉴、黄河流域相关省份统计年鉴计算得到。*表示排名前20%的指标值。

在生产系统层面,宁夏的障碍度为39.17%,青海的障碍度为38.97%,说明宁夏、青海两个省份在“三生空间”协同发展过程中,生产空间的制约性较大;在生活系统层面,内蒙古的障碍度达到40.13%,青海的障碍度为34.29%,说明内蒙古、甘肃两个省份在“三生空间”协同发展过程中,生活空间的制约性较强;在生态系统层面,障碍度较大的省份是山东的49.63%,说明山东在“三生空间”协同发展过程中,生态空间的制约性较大。另外,在“三生空间”的整个子系统中,生态系统障碍度均值34.84%,在三个子系统中最高,对于黄河流域“三生空间”协同发展的制约作用较为明显。

综上所述,子系统维度中,生态系统对黄河流域“三生空间”协同发展的制约作用最大,指标维度中“地均国内生产总值”“农业机械总动力”“社会消费品零售总额”“职工基本医疗保险参保人数”“艺术表演团体数”“每单位GDP二氧化硫排放量”“有效灌溉面积”等指标对黄河流域“三生空间”协同发展障碍度较大,制约作用较强。区域维度中,宁夏、

甘肃对黄河流域“三生空间”协同发展贡献度较小。

(二)黄河流域“三生空间”协同发展的关联度分析

为识别长期制约黄河流域“三生空间”协同发展因素,引入灰色关联分析法,找出这4个年份中对黄河流域“三生空间”协同发展长期影响较大的因素,以便与2023年障碍度分析结果相结合,综合分析影响黄河流域“三生空间”协同发展的关键因素。利用式(6)、式(7)、式(8)进行计算分析,结果为:从指标维度上看,粮食生产(0.876)、农业机械(0.892)、第三产业(0.927)、医疗教育(0.910)与生态绿化(0.916)等指标的数字较大,说明上述指标对黄河流域“三生空间”协同发展的关联性较强。从区域维度上看,山东在各项指标中关联度均值最高(0.826),对黄河流域“三生空间”协同发展的带动性较强,说明应以山东为龙头,从而带动整个黄河流域经济社会高质量发展;宁夏没有进入前20%的指标,说明宁夏整体上各指标对协同发展关联度不大。

五、研究结论与路径优化

(一) 研究结论

以黄河流域9个省份为研究单元,构建“三生空间”协同发展水平综合评价指标体系,利用熵值法、障碍度模型、灰色关联分析法,对2008—2023年黄河流域“三生空间”协同发展水平进行了评价,并对影响因素进行动态分析。从整体情况分析:黄河流域9个省份“三生空间”协同发展水平处于稳步上升态势,综合得分从2008年的0.38增长到2023年的0.83,年均增长率为5.35%,实现了由基本协调逐步到高度协调的跃升,较好地推动了黄河流域社会经济的高质量发展。从局部制约因素分析:黄河流域各省份由于资源禀赋不同,发展的内生动力有别,黄河流域各省份内部之间“三生空间”协同发展水平有差异,河南、山东、四川对黄河流域“三生空间”协同发展的作用最大,而宁夏、青海、甘肃等省份的“三生空间”协同发展水平低,辐射带动区域协同发展水平的能力较弱。随着经济发展和城镇化的快速推进,黄河流域生态系统的脆弱性凸显,流域内的清洁生产和污染治理能力总体偏低。造成生态空间不足以支撑生产空间和生活空间的功能发挥,生态子系统已成为阻碍黄河流域“三生空间”协同发展的重要一环。其中,宁夏和青海生产子系统是制约“三生空间”协同发展的主要障碍因素;内蒙古和甘肃在生活子系统方面制约“三生空间”协同发展;生态子系统方面,山东对“三生空间”协同发展有较大影响。从指标层分析:依据埃奇沃斯盒分析理论,黄河流域各空间内的每个层面的资源进行交互转换后,边际替代率应该相等,资源配置达到帕累托最优,“三生空间”的协调度最高。由于黄河流域内资源要素流动性不强,相互之间的匹配度不高,部分指标发展水平低,“木桶效应”较为明显,阻碍“三生空间”协同发展。根据障碍度模型分析,黄河流域短期内受“地均国内生产总值”“农业机械总动力”“社会消费品零售总额”“职工基本医疗保险参保人数”“艺术表演团体数”“每单位GDP二氧化硫排放量”“有效灌溉面积”等因素影响,“三生空间”协同发展受到不同程度影响;再结合灰色关联分析的结果,长期内,“粮食生产”“农业机械水平”“第三产业发展能力”“医疗教育”“生态维护”等要

素对黄河流域“三生空间”协同发展的障碍度较大,制约作用较强。

(二) 路径优化

1. 完善区域协调发展机制,提升黄河流域各省份内生动力

立足各省份的资源禀赋,统筹协调黄河流域内资源配置,构建“一体协同、多点联动”的区域协调发展机制,全面提升黄河流域各省份内生动力,增加经济发展厚度,解决“三生空间”协同发展的短板。首先,强化黄河流域全局统筹能力。建立省级间生态补偿、产业协作与科技共享平台,平滑资源流动卡点、堵点,强化省际间技术输出、产业辐射和人才交流,促进产业转移与承接,实现优势互补,增强黄河中上游省份内生发展实力,提升各省份协同发展水平。其次,加强科技创新和大数据技术应用,提高“三生空间”的资源利用效率。利用空间测量技术搜集各地空间资源数据,精准识别上、中、下游不同省份的主导因素与关键短板,科学划定生产、生活、生态空间边界,据此制定差异化的任务清单与考核指标,提高“三生空间”协调发展的整体性跃升。最后,加快产业转型升级,大力发展特色产业。在黄河流域上游地区,依托兰州、西宁、银川省会中心城市,培育发展新兴产业集群,构建高质量能源基地,开发风力发电等清洁能源产业,进而带动相关产业发展;在黄河流域中游地区,优化调整传统主导产业,加快煤炭能源产业的转型升级,淘汰落后产业,提升生产空间质量;在黄河流域下游地区,借助区位优势,积极探索工业互联网、智能制造等新模式,发展航空经济,推动生产方式变革,由粗放型向集约集聚型转变,注重避免生产空间、生活空间对生态空间的挤占。

2. 提升黄河流域生态环境的净化能力,增强企业内的承载量

加强黄河流域生态环境的维护,提升生态净化能力,助于增强区域内生态服务系统的韧性,增加区域承载力,拓宽生产、生活活动空间。一是围绕黄河的主、干、支流进行维护修复,提升水源涵养能力。针对黄河及其干支流,应加强河床底质改良,增加河流的顺畅度,利用水流进行物理净化;加大河道排口拦截项目建设,通过设置隔离网、过滤网以及巡查等措施,阻止污水的流入、流出,促进河道内悬浮物的沉淀;完善河流内部的沉水植物和水生

动物修复和保护,降低河水中的营养物质,改善水生生物的生存环境,促进水生态系统的平衡和稳定。二是加强生态修复与治理,调整流域环境系统与人类经济社会活动的协调度。上游地区要加大三江源、祁连山、青海湖等重点生态保护工程的实施力度,推进天然林保护、湿地保护修复、沙化土地植被修复等,促进动、植物多样性,逐步提高生态环境承载能力。中游地区要聚焦水土流失综合治理,提高保持水土的能力,建梯田、造林、种草、封禁治理等措施,缓解下游“地上悬河”压力。下游地区要围绕滩区治理、洪涝旱碱治理以及黄河三角洲湿地保护等相互关联的生态工程,进行生态修复和重建。三是沿黄各省区要结合区域污染情况,制定污染防治重点行业清洁化改造方案,推广生态农业技术,如生态种植、生态养殖等,减少化肥、农药施用量,控制农业面源污染和工业污染,提高工业园区和城镇污水处理能力,缓解生产用地和生态用地冲突。

3.提高黄河流域内资源要素匹配度,增强流域内“三生空间”协同发展的韧性

结合障碍度模型和灰色关联分析的结果,针对区域内“地均国内生产总值”“农业机械总动力”“职工基本医疗保险参保人数”“艺术表演团体数”“每单位GDP二氧化硫排放量”“有效灌溉面积”“粮食生产”“农业机械水平”“第三产业发展能力”“医疗教育”“生态维护”等长、短期等制约因素,黄河流域各省份应加大协同力度,疏通资源流动环节,增强资源要素匹配度,全面提升黄河流域内“三生空间”协同发展的韧性。一是要合理规划国土空间资源,提升单位面积土地的经济产出。结合各省份和自治区国土资源状况,针对性进行资源要素的匹配,宜工则工、宜商则商、宜林则林,合理布局一二三产业,提升国土空间利用效率和可持续性,特别是四川省和内蒙古自治区,应坚持最严格的耕地保护制度,强化耕地数量、质量、生态“三位一体”保护。二是加强针对性的科技创新,提升协同发展韧性。鼓励和支持科技创新,加强基础研究,围绕良种、农业机械、生态维护等领域,进行针对性技术研发,增强农业机械设备供给能力,提升农业机械化水平,增加区域有效灌溉面积,提高农产品产量和质量。同时,利用先进绿色技术,进行生态环境的维护和修复,降低“三废”排放量,提升区域的生态自净能力。三是加大精神文明建设,关注民生工程。在进

行经济发展的同时,也应关注精神文明建设,结合社会需求,多方宣传引导;结合不同区域的历史文化,成立不同层面民间文艺团队,满足精神层面需求。

参考文献

- [1]辜寄蓉,朱明仓,江浏光艳,等.国土空间规划中弹性空间的作用与划分[J].中国农业资源与区划,2019,40(12).
- [2]任保平,邹起浩.黄河流域环境承载力的评价及进一步提升的政策取向[J].西北大学学报:(自然科学版),2021,51(5).
- [3]徐福祥,徐浩,刘艳芬,等.黄河流域九省(区)生态保护和高质量发展治理水平测度与评价[J].人民黄河,2022,44(6).
- [4]张铃,王纪人,李志刚,等.区域经济高质量协同发展测度及影响因素识别:以四川省为例[J].统计与决策,2021,37(22).
- [5]张令达,侯全华,段亚琼.生态文明背景下三生空间研究:内涵、进展与对策[J].生态学报,2024,44(1).
- [6]赵铮.“三生”空间与“四宜”城市建设的内在逻辑与相互作用机制:基于上海55个城市更新案例的扎根分析[J].上海行政学院学报,2022,23(5).
- [7]丁明磊,杨晓娜,赵荣钦,等.碳中和目标下的国土空间格局优化:理论框架与实践策略[J].自然资源学报,2022,37(5).
- [8]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).
- [9]林树高,诸培新,陆汝成,等.长江经济带国土空间格局与功能演变的时空特征和响应过程[J].农业工程学报,2024,40(4).
- [10]陈晓杰,张长城.“三生空间”视角下湖北省国土空间时空演变及驱动机制研究[J].国土资源导刊,2025,22(4).
- [11]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).
- [12]靳祯雨.基于国土空间规划的资源环境承载力评价:以巴彦淖尔市为例[J].中国资源综合利用,2024,42(4).
- [13]程佳琦,林伊琳,赵俊三,等.昆明市“三生空间”功能耦合协调时空特征与影响因素[J].水土保持研究,2024,31(3).
- [14]石丹,郭新影,王吉.基于居民满意度视角的旅游型城镇三生空间优化研究[J].吉林师范大学学报(自然科学版),2021,42(1).
- [15]王伟,王硕.基于耦合协调度模型的政策性科技金融有效性测度[J].创新科技,2023,23(3).
- [16]李强,苏迎庆,冯珍珍,等.汾河流域三生空间功能耦合

- 协调研究[J].中国水土保持科学,2021,19(5).
- [17]朱从谋,苑韶峰,杨丽霞.主体功能区视角下国土空间格局演变及生态环境效应:以浙江省为例[J].生态学报,2023,43(11).
- [18]刘佳楠,姬广兴,高红凯,等.基于PLUS模型的河南省“三生空间”多情景模拟及生态环境效应分析[J].环境科学,2025,46(2).
- [19]董建红,张志斌,刘奔腾,等.“三生”空间视角下西北地区生态环境质量分异机制的地理探测[J].干旱区地理,2023,46(4).
- [20]牛雅萱,吴世新,郭晨宇,等.新疆县市“三生”功能时空变化及耦合协调性分析[J].干旱区地理,2021,44(6).

Level Measurement and Path Optimization of the Coordinated Development of Production, Living and Ecological Spaces in the Yellow River Basin

Song Baosheng Li Zifu Zhang Chaohui

Abstract: The synergistic development of production, living, and ecological spaces (hereafter referred to as the “PLE spaces”) is fundamental to the rational allocation of regional spatial resources and serves as a key guarantee for advancing ecological civilization and promoting high-quality economic development. To identify the level of synergistic development within the Yellow River Basin, recognize its constraints, and optimize pathways for improvement, this study adopts a regional synergistic development perspective. An evaluation index system for the synergistic development efficiency of PLE spaces in the Yellow River Basin is constructed. The coupling coordination degree model, obstacle degree model, and grey relational analysis are employed to measure the synergistic development and identify influencing factors for the years 2008, 2013, 2018, and 2023. The results show that: (1) The synergistic development of PLE spaces in the Yellow River Basin exhibits an overall improving trend, yet with uneven regional development levels, characterized by a bell-shaped spatial distribution. (2) Among the subsystems of PLE spaces, the ecological system imposes the most significant constraint on synergistic development. (3) At the regional dimension, inter-provincial disparities are evident. Henan, Shandong, and Sichuan Provinces demonstrate relatively high levels of synergistic development, whereas Qinghai Province and Ningxia Hui Autonomous Region exhibit low levels and a weak capacity to influence regional synergy. (4) In the short term, factors such as GDP per land area, registered urban unemployment rate, number of art performance troupes, and per capita water resources exert considerable influence on synergistic development. In the long term, factors including grain production, agricultural mechanization, tertiary industry development, medical and educational resources, and ecological greening present higher obstacle degrees and impose stronger and more persistent constraints. In light of these findings, it is recommended to strengthen top-level design, balance the synergistic development between the whole region and its parts, enhance the environmental purification capacity and carrying capacity of the Yellow River Basin, improve the spatial matching of resource factors, and reinforce the systemic resilience of PLE spaces, thereby comprehensively promoting high-quality development in the Yellow River Basin.

Key Words: Production-Living-Ecological Spaces; Coupling Coordination Degree Model; Obstacle Degree Model; Synergistic Development; Yellow River Basin

(责任编辑:墨 衡)