

黄河流域农业碳排放效率与农业高质量发展的互动关系

焦士兴¹, 王安周², 林璐霜¹, 李中轩³, 赵荣钦⁴, 尹义星⁵, 丁 辉¹

(1. 安阳师范学院 资源环境与旅游学院, 河南 安阳 455002; 2. 洛阳市第十九中学, 河南 洛阳 471000;
3. 许昌学院 城市与环境学院, 河南 许昌 461000; 4. 华北水利水电大学 测绘与地理信息学院, 河南 郑州 450046;
5. 南京信息工程大学 水文气象学院, 江苏 南京 210044)

摘 要:为推进农业绿色低碳和高质量发展, 利用超效率 SBM 模型和熵值法, 测算了黄河流域农业碳排放效率和农业高质量发展水平, 并采用 VAR 模型探讨了二者的互动关系。结果表明: 1) 黄河流域农业碳排放效率整体呈上升趋势, 甘肃、山西两省, 四川、山东、河南、陕西、青海五省, 宁夏、内蒙古两自治区分别处于较低、中等、较高水平; 2) 农业高质量发展水平整体呈波动上升趋势, 陕西、山西、宁夏、内蒙古四省(区), 青海、甘肃两省, 河南、四川、山东三省分别处于较低、中等、较高水平; 3) 农业碳排放效率提升促进了农业高质量发展, 而农业高质量发展对农业碳排放效率影响不显著。基于研究结果, 从绿色、可持续发展等方面, 提出了提升黄河流域农业碳排放效率和推动农业高质量发展的建议。

关键词: 碳排放效率; 高质量发展; SBM 模型; 熵值法; VAR 模型; 黄河流域

中图分类号: F323.2; TV882.1 **文献标志码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1000-1379.2024.09.017

引用格式: 焦士兴, 王安周, 林璐霜, 等. 黄河流域农业碳排放效率与农业高质量发展的互动关系[J]. 人民黄河, 2024, 46(9): 120-126.

Interactive Relationship of Agricultural Carbon Emission Efficiency and High-Quality Agricultural Development of the Yellow River Basin

JIAO Shixing¹, WANG Anzhou², LIN Lushuang¹, LI Zhongxuan³, ZHAO Rongqin⁴, YIN Yixing⁵, DING Hui¹

(1. School of Resources & Environment and Tourism, Anyang Normal University, Anyang 455002, China; 2. The 19th High School of Luoyang, Luoyang 471000, China; 3. School of Urban and Environment Science, Xuchang University, Xuchang 461000, China; 4. College of Surveying and Geo-Informatics, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450046, China; 5. School of Hydrology and Water Resources, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: In order to promote the green, low-carbon and high-quality development of agriculture, this paper adopted the super-efficiency SBM model and the entropy method to measure the agricultural carbon emission efficiency and the high-quality development level of agriculture in the Yellow River Basin, and discussed the interaction between the two by using VAR model. The results show that a) the agricultural carbon emission efficiency in the Yellow River Basin is on the rise as a whole. The agricultural carbon emission efficiency of Gansu and Shanxi, Sichuan, Shandong, Henan, Shaanxi and Qinghai, Ningxia and Inner Mongolia is at a lower, medium and higher level respectively. b) The overall level of high-quality agricultural development shows a fluctuating upward trend. Shaanxi, Shanxi, Ningxia and Inner Mongolia, Qinghai and Gansu, Henan, Sichuan and Shandong are at a lower, medium and higher level respectively. c) The improvement of agricultural carbon emission efficiency has a significant effect on the promotion of high-quality agricultural development, while the improvement of high-quality agricultural development has no significant effect on agricultural carbon emission efficiency. Based on the research results, some suggestions were put forward to improve the efficiency of agricultural carbon emissions and promote the high-quality development of agriculture in the Yellow River Basin from the aspects of green and sustainable development.

Key words: carbon emission efficiency; high-quality development; SBM model; entropy method; VAR model; Yellow River Basin

黄河流域作为我国重要的生态屏障和经济地带, 是推动高质量协调发展的关键区域, 加强其生态保护和污染防治对于促进流域社会稳定、经济发展具有重要意义^[1]。农业高质量发展是流域高质量发展的重要组成部分, 农业碳排放与农业高质量发展之间具有密切联系。农业碳排放对于环境具有负面影响, 是评价高质量发展的重要指标。因此, 探讨农业碳排放效率与农业高质量发展的关系具有重要意义。

目前, 农业碳排放效率和农业高质量发展的相关

研究已取得丰富成果。在农业碳排放效率方面, 郭四代等^[2]采用包含非期望产出的 SBM 模型, 测算了西部地区的农业碳排放效率, 认为其总体呈上升趋势且投

收稿日期: 2024-06-03 修回日期: 2024-07-01

基金项目: 河南省高等学校重点科研项目(24A170001); 安阳市科技发展计划项目(2023C01SF216); 安阳师范学院大学生创新基金资助项目(202410479122)

作者简介: 焦士兴(1970—), 男, 河南周口人, 教授, 博士, 主要研究方向为水资源和水环境
E-mail: jiaoshixing@163.com

人产出效率处于较优状态;吴贤荣等^[3]分析了我国农业的碳排放效率指数,认为省域之间存在显著差异;沈艳阳等^[4]综合运用 Super-SBM 模型,测算了我国省域农业碳排放效率,认为其稳步提高且存在较大提升空间。在农业高质量发展方面,杨辉等^[5]运用熵值法测算了我国三大粮食功能区发展水平,认为其均保持上升趋势但存在区域差异;马凤才等^[6]采用熵权法计算了黑龙江省农业高质量发展水平,认为农业产业集聚存在明显的促进作用和区域异质性;王善高^[7]运用半参数面板数据模型,分析了数字经济对我国农业高质量发展的影响,认为其存在时空异质性;高雪等^[8]利用纵横向拉开档次法,分析了我国农业发展质量的时空变化情况,认为其呈现东高西低的态势。

综上所述,有关农业碳排放效率和农业高质量发展的研究大多只探讨农业碳排放效率或农业高质量发展的影响因素^[3,8],或者某一要素对农业碳排放效率或农业高质量发展的单向关系^[4,7],而较少探讨农业碳排放效率和农业高质量发展之间的互动关系,且研究区域较少涉及黄河流域。基于此,笔者运用包含非期望产出的超效率 SBM 模型测算黄河流域农业碳排放效率,采用熵值法评价农业高质量发展状况,并基于 VAR 模型,探讨农业碳排放效率与农业高质量发展的互动机制,以期为推动黄河流域生态保护和高质量发展提供参考。

1 数据来源与研究方法

1.1 指标选取与数据来源

农业碳排放效率是指既定投入要素情况下,用较

低的碳排放获取较多的经济产出,反映碳排放约束条件下的农业生产率水平,其本质是纳入了碳排放的生产技术效率^[9-10]。参考相关研究成果^[2,11-12],从农业投入和农业产出 2 个维度,构建农业碳排放效率评价指标体系(见表 1),其中:农业投入维度包括劳动力投入、土地投入、农资投入 3 个一级指标,农业产出维度包括期望产出、非期望产出 2 个一级指标。参考相关研究成果^[13-14],从绿色、经济、可持续发展、创新 4 个维度构建农业高质量发展评价指标体系(见表 2),其中:绿色维度包括环境友好、资源利用 2 个一级指标,经济维度包括经济增长、产业结构 2 个一级指标,可持续发展维度包括资源禀赋、风险承受 2 个一级指标,创新维度包括创新基础、创新绩效 2 个一级指标。

表 1 黄河流域农业碳排放效率评价指标体系

维度	一级指标	二级指标	指标属性
农业投入	劳动力投入	农业从业人员/万人	负向
	土地投入	农作物播种面积/万 hm ²	正向
	农资投入	化肥施用量/万 t	负向
		农药施用量/万 t	负向
		农用柴油量/万 t	负向
		有效灌溉面积/万 hm ²	正向
农业产出	期望产出	农业总产值/亿元	正向
	非期望产出	粮食总产量/万 t	正向
		农业碳排放量/万 t	负向

数据来源于 2011—2023 年《中国统计年鉴》、黄河流域九省(区)统计年鉴、《中国农业统计年鉴》,缺失数据采用线性插值法和均值法弥补。

表 2 黄河流域农业高质量发展评价指标体系

维度(权重)	一级指标	二级指标	指标计算方法	指标属性
绿色 (0.34)	环境友好	化肥施用强度/(t/hm ²)	化肥施用量/耕地面积	负向
		农药施用强度/(t/hm ²)	农药施用量/耕地面积	负向
		单位耕地面积薄膜用量/(t/hm ²)	农用薄膜使用量/耕地面积	负向
	资源利用	农业用水效率/(元/m ³)	农林牧渔业总产值/农业用水量	正向
		单位耕地面积农用柴油量/(t/hm ²)	农用柴油量/耕地面积	负向
经济 (0.38)	经济增长	复种指数/%	农作物播种面积/耕地面积×100%	正向
		土地生产率/(元/hm ²)	农业增加值/耕地面积	正向
		劳动生产率/(元/人)	农林牧渔业增加值/农业从业人员	正向
		农民收入水平/元	农村居民人均经营纯收入	正向
	产业结构	第一产业产值占比/%	农林牧渔业增加值/国内生产总值×100%	负向
		粮经比	粮食播种面积/经济作物播种面积	负向
可持续发展 (0.16)	资源禀赋	单位耕地面积水资源量/(m ³ /hm ²)	水资源总量/耕地面积	正向
	风险承受	人均耕地面积/hm ²	耕地面积/常住人口	正向
		受灾程度/%	受灾面积/耕地面积×100%	负向
创新 (0.12)	创新基础	单位面积农业机械动力/(kW/hm ²)	农业机械总动力/播种面积	正向
		农业财政投入占比/%	农林水事务支出/地方财政支出×100%	正向
	创新绩效	农业规模化程度/(hm ² /人)	农作物播种面积/农业人口	正向

1.2 研究方法

1.2.1 超效率 SBM 模型

超效率 SBM 模型由 Tone^[15] 提出,用于解决存在非期望产出情况的效率分析问题^[16-17]。

$$\rho = \min \frac{1 - \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N S_n^x / x_{k'n}'}{1 + \frac{1}{M+L} \left(\sum_{m=1}^M S_m^y / y_{k'm}' + \sum_{i=1}^L S_i^b / b_{k'i}' \right)} \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K Z_k^t x_{kn}^t + S_n^x = X_{k'n}' \\ \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K Z_k^t y_{km}^t - S_m^y = y_{k'm}' \\ \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K Z_k^t b_{ki}^t + S_i^b = b_{k'i}' \\ Z_k^t \geq 0, S_n^x \geq 0, S_m^y \geq 0, S_i^b \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中: ρ 为决策单元的效率值, x_{kn}^t 和 $X_{k'n}'$ 分别为投入指标 n 在第 k 和 k' 个生产单元第 t 和 t' 年的值, y_{km}^t 和 $y_{k'm}'$ 分别为期望产出指标 m 在第 k 和 k' 个生产单元第 t 和 t' 年的值, b_{ki}^t 和 $b_{k'i}'$ 分别为非期望产出指标 i 在第 k 和 k' 个生产单元第 t 和 t' 年的值, N, M, L 分别为投入、期望产出、非期望产出的指标数量, T 为年数, K 为决策单元个数, S_n^x, S_i^b 分别为投入、非期望产出的冗余, S_m^y 为期望产出的不足, Z_k^t 为决策单元的权重。

1.2.2 熵值法

熵值法^[5]能够客观揭示各指标对农业高质量发展的影响程度,并兼顾不同年份间指标的可比性。步骤如下。

1) 计算第 j 个指标的熵值:

$$e_j = - \frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n P_{ij} \ln P_{ij} \quad (3)$$

其中

$$P_{ij} = X_{ij}' / \sum_{i=1}^n X_{ij}' \quad (4)$$

式中: e_j 为第 j 个指标的熵值, P_{ij} 为第 j 个指标第 i 年占比, X_{ij}' 为第 i 年第 j 个指标归一化后的值, n 为年数。

2) 计算第 j 个指标的权重:

$$W_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^m (1 - e_j)} \quad (5)$$

式中: W_j 为第 j 个指标的权重, m 为指标个数。

3) 计算农业高质量发展水平:

$$Y_i = \sum_{j=1}^m W_j X_{ij}' \quad (6)$$

式中: Y_i 为第 i 年农业高质量发展水平。

1.2.3 VAR 模型

VAR(多元时间序列变量的向量自回归)模型将系统中各内生变量作为所有内生变量的滞后项来建立模型,用于估计变量的动态关系^[18]。

$$Y_t = A_1 Y_{t-1} + A_2 Y_{t-2} + \cdots + A_p Y_{t-p} + B X_t + u_t \quad (7)$$

式中: $Y_t, Y_{t-1}, \cdots, Y_{t-p}$ 为 k 维向量, X_t 为 d 维向量, p 为滞后阶数, A_1, A_2, \cdots, A_p 和 B 为 $k \times k$ 和 $k \times d$ 维系数矩阵, u_t 为随机扰动项。

2 结果分析

2.1 黄河流域农业碳排放效率

利用式(1)、式(2),计算黄河流域整体及各省(区)农业碳排放效率,结果见图1。黄河流域农业碳排放效率整体呈上升态势,年均增长率为6.33%。其中2010—2017年增幅较小,年均增长率为4.99%,主要原因是投入的农用物资较多,如化肥施用量由2010年的1980万t增加到2017年的2101万t,农业碳排放量则由2780万t增加到2948万t,农业碳排放效率相对较低;2018—2022年增幅较大,年均增长率为6.90%,主要原因是黄河流域九省(区)积极贯彻落实国家碳减排政策,优化要素投入与可再生能源替代^[12],减少了农用物资投入^[19],黄河流域化肥、农药施用量分别由2018年的693万、41万t减少至2022年的595万、29万t,农业碳排放量则由2018年的2842万t减少至2022年的2565万t。

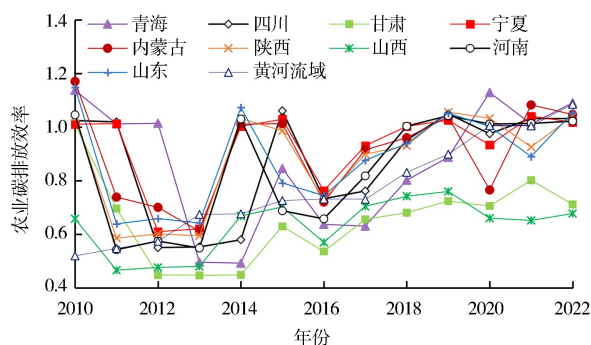


图1 黄河流域及九省(区)农业碳排放效率

黄河流域农业碳排放效率区域差异较大。采用 ArcGIS 10.5 自然间断点分级法,将农业碳排放效率划分为 I 级 [0.632, 0.653]、II 级 [0.653, 0.885]、III 级 [0.885, 0.923] 3 个等级。

I 级包括甘肃、山西两省,农业碳排放效率较低,全省均值分别为 0.653、0.632。甘肃位于我国西北地区,经济发展相对落后,在农业发展过程中忽视了对环境的保护,导致面源污染比较严重,农业碳排放量较

大^[20]。山西省农业碳排放效率低下,归因于生产过程中存在要素投入过多、期望产出不足或者非期望产出过多,农业生产的效率较低^[21]。

Ⅱ级包括山东、四川、河南、陕西、青海五省,农业碳排放效率处于中等水平,全省均值分别为0.885、0.871、0.845、0.880、0.859。山东、四川、河南均为我国农业大省,经济发展水平相对较高,但经济收益的增速低于农业生产所产生的碳排放量的增速,农业生产中产生的碳排放主要来源于农药化肥的施用^[22],2022年山东、四川、河南三省的农业碳排放量分别为577万、290万、706万t,三省合计占黄河流域九省(区)碳排放总量的61.3%。陕西是种植业大省,种植业比例较高,不利于农业碳排放效率的提升。青海受自然地理环境的影响,种植业规模较小,农业碳排放量也较小,2022年农业碳排放量为12万t。

Ⅲ级包括宁夏、内蒙古两个自治区,农业碳排放效率较高,全区均值分别为0.922、0.905。宁夏通过建立健全农业技术推广服务体系,加强农业基础设施和高标准农田建设,极大地推动了农业生产率的提升^[23]。内蒙古重视农业生产,农业投入力度大,2022年内蒙古第一产业产值占比为11.59%,位居黄河流域九省(区)的第二位;2022年内蒙古农林水事务支出占财政支出的15%,位居黄河流域九省(区)的第二位。

2.2 黄河流域农业高质量发展状况

运用式(3)~式(6),计算黄河流域及各省(区)农业高质量发展水平,结果见图2。由图2可知,黄河流域农业高质量发展水平整体呈现波动上升态势,增长速度相对较快。2010—2022年,高质量发展水平从0.147升至0.511,年均增长率为10.9%。其中,2010—2016年年均增长率为15.9%,但发展水平仍较低,如2016年仅为0.288,主要原因是农业发展仍处于“高能耗、低效率”阶段,农业生产投入较多,如2016年农用柴油量达598万t,但农业产值不高(18300亿元),仅为2022年的65.3%;农业生产效率低下,2016年土地

生产率为3.89万元/hm²,仅为2022年的62%,且对环境的影响较大。2017—2022年农业高质量发展水平增长速度减缓,年均增长率为10%,但发展水平相对较高,归因于我国实施了“由高速增长向高质量发展转变”重大发展战略,九省(区)更加重视高质量的发展,在推动农业经济可持续发展的同时保护了生态环境。

黄河流域农业高质量发展水平区域差异较大。采用ArcGIS 10.5自然间断点分级法,将农业高质量发展水平划分为Ⅰ级[0.313,0.363]、Ⅱ级(0.363,0.438]、Ⅲ级(0.438,0.527]3个等级。

Ⅰ级包括宁夏、内蒙古、山西、陕西四省(区),农业高质量发展水平较低,全省(区)均值分别为0.363、0.352、0.350、0.312。宁夏农业发展主要依靠黄河过境水,农业用水量占比超过85%^[24],在黄河流域九省(区)中用水效率最低(2022年农业用水效率为7.996元/m³)。内蒙古农业多为分散经营,且复种指数较低(2022年为75.69%)。山西传统种植业和畜牧业发展较慢且相对稳定,相应的加工业发展也较慢,农业产品附加值较低^[25]。陕西农业规模化程度较低,2022年农业规模化程度仅有0.64 hm²/人。总之,这四省(区)农业高质量发展水平较低的主要原因是资源利用效率和生产效率均较低。

Ⅱ级包括甘肃、青海两省,农业高质量发展处于中等水平,全省均值分别为0.439、0.409。甘肃、青海位于黄河上游,受自然条件影响,农业发展受到一定制约。甘肃通过转变农业发展方式、推动农业生产动力转化等措施^[26-27],有效推动了农业高质量发展。受西部大开发战略等影响,2018年以来青海农业发展水平得到明显提高。

Ⅲ级包括河南、四川、山东三省,农业高质量发展水平较高,全省均值分别为0.527、0.525、0.521。河南、山东地形相对平坦,农业机械化水平较高。河南省不断完善农田基础设施,重视提升农产品质量和竞争力。山东是沿黄九省(区)中经济最发达的省份,耕地率位居全国第一,耕地数量、质量和生产条件具有得天独厚的优势^[28],有利于农业高质量发展。四川地域面积大,自然资源和劳动力资源丰富,农业高质量发展水平相对较高。

2.3 黄河流域农业碳排放效率与农业高质量发展的互动关系

利用式(7),结合Eviews 10.0软件,采用VAR模型和单位根检验等方法^[18],探讨农业碳排放效率与农业高质量发展之间的互动关系。

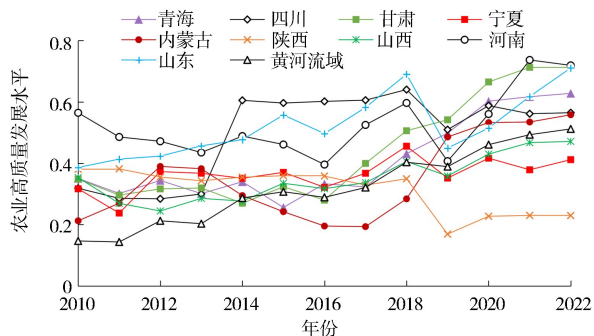


图2 黄河流域及九省(区)农业高质量发展水平

2.3.1 平稳性检验及协整检验

Augmented Dickey-Fuller(ADF) 检验是一种常用的单位根检验方法,专门用于时间序列数据平稳性检验,以避免存在伪回归现象。ADF 检验结果表明,5%

显著性水平的农业碳排放效率与农业高质量发展两个变量均为一阶差分平稳(见表 3)。在 ADF 检验基础上,对变量进行协整检验,结果显示两个变量协整。

表 3 ADF 检验结果

变量	ADF 检验值	检验统计量			概率(P)值	检验结果
		显著性水平为 1%	显著性水平为 5%	显著性水平为 10%		
农业碳排放效率	-1.89	-4.99	-3.88	-3.39	0.598 1	不平稳
农业高质量发展	0.46	-4.30	-3.21	-2.75	0.974 2	不平稳
D(农业碳排放效率)	-4.07	-4.20	-3.18	-2.73	0.012 3	平稳
D(农业高质量发展)	-3.96	-4.30	-3.21	-2.75	0.000 1	平稳

注:D 为一阶差分。

2.3.2 最优滞后阶数

在使用 VAR 模型进行分析时,需要确定最优滞后阶数。以农业碳排放效率和农业高质量发展两个变量

建立 VAR 模型,结果显示其最优滞后阶数为 1(见表 4)。

表 4 最优滞后阶数分析结果

滞后阶数	对数似然函数值	LR(似然比检验) 值	FPE(最终预测误差准则) 值	AIC(赤池信息量准则) 值	SC(施瓦茨信息准则) 值	HQ(汉南-奎因准则) 值
0	29.18		2.45×10^{-5}	-4.94	-4.87	-4.99
1	46.67	25.43 *	2.17×10^{-6} *	-7.39 *	-7.18 *	-7.53 *
2	47.65	1.07	4.22×10^{-6}	-6.85	-6.48	-7.07

注:表中带 * 号的为最优滞后阶数。

2.3.3 格兰杰因果检验

在确定最优滞后阶数为 1 阶后,对农业碳排放效率与农业高质量发展进行格兰杰因果检验。在 5% 显著性水平,当 $P<0.05$ 时,拒绝原假设;当 $P>0.05$ 时,则接受原假设。

格兰杰因果检验结果表明,5% 显著性水平的农业碳排放效率是农业高质量发展的原因(见表 5)。碳排放效率与高质量发展主要通过与生态环境的相互作用而彼此影响^[29]。生态环境对农业高质量发展水平的影响较大,归因于绿色维度所占权重(0.34)较大。农业碳排放效率的提高对生态环境有积极影响,碳排放量随着碳排放效率提高而减少;农业污染物减少,可有效缓解农业生产所带来的环境压力,促进农业高质量发展。因此,提高黄河流域农业碳排放效率能够有效促进农业高质量发展。

表 5 格兰杰因果检验结果

原假设	F 统计量	概率(P)值	结论
农业高质量发展不是农业碳排放效率的格兰杰原因	2.96	0.13	接受
农业碳排放效率不是农业高质量发展的格兰杰原因	5.38	0.04	拒绝

格兰杰因果检验结果表明,5% 显著性水平的农业高质量发展不是农业碳排放效率的原因(见表 5)。黄

河流域农业发展存在生态环境脆弱、农业面源污染严重、水资源短缺等问题^[30],因此高质量发展受到阻碍,发展水平从 2010 年的 0.147 上升至 2022 的 0.511,发展水平相对较低,但农业碳排放效率(从 0.519 上升到 1.084)相对较高,表明黄河流域农业高质量发展对碳排放效率的提高影响不显著。

2.3.4 方差分解

方差分解是通过分析每一个结构冲击对内生变量变化的贡献度,进而评价不同结构冲击的重要性^[31]。对农业碳排放效率与农业高质量发展水平进行方差分解,结果见表 6。表 6 表明:从第 1 期到第 10 期(指利

表 6 方差分解结果

时期	农业高质量发展对农业碳排放效率的贡献率	农业碳排放效率对农业高质量发展的贡献率	%
1	0		28.32
2	13.82		44.22
3	13.39		62.15
4	14.42		67.75
5	14.68		70.83
6	14.96		73.16
7	15.13		74.82
8	15.27		76.11
9	15.37		77.13
10	15.45		77.96

用现有样本对未来进行预测的期数),农业碳排放效率对农业高质量发展的贡献率(大于20%)均大于农业高质量发展对农业碳排放效率的贡献率(小于20%),表明农业碳排放效率对农业高质量发展的影响较大,这与上文格兰杰因果检验的结果相吻合。

3 结论与建议

运用包含非期望产出的超效率SBM模型和熵值法,分析了黄河流域2010—2022年农业碳排放效率和农业高质量发展水平,采用Eviews 10.0软件、VAR模型和单位根检验等方法探讨了二者的互动关系。

1)黄河流域农业碳排放效率整体呈上升趋势,区域差异显著。甘肃、山西处于较低水平,四川、山东、河南、陕西、青海五省处于中等水平,宁夏、内蒙古处于较高水平。甘肃、山西应提高农业物资利用效率,发展绿色农业;四川、山东、河南、陕西、青海应发挥区域比较优势,发展特色产业;宁夏、内蒙古应加强科技创新、培育良种等,发展生态农业。

2)黄河流域农业高质量发展水平呈波动上升趋势,区域差异较大。陕西、山西、宁夏、内蒙古四省(区)处于较低水平,青海、甘肃处于中等水平,河南、四川、山东三省处于较高水平。陕西、山西、宁夏、内蒙古应推广蓄水保水技术等,发展高效旱作农业;青海、甘肃应实施退牧还草等,发展有机农业;河南、四川、山东应推进高标准农田建设等,发展智慧农业。

3)黄河流域农业碳排放效率的提高对农业高质量发展的促进作用较为明显,且农业碳排放效率对农业高质量发展的贡献率大于农业高质量发展对农业碳排放效率的贡献率。黄河流域应推广低碳技术、提升固碳能力等,推进农业减排固碳,促进农业高质量发展。

参考文献:

- [1] 周韬,张俊丽,李立.数字经济背景下黄河流域城市经济高质量发展的空间分异与优化路径研究[J/OL].生态经济,1-13[2024-08-08].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/53.1193.F.20240520.1015.002.html>.
- [2] 郭四代,钱昱冰,赵锐.西部地区农业碳排放效率及收敛性分析:基于SBM-Undesirable模型[J].农村经济,2018(11):80-87.
- [3] 吴贤荣,张俊飏,田云,等.中国省域农业碳排放测算、效率变动及影响因素研究:基于DEA-Malmquist指数分解方法与Tobit模型运用[J].资源科学,2014,36(1):129-138.
- [4] 沈艳阳,吴越,那晓红,等.农业机械化对我国农业碳排放效率的影响:基于Super-SBM-Tobit模型[J].环境生态学,2023,5(10):53-61.
- [5] 杨辉,张竹,习凯杰.粮食功能区视角下农业高质量发展水平及区域差异研究[J].生态经济,2024,40(4):105-113.
- [6] 马凤才,付娆娆.黑龙江省农业产业集聚对农业高质量发展影响研究[J].农业经济,2024(3):26-28.
- [7] 王善高.数字经济与农业高质量发展:影响效应与作用路径[J].统计与决策,2024,40(6):21-26.
- [8] 高雪,尹朝静.新发展理念下的中国农业高质量发展水平测度与评价研究[J].中国农业资源与区划,2023,44(1):75-83.
- [9] 黄娅雯.农村低碳发展视角下农业碳排放效率测度与提升路径研究[D].福州:福建农林大学,2023:7-16.
- [10] 李姝晓.黄河流域区域旅游碳排放效率与旅游经济高质量发展的互动机制[D].太原:山西财经大学,2022:15-17.
- [11] 吴昊玥,黄瀚蛟,何宇,等.中国农业碳排放效率测度、空间溢出与影响因素[J].中国生态农业学报(中英文),2021,29(10):1762-1773.
- [12] 杨晨,张燕媛.粮食主产区农业碳排放效率与粮食安全耦合研究[J/OL].中国农业资源与区划,1-19[2024-08-08].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3513.S.20231205.1419.002.html>.
- [13] 刘成坤,陈晗,张茗泓.农村人口老龄化对农业高质量发展的影响及作用路径[J].农业现代化研究,2023,44(6):955-966.
- [14] 辛岭,安晓宁.我国农业高质量发展评价体系构建与测度分析[J].经济纵横,2019(5):109-118.
- [15] TONE K. A Slacks-Based Measure of Super-Efficiency in Data Envelopment Analysis[J].European Journal of Operational Research,2002,143(1):32-41.
- [16] 刘心,李淑敏.基于非期望产出SBM模型的中国各省份能源效率的实证分析[J].数学的实践与认识,2015,45(2):35-43.
- [17] 王少剑,高爽,黄永源,等.基于超效率SBM模型的中国城市碳排放绩效时空演变格局及预测[J].地理学报,2020,75(6):1316-1330.
- [18] 汪官镇,刘金培,陈华友,等.基于VAR模型的PM2.5与其它空气污染物的动态关系分析[J].大气与环境光学学报,2016,11(2):91-102.
- [19] 马志超.黄河流域农业碳排放与经济增长时空耦合关系研究[J/OL].中国农业资源与区划,1-13[2024-08-08].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3513.S.20240130.1731.034.html>.
- [20] 吕剑平,乔宇佳.甘肃省农业碳排放时空演变及影响因素研究[J].中南林业科技大学学报(社会科学版),2023,17(5):52-64.
- [21] 张瑞玲.山西省农业碳排放的测度及影响因素研究[D].

- 太原:山西财经大学,2019:40-56.
- [22] 王钰萱.基于时空变化的中国省域农业碳排放效率评价研究[D].哈尔滨:哈尔滨师范大学,2020:1-33.
- [23] 桂河,李静,尚梦媛.“双碳”背景下的宁夏农业碳排放时序特征、驱动机理与脱钩效应研究[J].中南林业科技大学学报(社会科学版),2021,15(6):37-44.
- [24] 伏海中.高效节水灌溉为宁夏农业高质量发展提供战略支撑[J].中国农业综合开发,2021(12):31-34.
- [25] 李琳璐,杨燕,秦晓娟.高质量发展视角下山西省农业发展评价研究[J].中国农业资源与区划,2023,44(4):224-232.
- [26] 焦琳惠,吕剑平.甘肃省农业高质量发展水平测度及制约因子研究[J].资源开发与市场,2021,37(3):333-339.
- [27] 薛选登,冯誉萱.农业高质量发展与农业水足迹的脱钩关系研究:基于黄河流域 9 省的实证分析[J].节水灌溉,2023(6):83-90,99.
- [28] 马海燕,吕宁江,姜瑶,等.山东省黄河流域绿色农田建设与农业高质量发展模式研究[J].中国农业综合开发,2023(6):16-21.
- [29] 吴小妮,管卫华,张惠,等.长三角城市群碳排放效率与高质量发展的时空耦合特征及影响因素[J].长江流域资源与环境,2023,32(11):2273-2284.
- [30] 王浩闻,贾云飞,赵瑞雪.科技创新视角下黄河流域农业高质量发展形势与对策[J].科学管理研究,2023,41(3):130-139.
- [31] 柳思维,吴忠才.中国旅游业与经济增长关系的实证研究[J].系统工程,2007,25(9):60-64.
- 【责任编辑 张华兴】

(上接第 89 页)

- [13] 李立雍.窟野河流域下垫面变化对暴雨洪水的影响[D].西安:西北大学,2022:32-44.
- [14] LÓPEZ-VICENTE M,BEN-SALEM N.Computing Structural and Functional Flow and Sediment Connectivity with a New Aggregated Index:A Case Study in a Large Mediterranean Catchment [J].Science of the Total Environment,2019,651:179-191.
- [15] YANG W,YANG H,YANG D,et al.Causal Effects of Dams and Land Cover Changes on Flood Changes in Mainland China[J].Hydrology and Earth System Sciences,2021,25(5):2705-2720.
- [16] 赵晓坤,王随继.窟野河洪水特性及变化趋势分析[J].干旱区资源与环境,2012,26(4):92-96.
- [17] WANG Chengshu,ZHANG Guanghui,ZHU Pingzong,et al.Sediment Connectivity of Small Watershed Affected by Gully Development and Vegetation Restoration on the Loess Plateau[J].Geoderma,2022,410:115663.
- [18] MILLER J D,HUTCHINS M.The Impacts of Urbanisation and Climate Change on Urban Flooding and Urban Water Quality: A Review of the Evidence Concerning the United Kingdom [J]. Journal of Hydrology: Regional Studies, 2017 (12): 345-362.
- [19] MILLER J D,KIM H,KJELDSEN T R,et al.Assessing the Impact of Urbanization on Storm Runoff in a Peri-Urban Catchment Using Historical Change in Impervious Cover [J].Journal of Hydrology,2014,515:59-70.
- [20] BLUM A G,FERRARO P J,ARCHFIELD S A,et al.Causal Effect of Impervious Cover on Annual Flood Magnitude for the United States[J].Geophysical Research Letters,2020,47(5):8-15.
- [21] ANDERSON B J,SLATER L J,DADSON S J,et al.Statistical Attribution of the Influence of Urban and Tree Cover Change on Streamflow:A Comparison of Large Sample Statistical Approaches [J]. Water Resources Research, 2022, 58 (5):e2021WR030742.
- 【责任编辑 吕艳梅】