

“双碳”目标下农业生态效率测度及影响因素分析

郭利京¹, 王仟滢¹, 赵瑾²

(1. 安徽财经大学 经济学院, 安徽 蚌埠 233030; 2. 安徽科技学院 管理学院, 安徽 蚌埠 233030)

[摘 要] 农业生态效率是农业经济和生态环保协调发展的重要体现。文章首先引入农业碳汇效应, 构建农业生态效率测度指标体系; 其次, 基于 2010—2019 年中国 31 个省市面板数据, 运用熵权法改进的超效率 SBM 测算各地区农业生态效率; 然后运用面板 Tobit 模型探究农业生态效率影响因素。结果发现: 2010—2019 年中国农业生态效率总体呈现平稳上升态势, 空间上呈现东北地区最高、东部次之、西部较低、中部最低的分布格局; 财政支农程度、工业化程度、农业自然环境、农业机械密度对农业生态效率产生负向影响; 农业环境规制、科技支持力度、农业资源禀赋、农业人力资本和农业生产能力对农业生态效率产生正向影响。最后, 提出合理投入农业要素资源; 促进农业生产增长; 加大农业科技研发和推广力度; 提高农业劳动力素质等建议。

[关键词] 农业生态效率; 碳排放; 碳汇测度; “双碳”目标

doi: 10. 3969/j. issn. 1673-9477. 2023. 02. 003

[中图分类号] F301. 21

[文献标识码] A

[文章编号] 1673-9477(2023)02-0017-07

作为国民经济基础产业, 农业在促进我国经济发展中发挥着至关重要的作用。近些年, 虽然我国农业经济快速发展, 农业综合生产能力不断提高, 但是农业机械化、化学化导致的碳排放量剧增问题日益严重, 致使农业已经成为第二大碳排放源, 占我国碳排放总量的 17%^[1]。2020 年 9 月 22 日, 习近平总书记在第七十五届联合国大会一般性辩论上提出了“双碳”目标, 具体包括在 2030 年前努力实现二氧化碳排放达到峰值, 2060 年前力争实现碳中和; 2021 年, “双碳”目标首次写入中国政府工作报告, 作为碳排放和固碳的重要行业, 农业发展被提到了前所未有的高度; 2022 年中共中央、国务院印发《关于做好 2022 年全面推进乡村振兴重点工作的意见》指出要推进农业农村绿色发展, 促进减碳增汇型农业发展。因此, 在“双碳”目标背景下, 全面考察农业生态效率发展规律及影响因素, 以期弥补农业生态效率短板, 助力“双碳”目标早日实现。

一、文献回顾

1990 年, Schaltegger 和 Sturm^[2] 提出了“生态效率”概念, 1992 年, Schmidheiny^[3] 在《改变航向: 一个关于发展与环境的全球商业观点》中系统阐释了生态效率, 生态效率应遵循“在提供有价格竞争优势的产品和服务, 满足人们需求和提高人们生活质量的的前提下, 使生命周期内的资源消耗和生态环境影响降至地球可承受范围内, 从而实现人与环境协调发

展”的原则。作为在农业中的具体应用, 目前学者关于农业生态效率的研究主要包括以下四方面。首先, 农业生态效率概念和内容界定。目前农业生态效率尚无明确定义, 学者^[4-5]针对不同研究层次指出, 农业生态效率概念和内容的界定存在一定差异, 主要内容涵盖农业要素投入、农业产出及农业生态环境影响三部分, 达到在资源节约、环境保护和农产品质量保证的前提下, 农业最大产出目标。在“双碳”目标背景下, 笔者认为农业生态效率应遵循“节源、高效、减排和低污”的原则。其次, 农业生态效率指标体系构建。主要从土地、劳动、化肥、机械等维度选择投入指标, 王宝义和张卫国(2016)^[6]以农业经济效益为期望产出, 以化肥、农药和农膜等化学要素残留量为非期望产出; 洪名勇和邓丽楠(2020)^[7]加入农业生产碳排放量作为非期望产出, 廖佳佳等(2021)^[8]加入生态系统服务价值量作为期望产出, 农业生态效率指标体系构建日益完善。再次, 农业生态效率评价, 主要运用生命周期评价法^[9]、生态足迹分析法^[10]、数据包络分析法^[11]、随机前沿法^[12]等方法分析农业生态效率。最后, 农业生态效率影响因素分析, 主要探究财政支农等政策支持, 工业化^[13]、研发投入^[14]等宏观环境, 农业受灾率、人均农业增加值、规模化水平、人力资本^[15]等农业发展三方面对农业生态效率的影响。

综上所述, 目前已有文献对农业生态效率产出指标的研究主要针对农业面源污染、农业生产碳排

[投稿日期] 2022-07-10

[基金项目] 安徽省哲学社会科学规划项目(编号: AHSKY2021D20)

[作者简介] 郭利京(1981-), 男, 河南洛阳人, 博士, 教授, 研究方向: 农业经济、农业资源与环境。

放等因素,但忽略了农业生产过程中的固碳作用,对农业生态效率的测度不全面,且分析农业生态效率影响因素时,忽略了环境规制的作用。鉴于此,本文引入农业碳汇效应,基于2010—2019年31个省市面板数据,测度观测期内各地区农业生态效率,考察农业生态效率时空演变规律,并探究其影响因素。

二、指标体系构建

农业广义上是农、林、牧、渔业的统称,狭义上是种植业,后者对农业生态环境的影响最深远,因此,本文选用狭义农业(种植业)作为研究对象。农业生态效率是反映环境保护、资源节约和经济增长三者均衡关系的指标。结合中国农业发展情况和数据可获得性等原则,本文从农业资源、农业经济和农业环境三个方面构建农业生态效率测度指标体系。

在投入方面,农业资源投入包括农业生产过程中人力、物力投入,具体从土地投入、劳动力投入、机械化投入以及化学要素投入四方面反映。鉴于各地区每年的复种比率不同,农业土地投入用农作物总播种面积表征;劳动力投入用农业就业人员数表征,由于目前缺乏农业从业人员数据,利用种植业产值占第一产业总产值比重作为从事种植业人数的比例,估算农业就业人数;农业机械化投入除了农机投入,农机所需燃料也是重要的要素投入,因此农业机械化投入用农用柴油使用量和农业机械总动力2个变量表征。农业化学要素投入包括农膜、农药和化肥,因此用农膜使用量、农药使用量、化肥施用量3个变量表征农业化学要素投入。

在产出方面,农业生产过程不仅能产生经济效益,而且农作物通过光合作用吸收了部分二氧化碳,对生态环境产生了积极影响,因此从农业经济效益和农业生态效益2个维度构建期望产出。农业经济效益用农业总产值表征,农业生态效益用农业碳汇量表征。鉴于目前缺乏农业碳汇统计数据,根据韩召迎等人^[17]测算的主要农作物碳吸收率,将主要农作物固碳量作为农业碳汇量,估算农业碳汇量^①。在农业生产过程中,除了产生有益作用,也会对环境造成不利影响,尤其是在面源污染和农业生产碳排放两方面表现明显,因此从农业污染、农业碳排放2个维度构建非期望产出。

为避免运用DEA进行数据分析时,投入—产出变量过多影响测算结果准确性以及主观因素对指标权重的影响,本文利用熵权法将农膜、农药和化肥残留量^②等多项污染指标综合为农业面源污染综合指数^[18]用以表征农业面源污染以减少非期望产出指标数量,确保测算结果准确性;由于目前暂无农业碳排放统计数据,根据李波等人^[19]测度的农业生产主要碳排放源的碳排放系数^③估算农业生产碳排放量,

用以表征农业碳排放量,具体指标如表1所示。

表1 农业生态效率测度指标体系

一级指标	二级指标	表征变量
投入指标	农业土地投入	农作物总播种面积
	农业劳动力投入	农业就业人员数
	农业机械化投入	农用柴油使用量
		农业机械总动力
期望产出	农业化学投入	农膜使用量
		农药使用量
		化肥施用量
	农业经济效益	农业总产值
非期望产出	农业生态效益	农业碳汇量
	农业污染	农业面源污染指数
	农业碳排放	农业生产碳排放量

三、研究方法

(一) 超效率 SBM

超效率 SBM 模型是 Tone 等^[20]在2001年提出的一种非角度、非径向 DEA 模型。与传统 DEA 模型相比,超效率将松弛变量引入目标函数,可直接测度与最佳生产前沿相比较的无效效率量,同时弥补了传统 DEA 模型无法区分多个有效单元格的缺陷,更加科学有效。因此,本文选用超效率 SBM 模型测度农业生态效率。

假设有 p 个决策单元,每个决策单元有 q 种投入、 s_1 种产出、 s_2 种非期望产出,超效率 SBM 模型表达式如式(1)所示:

$$\min \rho = \frac{1 - \frac{1}{q} \sum_{i=1}^q \frac{S_i^+}{x_{i0}^+}}{1 + \frac{1}{s_1 + s_2} \left(\sum_{r=1}^{s_1} \frac{S_r^e}{y_{r0}^e} + \sum_{r=1}^{s_2} \frac{S_r^b}{z_{r0}^b} \right)}$$

$$s. t. \begin{cases} x_0^+ = X^+ \lambda + S^+; y_0^e = Y^e \lambda - S^e; z_0^b = Z^b \lambda + S^b \\ S^+ \geq 0; S^e \geq 0; S^b \geq 0; \lambda \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

其中, ρ 表示农业生态效率值,当 $\rho \geq 1$ 决策单元有效,否则存在一定损失; x^+ 、 y^e 、 z^b 分别表示投入值、期望产出值、非期望产出值; S^+ 、 S^e 、 S^b 分别表示投入

①小麦碳吸收率为 $0.485t \cdot hm^{-2}$,稻谷碳吸收率为 $0.414t \cdot hm^{-2}$,玉米碳吸收率为 $0.471t \cdot hm^{-2}$,薯类碳吸收率为 $0.423t \cdot hm^{-2}$,其余农作物碳吸收率为 $0.450t \cdot hm^{-2}$ 。

②农膜、农药和化肥残留率分别为 0.1、0.5、0.65。

③化肥碳排放系数为 $0.8956kg \cdot kg^{-1}$,农药碳排放系数为 $4.9341kg \cdot kg^{-1}$,农膜碳排放系数为 $5.18kg \cdot kg^{-1}$,柴油碳排放系数为 $0.5927kg \cdot kg^{-1}$,翻耕碳排放系数为 $312.6kg \cdot km^{-2}$,农业灌溉碳排放系数为 $20.476kg \cdot hm^{-2}$ 。

松弛变量、期望产出松弛变量、非期望产出松弛变量; λ 表示权重向量。

(二) 面板 Tobit 模型

农业生态效率值属于归并数据,采用面板 Tobit 回归分析农业生态效率影响因素更加科学有效。此外,由于无法得到一致、无偏的估计量,在此选用随机效应 Tobit 面板模型,如式(2)所示:

$$\begin{cases} y_{it}^* = x_{it}\beta + \mu_i + \varepsilon_{it} & y_{it}^* > 0 \\ 0 & y_{it}^* \leq 0 \end{cases} \quad (2)$$

式(2)中, y_{it}^* 代表因变量; x_{it} 代表自变量; μ_i 代表个体效应,即截距项; ε_{it} 为随机误差项,独立并服从正态分布。

四、实证与分析

(一) 数据来源与处理

2009年起,碳排放问题逐渐受到各级政府重视,碳排放强度被列入中国各地政府绩效考核指标^[21]。因此,本文应用2010—2019年全国31个省市面板数据,数据来源于2011—2020年《中国统计年鉴》、《中国农村统计年鉴》、各省市统计年鉴以及EPS数据平台,其中部分数据由原始数据加工得到,缺失值利用临近点线性趋势估计法进行填补。

(二) 结果分析

基于上述研究方法,借助MaxDea软件测算2010—2019年全国31个省市农业生态效率。依据国家统计局提出的《东西中部和东北地区划分方法》,将我国31个省市划分为四大区域^①,分别测算全国和四大区域农业生态效率均值。为综合时间因素,本文借鉴“厚古薄今”思想,依据卿青平和王瑛研究成果^[22],确定在时间度为0.3的条件下,运用最小方差法的非线性规划求出时间权重,将31个省市和四大区域各年份农业生态效率值进行二次加权,得到各省市和地区农业生态效率综合值,如表2所示。

从全国层面来看,虽然农业生态效率在2011—2012年、2016—2017年间出现一定幅度下滑,但2010—2019年农业生态效率总体呈现平稳上升趋势;自2013年起,农业生态效率开始出现大幅度上升,2016年以来农业生态效率的综合效率值一直处于0.892以上,2019年农业生态效率值为1.028,达到了农业生态效率有效状态,表明农业生态效率整体上处于不断上升趋势,我国生态农业建设取得了一定的进展。这与党的十八大以后大力推进生态文明建设,各地采取积极措施发展生态农业息息相关。此外,2016年起,各地根据粮食品种供需矛盾,主动调整种植结构,因地制宜发展农业经济作物,粮食总播种面积开始下降,农业碳汇量也随之下降;但随着绿色农业不断发展,农作物种植更加科学,农业碳排

放呈现逐年降低趋势。综合考虑农业碳汇量和碳排放量,自2016年起,我国农业净碳排放量(碳排放量减去碳汇量,简称净碳排放量)呈现逐年下降趋势,农业生态效率不断提高。

从区域层面来看,2010—2019年东部、东北、中部和西部地区农业生态综合效率值分别是0.9262、0.9730、0.8834和0.8953,东北和东部地区的农业生态效率明显高于中部和西部地区,我国农业生态效率总体呈现东北地区最高、东部次之、西部较低、中部最低的空间分布格局。从各地区变动情况来看,虽然部分年份农业生态效率出现下降,但各地区2010—2019年农业生态效率总体呈现上升趋势,除中部地区外,其余地区在2019年均达到了农业生态有效状态。具体来说,东北地区凭借良好的农业资源禀赋,且持续推进绿色农业发展和农业现代化改革等措施,其农业生态效率在观测期内增长了16.69%,年均增长幅1.85%,农业生态效率一直处于全国较高水平,尤其在2013—2018年,稳居全国第一。此外,在观测期内,东北地区农业碳汇量最高,且农业净碳排放量最低。其次是东部地区,其农业生态效率在观测期内增长了29.01%,年均增长幅高达到3.22%,发展势头最猛,且东部地区拥有雄厚的经济基础,全国领先的科学技术。加上人们生活需求的变化,低碳、生态环保理念深入人心,这为生态农业建设提供了良好的基础,东部地区低碳生态农业建设发展势头良好,净碳排放量也呈现逐年递减趋势。虽然西部地区农业生产环境较为恶劣,农业发展受限,农业碳汇量相对其他地区较低,且2015年以前农业生态效率一直处于负增长,但随着农业绿色生产和环境保护工作不断深入,西部地区农业生态效率在观测期间增长了15.05%,年均增长幅度为1.67%,农业净碳排放量较低,生态农业发展较为平稳。中部地区农业生态效率在2010—2019年期间增长了26.30%,年均增长速度为2.92%,是4个地区中增长幅度和增长速度较高的地区,其中,2010—2015年增长速率较慢,自2016年起,农业生态效率增长幅度增大,具有较大发展潜力。此外,中部地区碳汇量仅次于东北地区,但农业碳排放量和农

①依据国家统计局公布的《东西中部和东北地区划分方法》,我国划分为东部、中部、西部和东北四大地区,如下所示:

东部地区:北京、天津、河北、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、海南;

东北地区:辽宁、吉林、黑龙江;

中部地区:山西、安徽、江西、河南、湖北、湖南;

西部地区:内蒙古、广西、重庆、四川、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆。

表2 2010—2019年中国31个省市农业生态效率

省份 (地区)	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	综合 效率	排名
北京	0.8278	0.8412	0.8652	0.9054	0.8958	0.9438	1.0148	1.0109	1.0234	1.0779	0.9912	4
天津	0.7490	0.7588	0.7777	0.8040	0.8255	0.8685	1.0122	0.9021	1.0179	1.1822	0.9662	9
河北	0.7897	0.8058	0.8288	0.8663	0.8661	0.8820	1.0064	0.9053	0.9662	1.0129	0.9361	17
上海	0.9341	1.0651	1.0033	0.9659	0.9034	0.9019	0.9012	0.9025	1.0620	1.0541	0.9733	6
江苏	0.7612	0.7882	0.8147	0.8376	0.8619	0.9117	0.9781	1.0021	0.9881	1.0157	0.9515	14
浙江	0.6766	0.6874	0.7063	0.7277	0.7495	0.7684	0.8073	0.8124	0.8690	1.0497	0.8445	25
福建	0.7055	0.7225	0.7348	0.7495	0.7816	0.8032	1.0176	0.8760	0.9330	1.0422	0.9024	19
山东	0.7722	0.7833	0.7928	0.8211	0.8563	1.0002	1.0031	1.0018	0.9887	1.0254	0.9640	11
广东	0.7294	0.7465	0.7573	0.7703	0.7842	0.8035	0.8807	0.8262	0.8908	1.0474	0.8735	21
海南	0.7034	0.7129	0.7340	0.7211	0.7521	0.7738	0.8407	0.8224	0.9157	1.0428	0.8597	22
辽宁	0.7529	0.7742	0.8037	0.8205	0.8369	0.9082	1.0218	0.9347	0.9726	1.0140	0.9393	16
吉林	0.8141	0.8322	0.8607	0.9214	0.9339	0.9574	1.0132	0.9044	1.0022	1.0105	0.9629	12
黑龙江	1.0104	0.9577	1.0005	1.0083	1.0007	1.0058	1.0255	1.0001	1.0150	1.0535	1.0170	2
山西	0.7555	0.7988	0.8081	0.8266	0.8436	0.8502	1.0022	1.0163	1.0002	1.0008	0.9469	15
安徽	0.6643	0.6883	0.7095	0.7263	0.7391	0.7498	0.9052	0.9120	0.9136	0.9354	0.8552	24
江西	0.6647	0.6719	0.6824	1.0013	0.8590	0.8624	1.0103	0.9177	0.9555	1.0273	0.9357	18
河南	0.8030	0.8039	0.8222	0.8283	0.8517	0.8635	1.0081	0.9626	1.0013	1.0576	0.9540	13
湖北	0.6805	0.7036	0.7169	0.7341	0.7423	0.7537	0.7811	0.7890	0.8041	0.8413	0.7837	29
湖南	0.7267	0.7552	0.7685	0.7718	0.7821	0.7922	0.8077	0.7681	0.7676	1.0102	0.8251	26
内蒙古	0.6553	0.7361	0.7202	0.7510	0.7537	0.7379	1.0093	0.7475	0.8711	1.0181	0.8557	23
广西	0.6901	0.7091	0.7118	0.7180	0.7264	0.7293	0.7359	0.7496	0.7702	0.8621	0.7645	30
重庆	1.0059	0.9217	0.9138	0.8932	0.8711	0.8569	0.8517	0.8441	0.8619	0.9126	0.8743	20
四川	1.0168	1.0008	0.9674	0.9587	0.9521	0.9505	1.0007	1.0025	1.0003	1.0366	0.9938	3
贵州	1.0283	1.0002	0.8536	0.8423	0.8890	0.9371	1.0155	1.0142	0.9356	1.1234	0.9833	5
云南	0.6645	0.6723	0.6889	0.7057	0.7148	0.7153	0.7289	0.7493	0.7884	1.0104	0.7907	28
西藏	1.0558	1.0320	1.0073	0.8560	0.8496	0.8185	1.1176	1.0480	1.0130	1.3080	1.0443	1
陕西	1.0155	1.0034	0.9185	0.9131	0.9354	0.9123	1.0119	0.9306	0.9507	1.0381	0.9648	10
甘肃	0.6729	0.6696	0.6964	0.7135	0.7160	0.7230	0.7553	0.7435	0.7658	0.7773	0.7449	31
青海	1.0089	0.8862	0.8882	0.9078	0.8726	0.8450	0.8957	0.8995	0.9383	1.2613	0.9690	7
宁夏	1.0169	1.0009	0.9422	0.8952	0.8761	0.8938	1.0082	0.9342	1.0394	1.0070	0.9668	8
新疆	0.7322	0.7177	0.7255	0.7189	0.6988	0.6981	0.7054	0.7095	0.8388	1.0143	0.7916	27
东部地区	0.7649	0.7912	0.8015	0.8169	0.8277	0.8657	0.9462	0.9062	0.9655	1.0550	0.9262	2
东北地区	0.8591	0.8547	0.8883	0.9167	0.9238	0.9572	1.0202	0.9464	0.9966	1.0260	0.9730	1
中部地区	0.7158	0.7370	0.7513	0.8147	0.8030	0.8120	0.9191	0.8943	0.9070	0.9787	0.8834	4
西部地区	0.8803	0.8625	0.8362	0.8228	0.8213	0.8181	0.9030	0.8644	0.8978	1.0308	0.8953	3
全国均值	0.8092	0.8144	0.8136	0.8284	0.8297	0.8457	0.9314	0.8916	0.9310	1.0281	0.9105	-

业净碳排放量却是4个地区中最高的,农业生态建设和低碳农业建设有待进一步加强。

从省际层面看,2010年仅有7个省市农业生态效率处于有效状态,仅占总数的22.58%;而2019年25个省市农业生态效率达到了有效状态,占总数的80.64%,是2010年农业生态效率为有效状态的省市数量的3.5倍,大部分省市农业净碳排放量呈现逐年下降趋势,尤其是2016年以后表现更为显著,说明我国农业生态建设效果显著。根据各省市农业生态综合效率值,将31个省市分为3类,每类分为两个梯队。具体来说,吉林、黑龙江、江苏、山东、天津、

上海、北京、河南、陕西、宁夏、青海、贵州、四川和西藏属于高效第一梯队(0.95以上);辽宁、福建、河北、江西和山西属于高效第二梯队(0.9~0.95);海南、广东、安徽、内蒙古和重庆属于中效第一梯队(0.85~0.9);浙江和湖南属于中效第二梯队(0.8~0.85);湖北、广西、云南和新疆属于低效第一梯队(0.75~0.8);甘肃属于低效第二梯队(0.7~0.75)。处于高效水平的省市地区分布均匀,且黑龙江、吉林、山东和河南等农业大省农业生态综合效率处于高效状态;中效省市主要集中在东部、中部和西部地区,其中安徽等部分农业大省农业生态效率处于中

效水平。低效省市主要集中在西部地区,且该区域内部农业生态效率两极分化严重,如表3所示。

表3 31个省市农业生态综合效率分布情况

地区	高效		中效		低效	
	第一梯队	第二梯队	第一梯队	第二梯队	第一梯队	第二梯队
东北地区	吉林、黑龙江	辽宁	—	—	—	—
东部地区	江苏、山东、天津、上海、北京	福建、河北	海南、广东	浙江	—	—
中部地区	河南	江西、山西	安徽	湖南	湖北	—
西部地区	陕西、宁夏、青海、贵州、四川、西藏	—	内蒙古、重庆	—	广西、云南、新疆	甘肃

(三) 影响因素分析

1. 影响因素指标体系构建

通过上述分析并借鉴以往学者研究成果^[16,23],本文从政策支持、宏观环境和农业发展3个维度,确定财政支农程度、农业环境规制、科技支持力度、工业化程度、农业自然环境、农业资源禀赋、农业机械密度、农业人力资本和农业生产能力9个指标分析农业生态效率影响因素,具体指标如表4所示。

表4 农业生态效率影响因素指标体系

影响因素类型	影响因素表征变量	变量定义	字母
政策支持	财政支农程度	农业财政支出比重	<i>fin</i>
	农业环境规制	单位产值的农业污染治理投资	<i>reg</i>
宏观环境	科技支持力度	科学技术财政支出	<i>tec</i>
	工业化程度	第二产业所占比重	<i>ind</i>
	农业自然环境	成灾率	<i>disa</i>
农业发展	农业资源禀赋	农作物总播种面积	<i>res1</i>
		耕地面积比重	<i>res2</i>
	农业机械密度	农业机械总动力/农作物播种面积	<i>mach</i>
	农业人力资本	农业技术人员占比	<i>hcap</i>
	农业生产能力	单位面积产值	<i>out</i>

2. 实证结果分析

由于目前尚无针对狭义农业的财政支出和农业污染治理投资统计,借鉴以往学者^[24]研究经验,本文将农业产值占地方生产总值比重作为农业财政支出和农业污染治理投资占各自点量的比重,从而获得农业财政支出和农业污染治理投资。此外,目前暂无农业技术人员统计数据,因此利用公有经济企事业单位专业技术人员中农业技术人员的比重衡量农业人力资本。运用Stata软件求解面板Tobit模型,如表5所示。

表5 农业生态效率影响因素

变量	回归系数	标准误差	Z 统计量	P 值
ln(<i>fin</i>)	-0.099***	0.037	-2.67	0.008
ln(<i>reg</i>)	0.048***	0.018	2.70	0.007
<i>tec</i>	0.001**	0.000	2.47	0.014
<i>ind</i>	-0.003***	0.001	-2.83	0.005
<i>disa</i>	-0.001***	0.000	-2.64	0.008
<i>res1</i>	0.002***	0.000	3.00	0.003
<i>mach</i>	-0.021***	0.004	-5.31	0.000
<i>hcap</i>	0.016***	0.006	2.76	0.006
ln(<i>out</i>)	0.109***	0.017	6.51	0.000

注:***、**、*分别表示1%、5%、10%水平的显著性。

由表5可知,除科技支持力度通过了5%水平显著性检验,其余均通过了1%水平显著性检验;且LR检验的p值为0.000,强烈拒绝原假设“ $H_0: \sigma_u = 0$ ”,即存在个体效应,选择随机效应面板Tobit模型分析农业生态效率影响因素更为恰当,各项指标对农业生态的影响具体如下。

政策支持方面,财政支农程度对农业生态效率有着负向影响。当前财政支农着重于农业生产要素类补贴,如:化肥、农药、农机等要素的财政补贴^[12]。该类要素投入不断增加,导致石油农业的快速发展,进而产生大量碳排放,农业生态破坏更加严重,从而抑制了农业生态效率提高;农业环境规制对农业生态效率具有正向效应。政府加大农业环境规制,提高了农业生产环境治理,同时增强了人们环保意识,一定程度上降低了农业碳排放和面源污染,提高了农业生态效率。

宏观环境方面,科技支持力度对农业生态效率有着正向影响。政府增加科技支持力度,为农业生产技术研发和创新提供了大量资金支持,促进农业生产技术现代化,推动传统农业绿色转型。工业化程度对农业生态效率有着负向影响。工业为农业发展提供了要素、技术等重要资源。但伴随着工业发

展,石油农业发展程度越来越高,农业产量虽然有所提升,但生产过程中伴随着大量碳排放,对生态产生不利影响,抑制了农业生态效率提高。

农业发展方面,农业生产环境对农业生态效率有着负向影响。农业是与自然环境结合最为紧密的产业,气候变化仍然是农业生产的重要影响因素,如果当地气候恶劣,农业期望产出就会降低,农业生态效率自然下降;农业资源禀赋对农业生态效率起正向作用,在其他条件不变的情况下,耕地资源投入增加,农业总产量随之提高。此外,耕地资源增加有利于促进农业集约化、规模化改革,减少资源浪费和碳排放,提高了农业生态效率。农业机械密度对农业生态效率有着负向影响,虽然农业机械化程度提高能够增进劳动力生产效率,但农业机械化程度的提高,化石能源使用量随之提高,意味着农业生产碳排放量增加,农业生态效率提高受阻;农业人力资本对农业生态效率有着正向影响,低素质农业生产者的农业经营方式多以粗放式、低效率为主,而高素质农业生产者接受了农业技术培训,了解生态农业的重要性,同时能够掌握低碳科学农业生产技术,保证在农业产值提高的同时减少碳排放等非期望产出,进而促进农业生态效率的提高;农业生产能力对农业生态效率起正向影响,农业产值是农业生产能力的直接体现,作为农业生态效率的期望产出之一,农业产值增加直接促进农业生态效率提升。此外,农业产值增加促进农民增收,进而提高生产要素投入,这为农业生态效率提高提供良好的基础。

表6 模型稳健性检验结果

变量	模型 1	模型 2
ln_fin	-0.099** (-2.67)	-0.093* (-2.48)
ln_reg	0.048** (2.70)	0.041* (2.30)
tec	0.001* (2.47)	0.001* (2.50)
ind	-0.003** (-2.83)	-0.004** (-3.29)
disa	-0.001** (-2.64)	-0.001** (-2.71)
res1	0.002** (3.00)	—
mach	-0.021*** (-5.31)	-0.021*** (-5.21)
hcap	0.016** (2.76)	0.014* (2.47)
ln_out	0.109*** (6.51)	0.107*** (6.37)
res2	—	0.024** (2.58)
_cons	0.496* (2.39)	0.493* (2.35)
sigma_u	0.101*** (6.52)	0.109*** (6.72)
sigma_e	0.064*** (23.18)	0.064*** (23.26)

注:***、**、* 分别表示 0.1%、1%、5% 水平的显著性。

3. 稳健性检验

为保证上述结果的可靠性,将农业资源禀赋变量从农作物总播种面积更换为当地耕地面积占全国耕地面积的比重,结果发现各项指标对农业生态效率的影响依旧显著,表明本文研究结果具有稳健性。

五、结论与建议

(一) 结论

第一,农业生态效率时空演变结果表明,2010—2019 年中国农业生态效率总体呈现平稳上升态势,空间上呈现东北地区农业生态效率最高、东部次之、西部较低、中部最低的分布格局。

第二,农业生态效率影响因素分析表明,财政支农程度、工业化程度、农业自然环境、农业机械密度对农业生态效率产生负向影响;农业环境规制、科技支持力度、农业资源禀赋、农业人力资本和农业生产能力对农业生态效率产生正向影响。

(二) 建议

1. 合理投入农业要素资源

目前我国农业仍是以石油农业为主,支农补贴主要以化肥、农药为主,导致化学要素投入过剩,造成碳排放量高、生态环境损害。因此,应合理安排农业生产要素投入,具体措施包括:降低化学要素使用量,提高农膜回收率,增加农业环保要素投入等,同时提高农业碳汇能力,降低农业生产净碳排放量。另外,应进一步强化环境规制力度,推动生态农业建设。

2. 加大农业科技研发和推广力度

运用综合信息技术、农作物生产改良技术等增加农业产出;运用农业农村减排固碳十大技术模式^[25],减少农业净碳排放量;加大节水灌溉、生物技术、农业废弃物回收利用等技术应用节约农业要素投入,促进农业生态效率提高。

3. 提高农业劳动力素质

应通过定期开展农业技能培训,加强现代农业技术学习与交流,培育一批有文化、懂技术、善经营、会管理的高素质农业生产人才,提高农业劳动力质量,促进农业绿色高质量发展。

参考文献

- [1] 史俊晖,戴小文.我国省域农业隐含碳排放及其驱动因素时空动态分析[J].中国农业资源与区划,2020,41(8):169-180.
- [2] SCHALTEGGER S, STURM A. Ökologische Rationalität: Ansatzpunkte zur Ausgestaltung von ökologieorientierten Management Instrumenten[J]. Die Unternehmung,1990(4):273-290.
- [3] SCHMIDHEINY S. Changing Course: A Global Business Perspective on Development and the Environment[J]. Cambridge,MA:MIT Press,1992:575.
- [4] 方永丽,曾小龙.中国省际农业生态效率评价及其改进路径分析[J].农业资源与环境学报,2021,38(1):135-142.
- [5] 潘丹,应瑞瑶.中国农业生态效率评价方法与实证——基于非期望产出的 SBM 模型分析[J].生态学报,2013,33(12):3837-3845.

- [6] 王宝义, 张卫国. 中国农业生态效率测度及时空差异研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(6): 11-19.
- [7] 洪名勇, 郑丽楠. 中国农业生态效率的区域差异及时空特征研究[J]. 统计与决策, 2020, 36(8): 56-61.
- [8] 廖佳佳, 赵耀, 陈甜倩, 等. 基于生态系统服务改进的中国各地农业生态效率研究[J]. 中国农业资源与区划, 2021, 42(7): 200-209.
- [9] 胡世霞, 向荣彪, 董俊, 等. 基于碳足迹视角的湖北省蔬菜生产可持续发展探讨[J]. 农业现代化研究, 2016, 37(3): 460-467.
- [10] 刘巽浩, 徐文修, 李增嘉, 等. 农田生态系统碳足迹法: 误区、改进与应用——兼析中国集约农作碳效率[J]. 中国农业资源与区划, 2013, 34(6): 1-11.
- [11] 杨小娟, 陈耀, 高瑞宏. 甘肃省农业环境效率及碳排放约束下农业全要素生产率测算研究[J]. 中国农业资源与区划, 2021, 42(8): 13-20.
- [12] 戴俊. 广西种植业结构效率分析——基于随机前沿分析(SFA)方法[J]. 中国农业资源与区划, 2016, 37(3): 11-16.
- [13] 王宝义, 张卫国. 中国农业生态效率的省际差异和影响因素——基于1996—2015年31个省市的面板数据分析[J]. 中国农村经济, 2018(1): 46-62.
- [14] 徐维祥, 郑金辉, 李露, 等. 中国农业生态效率的空间关联及其影响因素分解[J]. 统计与决策, 2021, 37(15): 62-65.
- [15] 郑丽楠, 洪名勇. 中国农业生态效率的时空特征及驱动因素[J]. 江西财经大学学报, 2019(5): 46-56.
- [16] 舒晓波, 冯维祥, 廖富强, 等. 长江中游城市群农业生态效率时空演变及驱动因子研究[J]. 水土保持研究, 2022, 29(1): 394-403.
- [17] 韩召迎, 孟亚利, 徐娇, 等. 区域农田生态系统碳足迹时空差异分析——以江苏省为案例[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(5): 1034-1041.
- [18] 吉雪强, 尚杰. 基于三阶段SBM模型的中国农业生态效率研究[J]. 中国农业资源与区划, 2021, 42(7): 210-217.
- [19] 李波, 张俊飏, 李海鹏. 中国农业碳排放时空特征及影响因素分解[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(8): 80-86.
- [20] TONE K. A Slacks-Based Measure of Efficiency in Data Envelopment Analysis[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 130(3): 498-509.
- [21] 高鸣, 宋洪远. 中国农业碳排放绩效的空间收敛与分异——基于Malmquist-luenberger指数与空间计量的实证分析[J]. 经济地理, 2015, 35(4): 142-148.
- [22] 卿青平, 王瑛. 省域生态环境质量动态评价及差异研究[J]. 中国环境科学, 2019, 39(2): 750-756.
- [23] 曹俊文, 曾康. 低碳视角下长江经济带农业生态效率及影响因素研究[J]. 生态经济, 2019, 35(8): 115-119.
- [24] 徐永慧, 尹朝静. 环境规制下中国农业绿色全要素生产率的测算[J]. 统计与决策, 2021, 37(18): 50-54.
- [25] 李丽颖. 农业农村减排固碳十大技术模式发布[J]. 湖南农业, 2022(3): 37.

[责任编辑 李瑞萍]

Agricultural Ecological Efficiency Measurement and Influencing Factors Analysis Under the Dual Carbon Targets

GUO Lijing¹, WANG Qianying¹, ZHAO Jin²

(1. School of Economics, Anhui University of Finance and Economics, Bengbu, Anhui 233030, China;

2. School of Management, Anhui University of Science and Technology, Bengbu, Anhui 233030, China)

Abstract: Agricultural ecological efficiency is an important manifestation of the coordinated development of agricultural economy and ecological environmental protection. This paper firstly introduces the agricultural carbon sink effect, and constructs a measurement index system of agricultural ecological efficiency; Secondly, based on the panel data of 31 provinces and cities in China from 2010 to 2019, the super-efficiency SBM improved by the entropy weight method is used to measure the agricultural ecological efficiency of each region. Then, this paper uses the panel Tobit model to explore the influencing factors of agricultural ecological efficiency. The results show that a steady upward trend has been shown in China's agricultural ecological efficiency from 2010 to 2019. In terms of spatial distribution pattern, the highest efficiency is in the northeast region, the second is in the east, the lower is in the west, and the lowest is in the middle. The degree of financial support to agriculture, the degree of industrialization, the agricultural natural environment, and the density of agricultural machinery have a negative impact on agricultural ecological efficiency; Agricultural environmental regulation, scientific and technological support, agricultural resource endowment, agricultural human capital and agricultural production capacity have a positive impact on agricultural ecological efficiency. Finally, some suggestions are put forward, such as rational investment in key agricultural resources, promoting the growth of agricultural production, intensifying the R&D and promotion of agricultural science and technology, and improving the quality of agricultural labor force.

Key Words: agricultural ecological efficiency; carbon emission; carbon sink measurement; dual carbon target