



· 黄河流域生态保护和高质量发展 ·

黄河流域资源型地区可持续农业与农村发展 时空特征与耦合协调机制 ——基于 42 个地级市的实证分析

刘晓琼^{1,2}, 张雪静², 杨 华³, 焦 璇², 陈佩瑶², 胡颖超²

(1. 西北大学 陕西省黄河研究院, 陕西 西安 710127; 2. 西北大学 城市与环境学院, 陕西 西安 710127;
3. 成都理工大学 地理与规划学院, 四川 成都 610059)

摘要 黄河流域资源型地区是我国重要的能源资源基地和粮食供应地, 探究其可持续农业与农村发展耦合协调机制是筑牢黄河生态安全屏障, 促成其乡村振兴的关键所在。文中在测算 2008—2020 年该区可持续农业与农村发展水平的基础上, 借用耦合协调度模型、地理探测器等分析了其可持续农业与农村发展的时空演变规律、影响因素及其耦合协调机制。结果显示: ①研究区可持续农业、可持续农村以及可持续农业与农村发展水平皆整体呈低值波动缓增态势, 其中可持续农业发展水平波动幅度相对较大且其值高于可持续农村发展的, 且三者的空间异质性较明显; ②制约研究区可持续农业与农村发展的障碍因子虽具有趋同性, 但其空间差异性亦较为明显; ③研究区可持续农业发展和可持续农村发展的耦合度高于耦合协调度, 且分别呈弱降和明显增长趋势, 目前依次处于拮抗和低度失调阶段; ④2020 年研究区可持续农业与可持续农村发展的高值区及其耦合协调度高值区皆大致沿海西州-鄂尔多斯-南阳-阿坝四地呈“蝶翼状”分布, 而两者的低值区则多集中于黄河“几”字湾晋陕豫段部分地级市以及下游地区; ⑤影响研究区可持续农业与农村发展的因子作用类型以交互作用为主, 表明导致其耦合协调度空间分异的因子间交互作用的复杂性较强, 随后依据其作用机理分类构建了促成流域可持续农业发展和可持续农村发展的耦合协调机制。

关键词 可持续农业与农村发展(SARD); 耦合协调度; 地理探测器; 耦合协调机制; 黄河流域资源型地区

中图分类号: S-0; F303.4 DOI: 10.16152/j.cnki.xdxbzr.2025-04-004

Spatial-temporal characteristics and coupled coordination mechanism of sustainable agriculture and rural development of resource-based areas in the Yellow River Basin: An empirical analysis based on 42 prefecture-level cities

LIU Xiaoqiong^{1,2}, ZHANG Xuejing², YANG Hua³, JIAO Xuan²,

收稿日期: 2024-12-24

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(42293270)

第一作者: 刘晓琼, 女, 教授, 博士生导师, 从事区域农业与农村可持续发展、气候变化与农业可持续发展等研究, xiaoqiongliu2001@163.com。

通信作者: 张雪静, 女, 从事气候变化与农业可持续发展研究, 1341386374@qq.com。

CHEN Peiyao², HU Yingchao²

(1. Yellow River Research Institute of Shaanxi Province, Northwest University, Xi'an 710127, China;

2. College of Urban and Environmental Sciences, Northwest University, Xi'an 710127, China;

3. School of Geography and Planning, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract As a resource-based region in the Yellow River Basin, this study area is an important energy resource base and food supply area in China. Exploring its coupling coordination mechanism between sustainable agriculture and rural development is essential to building a solid ecological security barrier in the Yellow River and revitalizing its rural area. On the basis of estimating the level of sustainable agriculture and rural development in the study area during 2008—2020, the coupling coordination degree model and geographic detectors are used to analyze the spatio-temporal evolution patterns of sustainable agriculture and rural development, the influencing factors and their coupling and coordination mechanisms in this area. Here are the results: ① the levels of sustainable agriculture and rural development of the study area fluctuate at a lower level and increase slowly, and the fluctuation range of sustainable agriculture development level is higher than that of sustainable rural development, its level is higher than that of sustainable rural development as well, and there is significant spatial heterogeneity among the level of sustainable agriculture and rural development, even sustainable agriculture development and sustainable rural development; ② although the constraining factors of sustainable agriculture and rural development of the study area are convergent, their spatial heterogeneities are evident; ③ the coupling degree of sustainable agricultural development and sustainable rural development is higher than the coupling coordination degree, while the former decreased weakly, and the latter increased obviously, and they are in the antagonistic and low-dissonance stages respectively; ④ by and large, the higher level areas of sustainable agriculture and sustainable rural development of the study area and the high level areas of their coupling coordination in 2020 exhibit a "butterfly-wings" distribution pattern along the Haixi Mongolian and Tibetan Autonomous Prefecture-Ordos City-Nanyang City-Aba Tibetan and Qiang Autonomous Prefecture, while its lower level areas concentrated in some prefecture-level cities in the Shanxi-Shaanxi-Henan section of the "several" bay of the Yellow River and downstream areas; ⑤ the type of factor affects the level of sustainable agriculture and rural development are interactions model, namely, the complexity of interaction among factors that lead to the spatial differentiation of their coupling coordination degree is extremely obvious, whereafter coupled coordination mechanisms for sustainable agricultural development and sustainable rural development in study area were constructed based on a classification of their mechanisms.

Keywords sustainable agriculture and rural development (SARD); coupling coordination degree; geographic probe; coupling coordination mechanism; resource-based areas in the Yellow River Basin

SARD(sustainable agriculture and rural development, SARD) 理念首现于 1991 年 FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 发布的“登博司宣言 (Den Basch Declaration)”。宣言指出, SARD 理念是可持续农业发展 (sustainable agriculture development, SAD) 理念和可持续农村发展 (sustainable rural development, SRD) 理念的高度融合, 是促成乡村地区可持续发展的重要思想。1992 年联合国环发大会发布的《21 议程》中的第 14 章专门阐述了 SARD 实施领域和任务等。可见, SARD 理念旨在借助适当的经济、技术手段以及政府干预, 实施农业技术革新和乡村

体制改革, 在维护水体、土地、大气等自然资源可持续利用的同时, 满足人类粮食需求^[1]。目前, SARD 已成为联合国 17 项可持续发展目标 (SDGs) 之一, 《中国落实 2030 年可持续发展议程国别自愿陈述报告》也强调了其在我国粮食安全、农业资源开发利用、乡村振兴等方面的重要作用^[2]。比较来看, SARD 主旨与我国乡村振兴战略的指导思想一致, 乡村振兴战略是 SARD 理念中国化的运用和发展。

黄河流域既是我国生态系统保护和修复的重点区域, 也是能源矿产资源和农产品的重要供应地^[3-4]。流域资源型地级市占地级市数量的

59.42%, 这些地区在推进黄河流域乃至全国完整工业体系的建设以及国民经济发展等方面作出了极大的贡献。但是, 受长期涸泽而渔式资源开发的影响, 这些地级市付出了沉重的生态代价, 相当一部分地区成为国家生态环境、经济社会问题频出的“问题区域”, 而其乡村地区作为资源开发的主阵地, 则成为这些“问题区域”的焦点地区。目前, 黄河流域资源型地区人地系统的“三生”空间耦合度低^[5], 生态系统失衡、经济系统发展路径锁定和增长动力减弱等问题突出^[6-7]。而高强度能源和矿产资源开发影响下的“三农问题”(农业、农村、农民问题)更是该区农业农村发展的焦点问题^[8]。因此, 深入探究黄河流域资源型地区 SARD 现状及其耦合协调机制, 可为加快全流域乃至全国同类地区生态保护和高质量发展, 以及乡村振兴提供科学依据。

SARD 研究对象的二元性、研究层面的多区域性、多尺度性决定了其研究学科的综合性和研究理论的交叉性^[9]。从发文主题看, 国外研究常基于多学科开展多功能农业(multifunctional agriculture, MFA)^[10-11]、乡村恢复力^[12]、乡村繁荣振兴与农户福祉^[13]等方面的研究, 其中的 MFA 在加快欧盟国家农业转型、提升乡村经济发展弹性、增强农户生计韧性、促进农业与农村可持续发展等方面发挥了重要作用^[14]。国内 SARD 研究则在贯彻落实 SARD 要义、并赋予中国特色的基础上, 借助多学科理论和方法持续聚焦多时空尺度的农业农村现代化、乡村空间演变、乡村重构等问题^[15]。具体针对黄河流域 SARD 的研究, 则多关注现代农业发展驱动力与模式、乡村产业转型、乡村贫困问题、农业农村环境整治、矿区乡村 SARD、乡村空间演化, 以及流域人地系统协调等方面的研究^[4-7, 16-18]。

综上所述, 黄河流域资源型地区的 SARD 研究多从 SAD 或 SRD 单视角, 探究农业或农村可持续发展问题, 融合视角下的 SARD 研究尚需补充。故本文在构建研究区 SARD 评价指标体系、全面量化其时空演变特征的基础上, 借助地理探测器剖析该区 SAD、SRD 耦合协调机制, 以期在丰富黄河流域 SARD 研究的同时, 为流域乃至全国资源型地区生态系统保护与修复以及乡村振兴提供参考。

1 研究区域、数据来源与方法

1.1 研究区概况

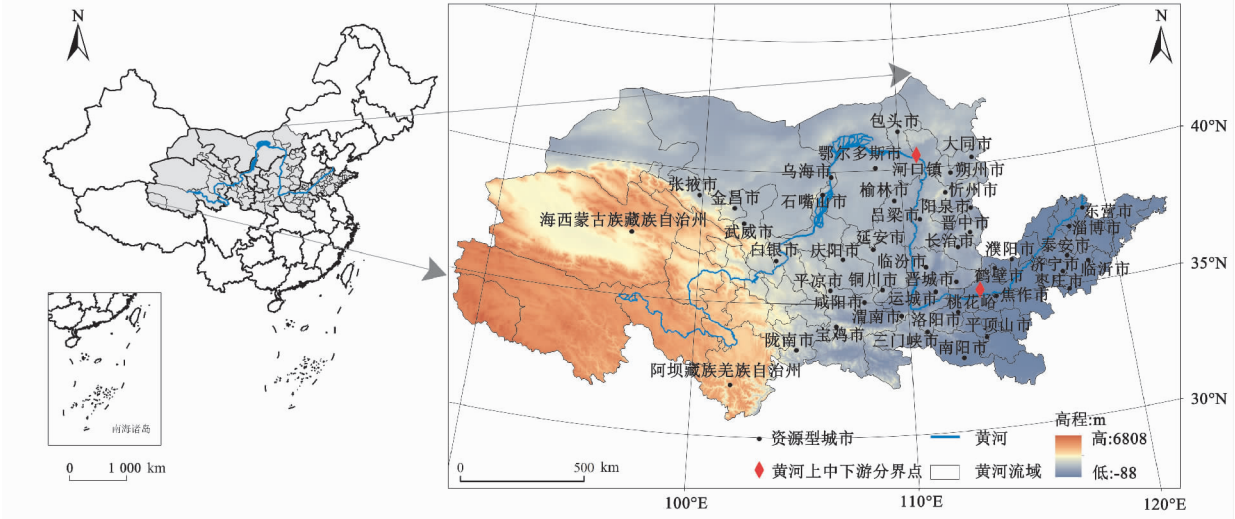
黄河干流由西向东依次流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南、山东等 9 省区, 流域面积约 $79.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ (含内流区面积), 约占全国总面积的 8.28%。黄河流域地跨青藏高原、内蒙古高原、黄土高原、华北平原等四大地貌单元, 这里不仅煤炭和矿产资源丰富, 而且区内的河套灌区、汾渭平原、黄淮海平原等地区还是国内重要的粮食和畜牧产品供应地。流域共有 83 个地级市(地区、自治州、盟)^[19], 地级资源型地区占比为 50.6%。在确定研究区范围时, 文中参照《全国资源型地区可持续发展规划(2013—2020 年)》中的资源型城市名单, 同时考虑到内蒙古东四盟非自然黄河流域, 其与黄河的经济、文化的直接关联性不强^[20], 并与流域中下游地区经济社会联系紧密性不强等实际情况, 最终选取内蒙古东四盟以外的 42 个地级行政区(地级市、地区、自治州、盟)为研究区(见图 1)。受多样化成矿条件的影响, 黄河流域上游的资源型地区呈零星状散布, 流域中游的呈集中连片状分布, 下游的则呈团簇状分布。截至 2020 年, 流域 42 个地级资源型地区的农林牧渔总产值 $12\,764.33 \times 10^8$ 元, 农村常住居民人均可支配收入 15 434.53 元/年, 总人口 $13\,489.72 \times 10^4$ 人, 其中农业人口 $5\,618.98 \times 10^4$ 人, 人均耕地面积 0.314 hm^2 。

1.2 数据来源与处理

囿于青海、甘肃、四川等省部分地级资源型地区农业、农村数据可得性, 以及农业农村部农产品地理标志认证名单首发于 2008 年等的实际情况, 选取 2008—2020 年为研究期。文中黄河流域资源型地区行政区划及水系底图来源于全国地理信息资源目录服务系统(<https://www.webmap.cn>), 高程数据来源于“地理空间数据云”(<https://www.gscloud.cn>)中的 ASTER GDEM 30 m 分辨率数字高程数据集, 地形起伏度数据来源于全球变化科学研究数据出版系统(<https://www.geodoi.ac.cn>)中的中国地形起伏度公里网格数据集, 0°C 积温数据基于中国地面气候资料日值数据集 V3.0 提取, 土壤侵蚀强度来源于中国科学院资源环境科学与数据中心(<https://www.resdc.cn>)共享的中国土壤侵蚀空间分布数据集, 水资

源总量以及农业用水量来自各省以及地级市水利厅公布的水资源统计公报,社会经济数据取自各地级市国民经济和社会发展统计公报和统计年鉴等,农业地理标志产品数来源于中国绿色食品发展中心(<http://www.greenfood.org.cn>)公布的全国农产品地理标志登记汇总名单,国家级龙头企业数来源于农业农村部认定的农业产业化国家重点龙头企业名单,农业科技园区数据来源于科学技术部认定的国家农业科技园区名单。处理数据

时,部分地级市化肥、农药以及农膜使用量等少量缺失数据运用 Stata16 软件的线性插补法补齐。用极差标准化消除量纲差异,选用层次分析法+熵值法的复合赋权法获取权重(研究区 SARD 评价涉及的准则层和子准则层较多,故准则层权重借用层次分析法赋予,而指标层权重在运用熵值法确定各指标层权重的基础上,再乘对应的准则层指标以获取各指标最终的组合权重),最后借助 Topsis 法计算黄河流域资源型地区的 SARD 值。



注:该图基于自然资源部地图技术审查中心标准地图服务网站下载的审图号为 GS(2020)4619 号的标准地图制作,底图无修改,下同。

图 1 黄河流域资源型地区分布情况

Fig. 1 Distribution of resource-based cities in the Yellow River Basin

1.3 研究方法

1.3.1 Topsis 法

Topsis 法通过计算决策目标向量与正理想解和负理想解的相对距离来排序确定最优方案^[21],文中运用该法测算黄河流域各资源型地区的 SARD 值。

1.3.2 障碍度模型

障碍度模型可以用来衡量单因素对整体目标的影响程度,文中用其诊断制约黄河流域资源型地区 SARD 的障碍因子。

$$Z_{ij} = \frac{W_{ij}I_{ij}}{\sum_{i,j=1}^{42} W_{ij}I_{ij}} \times 100\%, Z_j = \sum_{i,j=1}^{42} Z_{ij} \quad (1)$$

式中: Z_{ij} 为第 j 子准则层第 i 个指标障碍度; W_{ij} 为第 j 子准则层第 i 个指标的权重; $I_{ij} = 1 - x_{ij}$, I_{ij} 为第 j 子准则层第 i 个指标偏离度, x_{ij} 为单项指标的标准化值, Z_j 为第 j 子准则层障碍度。

1.3.3 耦合度与耦合协调度模型

依据系统论和协同论,耦合度模型可以量化复合系统内各子系统之间耦合程度,而耦合协调度则能反映两个系统交互耦合的协调程度,文中用其测算研究区 SAD、SRD 耦合度和耦合协调度。计算公式为

$$C = n \left\{ \frac{U_1 \times U_2}{(U_1 + U_2)^2} \right\}^{\frac{1}{2}}, \quad (2)$$

$$D = \sqrt{C \times T}; T = \alpha U_1 + \beta U_2 \quad (3)$$

式中: U_1 和 U_2 分别为 SAD 和 SRD 系统评价价值; C 为两系统耦合度,其值介于 0 ~ 1 之间,数值越大,SAD 和 SRD 交互作用越显著; T 表征 SAD 与 SRD 的综合协调发展指数, α 、 β 为待定系数,对黄河流域资源型地区而言,SAD 与 SRD 同等重要,故 α 、 β 皆取值 0.5; D 表示 SAD 与 SRD 的耦合协调发展度, D 值越高,SAD 与 SRD 之间协调水平越高,反之则不然。参照既有研究成果^[22],结合

区域实际,将黄河流域资源型地区 SAD 和 SRD 耦合阶段与耦合协调度等级划分为如下几类(见表 1)。

1.3.4 地理探测器

地理探测器模型由风险探测、因子探测、生态探测和交互探测 4 类探测器组成^[23],其主要基于

因变量和自变量空间分布的一致性,探究变量间空间统计关系及可能的因果关系,已被广泛用于解释地理学、环境学、医学等研究领域多类现象的空间分异性。文中用因子探测、交互探测器分析研究区 SAD 与 SRD 耦合协调影响因子的作用。

表 1 SAD 与 SRD 耦合度与耦合协调度等级分类
Tab. 1 Classification of SAD and SRD coupling and coordination levels

耦合度	耦合阶段	耦合协调度	耦合协调等级	耦合协调度	耦合协调等级
$0.0 \leq C < 0.3$	低水平耦合阶段	$0.0 \leq D < 0.2$	极度失调	$0.6 \leq D < 0.7$	低度协调
$0.3 \leq C < 0.5$	拮抗阶段	$0.2 \leq D < 0.3$	高度失调	$0.7 \leq D < 0.8$	中度协调
$0.5 \leq C < 0.8$	磨合阶段	$0.3 \leq D < 0.4$	中度失调	$0.8 \leq D \leq 1$	高度协调
$0.8 \leq C < 1$	高水平耦合阶段	$0.4 \leq D < 0.5$	低度失调		
$C = 1$	良性共振阶段	$0.5 \leq D < 0.6$	基本协调		

2 结果与分析

2.1 黄河流域资源型地区 SARD 时空特征分析

2.1.1 指标体系构建

文中遵循下述原则建构研究区 SARD 评价指标体系:①科学性与代表性原则,即以农业和农村可持续发展理论为指导,选定具有独立、稳定及代

表性的指标;②简便性与可行性原则,选取简洁实用且可获取性强的指标,同时避免选取重叠性指标;③因地制宜性与可比性原则,因地制宜选取可反映 SAD 和 SRD 系统特征,并便于开展横向、纵向比较的指标。据此,综合既有研究^[16-17,24-26]和研究区实际,甄选了包含 2 个准则层、8 个子准则层、29 项指标的评价体系,详见表 2。

表 2 黄河流域资源型地区 SARD 评价指标体系
Tab. 2 The SARD evaluation index system of resource-based regions in the Yellow River Basin

准则层	子准则层	指标名称与属性	指标解释
农业可持续发展 SARD	生产效率	D ₁ 农业劳动生产率(+)	(农林牧渔业总产值/农业人口)/(元/人)
		D ₂ 农业土地产出率(+)	(农林牧渔业总产值/年末常用耕地面积)/(元/hm ²)
		D ₃ 农业机械化水平(+)	(农用机械总动力/年末常用耕地面积)/(kW/hm ²)
		D ₄ 耕地复种效率(+)	(粮食播种面积/年末常用耕地面积)/%
	绿色发展	D ₅ 地均农药和化肥施用量(-)	(农药和化肥施用量/年末常用耕地面积)/(kg/hm ²)
		D ₆ 农膜使用量(-)	(农用塑料薄膜量/年末常用耕地面积)/(kg/hm ²)
		D ₇ 农业单位产值用水量(+)	(农林牧渔用水量/农林牧渔总产值)/(m ³ /元)
		D ₈ 人均森林面积(+)	(森林面积/总人口)/(hm ² /人)
	产业效益	D ₉ 粮食产出率(+)	(粮食产量/粮食播种面积)/(t/hm ²)
		D ₁₀ 农业地理标志产品数(+)	官网查询的农业地理标志产品/个
		D ₁₁ 农业增加值与工业增加值之比(+)*	(农林牧渔业增加值/工业增加值)/%
		D ₁₂ 国家农业龙头企业数(+)	农业农村部认定的农业产业化国家重点龙头企业/个
	规模经营	D ₁₃ 国家级农业科技园区数(+)	科学技术部认定的国家级农业科技园区数量/个
		D ₁₄ 农业社会化服务水平(+)	(农林牧渔服务业总产值/农林牧渔总产值)/%

续表 2

准则层	子准则层	指标名称与属性	指标解释
农村可持续发展 SARD	资源指数	D ₁₅ 能源消费动态指数(-) *	能源消耗水平
		D ₁₆ 人均耕地(+)	(年末常用耕地面积/农业人口)/(hm ² /人)
		D ₁₇ 人均水资源占有量(+)	(水资源总量/总人口)/(m ³ /人)
	生活质量	D ₁₈ 农村居民恩格尔系数(+)	(农村居民食物支出/消费总支出)/%
		D ₁₉ 农户收入多样化指数(+)	农户各类收入来源占其总收入的比重
		D ₂₀ 农村人均用电量(+)	(农村用电量/农业人口)/(kW · h/人)
		D ₂₁ 教育普及率(+)	普通中学在校人数/人
		D ₂₂ 每万农民拥有医务人员数(+)	(乡村医生和卫生员人数/农业人口)/人
	乡村建设	D ₂₃ 人均乡村公路里程(+)	(乡村公路里程/农业人口)/(km/万人)
		D ₂₄ 城镇化率(+)	(城镇人口/常住人口)/%
		D ₂₅ 公路网密度(+)	(公路里程/行政区域面积)/(km/km ²)
	生态保育	D ₂₆ 森林覆盖率(+)	(森林面积/行政区域面积)/%
		D ₂₇ 农田有效灌溉率(+) *	(有效灌溉面积/常用耕地面积)/%
		D ₂₈ 水土流失治理面积(+) *	当年水土流失治理面积(含生态修复和小流域治理)/hm ²
		D ₂₉ 环境规制强度(+) *	二氧化硫去除率、废水排放达标率、固体废弃物综合利用率、烟尘和粉尘去除率等 5 类单项指标加权和

注:农户多样化收入指数定义为 $\gamma = 1/\sum x_i^2$, 其中 x_i 指农户工资、经营性、财产以及转移性收入分别占农村人均可支配收入的比重;用夜间灯光强度均值间接表征能源消费动态指数^[27], 据文献[28] 计算环境规制强度。表中带* 指标为研究区资源型地区 SARD 的特色指标。

2. 1. 2 时序特征分析

因研究区 SAD、SRD 以及 SARD 得分偏低,加之 0~1 的测算结果不符合常规差异比较中的百分制习惯,故在测算结果后乘 100,以方便比较。随后将其水平划分为高水平(80,100]、较高水平(60,80]、中等水平(40,60]、较低水平(20,40]、低水平[0,20] 5 个等级^[29]。由图 2(a) 可知, SARD 值由 2008 年的 23.39 增至 2020 年的 29.34,整体呈低水平缓增态势。2018 年 SARD 低值与当年部分地级市农业用水量减少、农林牧渔服务业总产值减少、农膜使用量增加、农业增加值降低(推测或与中国气象局发布《2018 年中国气候公报》中提到的当年春夏气温偏高导致农业产值骤降有关)等导致的农业产值骤降相关; 2019 年 SARD 低值与当年较低的 SRD 值有关,与 2019 年甘陕晋部分地级市农田有效灌溉率,以及豫鲁两省部分资源型地级市水土流失治理面积横向比较减少,导致当年 SRD 值降低等原因有关。比较来看,受国家生态保护政策、农业农村发展倾

向性政策等的影响,黄河上游资源型地区 SARD 水平(属较低水平)略高于下游的和中游的(中下游地级市 SARD 水平相当,皆为低水平)。具体到 SAD 和 SRD 层面来看,虽然研究期各地级市 SAD 整体水平高于 SRD 的,但两者的发展水平仍整体偏低且其各子准则层的水平差异较大。图 2(b) 中 SAD 的农业绿色发展、生产效率相对高于产业效益和规模经营的,SRD 中的资源条件、生态保障建设情况略好于乡村生活质量和乡村建设的。研究区 SARD、SAD、SRD 值偏低,SRD 尤低的实际情况与长期以来国家“重城轻乡”的区域发展政策,以及掠夺式资源开发下研究区农业规模化经营程度低、农业科技创新水平偏低,乡村基础、公共服务设施建设水平极低等紧密相关。

2. 1. 3 空间特征分析

由于研究区 SARD 量化结果过低,为凸显其空间特征辨识度,再次对测算结果进行 0~1 标准化处理并乘 100,等级划分仍沿用之前的划分方法。此外,为显示 SARD 的动态变化性以及国内

标志性政策对研究区 SARD 的影响,文中结合国内新农村建设、美丽乡村建设、乡村振兴以及黄河流域生态保护与高质量发展等政策和国家战略提出的时间节点,选取 2008、2015、2020 年 3 期 SARD 截面数据对比呈现其空间演变。由图 3 可知,研究区 SARD 区域差异性较明显。①在 2008 年,除海西蒙古族藏族自治州(以下简称海西州)、阿坝藏族羌族自治州(以下简称阿坝州)、鄂尔多斯、乌海和南阳等 5 市 SARD 处于中等偏上水平外,其余地级市皆为低水平或较低水平。该期 SARD 低值主要汇集于黄河“几”字湾晋陕蒙段、河西走廊东南部以及下游地级市。②与 2008

年相比,2015 年研究区 SARD 值有所提高,中等水平偏上区增至 8 个(因全面推进乡村振兴,陕西渭南、宁夏石嘴山和甘肃张掖、金昌等 4 市的 SARD 升至中等水平;因农业用水量减少等原因,乌海市降为较低水平区),低水平区降至 15 个,提升区主要位于河西走廊地区、关中平原地区,总体来看该期 SARD 低值区重心向黄河“几字湾”晋陕两省北部迁移。③到 2020 年时,研究区 SARD 水平逐渐向好,SARD 高值区增至 3 个,较高值区增至 5 个,中等水平区增至 17 个,低水平以及较低水平区降至 17 个,“几”字湾晋陕蒙段以及流域下游地级市的提升最为明显。

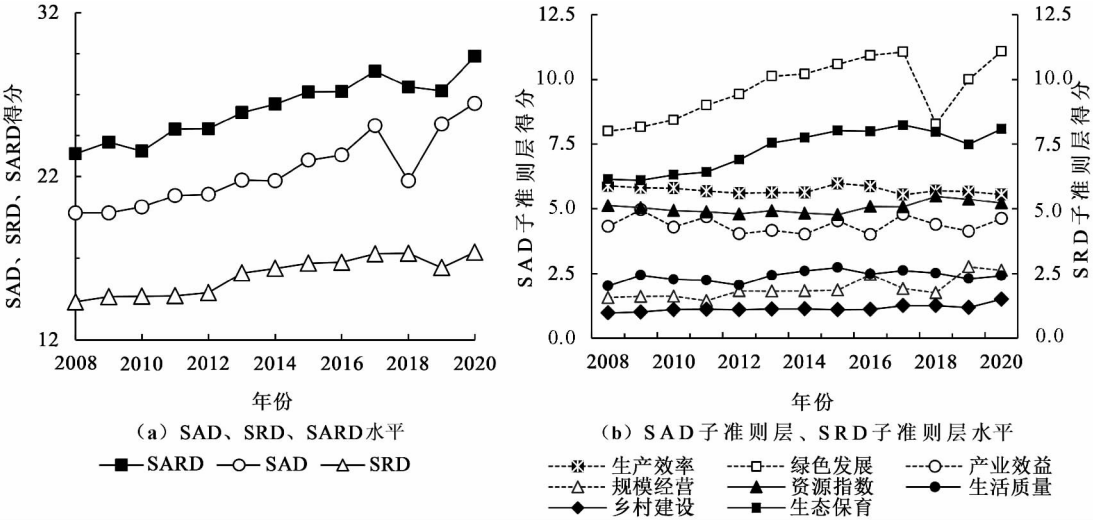


图 2 2008—2020 年黄河流域资源型地区 SARD 水平

Fig. 2 SARD levels of resource-based regions in the Yellow River Basin from 2008 to 2020

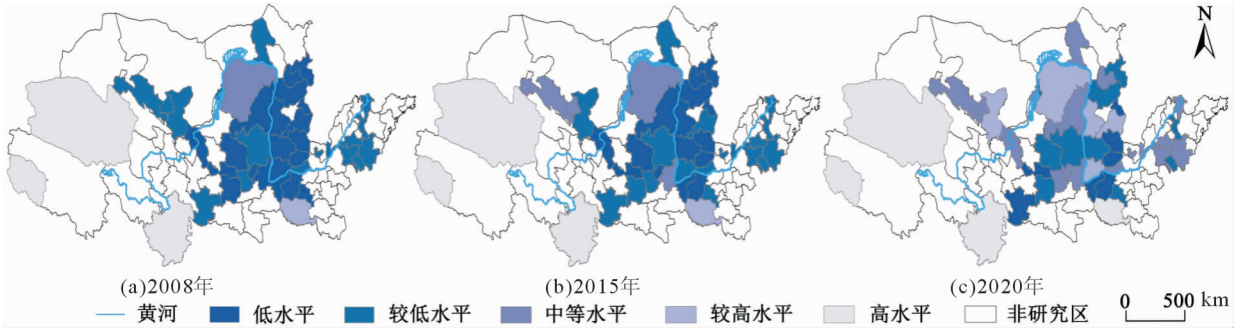


图 3 2008—2020 年黄河流域资源型地区 SARD 空间演变格局

总体来看,SARD 高值在空间上大致沿海西—阿坝—鄂尔多斯—南阳等 4 市呈“蝶翼状”分布,上述 4 市以及张掖、石嘴山、渭南等 7 市较高的 SARD 值极大地提高了研究区 SARD 平均水平。截至 2020 年,黄河“几”字湾晋陕豫段、河西走廊、流域下游地级市仍为 SARD 水平的相对低值区。可见,高强度资源开发下产业结构单一低

效、生态脆弱、农业产业化发展水平低、农业规模化经营程度低、乡村建设水平极低等因素的交互叠加极大地减弱了研究区多数地区,特别是中游“几”字湾地级市的 SAD 和 SRD 能力。

2.2 黄河流域资源型地区 SARD 障碍因子辨析

为增强可比性,文中同样基于上述 3 期面板数据测算制约黄河流域资源型地区 SARD 的障碍

因子(见表 3)。计算结果显示,总体上来看,制约其 SARD 的子准则层、指标层障碍因子变化性较小,但指标层障碍因子的区段差异性较明显。制约流域资源型地区 SARD 的准则层因子基本上都是 SAD 层面的绿色发展和产业效益,以及 SRD 层面的资源指数和生态保育;虽然指标层障碍因子以人均水资源占有量、人均森林面积、水土流失治理面积、农业单位产值用水量、农业增加值与工业增加值之比、人均耕地等 6 类为主,但是其区段差异明显,即:制约流域上游海西州、阿坝州 2 市

表 3 2008、2015、2020 年阻碍黄河流域资源型地区 SARD 的前 6 类障碍因素

Tab.3 Top 6 obstacle factors of the SARD in study area in 2008, 2015 and 2020

年份	指标层障碍度排名					
	第 1 位	第 2 位	第 3 位	第 4 位	第 5 位	第 6 位
2008 年	D ₁₇	D ₈	D ₂₈	D ₇	D ₁₆	D ₁₁
障碍度/%	18.67	16.43	16.35	10.66	5.90	4.74
2015 年	D ₁₇	D ₂₈	D ₈	D ₇	D ₁₆	D ₁₁
障碍度/%	19.45	16.79	16.69	9.68	6.15	4.79
2020 年	D ₁₇	D ₈	D ₂₈	D ₇	D ₁₆	D ₁₁
障碍度/%	20.37	17.72	17.36	9.79	6.06	2.91

2.3 黄河流域资源型地区 SAD 与 SRD 耦合协调度分析

2.3.1 时序特征分析

由图 4 可知,研究区 SAD 和 SRD 耦合度呈低值弱减态势,属拮抗阶段。虽然 SAD 水平高于 SRD 的,但其抵御气候暖化等自然灾害的能力弱,两者相互制约性强,尚需长期磨合才能步入高水平耦合阶段。2019 年以来的耦合度低值与当年 SRD 低值有关。研究区 SAD 和 SRD 耦合协调度则在波动变化中趋于增长,两者的互动度极低,整体处于 SRD 滞后型的低度失调状态。流域特别是中游“几”字湾区及其周边地级市较低的乡村建设水平,以及较低的产业效益和农业规模化经营导致研究区 SAD 和 SRD 耦合协调度偏低。2018 年的协调度低值与当年的 SAD 低值有关。总体来看,研究区各类农业发展政策未能有效提升农业生产和农民生活水平,乡村地区也未能 为农业发展提供良好的生态环境以及现代化的基础和公共服务设施。乡村建设投入不足、农村产业基础薄弱成为长期阻碍两者互动的重要因素。

SARD 的主要障碍因子为水土流失治理面积、农业单位产值用水量、人均水资源占有量、人均耕地;制约流域中下游段资源型地区 SARD 的主要障碍因子依次为人均水资源占有量、人均森林面积、水土流失治理面积、农业单位产值用水量等。可见流域中下游地区水资源短缺形势严峻、生态系统恢复和重建的任务艰巨,亟需加快建设流域生态系统保护与修复重大工程,提升生态系统质量和稳定性,因地制宜发展特色生态农业及其产业化。

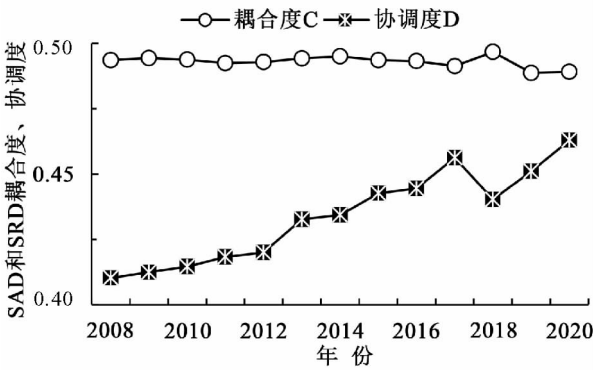


图 4 黄河流域资源型地区 SAD、SRD 耦合协调度
Fig.4 Coupling coordination degree of SAD and SRD in resource-based regions in the study area

2.3.2 空间特征分析

研究区 SAD 和 SRD 耦合协调度空间分布状况如图 5 所示。2008—2020 年,该值整体呈较明显向好态势。虽然黄河“几”字湾晋陕豫段、河西走廊等地是耦合协调度的提升区,但截至 2020 年,这些地区仍是耦合协调度的低值区。与该区 SARD 高值区分布相一致的是,耦合协调度高值区亦大致沿海西州—鄂尔多斯—南阳—阿坝呈“蝶翼状”分布,低值区则主要位于蝶腹特别是右蝶翼及黄河下游资源型城市。受水资源总量减

少、农业用水量减少以及农业产值降低等的综合影响,海西州协调度等级由中度协调降至低度协调,这与张永燕等人提出同期该州 SAD 水平下降,导致其子系统耦合协调度下降^[30]的结论基本一致。从分段来看:流域上游地级市是 SAD 和

SRD 耦合协调度高值区;流域中下游特别是中游晋陕豫段部分地级市的协调度虽呈弱度向好态势,但其值偏低、空间异质性明显;下游地级市 SAD 和 SRD 的协调度整体偏低。

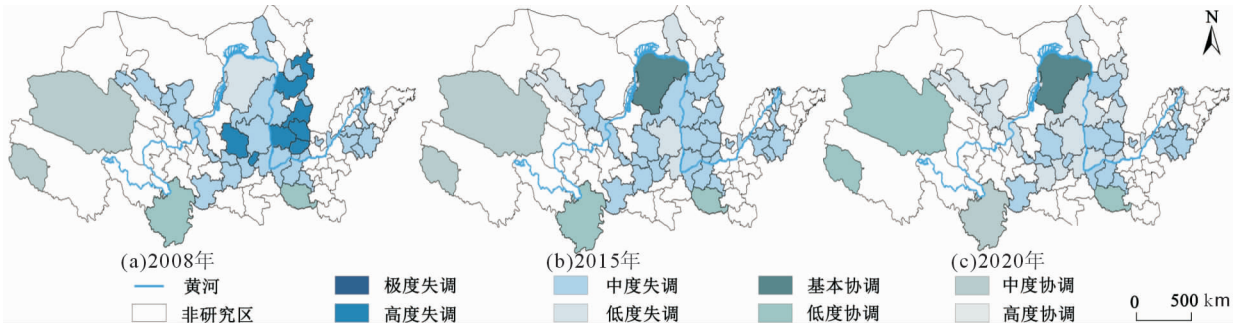


图 5 黄河流域资源型地区 SAD 和 SRD 耦合协调度空间分布情况

Fig. 5 Spatial distribution of the coupling coordination degree of SAD and SRD in the study area

2.4 黄河流域资源型地区 SAD 和 SRD 耦合协调机制探析

文中参照既有研究和地理探测器分析耦合协调机制时因子选取标准^[7,16,31-32],以黄河流域资源型地区 SAD 和 SRD 耦合协调度为因变量(Y),基于 SAD 和 SRD 两类准则层选取了 15 项指标作为影响因子。其中,SAD 的影响因子包括地形起伏度(X_1)、土壤侵蚀强度(X_2)、 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温(X_3)、人均森林面积(X_4)、农业单位产值用水量(X_5)、农业增加值与工业增加值之比(X_6)、国家级农业科技园区数(X_7);SRD 的影响因子包括人均水资源占有量(X_8)、水土流失治理面积(X_9)、人均耕地面积(X_{10})、农业有效灌溉覆盖率(X_{11})、每万农民拥有医务人员数(X_{12})、森林覆盖率(X_{13})、农村人均用电量(X_{14})、人均乡村公路里程(X_{15})。鉴于地理探测器对类型数据变量的运行结果优于连续数据变量的情况^[32],先对各影响因子进行离散化处理,土壤侵蚀强度依据源数据划定的微度、轻度、中度、强度、极强度和剧烈六类分级标准,分别将其量化为 1、2、3、4、5、6 六类;其他影响因子借助 SPSS 21.0 中的 K-Means 聚类分析,按其连续数据欧式中心距离划分为 5 类^[32],随后探测因子间内部交互作用及其对 SAD 和 SRD 耦合协调度的作用。

2.4.1 影响因子探测

研究区 SAD、SRD 耦合协调度空间分异影响因子探测结果显示(见图 6),在 2008 年,人均水资源占有量、水土流失治理面积、人均森林面积以及地形起伏度对其空间分异起决定性作用($q \geq$

0.57);2015 年在受这 4 类影响因素的基础上,人均乡村公路里程的影响作用有所增强($q \geq 0.5$,且 5 类因素的 q 值皆介于 0.5~0.6);到 2020 年,乡村公路网密度、人均森林面积、人均水资源占有量、地形起伏度依次成为影响 SAD 和 SRD 耦合协调度最重要的空间分异因素($q \geq 0.65$)。

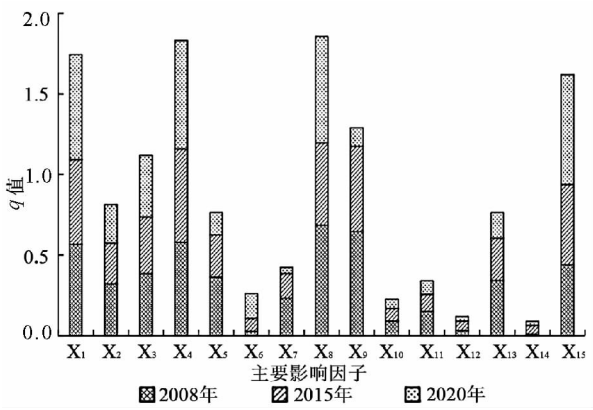


图 6 黄河流域资源型地区 SAD 和 SRD 耦合协调度影响因素

Fig. 6 Factors affecting the coupling coordination degree of SAD and SRD in the study area

总体来看,近 13 年持续增强 SAD、SRD 耦合协调度空间分异作用的因子顺次为乡村公路网密度、农工业增加值之比、人均森林面积、地形起伏度、农村人均居民用电量。乡村公路网密度的 q 值的涨幅最大,由 0.44 升到 0.68,农业增加值与工业增加值之比的 q 值涨幅次之,由 0.03 升至 0.15,说明乡村基础设施建设以及农业产业效益提升对协调度空间分异的影响力趋于增强。此外,因地制宜发展特色生态产业,促成产业生态

化、生态产业化协同发展的生态经济体系,亦能有效提升研究区 SAD 和 SRD 耦合协调度。

2.4.2 交互作用探测

2020 年研究区 SAD 和 SRD 耦合协调度影响因子交互探测结果显示(见图 7),各因子间交互作用皆为双因子增强或非线性增强,且以前者为主。另外,单因子与其他因子交互作用的 q 值皆在不同程度上高于其单独对协调度空间分异的解释力,可见导致协调度空间分异的影响因素的复杂性极为明显。具体来看,除水土流失治理面积、人均耕地和农村人均用电量外,其他因子与地形起伏度为双因子增强关系;除国家级农业科技园区、水土流失治理面积和农村人均用电量外,其他因子与人均森林面积为双因子增强关系;除水土流失治理面积外,其他因子与人均水资源占有量为双因子增强关系;除水土流失治理面积、人均耕地面积、每万农民拥有医务人员数和农村人均用

电量外,其他因子与乡村公路网密度为双因子增强关系。其余因子间交互作用则以非线性增强为主。其中,地形坡度、人均森林面积、人均水资源占有量以及乡村公路网密度与其余因子间的交互作用值皆 ≥ 0.66 ,乡村公路网密度与水土流失治理面积交互作用最强($q = 0.90$),人均水资源占有量和人均森林面积与水土流失治理面积次之($q = 0.84$),地形坡度与水土流失治理面积交互作用紧随其后($q = 0.82$)。可见,地形坡度、人均森林面积、人均水资源占有量以及乡村公路网密度是促成 SAD 和 SRD 耦合协调度空间分异的主导因子;水土流失治理面积、农业增加值与工业增加值之比与四个主导因子之间的 $q \geq 0.75$,说明其与主导因子之间共同作用亦能较好地解释研究区 SAD 和 SRD 耦合协调空间分异,故可将其视为研究区 SAD 和 SRD 耦合协调机制的重要因子。

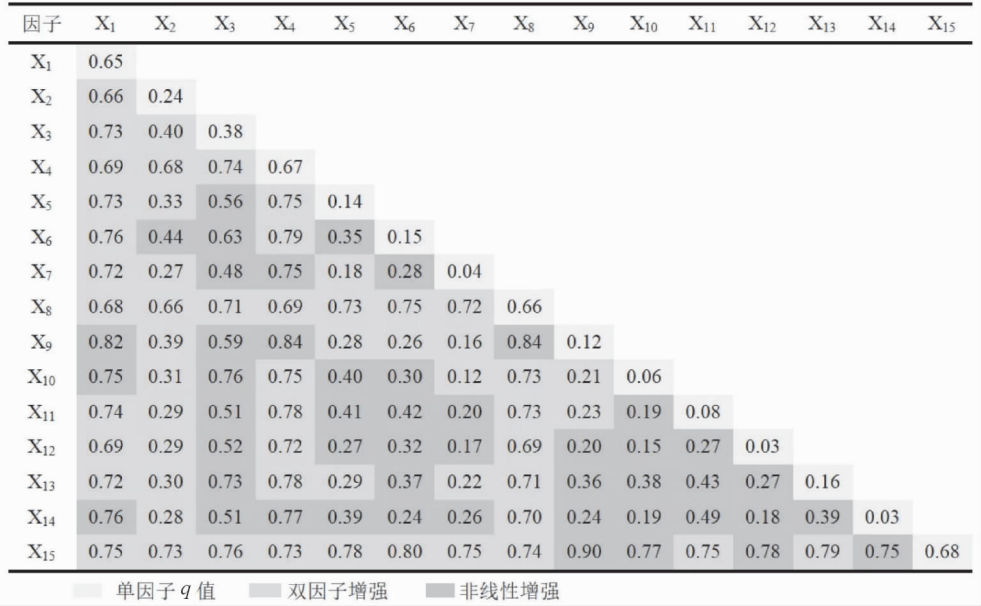


图 7 2020 年黄河流域资源型地区 SAD 和 SRD 耦合协调因子交互探测结果

Fig. 7 Interaction detection results of coupling coordination factors of SAD and SRD of the study area in 2020

2.4.3 耦合协调机制探析

鉴于研究区 SAD、SRD、SARD 值整体偏低,SRD 值尤甚,以及黄河流域 SAD 和 SRD 耦合协调度较低等情况,文中拟基于地理探测器的影响因子和交互作用探测结果剖析研究区 SAD 与 SRD 耦合协调的作用机理,构建耦合协调机制(见图 8)。首先,地形起伏度是决定农业经营规模与类型的前提条件之一,流域各资源型城市应依据地形地貌和地方水热条件因地制宜优化农业

产业结构与布局,同时持续加快矿区乡村土地整治与修复,切实提升农业综合效益;森林是有效调节生态环境、保持水土、涵养水源、提高碳汇能力,筑牢黄河流域生态屏障的“绿色水库”,流域需持续强化生态空间治理,切实提高森林覆盖率;水资源是筑牢黄河生态安全屏障,确保流域粮食和畜产品安全、促成城乡经济社会高质量发展的重要基础,流域需在持续做好水土保持和生态修复工作的同时,多管齐下推进区域再生水循环利用,加

快推广农业高效节水灌溉步伐,切实加强农业水利建设;乡村公路是促进乡村地区经济社会发展,加快乡村城镇化进程的重要基石,流域应旧路改造和新路修建双措并举,持续提升乡村公路质量耐久性和抗灾能力,与此同时结合地方人口和特色产业发展,强化乡村公路与县区外省道、国道的互联互通,构建国道-省道-县道-乡道-村道五级“畅乡通村”路网结构。其次,研究区身负粮食、畜产品供应,以及生态保护和修复重任,各资源型城市应在以水定产、以水定地的基础上,加快矿区生态恢复与整治步伐,有效提升水土保持率,持续培育壮大促成生态保育和农业产业化发展双赢的多功能农业。最后,各资源型地级市需积极提升应对气候和土壤侵蚀变化的能力,合理利用耕地资源,提高农业用水效率,改善农业生产生态环境;持续培育农业科技园区、家庭农场、专业大户等新型经营主体,加快农业科技创新、健全农业产业链、提升农业价值链;与此同时还需持续完善和提升区域乡村基础和乡村医疗等公共服务设施服务水平,多措并举以切实提高研究区 SAD 和 SRD 耦合协调度,助推 SARD 进程。

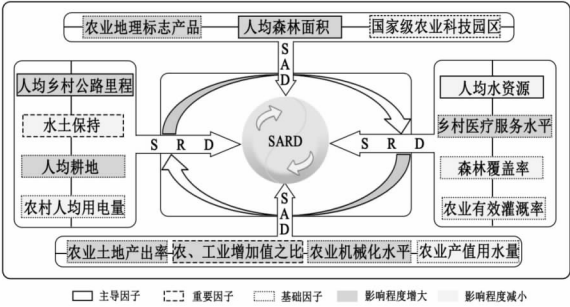


图 8 黄河流域资源型地区 SAD 和 SRD 耦合协调机制
Fig. 8 Coupling coordination mechanism of SAD and SRD in the study area

3 讨论与结论

3.1 讨论

黄河流域生态保护和高质量发展以及乡村振兴战略的实施为黄河流域资源型地区绿色发展、我国乡村地域系统可持续发展带来了新的发展机遇^[4,33-34]。相较已有研究,研究区 SARD 影响因子,与全国和流域同类型研究具有一定的共性。演进趋势方面,研究区 SAD、SRD 以及 SARD 水平整体缓增的变化态势与全国农业农村高质量和乡村绿色发展水平的增长趋势基本一致^[35-36];空间

分布特征方面,黄河流域“几”字湾是全流域资源型地区 SARD 和 SAD、SRD 耦合协调值的洼地,这也与孙久文、苟兴朝等人揭示的流域生态和经济耦合度及乡村绿色发展水平低值空间分布区的研究结果基本一致^[7,37];障碍因子方面,绿色发展、产业效益、资源指数和生态保育是制约研究区 SARD 的主要因素,这也与流域和全国农业农村高质量、现代化发展面临的困境大致相同^[38-39];影响因素方面,地形起伏度、水资源、森林资源、水土流失治理、农业经济发展、交通网密度等是显著影响研究区 SAD、SRD 耦合协调空间分异的研究结论,也与流域同类研究基本一致^[4,16-18]。此外,流域资源型城市 SARD 也具有其独特性,即流域绝大多数资源型地级市的 SAD 水平高于 SRD 的原因与农业“三品一标”行动、国家农业补贴政策,以及生态农业、现代农业等扶持政策的推进难度相较乡村建设政策的低,且受资源开发影响,流域乡村环境污损化、经济社会发展差异化问题突出,多数乡村地区产业基础薄弱、不牢固,乡村基础、公共服务“欠账”过多,乡村建设投入机制存在投融资难等不足,以及乡村环境治理难度高等有关^[2,4,33]。

黄河流域资源型地区 SARD 是一个涉及多时空维度的研究议题,地级市层面的 SARD 研究尚不能精准地反映研究区其余空间尺度的 SARD 实况,后续可分类开展流域资源型地级市县区、乡镇,乃至村域尺度的 SARD 研究,以期多尺度、全方位、多层次地揭示流域资源型地区 SARD 演变特征和 SAD、SRD 耦合协调影响机制。

3.2 结论

文中借助多方法探究了黄河流域资源型地区 SARD 演变特征及其耦合协调机制,主要结论如下。

1) 2008—2020 年,研究区 SAD、SRD 以及 SARD 皆呈整体较低水平缓增态势,其中 SAD 水平波幅度相对较大且高于 SRD 的水平,可见区域 SARD 尤其是乡村地域可持续发展任重道远;研究区 SARD 的区段差异较为明显,黄河“几”字湾区以及部分下游地市是全流域 SARD 值的洼地, SARD 高值大致沿海西州—鄂尔多斯—南阳—阿坝州呈“蝶翼状”分布。

2) 虽然制约研究区 SARD 主要障碍因子的时序具有趋同性,但这些因子的区段差异较明显。制约流域上游资源型地区 SARD 的主要障碍因子

是生态治理、水资源短缺、耕地面积不足等;对
中下游地级市而言,水资源短缺的制约作用更
明显。

3) 截止2020年,研究区SAD和SRD耦合度
仍处于拮抗阶段,其耦合协调度属低度失调类
型;SAD和SRD耦合协调的较高值区与SARD
的空间分布相似,亦大致沿海西州—鄂尔多
斯—南阳—阿坝州呈现“蝶翼状”分布。此
外,协调度的区段差异更为明显,黄河上游区
段属高值区,而中下游,特别是黄河“几”字
湾晋陕豫段部分地区和下游资源型城市则是
相对低值区。

4) 地理探测器交互作用分析结果显示,双因
子增强交互作用是影响研究区SAD、SRD耦
合协调空间分异的主要驱动力,表明SAD、SRD
耦合协调是受多种因子交互影响的复杂过程。

5) 通过剖析SAD和SRD耦合协调空间分
异机理,构建了以地形起伏度、人均乡村公路
里程、人均森林面积、人均水资源占有量为主
导因子,水土保持和农业增加值与工业增加
值之比为重要因子,关联多个基础因子的研
究区SAD和SRD耦合协调机制,以期为黄河
流域生态屏障筑牢和乡村振兴提供参考。

参考文献

[1] MADELEY J. Action can no longer be delayed: Fao/
the netherlands conference on agriculture and the
environment, S-hertogenbosch, the netherlands,
15-19 April 1991[J]. Food Policy, 1991, 16(6):
495-496.

[2] 贺艳华, 郭建国, 周国华, 等. 论乡村可持续
性与乡村可持续性科学[J]. 地理学报, 2020,
75(4): 736-752.

HE Y H, WU J G, ZHOU G H, et al. Discussion
on rural sustainability and rural sustainability
science[J]. Acta Geographica Sinica, 2020,
75(4): 736-752.

[3] 习近平. 在黄河流域生态保护和高质量发展
座谈会上的讲话[J]. 中国水利, 2019(20): 1-3.

[4] 汪芳, 安黎哲, 党安荣, 等. 黄河流域人地
耦合与可持续人居环境[J]. 地理研究, 2020,
39(8): 1707-1724.

WANG F, AN L Z, DANG A R, et al. Human-land
coupling and sustainable human settlements in
the Yellow River Basin[J]. Geographical Research,
2020, 39(8): 1707-1724.

[5] 刘彦随, 夏军, 王永生, 等. 黄河流域人地
系统协调与高质量发展[J]. 西北大学学报(自
然科学版), 2022, 52(3): 357-370.

LIU Y S, XIA J, WANG Y S, et al. Coordinated hu-

man-earth system and high-quality development
in Yellow River Basin[J]. Journal of Northwest
University (Natural Science Edition), 2022, 52(3):
357-370.

[6] 张国兴, 王涵, 闫磊超. 基于绿色发展效率的
黄河流域资源型城市转型发展研究[J]. 区域
经济评论, 2021, 53(5): 138-144.

ZHANG G X, WANG H, YAN L C. Study on the
economic transformation path of resource-based
cities in the Yellow River Basin Based on green
development efficiency [J]. Regional Economic
Review, 2021, 53(5): 138-144.

[7] 孙久文, 崔雅琪, 张皓. 黄河流域城市群生态
保护与经济发展耦合的时空格局与机制分析
[J]. 自然资源学报, 2022, 37(7): 1673-1690.

SUN J W, CUI Y Q, ZHANG H. Spatio-temporal
pattern and mechanism analysis of coupling be-
tween ecological-protection and economic de-
velopment of urban agglomerations in the Yellow
River Basin[J]. Journal of Natural Resources,
2022, 37(7): 1673-1690.

[8] 董江爱, 王文祥. 矿产资源型乡村治理能力
现代化面临的困境及路径研究[J]. 理论探讨,
2020(6): 160-166.

DONG J A, WANG W X. Difficulties and paths
of the modernization of the governance ability
of mineral resource-based village [J]. Theoreti-
cal Investigation, 2020(6): 160-166.

[9] 蔡运龙. 农业与农村可持续发展的地理学研
究[J]. 地球科学进展, 1999(6): 602-606.

CAI Y L. Geographical study on sustainable agri-
culture and rural development[J]. Advances in
Earth Science, 1999(6): 602-606.

[10] 刘晓琼, 张瑜洋, 赵新正, 等. 可持续农业
与农村发展研究进展与展望: 基于1990—2020
年WoS核心合集的文献计量分析[J]. 人文地
理, 2021, 36(2): 91-101.

LIU X Q, ZHANG Y Y, ZHAO X Z, et al. Re-
search progress and enlightenment of sustain-
able agriculture and rural development: Bibliomet-
ric analysis based on 1990-2020 Web of science
core collection literatures [J]. Human Geogra-
phy, 2021, 36(2): 91-101.

[11] MANSON S M, JORDAN N R, NELSON K C, et
al. Modeling the effect of social networks on
adoption of multifunctional agriculture[J]. En-
vironmental Modelling & Software, 2016(75):
388-401.

[12] ANKITA R. Is Agrarian resilience limited to
agriculture? Investigating the “farm” and “non-
farm” processes of agriculture resilience in the
rural [J].

- Journal of Rural Studies, 2020 (12): 1-10.
- [13] LIU Y S, LI Y H. Revitalize the world's countryside [J]. Nature, 2017, 548(7667): 275-277.
- [14] SPATARU A, FAGGIAN R, DOCKING A. Principles of multifunctional agriculture for supporting agriculture in metropolitan peri-urban areas: The case of greater melbourne, australia [J]. Journal of Rural Studies, 2020(74): 34-44.
- [15] 刘彦随,龙花楼,李裕瑞. 全球乡城关系新认知与人文地理学研究[J]. 地理学报, 2021, 76(12): 2869-2884.
- LIU Y S, LONG H L, LI Y R. Human geography research based on the new thinking of global rural-urban relationship[J]. Acta Geographica Sinica, 2021, 76(12): 2869-2884.
- [16] 芮飏,杨华,杨坤. 陕西省黄河流域农业高质量发展的时空演化特征及影响机理[J]. 中国农业大学学报, 2021, 26(5): 141-152.
- RUI Y, YANG H, YANG K. Spatio-temporal evolution characteristics and impact mechanism of high-quality agricultural development of the Yellow River Basin in Shaanxi Province[J]. Journal of China Agricultural University, 2021, 26(5): 141-152.
- [17] 刘晓琼,刘佳琪,郑好,等. 黄河中游矿区可持续农业与农村发展研究:以神府煤田典型村域为例[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2022, 52(3): 402-415.
- LIU X Q, LIU J Q, ZHENG H, et al. Sustainable agriculture and rural development in mining areas of the middle reaches of the Yellow River: Taking typical villages in Shenfu coalfield as case study[J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2022, 52(3): 402-415.
- [18] 王贞. 资源型城市农业农村环境治理现状及对策:以东营市为例[J]. 农业工程, 2017, 7(5): 57-59.
- WANG Z. Current situation and countermeasures of agricultural and rural environmental governance in resource based cities taking Dongying City as an example [J]. Agricultural Engineering, 2017, 7(5): 57-59.
- [19] 李小建,文玉钊,李元征,等. 黄河流域高质量发展:人地协调与空间协调[J]. 经济地理, 2020, 40(4): 1-10.
- LI X J, WEN Y Z, LI Y Z, et al. High-quality development of the Yellow River Basin from a perspective of economic geography: Man-land and spatial coordination[J]. Economic Geography, 2020, 40(4): 1-10.
- [20] 李敏纳,蔡舒,覃成林. 黄河流域经济空间分异态势分析[J]. 经济地理, 2011, 31(3): 379-383, 419.
- LI M N, CAI S, QIN C L. An analysis of situation of economic spatial dissimilarity in the Yellow River Valley [J]. Economic Geography, 2011, 31(3): 379-383, 419.
- [21] 杜挺,谢贤健,梁海艳,等. 基于熵权 TOPSIS 和 GIS 的重庆市县域经济综合评价及空间分析[J]. 经济地理, 2014, 34(6): 40-47.
- DU T, XIE X J, LIANG H Y, et al. County economy comprehensive evaluation and spatial analysis in Chongqing City based on entropy weight: TOPSIS and GIS [J]. Economic Geography, 2014, 34(6): 40-47.
- [22] 赵建吉,刘岩,朱亚坤,等. 黄河流域新型城镇化与生态环境耦合的时空格局及影响因素[J]. 资源科学, 2020, 42(1): 159-171.
- ZHAO J J, LIU Y, ZHU Y K, et al. Spatio-temporal differentiation and influencing factors of the coupling and coordinated development of new urbanization and ecological environment in the Yellow River Basin [J]. Resources Science, 2020, 42(1): 159-171.
- [23] WANG J F, LI X H, CHRISTAKOS G, et al. Geographical detectors-based health risk assessment and its application in the neural tube defects study of the Heshun region, China [J]. International Journal of Geographical Information Science, 2010, 24(1): 107-127.
- [24] 罗守贵,曾尊固,王伟伦,等. 常熟市可持续农业与农村发展系统评价及其规划[J]. 地理科学, 2000(5): 437-443.
- LUO S G, ZENG Z G, WANG W L, et al. The systematic appraisal and planning of Changshu SARD [J]. Geographical Science, 2000(5): 437-443.
- [25] 王松林,郝晋珉. 区域农业-农村可持续发展评价体系的建立与应用[J]. 中国农业大学学报, 2001(5): 49-55.
- WANG S L, HAO J M. The general evaluation system of SARD on Quzhou County [J]. Journal of China Agricultural University, 2001(5): 49-55.
- [26] HU S W, YANG Y Y, ZHENG H, et al. A framework for assessing sustainable agriculture and rural development: A case study of the Beijing-Tianjin-Hebei region, China [J]. Environmental Impact Assessment Review, 2022, 97: 106861.
- [27] 吴健生,牛妍,彭建,等. 基于 DMSP/OLS 夜间灯光数据的 1995—2009 年中国地级市能源消费动态 [J]. 地理研究, 2014, 33(4): 625-634.
- WU J S, NIU Y, PENG J, et al. Research on energy consumption dynamic among prefecture-level cities in China based on DMSP/OLS nighttime light [J]. Geo-

- graphical Research, 2014, 33(4): 625-634.
- [28] 傅京燕,李丽莎. 环境规制、要素禀赋与产业国际竞争力的实证研究:基于中国制造业的面板数据[J]. 管理世界,2010(10):87-98, 187.
- FU Y J, LI L S. A case study on the environmental regulation, the factor endowment and the international competitiveness in industries[J]. Journal of Management World, 2010(10): 87-98, 187.
- [29] 何杰,金晓斌,梁鑫源,等. 城乡融合背景下淮海经济区乡村发展潜力:以苏北地区为例[J]. 自然资源学报,2020,35(8):1940-1957.
- HE J, JIN X B, LIANG X Y, et al. Research of rural system development potential in Huaihai Economic Zone: A case study of Northern Jiangsu Province under the background of urban-rural integration[J]. Journal of Natural Resources, 2020, 35(8): 1940-1957.
- [30] 张永燕,张爱儒. 青海省农业可持续发展水平及子系统耦合协调研究[J]. 中国果菜, 2023, 43(5): 72-79.
- ZHANG Y Y, ZHANG A R. Study on the level of agricultural sustainable development and its coupling coordination relationship in Qinghai Province[J]. China Fruit & Vegetable, 2023, 43(5): 72-79.
- [31] 郭付友,佟连军,仇方道,等. 黄河流域生态经济走廊绿色发展时空分异特征与影响因素识别[J]. 地理学报, 2021, 76(3): 726-739.
- GUO F Y, TONG L J, QIU F D, et al. Spatio-temporal differentiation characteristics and influencing factors of green development in the eco-economic corridor of the Yellow River Basin[J]. Acta Geographica Sinica, 2021, 76(3): 726-739.
- [32] 杨忍,罗秀丽,陈燕纯. 中国县域乡村地域多功能格局及影响因素识别[J]. 地理科学进展, 2019, 38(9): 1316-1328.
- YANG R, LUO X L, CEHN Y C. Spatial pattern and influencing factors of rural multifunctionality at county-level in China[J]. Progress in Geography, 2019, 38(9): 1316-1328.
- [33] 刘彦随. 中国新时代城乡融合与乡村振兴[J]. 地理学报, 2018, 73(4): 637-650.
- LIU Y S. Research on the urban-rural integration and rural revitalization in the new era in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(4): 637-650.
- [34] LIU Y S, ZANG Y Z, YANG Y Y, China's rural revitalization and development: Theory, technology and management[J]. Journal of Geographical Sciences, 2020, 30(12): 1923-1942.
- [35] 姬志恒. 中国农业农村高质量发展的空间差异及驱动机制[J]. 数量经济技术经济研究, 2021, 38(12): 25-44.
- Ji Z H. Spatial differences and driving mechanism of high quality development in China's agriculture and rural areas[J]. Journal of Quantitative & Technological Economics, 2021, 38(12): 25-44.
- [36] 赵伟,黄兰,李威,等. 中国乡村包容性绿色发展水平分异及其驱动因素[J]. 经济地理, 2023, 43(3): 68-77.
- ZHAO W, HUANG L, LI W, et al. The level differentiation and driving factors of inclusive green development in rural areas of China[J]. Economic Geography, 2023, 43(3): 68-77.
- [37] 苟兴朝,张斌儒. 黄河流域乡村绿色发展:水平测度、区域差异及空间相关性[J]. 宁夏社会科学, 2020, 222(4): 57-66.
- GOU X C, ZHANG B R. Rural green development in the Yellow River Basin: Horizontal measurement, regional differences, and spatial correlation[J]. Ningxia Social Sciences, 2020, 222(4): 57-66.
- [38] 方琳娜,尹昌斌,方正,等. 黄河流域农业高质量发展推进路径[J]. 中国农业资源与区划, 2021, 42(12): 16-22.
- FANG L N, YIN C B, FANG Z, et al. The promotion path of high-quality development of agriculture in the Yellow River Basin[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2021, 42(12): 16-22.
- [39] 张俊婕. 中国农业农村现代化发展水平的时空特征及障碍因子分析[J]. 经济体制改革, 2022(2): 87-94.
- ZHANG J J. Analysis on the spatial-temporal characteristics and obstacle factors of the development level of China's agricultural and rural modernization[J]. Reform of Economic System, 2022(2): 87-94.

(编辑 亢小玉)