

【农业经济】

中国区域农业生产用能、农业经济增长及 农业能源碳排放关系研究

——基于绿色全要素生产率视角

胡莉莉 孙晓娟* 刘凤楠

(兰州财经大学 经济学院/统计与数据科学学院, 兰州 730020)

摘 要:采用超效率 SBM-GML 模型对 1990—2020 年中国 31 个省份的农业绿色全要素生产率及其变化指数进行测算,通过农业产值增长率和绿色全要素生产率效率值将不同省份划分成四个区域,运用面板固定效应模型探究农业生产用能对农业经济增长的影响和区域异质性,应用面板门槛模型对农业经济增长与农业能源碳排放的关系进行分析。研究表明:(1)1990—2020 年中国的绿色全要素生产率呈现缓慢上升趋势,其中技术进步是主要推动力,而技术效率指数增速为负。(2)全国及各区域农业生产用能与农业产出的相关系数均为正值,即生产用能的投入能够明显增加农业产出,但是产出增加的实现程度存在区域异质性。(3)我国农业经济增长和农业能源碳排放之间存在单一门槛效应,在门槛值前,二者正向关系较强;跨过门槛值后,二者正向关系减弱,呈现协调发展态势。据此,提出积极鼓励农业技术进步、全面提高农业技术效率、因地制宜优化农业生产用能结构、差异化选择农业绿色发展道路等政策建议。

关键词:绿色全要素生产率;农业生产用能;农业经济增长;农业能源碳排放

中图分类号:F323.21 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-7465(2024)03-0174-13

一、引言

农业是国民经济的基础,对维护国家安全、社会稳定有着重要的支撑保障作用。随着机械、化肥、农药、薄膜等现代农业生产用能的投入,其对农业生产增产作用愈发明显。现代农业以较高的投入、产出和效益,推动了人类社会经济的可持续发展。然而,长期现代生产用能的投入,也给生态环境带来一系列问题。中国作为一个农业大国,农业活动造成的碳排放量占总排放量的 17%,并以每年 5% 的速度增长^[1]。提高农业生产用能等要素利用效率,推进农业能源碳减排,对于实现农业绿色高质量发展,助力国家实现“双碳”目标,意义重大。

为了实现农业经济可持续发展,一方面可以通过优化生产环境,提高要素产出效率。关于农业投入产出效率核算,常见的是全要素生产率^[2],而随着环境问题日益受到重视,将生产环境影响考虑在内的农业绿色全要素生产率越来越多地被用于农业生产效率测算^[3]。当前关于农业绿色全要素生产率的研究较为丰富,在测算方法上采用较多的是 DEA 数据包络

收稿日期:2023-10-14

基金项目:甘肃省科技厅软科学专项项目“甘肃省现代农业生产用能的经济及环境效应研究”(20CX4ZA069)

作者简介:胡莉莉,女,兰州财经大学经济学院副教授,硕士生导师;孙晓娟(通信作者),女,兰州财经大学统计与数据科学学院教授,硕士生导师。

分析法^[4],将静态的效率测算模型与动态的ML指数相结合,进一步分析农业绿色全要素生产率的时空变化规律。研究发现中国农业绿色全要素生产率呈微幅波动上升趋势,区域差异明显^[5],而通过农业绿色全要素生产率的空间分异程度及来源的考察,发现中国农业绿色全要素生产率呈现先扩大后缩小的空间分异特征^[6]。在农业绿色全要素生产率影响因素方面,研究表明农业科技创新显著促进了农业绿色全要素生产率的提升^[7],而其辐射作用阻碍了周边省份农业绿色全要素生产率的提高,环境规制对农业绿色全要素生产率的提升具有非线性效应^[8]。

另一方面,在既定的生产环境下,通过优化要素投入来提高要素产出效率^[9]。在研究农业要素投入方面,除了对具体投入要素的研究,部分学者从能量转换角度出发,将各类要素折算成统一生产用能,并在此基础上研究生产用能投入的结构、时空变化以及与农业产出之间的关系。刘巽浩^[10]最早将农业生产投入统一折算为热量单位,为农业投入产出相关研究提供新思路,李连禄等^[11]、闻大中^[12]则完善和补充了折能体系。从用能结构来看,直接能源仍是我国农业生产的主要能源,间接能源消费的增速普遍较低而可再生能源的增速较高^[13];从时空分布来看,中国农业生产用能不断增加,省际差异不断扩大^[14],区域农业生产用能和农业产出增长存在格兰杰因果关系,并且地区发达程度越低,关系越明显^[15]。

现代农业经济在实现高增长的同时往往伴随着高碳排放。围绕农业碳排放,学者主要从测算方法、时空变化、碳排放与农业经济增长关系等方面展开研究。测算方法主要是联合国政府间气候变化专门委员会(简称IPCC)提供的系数法^[16],也有学者根据中国具体情况对碳排放折算系数和碳源进行调整^[17]。通过分析农业碳排放的时空变化,发现早期中国农业碳排放量总体呈波动上升趋势,区域差异较大^[18]。近些年随着绿色发展理念的提出,农业碳排放总量呈波动下降趋势,农业碳排放强度也呈持续下降态势^[19]。在碳排放与经济增长关系上,有学者分析认为,我国农业经济增长与碳排放总量之间存在倒“U”型关系,是典型的库兹涅茨曲线^[20],并对拐点进行预测;还有学者对中国农业碳排放和农业经济增长的脱钩关系进行研究,发现考察期内以弱脱钩关系为主,有向强脱钩转变的趋势^[21]。

关于农业生产用能投入、农业经济增长与农业碳排放方面的研究虽较多,但大多是针对某个国家或地区,两者或三者之间互动关系的宏观研究。对于现代农业快速发展阶段的空间差异、生产用能效率变化对农业产出及相应的环境影响研究比较欠缺,尤其是缺少分区对比分析。中国地域辽阔,地形复杂多样,不同地区农业发展特点不同,发展水平不均衡。农业生产用能在带来农业经济增长的同时,会产生大量碳排放,那么持续的农业生产用能投入是否会带来持续的农业产出增长?不同地区农业经济增长与农业能源碳排放之间存在怎样的变动关系?如何实现不同区域的农业绿色高质量发展?本文尝试弥补现有研究的不足,首先,采用超效率SBM-GML模型对1990—2020年中国31个省份的农业绿色全要素生产率及其变化指数进行测算,通过农业产值增长率和绿色全要素生产率效率值将研究省份划分成4个区域;其次,构建面板固定效应模型对全国及各区域在考察期内农业生产用能对农业产出的作用关系进行实证分析;再次,运用面板门槛模型对农业经济增长与农业能源碳排放的关系进行深入分析;最后,基于研究结论提出针对性策略。

二、理论基础与研究假说

(一) 农业生产用能与农业经济增长

随着科学技术的进步,现代农业生产用能对农业经济发展的作用愈发明显。进入新时

期,农业生产用能以多样化、精细化、规模化等多种方式,在现代农业经济发展中扮演重要角色,农业生产用能的使用促进产出增加并产生规模效应。在短期生产中,前期随着农业生产用能等生产要素数量的连续增加且逐步接近最佳投入数量组合,其边际产量递增,农业产出增长加快^[22];后期随着农业生产用能投入量的继续增加且越来越偏离最佳投入数量组合,其边际产量递减,农业产出增长受到边际报酬递减规律的作用,速率放缓。即农业生产用能对农业经济增长的作用存在峰值,当达到峰值之后,前者对后者的作用减弱。在长期生产中,在农业生产扩张的开始阶段,生产规模的扩大使农业经济持续增长,即规模经济;后期随着生产用能等生产要素规模的继续扩大,农业经济效益出现下降趋势,即规模不经济。因此,合理配置农业生产用能投入,以取得最佳的农业经济增长效益,是实现现代农业绿色高质量发展的重要途径。

我国耕地面积辽阔,地形复杂多样,分布细碎不均。不同地区的自然资源禀赋、经济发展水平、城市化水平等存在差异。这些因素一定程度上会影响农业生产用能效率,因此农业经济产出增长效应具有区域异质性。据此提出假设:

H1:农业生产用能对农业经济增长存在正相关关系。

H2:农业生产用能对农业经济增长存在区域异质性。

(二) 农业经济增长与农业能源碳排放

农业生产用能的产生和使用不仅对农业经济产生影响,而且对环境具有负外部性,包括产生农业能源碳排放等,其中农业能源碳排放量受到经营理念、生产模式、资源利用能力、生产技术水平等多方面因素影响。面对全球气候变化日益突出的形势,农业生产活动所造成的碳排放对气候的影响不容忽视。农业经济发展水平引起农业生产效率发生变化,从而导致农业碳排放的变化。农业发展初期,随着用能投入增加,农业经济产出的增加是以牺牲环境为代价的,产生高碳排放;农业发展后期,随着技术等不断优化升级,农业碳排放会减少。因此在绿色可持续发展理念的深入推进下,实现农业高质量发展,分析中国各地区的农业经济增长与农业能源碳排放的协调程度,对于发展低碳农业、生态农业、循环农业、智慧农业等新的农业生产模式具有重要意义。据此提出假设:

H3:农业经济增长与农业能源碳排放存在非线性关系。

三、研究方法与变量说明

(一) 研究方法

1. 农业绿色全要素生产率计算方法

DEA 是目前农业绿色全要素生产率的测算方法,本文采用包含非期望产出超效率 SBM-GML 模型进行效率测算,参考 Tone^[23]的研究,假定第 k 个决策单元的投入向量 $X = [x_1, x_2, \dots, x_{1n}]$,期望产出向量 $Y^g = [y_1^g, y_2^g, \dots, y_n^g]$,非期望产出向量 $Y^b = [y_1^b, y_2^b, \dots, y_n^b]$,模型构建如下:

$$\begin{aligned} \min \theta = & \frac{1 + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{ik}}}{1 - \frac{1}{q_1 + q_2} \left(\sum_{r=1}^{q_1} \frac{s_r^g}{y_{rk}^g} + \sum_{t=1}^{q_2} \frac{s_t^b}{y_{tk}^b} \right)} \\ \text{s.t. } & \sum_{j=1, j \neq k}^n x_{ij} \lambda_j - s_i^- \leq x_{ik} \end{aligned} \tag{1}$$

$$\sum_{j=1, j \neq k}^n y_{rj} \lambda_j + s_r^g \geq y_{rk}^g$$
$$\sum_{j=1, j \neq k}^n y_{tj} \lambda_j - s_t^b \leq y_{tk}^b$$
$$\sum_{j=1, j \neq k}^n \lambda_j = 1$$
$$\lambda, s^g, s^b, s^- \geq 0$$

其中, λ 为权重向量; s^g 、 s^b 、 s^- 为松弛变量; θ 为第 k 个决策单元的绿色全要素效率值, 大于 1。

为动态考察绿色全要素生产率的变化情况, 参考 Oh^[24] 的研究, 构建 Global-Malmquist-Luenberger (GML) 指数模型如下:

$$GML(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; x^t, y^t, b^t) = GEC^{t, t+1} \times GTC^{t, t+1} \tag{2}$$

$GML > 1$ 表明该地区的农业绿色全要素生产率上升, $GML < 1$ 表明该地区农业绿色全要素生产率下降; $GEC > 1$ 表明技术效率改善, $GEC < 1$ 表明技术效率恶化; $GTC > 1$ 表明技术进步, $GTC < 1$ 表明技术退步。

本文选择化肥、农药、农膜、机械、燃油、电力、灌溉、劳动力、畜力、总播种面积作为投入指标, 期望产出用农业总产值表示, 非期望产出用农业碳排放表示。

2. 农业能源碳排放计算方法

关于农业碳排放量的测算, 采用较多的是系数法, 即用碳源的使用量与其相应的碳排放转换系数相乘, 公式如下:

$$C = \sum X_i \beta_i, i = 1, 2, \dots, n \tag{3}$$

其中 C 代表碳排放总量, X_i 、 β_i 分别代表碳源物资使用量以及相应的碳排放转化系数。参考已有研究^[21], 结合 IPCC 的报告, 碳排放测算指标及转换系数见表 1。

表 1 碳排放测算指标及转换系数

碳源		指标	转换系数	参考来源
化肥	化肥折纯		0.8956kgC/kg	美国橡树岭国家实验室
			4.9341kgC/kg	美国橡树岭国家实验室
			5.1800kgC/kg	赵荣钦等 ^[25]
机械	机械		0.18kgC/kw	南京农业大学农业资源与生态环境研究所
灌溉	有效灌溉面积		266.4800kgC/hm ²	段华平等 ^[26]
翻耕	总播种面积		16.4700kgC/hm ²	伍芬琳等 ^[27]
燃油	柴油		0.5927kgC/kg	IPCC
电力	农业用电		0.2179kg/kwh	史常亮等 ^[28]
畜力	牛	肠道发酵	395.56kgC/head.year	陈柔等 ^[29]
		粪便管理	24.5kgC/head.year	
	马	肠道发酵	122.76kgC/head.year	
		粪便管理	11.18kgC/head.year	
	驴/骡	肠道发酵	68.2kgC/head.year	
		粪便管理	6.14kgC/head.year	

3. 农业生产用能计算方法

参考已有研究^[30], 将农业生产活动中的各类用能投入统一折算为能源形式, 公式如下:

$$E = \sum x_i \rho_i, i = 1, 2, \dots, n \tag{4}$$

其中, E 表示农业生产用能, x_i 表示第 i 种投入品的实物数量, ρ_i 为能量转换系数。

4. 面板数据模型

采用面板数据模型研究农业生产用能投入与产出的关系, 根据 F 统计量和 Hausman 检验, 选择固定效应模型, 模型构建如下:

$$\ln Y_{it} = \alpha_i + \gamma_i \ln E + \delta_i \ln Ctl + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

其中, $i = 1, 2, \dots, 31; t = 1, 2, \dots, 31; \ln Y$ 是农业产值的对数值; $\ln E$ 是农业生产用能的对数值; α_i, γ_i 分别表示第 i 个个体的截距项与农业生产用能对农业产值的影响系数; $\ln Ctl$ 是控制变量组, 选择 Eco 经济发展水平(用人均 GDP 表示)、 Str 产业结构(用第二、第三产业增加值占总增加值比重表示)、 Cit 城市化水平(用城镇户籍人口占总人口比重表示); ε_{it} 为随机扰动项。

本文借助面板门槛模型研究农业能源碳排放存在门槛情况下对农业经济增长的影响, 模型构建如下:

$$Y_{it} = \sigma_0 + \sigma_1 C_{it} I(C \leq \gamma) + \sigma_2 C_{it} I(C > \gamma) + \sigma_3 Ctl + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

(二) 变量说明与数据来源

农业有广义和狭义之分, 前者是指农林牧副渔业, 后者主要是指种植业, 本文研究对象为后者。农业生产用能包含有机能和无机能, 前者包括劳动力、畜力及粪便等, 后者包括农药、农膜、化肥、农机与柴油等。劳动力数量以农业总产值占农林牧渔业总产值的比重为权重, 从第一产业从业人数中分离出来^[31]。农业碳排放是指农业生产过程中全部要素投入所产生的二氧化碳排放量, 而本文农业能源碳排放仅考虑因使用生产用能所产生的二氧化碳排放量。变量数据来自 1990—2020 年中国 31 个省区市(不含港澳台)的统计年鉴以及《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》等, 部分数据来自 EPS 数据库。为了消除价格波动的影响, 将农业产值以 1990 年为基期进行平减处理, 个别缺失数据使用 Stata16 软件进行插值法处理。

四、实证分析

(一) 农业绿色全要素生产率分析

1990—2020 年, 全国年均 GTFP 指数为 1.0073, 年均 GEC 指数为 0.9797, 年均 GTC 指数为 1.0281, 表明考察期内中国农业绿色全要素生产率是上升的, 但这种上升主要依靠技术进步, 技术效率呈恶化趋势。具体来看, 年均 GTFP 指数大于 1 的省份共有 19 个, 年均 GTC 指数大于 1 的省份共有 28 个, 年均 GEC 指数大于 1 的省份共有 6 个。这表明, 大部分省区市的农业生产中绿色全要素生产率的提高主要依靠技术进步。从空间分布来看, 农业绿色全要素生产率较高的省区市主要集中在东部、中部地区, 其指数总体要高于西部地区。

全国及各地区的绿色全要素生产率(简称 GTFP)及其分解项年均变化情况见表 2。

农业 GTFP 指标是对农业生产活动中的经济产出与碳排放进行的综合评价, 但为进一步分析生产用能对农业经济增长的驱动情况、农业经济增长引起的碳排放变化等, 本文将考察期内各省份单位土地产出增长率和 GTFP 效率值进行几何平均, 分别取其均值的中位数为标准: 将年均单位土地产出增长率大于等于中位数的定义为高增速地区, 反之为低增速地区; 将年均效率值大于等于中位数的定义为高效率地区, 反之为低效率地区。将研究省区市划分成 4 个区域, 分别是区域 1(高增速、高效率)、区域 2(高增速、低效率)、区域 3(低增速、高效率)以及区域 4(低增速、低效率), 详见图 1。

表 2 中国各省区市 GTFP 指数及其分解项年均变化情况

地区	GTFP 指数	GEC 指数	GTC 指数	地区	GTFP 指数	GEC 指数	GTC 指数
北京	0.9991	1.0345	0.9657	湖北	1.0061	0.9720	1.0351
天津	1.0018	1.0060	0.9958	湖南	1.0031	0.9722	1.0318
河北	1.0636	1.0477	1.0152	广东	1.0137	0.9700	1.0451
山西	0.9989	0.9691	1.0307	广西	1.0129	0.9741	1.0398
内蒙古	0.9878	0.9542	1.0352	海南	0.9785	0.9337	1.0480
辽宁	1.0098	0.9625	1.0491	重庆	0.9770	0.9627	1.0148
吉林	0.9851	0.9480	1.0391	四川	1.0182	0.9760	1.0432
黑龙江	1.0229	0.9959	1.0271	贵州	1.0142	0.9918	1.0226
上海	1.0001	0.9914	1.0087	云南	1.0046	0.9716	1.0340
江苏	1.0487	0.9961	1.0528	西藏	0.9796	0.9615	1.0188
浙江	1.0474	1.0015	1.0458	陕西	1.0276	0.9912	1.0367
安徽	0.9948	0.9653	1.0306	甘肃	0.9969	0.9725	1.0250
福建	1.0344	1.0010	1.0333	青海	1.0122	1.0249	0.9877
江西	0.9955	0.9620	1.0348	宁夏	0.9832	0.9809	1.0024
山东	1.0207	0.9626	1.0603	新疆	0.9836	0.9606	1.0239
河南	1.0108	0.9674	1.0448	全国	1.0073	0.9797	1.0281

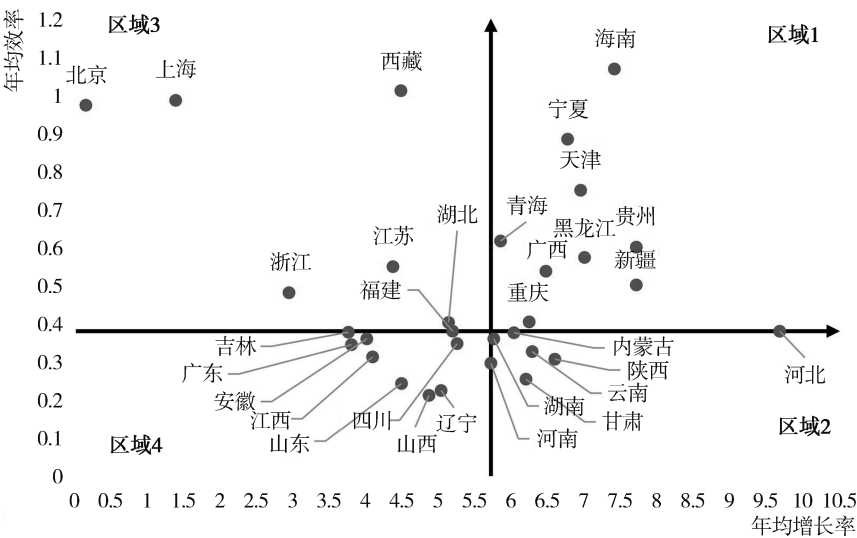


图 1 区域划分情况

从图 1 可以看出,区域 1 包含的如黑龙江、新疆等,约占我国国土面积的 1/3。这些地区农业技术发达、机械化水平高,单位面积土地的产出要高于其他地区。新疆拥有得天独厚的地理位置和气候条件,是我国最大的产棉区;黑龙江土地资源丰富,机械化水平较高,研究期内农业产出总量在全国排名前十并且总播种面积较大,其单位土地产出水平相对较高,随着生产模式的调整,碳排放也有所改善。区域 2 包含以传统农业为主的省份如河南、云南、甘肃等,增长率较高,但农业资源配置不够合理,大量的用能投入产生较多的碳排放。区域 3 所包含的省份如浙江、江苏等东部发达地区,由于自然条件限制,农业生产规模较小,用能投入和农业产出都处于较低水平,但现代农业在一定程度上提高了这些地区的技术利用效率;而西藏得益于近些年“粮经作物”种植比例的调整,呈现效率较高态势。区域 4 所包含的省份中,

山东土地平坦,便于农业规模化种植,但种植结构以粮食作物为主,价值实现不充分的同时也产生大量碳排放,导致产出和农业 GTFP 都不高。吉林长期以来农业生产模式传统,单位土地产出水平低,农业 GTFP 长期处于较低水平。辽宁地形平坦,土地面积相对广阔,机械化水平高,单位土地产出水平高,但传统的农业生产模式导致农业 GTFP 长期处于较低水平。东北三省虽然农业产值较高,但近十年辽宁和吉林的产值已经达到平台期,所以年均产值增速低于全国平均水平。

(二)农业生产用能与农业经济增长分析

在一定的农业生产环境下,农业产出的增长依靠用能投入的增加,而持续的农业生产用能投入是否能够持续带动农业产出的增长,与区域能源利用效率及所处生产阶段密切相关。为进一步了解各区域农业生产用能对农业产出作用的异质性,运用面板固定效应模型对 1990—2020 年全国、各区域单位土地的农业产出与农业生产用能投入进行回归分析,面板回归相关结果见表 3 至表 7。

表 3 的 1 到 4 列分别是不加控制变量和依次加入各控制变量的回归结果(下同)。从全国层面看,1990—2020 年中国农业生产用能对农业产出的影响系数为 0.761,而将其他影响因素分离之后系数为 0.122,表明用能投入对产出的带动作用较小。中国农业生产经历了从“内卷化”增长到“去内卷化”增长^[32],依靠要素的大量投入,在生产要素禀赋、生态环境和技术环境的作用下改变农业的生产模式,呈现生产边际报酬递减规律以及农业产出依靠全要素生产率驱动现象。

表 3 全国农业生产用能与农业产值相关系数回归结果

变量	1	2	3	4
农业生产用能	0.761***[0.0313]	0.127***[0.0200]	0.133***[0.0197]	0.122***[0.0203]
经济发展水平		0.349***[0.0067]	0.386***[0.0094]	0.374***[0.0106]
产业结构			-0.278***[0.0504]	-0.275***[0.0503]
城镇化水平				0.0664*[0.0284]
常数项	-6.583***[0.5437]	1.122***[0.3128]	1.672***[0.3238]	1.720***[0.3237]
R ²	0.3691	0.8381	0.8431	0.8439

注:***、**、* 分别表示在 1%、5%、10%水平上显著;括号内代表标准误。下表同。

由表 4 可知,区域 1 的基准回归系数为 1.710,即 1%的生产用能投入所带来的产出回报率为 1.710%,高于全国平均水平,表明这一区域的农业生产活动处于边际报酬递增阶段或规模经济阶段,要素的大规模投入可以带来产出的较多增长。随着控制变量的加入,用能对农业产出的影响系数减小到 0.260。经济发展水平和城镇化水平对农业产出的影响均为正向,且在 1%水平上显著。重庆、广西以及宁夏等地因大力推广农业机械化、农业经营规模化以及农业水利基础设施建设等农业处于高回报率阶段。而黑龙江作为我国重要的粮食生产基地之一,其粮食种植面积占总播种面积的 97%,可以最大化发挥规模化生产实现规模经济。海南因其温暖湿润的气候条件、多样的生态系统以及政策的大力扶持而展现较大的农业生产潜力。新疆是我国最主要的棉花产地之一,2020 年其农业总播种面积为 6280 千公顷,经济作物种植占比较大,其相对充足的土地资源禀赋、较高的机械化水平以及农业产业内的结构优化使其保持相对较高的回报率。

表 4 区域 1 农业生产用能与农业产值相关系数回归结果

变量	1	2	3	4
农业生产用能	1.710***[0.1125]	0.368***[0.0634]	0.349***[0.0642]	0.260***[0.0662]
经济发展水平		0.379***[0.0112]	0.397***[0.0157]	0.383***[0.0156]
产业结构			-0.13[0.0791]	-0.131[0.0769]
城镇化水平				0.169***[0.0414]
常数项	-22.82***[1.9339]	-3.305**[1.0267]	-2.675***[1.0926]	-1.648[1.0917]
R ²	0.4441	0.8933	0.8940	0.8998

由表 5 可知,区域 2 的基准回归系数为 2.673,即生产用能投入每变动 1%,引起产出变动 2.673%,高于全国水平,表明该地区处于边际报酬递增阶段,继续加大要素投入可以使产出大幅度增长。随着控制变量的逐渐加入,生产用能对农业产出的作用减小(系数为 1.262)。具体来看,河北、陕西的土地、劳动力等资源丰富、农业水利基础设施完善,适合大规模机械化生产。根据国家统计局数据^①,2020 年河北农作物播种面积为 6388.8 千公顷,有效灌溉面积占比超过 55%,该区域的省份如河南、湖南等都是我国重要的粮食生产基地,富饶的土地资源与高机械化水平有利于农业规模化经营。甘肃深居内陆,降水偏少,地形复杂,平原面积较少,但由于处在农业现代化生产初期,近些年不断完善的农业技术水平与先进的农业经营理念的引入,其农业生产回报率较高。

表 5 区域 2 农业生产用能与农业产值相关系数回归结果

变量	1	2	3	4
农业生产用能	2.673***[0.1027]	1.297***[0.1120]	1.331***[0.1158]	1.262***[0.1187]
经济发展水平		0.245***[0.0156]	0.224***[0.0245]	0.194***[0.0275]
产业结构			0.123[0.1074]	0.0998[0.1068]
城镇化水平				0.171*[0.0755]
常数项	-39.09***[1.7499]	-17.93***[1.7962]	-18.75***[1.9327]	-17.83[1.9560]
R ²	0.7562	0.8878	0.8880	0.8902

由表 6 可知,区域 3 的生产用能系数为 0.502,即 1%的生产用能投入所带来的产出为 0.502%,低于全国平均水平,表明仅依靠要素投入驱动该区域农业产出增加难以持续,这与区域内整体的产业结构、经济模式以及城镇化水平等因素有关。从控制变量对农业产出的影响也可以看出,经济发展水平和城镇化水平对农业产值具有显著影响。区域 3 内的省区市如北京、上海、江苏、福建、浙江、湖北等,经济发展水平较高,农业产业占比低以及较高的城镇化水平对农用土地资源的挤占,影响农业生产规模化生产。根据国家统计局数据^②,2020 年北京城镇化率为 87.55%、总播种面积 98.2 千公顷;上海城镇化率为 89.3%、农业总播种面积 255.2 千公顷。较高的城市化水平对农业生产活动既有正向促进作用,也有负向阻碍作用。一方面,较高的城市化水平会减少农业用地规模,从而阻碍农业生产实现规模经济;另一方面,城市化水平意味着更高的技术水平、更高水平的人力资本以及更先进的经营理念与管理方式,这些都会促进区域内农业绿色全要素生产率的提高,带来产出的大幅度增长。西藏位于高寒地区,农业生产条件相对较差,因而系数较低。

① 数据来源:中华人民共和国国家统计局《中国统计年鉴 2021》,北京:中国统计出版社。
② 数据来源:中华人民共和国国家统计局《中国统计年鉴 2021》,北京:中国统计出版社。

表 6 区域 3 农业生产用能与农业产值相关系数回归结果

变量	1	2	3	4
农业生产用能	0.502 *** [0.0294]	0.106 *** [0.0269]	0.125 *** [0.0307]	0.180 *** [0.0299]
经济发展水平		0.324 *** [0.0167]	0.346 *** [0.0237]	0.387 *** [0.0229]
产业结构			-0.213 [0.1659]	-0.200 [0.1535]
城镇化水平				-0.299 *** [0.0500]
常数项	-2.121 *** [0.5340]	1.846 *** [0.3794]	2.093 *** [0.4247]	1.787 *** [0.3962]
R ²	0.5690	0.8458	0.8462	0.8684

由表 7 可知,区域 4 的基准系数为 0.992,即生产用能投入每变动 1%,将会引起产出变动 0.992%,略高于全国水平,表明该地区处于边际报酬递增末期,继续加大要素投入难以使产出大幅度增长。随着控制变量的增加,生产用能对农业产出的作用系数缩小至 0.241,基准回归夸大了生产用能对产出的作用。经济发展水平和城镇化水平对农业产出具有显著的正向促进作用,这是因为控制变量会影响地区的农业生产投入以及农产品的市场需求。比如安徽、山西等都是我国重要的粮食生产基地,农业生产有很大的优势,丰富的土地资源与日益提高的机械化水平促进了农业规模化经营。广东靠近东部沿海,经济发展水平较高,其农业发展面临的问题与东部其他省份相似,即进入边际要素投入回报率递减阶段。四川是典型的丘陵地区,地势复杂,具有西高东低的特点,但是劳动力短缺、自然环境问题导致农业产出增加进程放缓。山东的土地、劳动力等资源丰富、农业水利基础设施完善,适合大规模机械化生产。吉林和辽宁作为我国传统的粮食生产基地,农业生产优势突出,随着农业技术的不断进步加快了农业的现代化进程,促进了农业产出的增加。

表 7 区域 4 农业生产用能与农业产值相关系数回归结果

变量	1	2	3	4
农业生产用能	0.992 *** [0.0650]	0.233 *** [0.0529]	0.213 *** [0.0522]	0.241 *** [0.0492]
经济发展水平		0.263 *** [0.0126]	0.304 *** [0.0176]	0.222 *** [0.0217]
产业结构			-0.248 ** [0.1659]	-0.190 ** [0.0720]
城镇化水平				0.308 *** [0.0529]
常数项	-10.51 *** [1.1172]	0.0426 [0.8328]	0.887 [0.8566]	-0.169 [0.8230]
R ²	0.4772	0.8155	0.8227	0.8443

(三) 农业经济增长与农业能源碳排放门槛分析

农业生产用能投入在带来农业经济增长的同时,还会产生相应的农业能源碳排放,对环境产生负面效应,进而影响农业的绿色高质量发展。因此,采用面板门槛模型研究农业经济增长与农业能源碳排放的非线性关系,探究全国及各区域农业经济增长和环境的协调发展状况。全国及各区域的门槛回归结果见表 8。

1990—2020 年我国农业经济增长和农业能源碳排放之间存在非线性关系,总体而言,我国农业经济增长与农业能源碳排放日益协调。由表 9 可知,门槛值为 2056.830,小于门槛值的系数为 0.915,大于门槛值的系数为 0.039。农业能源碳排放的平均值为 1335.13,说明全国平均水平超过门槛值。具体而言,在第一门槛区间内,农业经济增长对农业能源碳排放存在显著正向影响。较大的出口需求使得农业生产活动强度增加,农业生产用能的大量使用在增加产出的同时也产生了碳排放,对环境产生了很大的负面影响。特别是 1998 年特大洪水灾害给农业生产带来了冲击,导致农业减产。当跨过门槛值后,农业经济增长对农业能源碳排放正向影响减弱。由于宏观政策环境的变化影响,例如“双碳”战略目标和“两山理论”的

提出,使得农业产出增加的速度要快于农业能源碳排放增加的速度。2017 年之后,化肥农药的减量增效、绿色农业技术的发展等一系列环保举措,使得我国在促进传统农业向现代农业转型和发展绿色低碳农业方面取得一定成效。综上,当农业能源碳排放达到一定水平时,农业经济增长和农业能源碳排放呈现由不协调向日益协调转变的良好态势。

分区域看,区域 1 门槛值为 1452.630,小于门槛值的系数为-0.292,大于门槛值的系数为 0.223,表明区域 1 的碳排放存在拐点。拐点前这些省份的农业发展处于大规模投入用能且效率较高的阶段,随着经济增长,碳排放呈下降趋势;拐点后伴随着经济转型的深入、产业结构的调整和用能需求的增加,碳排放反而出现增长趋势。区域 2 门槛值为 865.573,小于门槛值的系数为-0.904,大于门槛值的系数为-0.435,农业经济增长与农业能源碳排放之间存在负向关系。这些省份虽以传统农业为主,但由于大力倡导绿色农业发展理念、推行绿色农业技术等,农业经济增长和农业能源碳排放之间呈现协调发展态势。区域 3 门槛值为 2056.830,小于门槛值的系数为 1.465,大于门槛值的系数为 0.066,整体与全国水平保持一致。门槛值之前,该区域内的东部沿海省份,其经济发展水平较快,农业生产用能投入较大,产生较多的能源碳排放。跨过门槛值之后,为积极响应农业绿色低碳发展理念,各省份都进行了农业生产模式和结构的调整,生产用能的科学使用使农业能源碳排放的增速放缓。区域 4 门槛值为 901.551,小于门槛值的系数为 0.537,大于门槛值的系数为 0.606,与其他地区存在差异,门槛值后的系数更大。该区域的省份多为农业大省,农业生产机械化水平较高,但清洁能源技术并不发达,用能结构中柴油、电力占比相对较大,产出对用能依赖度高,绿色生产尚处于探索阶段。

表 8 全国及各区域农业产值与农业能源碳排放门槛回归结果

区域	全国	区域 1	区域 2	区域 3	区域 4
门槛值	2056.830	1452.630	865.573	2056.830	901.551
≤门槛值	0.915[0.0690]	-0.292[0.1167]	-0.904[0.3660]	1.465[0.0741]	0.537[0.1083]
>门槛值	0.039[0.0484]	0.223[0.0902]	-0.435[0.2825]	0.066[0.0346]	0.606[0.0862]
经济发展水平	0.013***[0.0008]	0.263***[0.0014]	0.263***[0.0126]	0.304***[0.0176]	0.222***[0.0217]
产业结构	-0.857***[2.0994]	-5.528***[3.3763]	0.263***[0.0126]	0.263[0.1659]	0.263***[0.0720]
城市化水平	2.305***[1.0816]	-0.805***[1.7916]	0.263***[0.0126]	0.263[0.0126]	0.308***[0.0529]
常数项	-222.437***[93.5862]	720.495***[185.4528]	0.263***[0.8328]	0.263***[0.8566]	0.263[0.8230]
R ²	0.6886	0.8035	0.5936	0.9047	0.8369

五、结论与建议

(一) 主要结论

1990—2020 年中国农业绿色全要素生产率总体呈上升趋势,主要拉动力在于技术进步,技术效率产生了一定的阻碍作用。具体到各个省区市,效率增长较快的主要集中在中东部区域,如河北、浙江、江苏等;西部地区效率值增速普遍较慢,如西藏、甘肃、宁夏等。大部分省区市的效率增长主要依靠技术进步,技术效率存在一定程度上的恶化。

通过农业产值增长率和绿色全要素生产率效率值对研究省份进行划分,区域 1 的省区市如天津、黑龙江、新疆等地区农业技术水平高,平均产出水平高。区域 2 的省区市如河北、内蒙古、河南等地区农业技术相对发达,但利用率相对较低,大量的用能投入产生了较多的碳排放。区域 3 的省区市如北京、上海等东南沿海地区农业生产规模较小,产出水平低,但技术利用率高。区域 4 的省区市如安徽、山东、广东等中部省份粮食种植占比大,平均产出水平和农

业绿色全要素生产率都不高。

通过对农业用能与农业产出进行面板固定效应回归模型分析,各个区域农业生产用能与农业产出的相关系数均为正值,即生产用能的投入能够明显的增加农业产出,但是不同地区产出增加的实现程度不同。全国层面上看,用能的投入对农业产出的带动作用在考察期内显示出边际报酬递减的现象,这与长期以来不合理的用能投入结构相关。分区域来看,区域1处于边际报酬递增阶段或规模经济阶段,可以通过要素的大规模投入带来产出的较快增长;区域2处于边际报酬递增末期,面临边际产出递减的压力;区域3和区域4处于边际报酬递增初期,可以通过用能投入带来较多的产出。

通过对中国农业经济增长与农业能源碳排放之间进行面板门槛模型的分析,我国农业经济增长和农业能源碳排放之间存在单一门槛效应。在门槛值前,二者的正向关系较强;跨过门槛值后,正向关系减弱,二者呈现由不协调向日益协调转变的良好态势。然而除自然灾害外,不同区域、省份由于经济发展水平、产业结构、用能结构、农业技术水平及制度环境等不同,在促进传统农业向现代农业转变、农业节能减排措施以及低碳化发展路径的选择上有着很大的区别,最终导致各个区域农业经济与农业能源碳排放呈现不同的协调程度。

(二) 政策建议

针对农业高增速、高效率区域,应差异化选择农业绿色发展道路,推进区域低碳农业经济的协调发展。自然条件较好的地区(如海南、广西等)在农业生产中利用如风力发电、光伏发电、潮汐能等清洁能源;农业技术水平较高的地区(如天津、黑龙江等)研制低耗能型农用机械,减少高能耗型农机的使用;地域特色较强的地区(如青海、新疆、宁夏等)发挥地域优势,打造特色农业,深掘农业潜力。

针对农业高增速、低效率区域,应积极鼓励农业技术创新,促进农业绿色全要素生产率的持续提升。一方面,既要传统农业生产技术进行改造升级,使其符合当前生产需要,还要创新农业绿色生产技术,如绿色育种技术、精准灌溉、无人机施肥药、有机肥培育技术、农业废料回收等,减少农业污染。另一方面,既要优化传统农业生产模式,还要积极探索新的、科学的农业生产模式,如智慧农业、“光伏+农业”“新能源+农业”等模式极大促进农业绿色生产。

针对农业低增速、高效率区域,应因地制宜优化农业生产用能结构,促进农业生产的节能增效。不同地区面临的农业生产阶段不同,用能投入的产出回报率具有明显差异。处在边际报酬递增阶段的区域,应侧重要素配置的优化,寻找新的产出增长点;面临生产报酬递减压力的地区,需要尽快进行生产相关的创新与转型。一方面,既要积极推广农业新技术,也要加大对农业从业者的教育培训力度,培养一批符合农业现代化生产需要的新农人。另一方面,既要不断提高农业经营管理水平与理念,也要完善土地劳动等生产要素的流转制度。

针对农业低增速、低效率区域,应提高能源资源利用效率,加大绿色农业要素的使用力度。农业生产用能的投入与其产生的农业能源碳排放的变动差异表明各地区资源利用能力和农业碳减排压力的不同。在双碳战略目标背景下,一方面引入农业绿色生产技术,提高农业生产用能的利用效率,减少因粗放型生产带来的碳排放增加;另一方面采用低碳排放生产投入要素,从源头上减少农业能源碳排放。

参考文献:

- [1] Huang X Q, Xu X C, Wang Q Q, et al. Assessment of Agricultural Carbon Emissions and Their Spatiotemporal Changes in China, 1997—2016 [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2019, 16(17): 3105.

- [2] 李婕, 王玉斌, 程鹏飞. 中国农业全要素生产率的时空演变差异及内源构成[J]. 中国农业大学学报, 2023, 28(2): 240-252.
- [3] 葛鹏飞, 王颂吉, 黄秀路. 中国农业绿色全要素生产率测算[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(5): 66-74.
- [4] 李海鹏, 罗丽, 张雄, 等. 中国农业能源效率动态演变及其影响因素[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(12): 105-115.
- [5] 郭海红, 刘新民. 中国农业绿色全要素生产率时空演变[J]. 中国管理科学, 2020, 28(9): 66-75.
- [6] 杨骞, 王珏, 李超, 等. 中国农业绿色全要素生产率的空间分异及其驱动因素[J]. 数量经济技术经济研究, 2019, 36(10): 21-37.
- [7] 何晓霞, 毛伟. 农业科技创新对农业绿色全要素生产率的空间效应分析[J]. 安徽行政学院学报, 2021, 12(1): 58-64.
- [8] 邓悦, 吴忠邦, 罗连发. 农业机械化促进了农民增收吗?——基于农村人力资本调节效应的分析[J]. 南京农业大学学报(社会科学版), 2023, 23(1): 169-180.
- [9] 马国群, 谭砚文. 环境规制对农业绿色全要素生产率的影响研究——基于面板门槛模型的分析[J]. 农业技术经济, 2021(5): 77-92.
- [10] 刘巽浩. 我国不同地区农田生态系统能量转换效率的初步研究[J]. 北京农业大学学报, 1982(1): 47-53.
- [11] 李连禄, 黄育珠, 韩纯儒. 农业生态系统工业能投的折能系数探讨[J]. 农村生态环境, 1989, 5(4): 32-36.
- [12] 闻大中. 农业生态系统能流的研究方法(二)[J]. 农村生态环境, 1986, 2(1): 52-56.
- [13] 贾凤伶, 陈琼, 秦静. 农业生产用能结构变化特点及消费弹性分析[J]. 天津农业科学, 2019, 25(2): 49-55.
- [14] 邢红, 赵媛, 王宜强. 中国农业生产用能区域差异的时空分析[J]. 中国农学通报, 2014, 30(29): 95-101.
- [15] 胡莉莉, 牛叔文, 马莉, 等. 基于面板数据模型的中国农业生产用能与农业经济增长关系[J]. 农业工程学报, 2011, 27(6): 1-6.
- [16] 闵继胜, 胡浩. 中国农业生产温室气体排放量的测算[J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(7): 21-27.
- [17] 田成诗, 陈雨. 中国省际农业碳排放测算及低碳化水平评价——基于衍生指标与TOPSIS法的运用[J]. 自然资源学报, 2021, 36(2): 395-410.
- [18] 张丽琼, 何婷婷. 1997—2018年中国农业碳排放的时空演进与脱钩效应——基于空间和分布动态法的实证研究[J]. 云南农业大学学报(社会科学), 2022, 16(1): 78-90.
- [19] 田云, 尹杰昊. 中国农业碳排放再测算: 基本现状、动态演进及空间溢出效应[J]. 中国农村经济, 2022(3): 104-127.
- [20] 梁青青. 基于经典环境库茨涅茨曲线的我国农业碳排放拐点预测及区域比较[J]. 科技与经济, 2017, 30(3): 106-110.
- [21] 郭险峰, 艾静静. 农业碳排放的时空演变、影响因素及脱钩效应研究——基于31省2000—2019年面板数据[J]. 西昌学院学报(自然科学版), 2022, 36(1): 9-15.
- [22] 马晓玲. 农业机械化与能源消费对农业经济发展的影响探究[J]. 山西农经, 2022(1): 158-160.
- [23] Tone K. Dealing with Undesirable Outputs in DEA: A Slacks-based Measure (SBM) Approach [J]. GRIPS Research Report Series 2004, 2004: 44-45.
- [24] Oh D H. A Global Malmquist-luenberger Productivity Index [J]. Journal of Productivity Analysis, 2010, 34(3): 183-197.
- [25] 赵荣钦, 秦明周. 中国沿海地区农田生态系统部分碳源/汇时空差异[J]. 生态与农村环境学报, 2007, 23(2): 1-6.

- [26] 段华平, 张悦, 赵建波, 等. 中国农田生态系统的碳足迹分析[J]. 水土保持学报, 2011, 25(5): 203-208.
- [27] 伍芬琳, 李琳, 张海林, 等. 保护性耕作对农田生态系统净碳释放量的影响[J]. 生态学杂志, 2007, 26(12): 2035-2039.
- [28] 史常亮, 郭焱, 占鹏, 等. 中国农业能源消费碳排放驱动因素及脱钩效应[J]. 中国科技论坛, 2017(1): 136-143.
- [29] 陈柔, 何艳秋, 朱思宇, 等. 我国农业碳排放双重性及其与经济发展的协调性研究[J]. 软科学, 2020, 34(1): 132-138.
- [30] 胡莉莉, 牛叔文, 李怡涵, 等. 中国区域农业生产用能与农业经济增长关系研究[J]. 资源科学, 2011, 33(9): 1768-1774.
- [31] 罗斯炫, 何可, 张俊飏. 增产加剧污染? ——基于粮食主产区政策的经验研究[J]. 中国农村经济, 2020(1): 108-131.
- [32] 陈宇斌, 王森. 农村劳动力外流、农业规模经营与农业碳排放[J]. 经济与管理, 2022, 36(6): 43-49.

(责任编辑: 蒋玮)

On the Relationship between the Input of Agricultural Energy Consumption, Agricultural Economic Growth and Agricultural Energy Carbon Emission in China——Based on the Perspective of Green Total Factor Productivity

HU Lili SUN Xiaojuan LIU Fengnan

Abstract: This paper uses the super-efficiency SBM-GML model to measure the agricultural green total factor productivity and its change index of 31 provinces in China from 1990 to 2020. According to the growth rate of agricultural output value and the efficiency value of green total factor productivity, different provinces were divided into four regions. The panel fixed effect model was used to explore the influence of agricultural production energy on agricultural economic growth and regional heterogeneity, and the panel threshold model was used to analyze the relationship between agricultural economic growth and agricultural energy carbon emissions. The results show that: (1) From 1990 to 2020, China's green total factor productivity shows a slow rising trend, in which technological progress is the main driving force, while the growth rate of technical efficiency index is negative. (2) The correlation coefficients between agricultural production energy use and agricultural output are all positive nationwide and in all regions, that is, the input of production energy use can significantly increase agricultural output, but the degree of realization of output increase displays regional heterogeneity. (3) There is a single threshold effect between China's agricultural economic growth and agricultural energy carbon emissions, and the positive relationship between the two is strong before the threshold value; After crossing the threshold value, the positive relationship between the two is weakened and the two show a coordinated development trend. Based on this, the paper puts forward some policy suggestions, such as actively encouraging the progress of agricultural technology, comprehensively improving the level of agricultural technical efficiency, optimizing the energy use structure of agricultural production according to local conditions, and differentiating the choice of agricultural green development path.

Keywords: Green Total Factor Productivity; Agricultural Energy Consumption; Agricultural Economic Growth; Agricultural Energy Carbon Emissions