



陈佩, 张为付. 中国农业能源效率时空演进及其影响因素——基于技术异质视角[J]. 中国农业大学学报, 2023, 28(06): 276-286.

CHEN Pei, ZHANG Weifu. Temporal and spatial evolution of agricultural energy efficiency in China and its influencing factors: From the perspective of technological heterogeneity[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2023, 28(06): 276-286.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2023.06.24

## 中国农业能源效率时空演进及其影响因素 ——基于技术异质视角

陈佩<sup>1</sup> 张为付<sup>2\*</sup>

(1. 南京财经大学 粮食和物资学院, 南京 210003;

2. 南京财经大学 国际经贸学院, 南京 210023)

**摘要** 为探究技术异质情况下的中国农业能源率及其演变趋势, 基于技术异质性框架, 采用共同边界模型对近20年来中国农业能源效率进行测算, 并使用标准差椭圆分析、Dagum基尼系数、双向固定效应等方法考察农业能源效率时空演进及影响因素。研究发现: 1) 样本期内, 中国农业能源效率均值为0.612, 呈逐年上升趋势, 目前尚存在较大提升空间; 2) 空间上, 呈东高西低的阶梯状分布特征, 效率低下与农机装备技术创新不足和技术推广落后有关。时间上, 椭圆面积没有发生明显变化, 表明效率分布不存在明显的收敛或发散趋势; 3) Dagum基尼系数结果表明, 中国农业能源效率省际间存在差距, 但呈缩小趋势, 东中西部区域间差异是造成中国农业能源效率省际间发展不平衡的主要原因; 4) 影响因素分析表明, 中国农业能源效率与种植结构及基础设施水平正向相关, 与能源结构、经济结构及受灾率负向相关。基于分析结论, 最后提出三点提升农业能源效率的政策建议, 旨在更好地促进中国农业绿色发展转型。

**关键词** 农业能源效率; 共同边界SFA; 标准差椭圆分析; Dagum基尼系数

中图分类号 F323.214

文章编号 1007-4333(2023)06-0276-11

文献标志码 A

## Temporal and spatial evolution of agricultural energy efficiency in China and its influencing factors: From the perspective of technological heterogeneity

CHEN Pei<sup>1</sup>, ZHANG Weifu<sup>2\*</sup>

(1. Institute of Food and Strategic Reserves, Nanjing University of Finance & Economics, Nanjing 210003, China;

2. School of International Economics and Trade, Nanjing University of Finance & Economics, Nanjing 210023, China)

**Abstract** To explore China's agricultural energy efficiency and its evolution trend from the perspective of technological heterogeneity, based on the framework of technological heterogeneity, this study uses the common boundary model to measure China's agricultural energy efficiency in the past 20 years, and uses the standard deviation ellipse analysis, Dagum Gini coefficient, two-way fixed effect and other methods to investigate the spatio-temporal evolution of agricultural energy efficiency and its influencing factors. The results show that: 1) During the sample period, the average agricultural energy efficiency in China is 0.612, showing an increasing trend year by year, and there is still a large room for improvement. 2) Spatially, the low efficiency is associated with the lack of technological innovation of agricultural machinery equipment and the backward promotion of technology. In terms of time, the ellipse area does not change obviously indicating that the efficiency distribution does not have obvious convergence or divergence trend.

收稿日期: 2022-10-16

基金项目: 国家社科基金项目(21BJY052); 江苏省社科基金重大项目(21ZD001); 国家自然科学基金面上项目(72173060); 江苏省研究生科研与实践创新计划项目(KYCX22\_1680)

第一作者: 陈佩(ORCID:0000-0002-2114-608X), 博士研究生, E-mail: 1532561956@qq.com

通讯作者: 张为付(ORCID:0000-0003-2741-4871), 教授, 主要从事开放经济和全球价值链研究, E-mail: cwf-01@163.com

3) Dagum Gini coefficient results show that there is a gap between provinces in agricultural energy efficiency in China, but it tends to narrow, and the regional difference between eastern, central, and western is the main cause of the inter-provincial development imbalance of agricultural energy efficiency in China. 4) Influencing factor analysis shows that agricultural energy efficiency in China is positively correlated with planting structure and infrastructure level, and negatively correlated with energy structure, economic structure and disaster rate. Based on the analysis results, three policy suggestions are proposed in this study to improve agricultural energy efficiency in order to better promote the transformation of China's agricultural green development.

**Keywords** agricultural energy efficiency; meta-frontier SFA; Dagum Gini coefficient; standard deviation ellipse

实现碳达峰、碳中和是中国统筹国际国内大局做出的重大战略决策,不仅是贯彻绿色发展理念,推动高质量发展的必然要求,而且也是保障能源安全的有效途径。中国能源消耗巨大,2020年能源消费高达49.8亿t标准煤,稳居全球能源消费国之首。作为国民经济的重要组成部分,中国农业部门在很长一段时间,因其能源消耗占比相对较低(1978—2012年之间均值仅约6%),能源消耗问题一直没有引起关注。然而,随着传统农业向现代农业加速转变,农业技术进步和农业机械使用使得中国农业能源消耗绝对水平不断提高成为了不争事实。据统计,1998—2019年,中国农业能源消耗占比从12.8%上升到了32.9%,并且未来还将继续保持上升态势。农业能源消耗增加导致中国农业发展面临资源短缺、碳排放增加、生态环境退化等一系列严峻挑战<sup>[1]</sup>。在新时期,绿色发展理念要求农业必须加快转变发展方式,走高效安全绿色发展道路。因此,测算中国农业能源效率并分析其时空格局及演进态势具有重要意义。

近年来,很多学者采用了DEA及其衍生方法来分析中国农业能源效率。其中,于伟咏等<sup>[2]</sup>使用DEA方法测算中国2000—2011年的农业能源效率变化,发现农业能源效率增长迟滞,其演进趋势从相对集中逐渐趋于扩散;周辉等<sup>[3]</sup>同样使用DEA方法测算发现,在2003—2012年,除西部地区呈现小幅波动上升外,东中部地区以及中国整体农业能源效率均呈现不同程度恶化;Li等<sup>[4]</sup>基于DEA方法和Malmquist指数分析认为,1997—2014年,中国农业能源效率从高到低依次为东部、中部和西部地区,且增长源泉主要是技术进步;杜辉等<sup>[5]</sup>基于非径向、非角度、双导向的窗口DEA模型分析表明,中国农业能源效率在2006—2016年间持续上升,且整体区域差异不断缩小;李海鹏等<sup>[1]</sup>基于1995—2018年中国省份面板数据,使用非角度、非径向的拓展式SBM模型(EBM)分析发现,中国地区间农业能源

效率差距正呈现加速扩大的态势。

尽管DEA方法无需设定模型函数形式,有助于避免模型误设风险<sup>[6]</sup>,但无法排除随机因素对分析结果的干扰<sup>[7]</sup>。相比之下,SFA模型能够对误差分布加以假设,使所测得的效率结果绝缘于随机扰动因素,只要函数形式设定合理,效率值准确度往往优于DEA方法。此外,上述研究假设所有省份共享同一个技术边界。但是,中国幅员辽阔,各省份或地区受国家政策导向、经济基础、资源禀赋、人力资源获取等多方面的影响,导致各省份在技术水平上存在着较大差异。显然,忽视区域间的技术异质性会导致能源效率的有偏估计,从而得出错误的政策含义。事实上,技术效率进行比较的前提是,所有决策单元都具有相同的技术水平<sup>[8-9]</sup>。因此,有必要采用共同边界分析方法对农业能源效率进行测算。共同边界分析思想最早由Hayami等<sup>[10]</sup>提出,之后被Battese等<sup>[11]</sup>拓展并加以运用,他们结合了参数法(SFA)和非参数法(DEA)来测算相对于共同边界的技术效率,但对技术差距的衡量仍未考虑随机扰动因素的影响。为此,Huang等<sup>[12]</sup>进一步提出了完全基于参数法的共同边界分析方法,从而克服了以往研究不足,受到越来越多的学者青睐。

本研究在区域农业生产技术异质性背景下,拟采用共同边界分析方法考察1998—2019年中国农业部门能源效率水平、时空动态演变趋势及其影响因素。试图从实证及理论层面对已有研究进行拓展,以期为中国农业的技术差距和能效绩效提供新的证据,以便因地制宜实施农业能源效率提升措施,从而对实现农业可持续发展有所裨益。

## 1 模型、方法与数据

### 1.1 计量模型

衡量效率首先需要定义生产可能性集来构建生产边界,然后分析各决策单元与生产边界之间的关系。如果决策单元偏离生产边界,则说明要素未能

得到充分利用,存在帕累托改进空间。由于中国各省份在地理环境、资源禀赋、市场状况等方面存在较大差异,不同区域的农业技术往往存在异质性,故而对效率的测量需要采用共同边界分析方法。共同边界是将不同群组的边界进行包络而形成的一个新的技术边界,技术集可表示为:  $T^m = \{T^1 \cup T^2 \cup \dots \cup T^g\}$ 。  $T^1, T^2, \dots, T^g$  表示各群组分别对应的技术边界,  $T^m$  代表所有群组对应的潜在技术边界,可表示为:  $T^m = \{(K, L, E, Y) : (K, L, E) \text{ 能够生产 } Y\}$ 。其中,  $K, L, E, Y$  分别表示资本投入、劳动投入、能源投入及农业产出。一般而言,集合  $T$  是一个有界闭集,投入和产出满足强可处置性。

参照 Lin 等<sup>[13]</sup>,定义中国农业能源投入距离函数:

$$D_E(E, L, K, Y) = \text{sub}\{\theta \mid (E, L, K/\theta, Y) \in T\} \quad (1)$$

借鉴 Huang 等<sup>[12]</sup>提出的共同边界分析“两步法”,首先估计每个群组的技术边界,测算群组技术效率(EEI)。本研究拟选取超越对数函数来测量中国农业能源效率,故能源投入距离函数可表示为:

$$\begin{aligned} \ln D_E^g(K_{it}, L_{it}, E_{it}, Y_{it}) = & \beta_0^g + \beta_1^g \ln L_{it}^g + \beta_2^g \ln Y_{it}^g + \beta_3^g \ln K_{it}^g + \beta_4^g \ln E_{it}^g + \beta_{L2}^g (\ln L_{it}^g)^2 + \\ & \beta_{Y2}^g (\ln Y_{it}^g)^2 + \beta_{K2}^g (\ln K_{it}^g)^2 + \beta_{E2}^g (\ln E_{it}^g)^2 + \beta_{KL}^g \ln K_{it}^g \ln L_{it}^g + \beta_{LY}^g \ln L_{it}^g \ln Y_{it}^g + \beta_{KY}^g \ln K_{it}^g \ln Y_{it}^g + \\ & \beta_{KE}^g \ln K_{it}^g \ln E_{it}^g + \beta_{YE}^g \ln Y_{it}^g \ln E_{it}^g + \beta_{LE}^g \ln L_{it}^g \ln E_{it}^g + t^g + v_{it} \end{aligned} \quad (2)$$

式中:  $i$  表示省份,  $t$  表示年份,  $g$  表示群组,  $v_{it}$  是随机扰动项,满足经典计量假设,即  $v_{it} \sim i.i.d.N(0, \sigma_v^2)$ 。利用  $D_E(K_{it}, L_{it}, E_{it}, Y_{it})$  是  $E$  的线性齐次函数的性质,将式(2)进一步整理为:

$$\begin{aligned} -\ln E_{it}^g = & \alpha_0^g + \alpha_K^g \ln K_{it}^g + \alpha_L^g \ln L_{it}^g + \alpha_Y^g \ln Y_{it}^g + \alpha_{K2}^g (\ln K_{it}^g)^2 + \alpha_{L2}^g (\ln L_{it}^g)^2 + \alpha_{Y2}^g (\ln Y_{it}^g)^2 + \\ & \alpha_{KL}^g \ln K_{it}^g \ln L_{it}^g + \alpha_{LY}^g \ln L_{it}^g \ln Y_{it}^g + \alpha_{KY}^g \ln K_{it}^g \ln Y_{it}^g + t^g - u_{it}^g + v_{it}^g \end{aligned} \quad (3)$$

式中:  $u_{it}^g = \ln D_E^g(E_{it}, L_{it}, K_{it}, Y_{it}) \geq 0$ , 反映该地区相对于群组技术边界的农业能源效率损失。相应地,群组能源效率  $EEI = \exp(-u_{it}^g)$ 。假设  $u_{it}^g$  服从半正态分布,即  $N^+(0, \sigma_u^2)$ , 通过极大似然估计法可估

计出模型所有参数。

接下来,测算各群组技术边界与共同边界的技术差距(TGR)。参照 Huang 等<sup>[12]</sup>的思路,假设式(3)中  $u_{it}^g = 0$ , 计算  $-\ln E_{it}^g$  的预测值,并将其作为“第二步”模型的被解释变量,解释变量同式(3),构建随机边界模型如(4)式所示。

$$\begin{aligned} -\ln E_{it}^M = & a_0 + a_K \ln K_{it} + a_L \ln L_{it} + a_Y \ln Y_{it} + a_{K2} (\ln K_{it})^2 + a_{L2} (\ln L_{it})^2 + a_{Y2} (\ln Y_{it})^2 + \\ & a_{KL} \ln K_{it} \ln L_{it} + a_{LY} \ln L_{it} \ln Y_{it} + a_{KY} \ln K_{it} \ln Y_{it} + t^M - u_{it}^M + v_{it}^M \end{aligned} \quad (4)$$

式中:  $u_{it}^M = \ln D_E^M(E_{it}, L_{it}, K_{it}, Y_{it}) \geq 0$ , 反映该地区相对于共同边界的技术差距(TGR)。相应地,技术差距  $TGR = \exp(-u_{it}^M)$ 。假设  $u_{it}^M$  服从半正态分布,即  $N^+(0, \sigma_u^2)$ , 通过极大似然估计法可估计出模型所有参数。

最后,测算得到各地区各年份的农业能源效率:

$$MEEI_{it} = EEI_{it} \times TGR_{it} \quad (5)$$

## 1.2 分析方法

### 1.2.1 重心—标准差椭圆

标准差椭圆分析(Standard deviational ellipse, SDE)能够精确揭示经济空间分布多方面特征,可从全局、空间角度定量解释要素空间分布的中心性、展布性、方向性、空间形态等特征,包括重心坐标、旋转角、长轴和短轴等。在本研究中,椭圆的长、短轴分别代表农业能源效率分布在主方向、次方向上的离散程度,旋转角度表示农业能源效率分布的主要方向。需要说明的是各省农业能源效率重心,  $(X_\omega, Y_\omega)$ ; 重心移动距离  $D$  和旋转角  $\tan\theta$  分别使用式(6)~(8)计算。其中,  $\omega_i$  表示表示权重,在本研究中为各省农业能源效率值,  $(x_i, y_i)$  为各省份地理中心坐标,  $(\tilde{x}_i, \tilde{y}_i)$  代表各点距离重心的相对坐标;  $R$  为常数,取值 111.111 km(目的是将地理坐标转化为平面距离)。

$$(X_\omega, Y_\omega) = \left( \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i x_i}{\sum_{i=1}^n \omega_i}, \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i y_i}{\sum_{i=1}^n \omega_i} \right) \quad (6)$$

$$D = R \sqrt{(X_{\omega+t} - X_\omega)^2 + (Y_{\omega+t} - Y_\omega)^2} \quad (7)$$

$$\tan\theta = \frac{\left( \sum_{i=1}^n \omega_i \tilde{x}_i^2 - \sum_{i=1}^n \omega_i \tilde{y}_i^2 \right) + \sqrt{\left( \sum_{i=1}^n \omega_i \tilde{x}_i^2 - \sum_{i=1}^n \omega_i \tilde{y}_i^2 \right)^2 + 4 \sum_{i=1}^n \omega_i \tilde{x}_i \tilde{y}_i}}{2 \sum_{i=1}^n \omega_i \tilde{x}_i \tilde{y}_i} \quad (8)$$

### 1.2.2 Dagum 基尼系数

与传统的基尼系数不同, Dagum 提出将基尼系数按子群分解, 不仅能够有效揭示空间差距来源, 解决样本之间的交叉重叠问题<sup>[14]</sup>, 而且也能够比较不同研究期间空间差异的变化趋势。本研究运用 Dagum 基尼系数来测算中国省际农业能源效率的差异及其差异来源。其由地区内差异、地区间差异和超变密度 3 个部分 ( $G = G_w + G_{nb} + G_t$ ) 组成, 计算公式如下:

$$G = \sum_{i=1}^{n_j} G_{jj} P_j S_j + \sum_{j=1}^k \sum_{h=1}^{j-1} G_{jh} (P_j S_h + P_h S_j) D_{jh} + \sum_{j=1}^k \sum_{h=1}^{j-1} G_{jh} (P_j S_h + P_h S_j) (1 - D_{jh}) \quad (9)$$

式中:  $n$  表示省份个数,  $j, h$  表示第  $j, h$  个组。  $G_{jj}$  是第  $j$  组的基尼系数,  $P_j$  是第  $j$  组省内个数  $n_j$  与总省份个数  $n$  的比值,  $S_j = P_j (\bar{y}_j / \bar{y})$ ,  $\bar{y}_j$  表示第  $j$  组农业能源效率均值,  $\bar{y}$  是中国农业能源效率均值。  $G_{jh} = \Delta_{jh} / (\bar{y}_j + \bar{y}_h)$  是第  $j$  和  $h$  组之间的基尼系数, 其中  $\Delta_{jh} = d_{jh} + p_{jh}$  是第  $j$  和第  $h$  组的农业能源效率均值平均差,  $d_{jh}$  是第  $j$  和第  $h$  组之间效率均值的差异值之和,  $p_{jh}$  是第  $j$  和第  $h$  组之间效率均值的一阶变分,  $\bar{y}_h$  是第  $h$  组农业能源效率均值。  $D_{jh} = (d_{jh} + p_{jh}) / \Delta_{jh}$  是第  $j$  和第  $h$  组之间效率的相对影响<sup>[15]</sup>。

### 1.3 数据说明

本研究选取中国 28 个省份的农业生产投入产出数据(重庆、海南、西藏和港澳台地区部分数据缺失, 故未含在内, 下同), 数据来自历年《中国能源统计年鉴》<sup>[16]</sup>《中国统计年鉴》<sup>[17]</sup>《中国农村统计年鉴》<sup>[18]</sup>以及《中国人口和就业统计年鉴》<sup>[19]</sup>。其中, 产出指标为  $Y$ , 表示第一产业生产总值(以 1998 年为基期折算成不变价格), 该指标反映了农业经济发展水平。  $L$  是第一产业就业人数, 劳动力是农业最重要的基本生产要素之一。  $E$  表示第一产业的能源消耗。农业生产过程中能源消耗方式可分为直接和间接消耗。直接消耗主要是指农业机械所消耗的各种石油制品和电能, 间接消耗则主要是指化肥、农药、农膜等投入品的使用。由于间接消耗的农业能源统计归入第二产业消耗的能源, 故本研究中的农业能源主要指各种农业机械直接消耗的能源<sup>[20]</sup>。在计算时将各省林牧渔业消耗的煤炭、焦炭、汽油、燃料油、煤油、天然气、电力的实物量换算为标准煤量作为能源消耗, 具体换算系数参见年度《中国能源

统计年鉴》<sup>[16]</sup>。  $K$  是资本投入变量, 它也是经济系统分析中不可忽视的重要生产要素之一。鉴于目前还没有关于农业资本存量的专门统计数据, 本研究参考徐现祥等<sup>[21]</sup>、李谷成等<sup>[22]</sup>采用永续盘存法计算中国农业的资本存量。

参考 Lin 等<sup>[13]</sup>研究, 本研究选择能源强度指标(能源消耗/GDP)对决策单元进行分组。具体到本研究, 根据第一产业的能源消耗/第一产业生产总值指标, 利用聚类分析法, 将 28 个省份分为 3 个群组。第 1 群组由 2 个东部省份(福建、广西)、6 个中部省份(吉林、安徽、江西、河南、湖北、湖南)和 2 个西部省份(云南、四川)组成, 第 2 群组由 5 个东部省份(山东、广东、江苏、河北、辽宁)、1 个中部省份(黑龙江)和 4 个西部省份(新疆、甘肃、贵州、陕西)组成, 第 3 群组由 4 个东部省份(上海、北京、天津、浙江)、2 个中部省份(内蒙古、山西)和 2 个西部省份(宁夏、青海)组成。其中, 第 1 群组的能源强度最低, 第 3 群组的能源强度最高。表 1 为主要变量的描述性统计情况。

## 2 计量模型分析

在模型正式分析之前, 首先验证以下假设: 3 个群组的农业技术具有异质性。采用广义对数似然比(GLR)进行检验, 结果显示, GLR 统计值为 171.073 (1%显著水平的临界值为 21.67), 拒绝原假设, 表明各群组间的技术具有异质性, 使用共同边界分析方法具有必要性。另外, 考虑到 C-D 函数的局限性, 本研究选择了更加灵活超越对数函数, 对数似然比检验也证实这一选择是合理的。表 2 是模型参数估计结果。

根据式(5)测算得到农业能源效率值(MEEI), 如表 3 所示。在空间维度, 中国东中西部地区农业能源效率均值分别为 0.746、0.592、0.449, 呈现东部最高、中部次之、西部最低的梯状分布格局, 这与以往研究结论一致<sup>[1, 5]</sup>。其原因在于: 一方面, 随着经济社会加速发展, 东部地区农业财政投入和社会投资增加, 农机技术装备较中西部地区更先进<sup>[1]</sup>; 另一方面, 东部地区土地流转速度快于中西部地区<sup>[23]</sup>, 且基础设施较为完善, 有助于农机装备在使用过程中节能增效。在时间维度, 中国农业能源效率总体呈现上升态势, 从 1998 年的 0.400 上升到 2019 年的 0.759, 年均增长 3.097%, 进一步计算发现, 东中西部地区的能源效率年均增长分别为 2.709%、

表1 变量描述性统计

Table 1 Descriptive statistics of variables

范围 Scope	变量 Variable	单位 Unit	平均值 Average	最小值 Min	最大值 Max
中国 China	农林牧渔总产值 Y	亿元	1 532.191	59.188	5 414.267
	资本 Captial	亿元	294.369	-52.041	2 316.760
	劳动 Labor	万人	1 031.285	33.380	3 558.550
	能源 Enrgy	t	172.288	11.953	567.663
第1群组 Group 1	农林牧渔总产值 Y	亿元	1 934.119	620.020	4 428.966
	资本 Captial	亿元	346.686	-52.041	2 316.760
	劳动 Labor	万人	1 561.270	466.200	3 558.550
	能源 Enrgy	t	148.335	43.247	336.442
第2群组 Group 2	农林牧渔总产值 Y	亿元	1 963.082	1 279.326	324.535
	资本 Captial	亿元	364.347	353.297	9.272
	劳动 Labor	万人	1 090.864	515.662	306.95
	能源 Enrgy	t	225.669	135.002	47.506
第3群组 Group 3	农林牧渔总产值 Y	亿元	491.169	498.989	59.188
	资本 Captial	亿元	141.501	175.395	5.495
	劳动 Labor	万人	294.329	277.832	33.380
	能源 Enrgy	t	37.253	96.868	11.953

2.849%、4.380%，样本考察期内，西部地区农业能源效率增速相对较快。

中国农业部门能源效率(MEEI)偏低的根本原因兼具技术研发(TGR)和技术推广(EET)层面的双重因素<sup>①</sup>。在技术研发层面，农业能源利用的技术进步主要与使用能源的农业机械技术进步有关，农业机械技术进步不仅表现为改善农业生产率，也表现为节能增效。然而，当前我国农机装备在技术研发层面仍存在不足。一是农机科技创新能力不强。一方面，经费不足一直是横亘在农机科研院所面前的难题，导致农业机械基础研究薄弱，关键技术自给率低，存在很多短板和薄弱环节；另一方面，农机制造企业技术创新能力弱，创新研发费用占销售额的比例普遍不足2%，相比国际农机巨头的3%~6%，创新研发投入差距显著<sup>[24]</sup>；不仅如此，农机制造企业与农机科研院所结合也不够紧密，研发成果转化

率不高。二是部分农机装备有效供给不足。表现为农机产能过剩与缺口并存，中高端产品不多，机具适应性可靠性有待提高。尤其是一些领域一些环节存在“无机可用”“无好机用”问题，“供不足需”“供不适需”矛盾一直未能得到有效解决。在技术推广层面，主要与节能增效型的农机装备的使用和普及有关。但是，先进农机装备在技术推广环节长期面临以下两方面困境。一是农机购置补贴政策不完善。如补贴范围不够宽泛，有些先进机型没有纳入补贴目录，农户自主选择余地较小；同款产品补贴价格普遍高于市场价格，致使补贴效果被涨价部分稀释，政策效果被削弱。二是农机操作规程培训不到位。一些地方农机部门不能根据形势的发展，开设田间课堂，为农民检修农业机械，培育机械化育秧和农机操作手，不仅影响了推广先进适用农业机械的进程，也导致农机使用过程中的能源浪费<sup>[25]</sup>。

① 限于篇幅，TGR和EET未列出，如有需要可备索。

表 2 模型结果

Table 2 The model results

变量 Variable	群组 1 Group 1	群组 2 Group 1	群组 3 Group 1	共同边界 Metafroniter
lnL <sub>it</sub> 系数 $\alpha_L$	1.941** (0.760)	-2.680** (1.109)	2.236*** (0.446)	1.088*** (0.111)
lnY <sub>it</sub> 系数 $\alpha_Y$	1.201 (0.801)	1.067 (0.733)	-3.774*** (0.317)	-1.673*** (0.127)
lnK <sub>it</sub> 系数 $\alpha_K$	-0.069 (0.264)	-0.184 (0.348)	0.394 (0.269)	-0.049 (0.135)
(lnK <sub>it</sub> ) <sup>2</sup> 系数 $\alpha_{K2}$	0.004 (0.006)	-0.021 (0.028)	0.219*** (0.043)	-0.020*** (0.005)
(lnY <sub>it</sub> ) <sup>2</sup> 系数 $\alpha_{Y2}$	-0.019 (0.057)	-0.120*** (0.042)	0.265*** (0.063)	-0.080** (0.033)
(lnL <sub>it</sub> ) <sup>2</sup> 系数 $\alpha_{L2}$	0.036 (0.047)	0.334*** (0.116)	-0.266*** (0.057)	-0.028 (0.026)
lnK <sub>it</sub> lnL <sub>it</sub> 系数 $\alpha_{KL}$	-0.072*** (0.022)	-0.142** (0.067)	-0.145** (0.061)	-0.067*** (0.025)
lnL <sub>it</sub> lnY <sub>it</sub> 系数 $\alpha_{LY}$	-0.278** (0.116)	-0.164* (0.098)	0.199* (0.114)	-0.038 (0.054)
lnK <sub>it</sub> lnY <sub>it</sub> 系数 $\alpha_{KY}$	-0.071* (0.040)	0.190*** (0.062)	-0.288*** (0.010)	0.052 (0.036)
时间趋势项 $t$	0.016*** (0.004)	0.004 (0.004)	0.006 (0.005)	0.026*** (0.003)
_Cons	13.125*** (4.645)	3.642 (3.555)	1.906 (1.951)	-0.358 (0.324)
$\sigma_v$	0.068*** (0.016)	0.197*** (0.023)	0.176*** (0.021)	0.106*** (0.011)
$\sigma_u$	0.213*** (0.023)	0.082 (0.053)	0.194*** (0.033)	0.365*** (0.020)
Loglikelihood	70.263	57.291	43.513	148.671

### 3 中国农业能源效率的空间演进

#### 3.1 空间集聚的区位分布及演变趋势

为进一步考察农业能源效率(MEEI)的时空分

异态势,本研究使用 ArcGIS 软件分析计算农业能源效率重心—标准差椭圆的相关参数,从而得到重心移动方向、移动距离、长短轴、旋转角等指标(表 4),具体结果如下:

表3 农业能源效率测量结果(MEEI)

Table 3 Agricultural energy efficiency measurement results

年份 Year	中国 China	东部 Eastern	中部 Central	西部 Western
1998	0.400	0.502	0.408	0.252
2003	0.525	0.672	0.511	0.338
2008	0.633	0.787	0.600	0.459
2013	0.689	0.815	0.663	0.543
2018	0.745	0.866	0.720	0.607
2019	0.759	0.880	0.736	0.620
平均 Average	0.612	0.746	0.592	0.449

表4 1998—2019年中国农业能源效率的标准差椭圆

Table 4 Standard deviational ellipse of agricultural energy efficiency in China from 1998 to 2019

年份 Year	经度/ $^{\circ}$ Longitude	纬度/ $^{\circ}$ Latitude	移动距离/ (km/年) Distance	长轴/km Long axis	短轴/km Short axis	旋转角/ $^{\circ}$ Rotation angle	面积比 Area ratio	平均形状指数 Mean shape index
1998	114.012	32.745		12.026	8.488	58.487	1.000	0.682
2003	114.027	33.346	7.251	11.807	8.554	61.262	1.006	0.680
2008	113.800	33.714	17.919	12.254	8.806	66.145	0.998	0.678
2013	113.582	33.839	2.700	12.577	8.928	69.082	1.006	0.674
2018	113.489	34.087	8.972	12.709	9.006	70.182	1.005	0.669
2019	113.472	34.120	4.101	12.720	9.020	70.372	1.002	0.668

### 3.1.1 重心变化

中国农业能源效率重心位于  $113.472^{\circ} \sim 114.012^{\circ} \text{E}$ 、 $32.745^{\circ} \sim 34.120^{\circ} \text{N}$ ，且重心向西北方向缓慢移动。从移动距离看，在样本考察期，重心向西偏北方向共移动了 164.166 km，表明与东部地区相比，西部地区农业能源效率提升略快。进一步比较各年度的重心移动距离发现，移动速度呈现放缓态势，移动速度从 1998 年的 16.682 km/年波动降低到 2019 年的 4.101 km/年，表明中国农业能源效率的区位分布趋于稳定。这一结论与东、中、西部农业能源效率变化趋势一致，表明西北部的农业能源效率比东南部的农业能源效率提升速度相对要快。其原因是，一方面，西部大开发战略使西部地区经济和技术水平有了较大发展，促进了西部地区农业能源效率快速提升。另一方面，东南省份农业经济快速发展的同时伴随着化石能源的大量消耗，导致东

部地区能源效率提升速度较慢<sup>[26]</sup>。从移动速度来看，1998—2019 年重心移动平均速度为 9.698 km/年，移动速度由 1998 年的 16.682 km/年下降到 2019 年的 4.101 km/年，表明农业能源效率重心向西北方向转移的趋势逐渐放缓，中国农业能源效率的区位分布趋于稳定。

### 3.1.2 椭圆形状变化

标准差椭圆的长半轴和短半轴分别表示中国农业能源效率的离散程度和分布范围。分析结果显示，长半轴在样本考察期虽略有增长，从 1998 年的 12.026 km 增长到 2019 年的 12.720 km，但总体变化较小。与长半轴类似，短半轴也有小幅增长，从 8.488 km 上升到 9.020 km，其长度也基本稳定。进一步计算发现，标准差椭圆面积比(表示标准差椭圆面积变化情况，1998 年为 1，后一年的面积比前一年的面积)均值为 1.005，面积基本没有变化。而

且,在样本期内,标准差椭圆的平均形状指数(短半轴与长半轴长度之比)呈缓慢下降趋势,从1998年的0.682下降到了2019年的0.668。上述结果均表明,各省农业能源效率并未呈现明显的收敛或发散趋势,换言之,中国农业能源效率损失的根源具有系统性特征。

表5 1998—2019年Dagum基尼系数及分解结果

Table 5 Dagum Gini coefficient and its decomposition results, 1998—2019

年份 Year	G	组内差异 $G_w$			组间差异 $G_{nb}$			贡献率 Contribution		
		东部 Eastern	中部 Central	西部 Western	东—中 E—C	东—西 E—W	中—西 C—W	$G_{nb}$ (%)	$G_w$ (%)	$G_t$ (%)
1998	0.259	0.179	0.233	0.221	0.226	0.355	0.320	52.570	27.238	20.192
2003	0.203	0.115	0.145	0.164	0.175	0.335	0.235	69.131	22.634	8.235
2008	0.161	0.077	0.122	0.131	0.152	0.263	0.172	71.836	21.391	6.772
2013	0.128	0.052	0.113	0.111	0.116	0.201	0.150	68.959	21.862	9.178
2018	0.106	0.039	0.087	0.086	0.099	0.176	0.118	73.015	20.041	6.944
2019	0.104	0.036	0.083	0.088	0.096	0.173	0.117	73.345	19.803	6.852
平均 Mean	0.165	0.084	0.132	0.139	0.147	0.263	0.192	68.584	22.291	9.124

分析发现,样本期内Dagum基尼系数均值为0.165呈现下降趋势,从1998年的0.259降为2019年的0.104,表明中国农业能源效率尽管存在地区差距,但是该差距呈现出缩小态势。这与东部和中部地区农业能源效率增长速度放缓有关(图1)。近年来,中部和西部地区农业机械化发展速度较快,统计数据显示,1998—2019年,东部地区农机总动力年均增长率为3.0%,而中部和西部地区农机总动力年均增长率分别为8.7%和9.1%。随着中西部地区农业机械化进程加速,农业能源效率也呈现快速上升态势,年均增长率分别较东部地区高出0.1和1.7个百分点。也正因此,中国农业能源效率的地区差异呈下降态势<sup>[5]</sup>。事实上,农业能源效率空间区域差异缩小与其空间分布区域稳定并不矛盾,若中国农业能源效率在集聚区域内分布更加均匀,就可能衍生出“区域集聚稳定(标准差椭圆面积基本不变),内部集聚减弱(基尼系数降低)”的现象<sup>[27]</sup>。

从差异的贡献率来看,地区间差距( $G_{nb}$ )、地区内差距( $G_w$ )和超变密度( $G_t$ )均为农业能源效率差距的空间来源。其中,地区内差距衡量了群组内部

### 3.2 农业能源效率差异分解

为了进一步深入认识中国农业能源效率的空间分异,以省为基本空间单元,采用Dagum基尼系数分解方法,对中国农业能源效率进行空间分解,计算中国农业能源效率的总体基尼系数及其分解项和贡献率,结果如表5所示。

省份农业能源效率的地区差距;地区间差距衡量了不同群组间的地区间纯差距;超变密度衡量了群组间离群值的跨群交叉程度<sup>[14]</sup>。由表5可知,地区间差距是中国农业能源效率差异的最主要来源,区域间差异贡献率高达68.584%。因此,缩小区域间差距,是解决当前中国农业能源效率发展空间不平衡问题的关键。从贡献率变动趋势来看(图2)地区间差异贡献率不断增大,由52.570%上升到73.345%;组内差异贡献度组内差异由27.238%下降到19.803%;超变密度贡献率由20.192%下降到6.852%。总言之,区域间差异是农业能源效率差异的主要来源,区域协同发展效应未能有效发挥,各省份之间的空间协调联动机制有待完善。

### 4 农业能源效率影响因素分析

根据中国农业特征及相关文献<sup>[1,28]</sup>引入影响农业能源效率的控制变量。包括:1)能源消费结构,采用农业煤炭消耗量/农业能源消耗总量衡量(MR);2)农业经济结构,采用农业产值/农林牧渔总产值衡量(ER);3)种植结构,采用粮食播种面积/农作物总

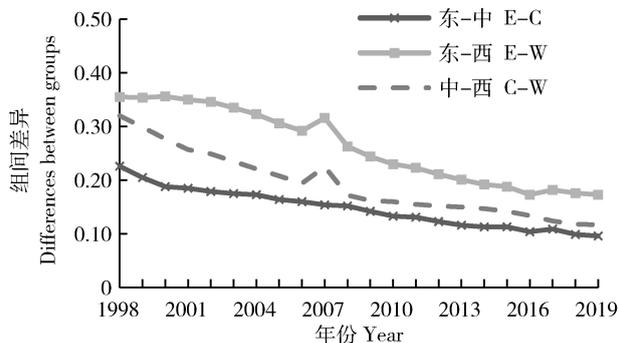


图1 东中西组间差异

Fig. 1 Difference between eastern, central and western groups

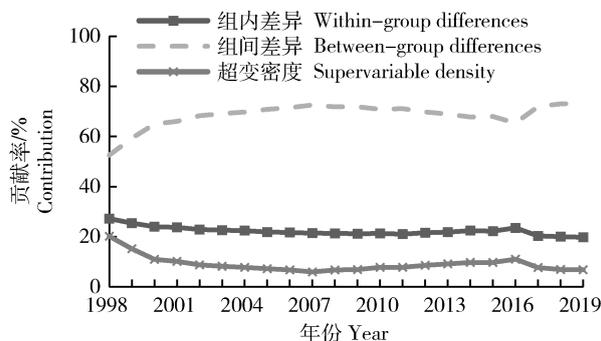


图2 基尼系数差异贡献率

Fig. 2 Contribution of Gini coefficient

播种面积衡量(FR)。4)受灾率,采用农作物受灾面积/农作物总播种面积衡量(DR);5)基础设施水平,采用二级公路里程/耕地面积衡量(IR);6)支农力度,采用财政支农支出金额/一般性财政支出衡量(AR)。所有变量均进行对数化处理,估计模型如下所示:

$$\ln MEEI_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln MR_{it} + \beta_2 \ln ER_{it} + \beta_3 \ln FR_{it} + \beta_4 \ln DR_{it} + \beta_5 \ln IR_{it} + \beta_6 \ln AR_{it} + u_i + v_t + \epsilon_{it} \quad (10)$$

式中: $i$ 表示省份, $t$ 表示年份。 $u_i$ 为地区固定效应, $v_t$ 为时间固定效应, $\epsilon_{it}$ 为随机误差项。为避免内生性影响,所有控制影响变量均采用滞后一期形式。表6是农业能源效率的影响因素的双向固定效应模型估计结果。

由表6可知,能源结构、经济结构、受灾率均与农业能源效率显著负相关,说明煤炭使用增多、农业产值占比增加及受灾面积增大均不利农业能源效率提升。这是因为,煤炭的无效率贡献高达33.2%,是中国能源效率低下最主要的原因<sup>[29]</sup>。农作物种

表6 农业能源效率影响因素估计结果

Table 6 Estimation results of influencing factors of agricultural energy efficiency

变量 Variable	系数 Coefficient	标准差 S D
能源消费结构滞后项 L. lnMR	-0.084***	0.031
农业经济结构滞后项 L. lnER	-0.171**	0.089
种植结构滞后项 L. lnFR	0.129*	0.079
受灾率滞后项 L. lnDR	-0.023**	0.011
基础设施水平滞后项 L. lnIR	0.092***	0.021
支农力度滞后项 L. lnAR	0.027	0.026
_Cons	-0.862***	0.094
时间固定 Fixed time		Yes
地区固定 Fixed region		Yes
R <sup>2</sup>		0.699

植业能源消费规模比林牧副渔业能源消费规模大,因此,经济结构与能源效率呈现负向显著关系<sup>[28]</sup>。农业生产受自然气候条件的影响较大,自然灾害会对农业生产造成损失,进而不利于农业能源效率提升<sup>[1]</sup>;相反,种植结构、基础设施水与农业能源效率显著正相关。这是因为,粮食作物的机械作业水平比经济作物高,机械作业水平能够正向影响农业能源效率<sup>[20]</sup>。基础设施水平提高有效促进区域间沟通,加速区域间劳动力、资本、信息流动,有利于能源要素冗余程度降低,进而提升能源效率<sup>[30]</sup>;此外,虽然财政支农占比正向影响中国农业能源效率,但是不显著。表明财政支农支出能促进农业能源效率提升,但是支农支出投入不足。

## 5 结论与启示

本研究基于1998—2019年中国28个省份面板数据,在技术异质性框架下采用共同随机边界模型测算了中国农业能源效率,利用标准差椭圆分析能

源效率的重心及其演进趋势,同时基于 Dagum 基尼系数分析各省份农业能源效率差异变动及差异来源,并进一步分析影响农业能源效率重要因素。分析结果表明:尽管中国农业能源效率在样本期呈上升趋势,但总体水平偏低,效率空间分布呈东高西低的阶梯式格局。中国农业能源效率损失的根源在于农机产业创新能力不足及农业机械推广不力;中国农业能源效率重心逐渐向西北方向转移,椭圆面积变动较为稳定,说明农业能源效率空间分布随时间不存在明显的收敛或发散趋势。中国农业能源效率存在空间差异,但差异程度在不断缩小,从总体差异来看,区域间差异是造成农业能源效率空间差异的主要原因,从地区内差异来看,西部地区区域内差异最大;影响因素分析表明,中国农业能源效率与种植结构及基础设施水平正向相关,与能源结构、经济结构及受灾率负向相关。

根据上述结论,提出三点政策建议:一是加强技术创新,重视技术推广。加大农机研发投入,协调多渠道资金进行农机研发,重点加大低能耗、高效率、技术领先的新型农业机械技术研发投入。积极开设田间课堂,加强农机技术培训,提高农机操作人员素质,促使先进农机技术高效利用;二是因地制宜,协同发展。在技术异质性背景下,厘清农业能源效率的区域差异原因,结合地区特点实施差异化节能增效措施。同时,强化地区间联系,促进整体能源效率水平提升。完善地区合作机制,形成多省相互促进、共同提升的新发展格局;三是深入探索,节能增效。提升农业能源效率需减少煤炭使用,增加清洁能源使用。避免农业种植业“非粮化”的同时,适度发展林牧副渔业。削弱自然因素造成的损失,最后,加大基础设施建设,加强地区间交流合作。

## 参考文献 References

- [1] 李海鹏, 罗丽, 张雄, 张俊飏. 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  
Li H P, Luo L, Zhang X, Zhang J B. Dynamic change of agricultural energy efficiency and its influencing factors in China [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2020, 30(12): 105-115 (in Chinese)
- [2] 于伟咏, 漆雁斌, 李阳明. 碳排放约束下中国农业能源效率及其全要素生产率研究[J]. 农村经济, 2015(8): 28-34  
Yu W Y, Qi Y B, Li Y M. Research on China's agricultural energy efficiency and total factor productivity under carbon emission constraints [J]. *Rural Economy*, 2015(8): 28-34 (in Chinese)
- [3] 周辉, 冉启英, 王宏森. 我国农业全要素能源效率及其影响因素分析[J]. 生态经济, 2016, 32(7): 133-138  
Zhou H, Ran Q Y, Wang H S. Analysis on agriculture total factor energy efficiency and its influencing factors in China [J]. *Ecological Economy*, 2016, 32(7): 133-138 (in Chinese)
- [4] Li N, Jiang Y, Yu Z, Yu Z X, Shang L W. Analysis of agriculture total-factor energy efficiency in China based on DEA and Malmquist indices [J]. *Energy Procedia*, 2017, 142: 2397-2402
- [5] 杜辉, 黄杰. 中国农业能源效率的区域差异及动态演进[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(8): 45-54  
Du H, Huang J. Regional difference decomposition and its dynamic evolution of agricultural energy efficiency in China [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2019, 40(8): 45-54 (in Chinese)
- [6] Choi Y, Zhang N, Zhou P. Efficiency and abatement costs of energy-related CO<sub>2</sub> emissions in China: A slacks-based efficiency measure [J]. *Applied Energy*, 2012, 98: 198-208
- [7] 张少华, 蒋伟杰. 能源效率测度方法: 演变、争议与未来[J]. 数量经济技术经济研究, 2016, 33(7): 3-24  
Zhang S H, Jiang W J. Energy efficiency measures: Comparative analysis [J]. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2016, 33(7): 3-24 (in Chinese)
- [8] Caudill S B, Ford J M, Gropper D M. Frontier estimation and firm-specific inefficiency measures in the presence of heteroscedasticity [J]. *Journal of Business & Economic Statistics*, 1995, 13(1): 105-111
- [9] Wang H J, Schmidt P. One-step and two-step estimation of the effects of exogenous variables on technical efficiency levels [J]. *Journal of Productivity Analysis*, 2002, 18(2): 129-144
- [10] Hayami Y, Ruttan V W. *Agricultural Development: An International Perspective* [M]. Baltimore: The Johns Hopkins Press, 1971
- [11] Battese G E, Rao D S P. Technology gap, efficiency and a stochastic metafrontier function [J]. *International Journal of Business and Economics*, 2002, 2(1): 1-7
- [12] Huang C J, Huang T H, Liu N H. A new approach to estimating the metafrontier production function based on a stochastic frontier framework [J]. *Journal of Productivity Analysis*, 2014, 42(3): 241-254
- [13] Lin B Q, Du K R. Technology gap and China's regional energy efficiency: A parametric metafrontier approach [J]. *Energy Economics*, 2013(40): 529-536
- [14] 刘华军, 曲惠敏. 中国城市创新力的空间格局及其演变[J]. 财贸研究, 2021, 32(1): 14-25  
Liu H J, Qu H M. Spatial patterns and evolution of urban innovation in China [J]. *Finance and Trade Research*, 2021, 32(1): 14-25 (in Chinese)
- [15] 张丽娜, 徐洁, 庞庆华, 王腾, 张陈俊, 石常峰. 水资源与产业结构高级化的适配度时空差异及动态演变[J]. 自然资源学报, 2021, 6(8): 2113-2124  
Zhang L N, Xu J, Pang Q H, Wang T, Zhang C J, Shi C F. Spatio-temporal differences and dynamic evolution of the adaptabilities between water resources and advanced industrial structure [J]. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(8): 2113-2124 (in Chinese)
- [16] 国家统计局能源统计司. 中国能源统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021  
Department of Energy Statistics, National Bureau of Statistics. *China Energy Statistical Yearbook* [M]. Beijing: China Statistics Press, 2021 (in Chinese)
- [17] 国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021  
National Bureau of Statistics. *China Statistical Yearbook* [M]. Beijing: China Statistics Press, 2021 (in Chinese)
- [18] 国家统计局农村社会经济调查司. 中国农村统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021  
Department of Rural Socioeconomic Survey, National Bureau of Statistics. *China Rural Statistical Yearbook* [M]. Beijing: China Statistics Press, 2021 (in Chinese)
- [19] 国家统计局人口和就业统计司. 中国人口和就业统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021

- Department of Population and Employment Statistics, National Bureau of Statistics. *China Population and Employment Statistical Yearbook*[M]. Beijing: China Statistics Press, 2021 (in Chinese)
- [20] 闵小明, 张宗益, 康继军. 我国农业机械化进程中能源效率的影响因素研究[J]. 软科学, 2012, 26(3): 51-56  
Guo X M, Zhang Z Y, Kang J J. Research on the factors influencing energy efficiency in the process of Chinese agricultural mechanization[J]. *Soft Science*, 2012, 26(3): 51-56 (in Chinese)
- [21] 徐现祥, 周吉梅, 舒元. 中国省区三次产业资本存量估计[J]. 统计研究, 2007(5): 6-13  
Xu X X, Zhou J M, Shu Y. Estimates of fixed capital stock by sector and region: 1978-2002 [J]. *Statistical Research*, 2007 (5): 6-13 (in Chinese)
- [22] 李谷成, 范丽霞, 冯中朝. 资本积累、制度变迁与农业增长: 对 1978~2011 年中国农业增长与资本存量的实证估计[J]. 管理世界, 2014(5): 67-79, 92  
Li G C, Fan L X, Feng Z C. Capital accumulation, institutional change and agricultural growth: An empirical estimation of China's agricultural growth and capital stock from 1978 to 2011 [J]. *Management World*, 2014(5): 67-79, 92 (in Chinese)
- [23] 夏玉莲, 匡远配, 曾福生. 农地流转、区域差异与效率协调[J]. 经济学家, 2016(3): 87-95  
Xia Y L, Kuang Y P, Zeng F S. Farmland circulation, regional difference and efficiency coordination[J]. *Economist*, 2016(3): 87-95 (in Chinese)
- [24] 肖俊华, 王瑾, 王锋德. 我国农机企业研发投入现状及对策[J]. 农业工程, 2019, 9(8): 1-5  
Xiao J H, Wang J, Wang F D. Situation and countermeasures of agricultural machinery enterprises R&D investment in China [J]. *Agricultural Engineering*, 2019, 9(8): 1-5 (in Chinese)
- [25] 刘向新, 周亚立, 翟超, 闫向辉, 赵岩. 我国农业机械能耗现状分析及节能减排技术[J]. 农机化研究, 2012, 34(4): 224-227  
Zhou L X, Zhou Y L, Zhai C, Yan X H, Zhao Y. Analysis of current energy consumption of Agricultural machinery in China and energy-saving and emission reduction technology[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2012, 34(4): 224-227 (in Chinese)
- [26] 刘贤赵, 高长春, 张勇, 余光辉, 宋炎. 中国省域能源消费碳排放空间依赖及影响因素的空间回归分析[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(10): 1-6  
Liu X Z, Gao C C, Zhang Y, Yu G H, Song Y. Spatial dependence of China provincial carbon emissions from energy consumption and its spatial regression analysis [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2016, 30(10): 1-6 (in Chinese)
- [27] 刘华军, 王耀辉, 雷名雨. 中国战略性新兴产业的空间集聚及其演变[J]. 数量经济技术经济研究, 2019, 36(7): 99-116  
Liu H J, Wang Y H, Lei M Y. Spatial agglomeration and strategic emerging industries in China [J]. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2019, 36(7): 99-116 (in Chinese)
- [28] 李建华, 景永平. 农村经济结构变化对农业能源效率的影响[J]. 农业经济问题, 2011, 32(11): 93-99  
Li J H, Jing Y P. Effects of changes in rural economic structure on agricultural energy efficiency[J]. *Issues of Agricultural Economy*, 2011, 32(11): 93-99 (in Chinese)
- [29] 王兵, 谢俊. 全要素能源效率的国际比较: 基于能源结构视角的实证研究[J]. 产经评论, 2015, 6(2): 72-86  
Wang B, Xie J. International comparison of total factor energy efficiency: An empirical research from the perspective of energy structure [J]. *Industrial Economic Review*, 2015, 6(2): 72-86 (in Chinese)
- [30] 李兰冰. 中国全要素能源效率评价与解构: 基于“管理—环境”双重视角[J]. 中国工业经济, 2012(6): 57-69  
Li L B. Evaluation on regional energy efficiency in China: Based on managerial and environmental viewpoints [J]. *China Industrial Economics*, 2012(6): 57-69 (in Chinese)

责任编辑: 王岩



第一作者简介: 陈佩, 南京财经大学粮食和物资学院博士研究生, 江苏省重点培育智库、现代服务业智库研究员。主要研究方向为: 农业资源与环境, 粮食安全。已发表论文: 《中国小麦生产的化肥要素配置扭曲及削减潜力测算》(《农林经济管理学报》)《农业机械化有助于化肥投入效率提升吗? ——以小麦为例》(《中国农业大学学报》)《中国近现代开放的比较与世界意义》(《南京财经大学学报》)。主持江苏省研究生创新课题一项, 参与国家社会科学基金、国家自然科学基金 4 项。



通讯作者简介: 张为付, 博士, 南京财经大学教授、博士生导师; 南京财经大学党委常委、副校长、江苏现代服务业研究院执行院长; 江苏高校协同创新中心(现代服务业)执行主任; 江苏现代服务业智库首席专家; 中国国家发展和改革委员会服务业发展咨询委员会委员; 国家级黄大年式教师团队负责人; 江苏重点培育现代服务业智库首席专家; 主持或参与包括国家社会科学基金项目、国家自然科学基金项目等在内的课题 60 余项; 在《中国工业经济》《财贸经济》等期刊上发表学术论文 100 余篇; 出版专著(含合著、教材)20 余册。