



粮食主产区农业绿色发展的影响因素、质量测度与动力分析——基于绿色全要素生产率视角
崔宁波, 生世玉

引用本文:

崔宁波, 生世玉. 粮食主产区农业绿色发展的影响因素、质量测度与动力分析——基于绿色全要素生产率视角[J]. *农业资源与环境学报*, 2022, 39(3): 621–630.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0106>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[农业高质量发展的空间分异与影响因素——以广东省为例](#)

黄修杰

农业资源与环境学报. 2021, 38(4): 699–708 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0454>

[规模化经营推动中国农业绿色发展](#)

谷保静, 段佳堃, 任琛琛, 汪思彤, 王琛

农业资源与环境学报. 2021, 38(5): 709–715 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0377>

[从化区农田耕层土壤有效硅空间分布及影响因素](#)

渠悦, 马涛, 胡月明, 刘洛, 孙孝林

农业资源与环境学报. 2021, 38(6): 989–998 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0545>

[地理探测器与Tobit模型在粤西地区粮食生产效率及影响因子分析中的比较应用](#)

黄馨亿, 任向宁, 马涛, 胡月明, 李波, 张飞扬, 谢健文

农业资源与环境学报. 2020, 37(6): 818–828 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0482>

[中国省际农业生态效率评价及其改进路径分析](#)

方永丽, 曾小龙

农业资源与环境学报. 2021, 38(1): 135–142 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0148>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

崔宁波, 生世玉. 粮食主产区农业绿色发展的影响因素、质量测度与动力分析——基于绿色全要素生产率视角[J]. 农业资源与环境学报, 2022, 39(3): 621-630.

CUI N B, SHENG S Y. Influencing factors, quality measurement and dynamic analysis of agricultural green development in major grain producing areas from the perspective of green total factor productivity[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2022, 39(3): 621-630.



开放科学 OSID

粮食主产区农业绿色发展的影响因素、质量测度与动力分析——基于绿色全要素生产率视角

崔宁波, 生世玉

(东北农业大学经济管理学院, 哈尔滨 150030)

摘要:为了探究粮食主产区农业绿色发展的影响因素与质量动力,以农业绿色全要素生产率(GTFP)为切入点,运用超越对数函数形式的SFA模型对环境约束下2004—2018年松花江、黄河、长江三大流域粮食主产区展开分析。结果表明:环境规制、第一产业占比、农业财政支持对GTFP的增长具有显著正向影响,环境污染、自然灾害则反之;三大流域农业GTFP增长率的平均值为3.3%,农业绿色发展状况在不断改善,但改善速度前期波动较大、后期较小,且区域间呈现不均衡状态;松花江流域的发展动力主要来自技术效率、技术进步和规模效率的增长,黄河流域和长江流域分别来自技术效率主导和技术进步主导的效率与进步双重驱动,规模效率和要素配置效率对二者的贡献较为微弱。今后需要注重以提升绿色全要素生产率为核心,加大农业技术创新,发展适度规模经营,完善区域协调发展机制,并有效实施环境规制政策。

关键词:粮食主产区;绿色全要素生产率;农业绿色发展;SFA模型

中图分类号:F061.5

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2022)03-0621-10

doi: 10.13254/j.jare.2021.0106

Influencing factors, quality measurement and dynamic analysis of agricultural green development in major grain producing areas from the perspective of green total factor productivity

CUI Ningbo, SHENG Shiyu

(School of Economics and Management, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: In this study, we used the stochastic frontier analysis (SFA) model in the form of the transcendental logarithmic function to analyze the major grain-producing areas in the Songhua River, Yellow River and Yangtze River basins from 2004 to 2018 under environmental constraints, in order to explore the influencing factors and quality dynamics of agricultural green development in major grain-producing areas based on agricultural green total factor productivity (GTFP). The results showed that environmental regulation, the proportion of the primary industry, and agricultural financial support had a significantly positive, while environmental pollution and natural disasters a negative effect on the growth of GTFP, respectively. The average growth rate of agricultural GTFP in the three major basins is 3.3%, and the agricultural green development situation is constantly improving, but the speed of improvement fluctuates significantly in the early stage, followed by amplitude reduction, showing an unbalanced profile among the regions. The Songhua River basin is mainly driven by the increase in technical efficiency, technological progress, and scale efficiency. The Yellow River basin and the Yangtze River basin are driven by technical efficiency and technological progress, respectively. The contribution of scale efficiency and factor allocation efficiency to the two is relatively weak. Therefore, we need to focus on the improvement of green total factor productivity, increase agricultural technological innovation, develop appropriate scale operation, improve regional coordinated development mechanism, and effectively implement environmental regulation policies.

Keywords: major grain producing areas; green total factor productivity; agricultural green development; SFA model

收稿日期:2021-02-21 录用日期:2021-04-14

作者简介:崔宁波(1980—),女,黑龙江依安人,博士,教授,主要从事农业经济理论与政策研究。E-mail:82890000@163.com

基金项目:国家社会科学基金项目(20BJY149)

Project supported: The National Social Science Foundation of China(20BJY149)

2021年中央一号文件和十九届五中全会提出,要完善生态文明领域统筹协调机制,推动绿色发展导向,全面提高资源利用效率,在“十四五”时期促进经济社会发展的全面绿色转型。就农业领域而言,根据2020年《全国第二次污染源普查公报》显示,农业面源COD、氮、磷排放量分别约占全国总排放量的50%、47%和67%。耕地土壤污染点位超标率高达19.4%^[1]。推动农业绿色发展可以从根本上改善由粗放经营带来的资源利用和生态环境问题,形成生产高效、生态稳定、环境良好、产能持续的新格局^[2]。粮食主产区作为保障国家粮食生产安全和有效供给的核心区域,主要分布于松花江、黄河和长江三大流域^[3],在政策支持和技术进步的推动下,其综合生产能力得到极大提升并趋于稳定,持续贡献着全国75%以上的粮食产量和90%以上的粮食增产量。然而随着要素成本的不断提高、供给侧结构性失衡,加之粗放的生产方式和对生态环境的忽视,农业生产除了长期受人多地少、水资源短缺、自然灾害等刚性约束外,还面临着农药化肥的过度使用、温室气体排放、废弃物污染等日益突出的生态环境问题^[4]。可以说,主产区在保障国家粮食安全的背后,很大程度上是以牺牲资源环境为代价的。在如今绿色引领的高质量发展背景下,以农业绿色全要素生产率(Green total factor productivity, GTFP)为视角,厘清资源环境约束下粮食主产区农业绿色发展的影响因素和质量动力,对探寻农业绿色协调发展模式,科学制定相关政策,从而实现粮食持续安全具有重要的理论和现实意义。

1 基于GTFP的农业绿色发展

1.1 GTFP与农业绿色发展

改革开放以来,我国农业经济持续快速发展,国内外很多经济学家试图解开这一增长之谜。传统增长理论主要致力于探究资源约束下如何实现增长的最大化,认为全要素生产率(Total factor productivity, TFP)是各类资源投入贡献之外的全部生产效率,能够反映要素的结构、利用效率和技术进步等,不仅是衡量经济发展的核心指标,也是分析增长动力的适宜工具^[5]。在农业领域,TFP对农业经济增长贡献的持续提升很大程度上就是农业现代化的实现过程。因此,早期文献也侧重从农业TFP视角出发,研究资本、劳动力、资源投入等各种决定性因素对农业经济增长的影响^[6]。然而,随着化肥、农药等现代农业生产资料使用量的不断增加,生态环境破坏日渐威胁农业发

展的可持续性,传统理论忽略了对生态环境问题的关注。国内外学者考虑将环境因素纳入农业TFP的框架,分析农业绿色发展质量,并引申出绿色全要素生产率、绿色GDP等概念^[7-8],在考虑资源投入约束的基础上引入生态环境因素,综合考察二者对农业经济发展的影响,成为评判一个国家或地区农业绿色发展质量和经济增长模式的重要依据^[9]。涂正革等^[10]认为农业绿色发展主要体现在农业生产效率高和农业面源污染少两个方面。但由于理论方法、数据来源、指标处理等不同,TFP和GTFP的差异关系尚未形成一致的结论,部分学者认为环境因素会增加生产成本,对非绿色技术研发和应用产生挤出效应,降低生产效率和经济增长速度^[11-12];而“波特假说”认为恰当的环境规制会刺激环境技术创新,提高产品质量,从而提高生产效率并促进经济增长^[13]。

1.2 GTFP增长率的测算与分解

在测算层面上,现有研究多按地理位置或经济发展水平分组对省际和省内县域进行划分,揭懋汕等^[14]、潘丹等^[15]分别以碳排放和面源污染为约束指标测算了1992—2011年我国28个省域和1998—2009年2183个县域的TFP,均表明东部地区的生产率高于西部地区,且效率的提高主要是由前沿技术进步贡献的。针对粮食主产区农业GTFP展开测度和动力分解的研究相对较少,陈红等^[16]测算了不同环境规制下粮食主产区的农业TFP,认为从静态看,降低环境规制会导致农业TFP下降,但从动态看却可以提高农业TFP。在测算方法上,最初FAN^[17]、叶裕民^[18]运用索洛余值法对TFP进行简单的整体特征评估,但其内部构成还无法准确识别。随后,一些学者引入数据包络分析(Data envelopment analysis, DEA)和随机前沿法(Stochastic frontier analysis, SFA),对TFP或GTFP内部构成和增长动力进行深度解析。前者主要以DEA与Malmquist指数相结合为主,不需要考虑要素价格,也无需设置具体生产函数^[19];后者需建立在具体的生产函数之上,考虑到随机扰动因素和数据误差的敏感性,SFA方法比DEA方法更为适用^[20-21]。在环境因素的处理方式上,大多以农业面源污染或碳排放来表征环境污染,以治理投资额、产污强度等表征环境规制。DEA方法倾向于将环境污染作为非期望产出^[22],而SFA方法则倾向于将环境污染、环境规制、劳动力、资本等作为投入要素^[23-24]。

现有从农业TFP到GTFP的有关研究契合当下绿色引领的高质量发展理念,为本研究奠定了一定基

础,但仍存在不足之处。第一,多数省域层面的比较研究是按照地理位置或东中西三大经济区域的划分来进行的,缺少对农业生产自然特性的体现。第二,在环境变量设定上,多数研究仅关注到环境污染或环境规制的其中之一,忽视了二者的共同作用,且对影响农业绿色发展的外生变量关注较少。区别于已有研究,本研究同时考虑环境污染、环境规制约束和基础设施建设等外生因素,以三大流域划分的全国13个粮食主产区为研究对象,运用超越对数的SFA模型对农业GTFP进行回归分析、测度与分解,并进一步研究时变特征和空间差异,明晰主产区农业绿色发展的影响因素与质量、动力,以期在资源环境承载力下为进一步提高该区域农业生产效率提供决策参考。

2 研究方法 with 数据来源

2.1 SFA 模型

随机前沿生产函数模型最初是由MEEUSEN等^[25]在确定性函数基础上提出的,应用于截面数据的非确定性参数效率测度,其优点在于能够将生产函数的误差项分为随机干扰影响和技术非效率误差两部分。BATTESE等^[26]进一步将SFA模型扩展到面板数据的分析中,提出了BC模型,本研究沿用此方法采取以下函数作为实证模型的基本形式:

$$\ln Y_{it} = \ln f [X_{it}(t), t] + (v_{it} - u_{it}) \quad (1)$$

$$u_{it} = u_i \times e^{-\eta(t-T)} \quad (2)$$

式中: X_{it} 、 Y_{it} 分别表示*i*单元第*t*年的要素投入和实际产出; v_{it} 为随机误差项,服从正态分布 $N(v, \sigma_v^2)$; u_{it} 是技术无效率项,服从非负截尾正态分布 $N^+(u, \sigma_u^2)$; η 为 u_{it} 的时变参数, $\eta < 0$ 、 $\eta = 0$ 、 $\eta > 0$ 分别表示技术效率随时间变化的递减、不变和递增; T 为最长研究时限, $t = 1, 2, 3, \dots, T$ 。

定义 $\gamma = \frac{\sigma_u^2}{\sigma_v^2 + \sigma_u^2} \in [0, 1]$,代表由技术无效率项带来实际产出与前沿生产面的偏离程度, γ 越趋近1,说明技术无效率误差影响越大, γ 越趋近0,说明随机误差影响越大。

由于所有投入要素同比变化的规模报酬概念在农业中不具备真实的实践价值,相比C-D生产函数,超越对数形式的SFA模型对希克斯技术中性的前提假设较为放松,能够更好地反映各个要素的交互替代对产出的影响,因此,本研究在此基础上构建更具包容性的变弹性超越对数生产函数模型:

$$\ln Y_{it} = \beta_0 + \sum \beta_j \ln x_{jit} + \beta_{it} + \frac{1}{2} \sum \sum \beta_{ij} \ln x_{jit} \ln x_{jit} + \frac{1}{2} \beta_{it} t^2 + \sum \beta_{it} t \ln x_{jit} + v_{it} - u_{it} \quad (3)$$

式中: β 为不同待估计参数; j 代表不同的投入要素; i 表示地区; t 表示年份。

2.2 GTFP 增长率分解

参考SOLOW^[27]全要素增长率的经典公式和KUMBHAKAR等^[28]的模型分解,将环境约束下的GTFP分为前沿技术进步率(TC)、规模效率(SC)、配置效率增长率(AE)和技术效率变化率(TE)四部分,用公式表示为:

$$GTFP = \partial \ln f(x, t) / \partial t + \sum (\varepsilon_j - S_j) \dot{x}_j - du/dt =$$

$$\partial \ln f(x, t) / \partial t + (RTS - 1) \sum \lambda_j \dot{x}_j + \sum (\lambda_j - S_j) \dot{x}_j - du/dt = TC + SC + AE + TE \quad (4)$$

式中: ε_j 为要素*j*的产出弹性; RTS 为规模报酬指数; λ_j 为要素相对产出弹性; S_j 表示要素*j*占总成本的比例; \dot{x}_j 表示要素的增长率; $TC = \partial \ln f(x, t) / \partial t$,代表前沿技术进步率,即投入要素不变时,前沿技术随时间的变化程度; $SC = (RTS - 1) \sum \lambda_j \dot{x}_j$,表示规模报酬带来的绿色全要素生产率变动; $AE = \sum (\lambda_j - S_j) \dot{x}_j$,衡量前沿技术水平不变时要素结构调整对绿色全要素生产率的影响变化; $TE = -du/dt$,表示在技术水平和投入要素不变时的技术效率改进,即实际产出与前沿产出的比值变化。

2.3 指标选取

2.3.1 前沿生产函数指标

农业生产的主要投入要素包括土地、劳动力和资源等,因此本研究选取耕地面积(A)、农业从业人员数量(L)、机械总动力(M)、化肥折纯量(F)及农业用水量(W)作为前沿生产函数的投入指标,大口径的农业(农林牧渔)生产总值(Y)作为产出指标^[15]。综合考虑统计数据的可获性,其中土地面积包括农作物种植面积和水产养殖面积,农业从业人员数量和机械总动力以农林牧渔总量表示。相较于已有文献,本研究剔除了役畜等要素,这主要考虑到21世纪以来,农业机械化进程显著加快,2019年主要农作物耕、种、收综合机械化率超过70%,役畜等在农业生产中的利用程度较低。以农业用水量代替有效灌溉面积,是因为本研究中粮食主产区是按照不同流域来划分的,而不同流域的气候、地形等自然特征不同导致单位灌溉面积的用水权重不同,农业用水量能更加真实地反映农业

水资源的投入^[29]。

2.3.2 技术无效率项指标

由于本研究重点考察粮食主产区的农业绿色发展的质量、动力和影响因素,与既往研究仅考虑环境污染单方面的约束不同,本研究将环境污染和环境规制同时作为影响绿色生产效率的核心控制变量,并选择产业结构、农业要素禀赋结构、农业财政支持、自然灾害率等4个对农业经济发展有重要影响的指标作为外生控制变量。

环境污染指标:参考揭懋汕等^[14]的研究,以农业碳排放量(CE)作为投入要素表征环境污染,排放源主要包括猪牛羊养殖以及化肥、农药、农膜和机械动力,相应的排放系数分别为35.26、301.44、34.1 kg·头⁻¹·a⁻¹以及0.895 6、4.934 1、5.18 kg·kg⁻¹和0.18 kg·kW⁻¹。选择碳排放这一指标,一方面由于农业生产中包括土地耕作在内的较难量化的各种污染均可使用碳排放进行估算,且控温减排与我国发展绿色低碳农业的目标一致;另一方面是由于农业面源污染来源还存在争议,如畜禽粪便作为有机肥料还是污染物、农作物秸秆的化学需氧量估算差别是否由产污系数随时间变动引起等问题还有待商榷,因而不能用农业面源污染来表征。

环境规制指标:实施环境规制本身包括各方面的资金、人力、物力,鉴于只将其作为影响农业绿色发展的一部分,本研究以农业环境污染治理投资额(ER)表示,具体参考石晓然等^[30]的算法:农业环境污染治理投资额=农业生产总值×环境污染治理投资/国内生产总值。

其余控制变量指标:以第一产业总值与GDP比值衡量产业结构(Ins)、水库数量衡量农业基础设施

建设(Fes)、用于农林牧渔的公共财政支出衡量农业财政支持(Gov)、受灾面积衡量农业自然灾害情况(Nda)。具体变量的描述性统计见表1。

根据上述技术非效率项影响因素的指标设定,技术非效率项函数模型构建如下:

$$\mu_{it} = \delta_0 + \delta_{ce} \times CE_{it} + \delta_{er} \times ER_{it} + \delta_{in} \times Ins_{it} + \delta_{fe} \times Fes_{it} + \delta_{go} \times Gov_{it} + \delta_{nd} \times Nda_{it} + \xi_{it} \quad (5)$$

2.4 数据来源

本研究以全国13个粮食主产区2004—2018年的面板数据为研究对象,原始数据来源于2005—2019年13个省(区)统计年鉴、《中国农村统计年鉴》、《中国环境统计年鉴》及政府公开报告,部分缺失数据运用插值法补齐。为减少通货膨胀和物价变动的影响,以2004年为基年,利用GDP指数和居民消费价格指数计算2005—2018年的实际GDP和农业财政支出。

3 模型检验与结果分析

3.1 模型检验

在回归分析和效率测度前,运用广义似然比对SFA模型的适用性、超越对数函数的有效性、技术无效率项的存在性、技术进步的存在性及希克斯中性进行检验。统计量为 $\lambda = -2\ln[L(H_0) - L(H_1)]$,其中 $L(H_0)$ 和 $L(H_1)$ 分别为原假设 H_0 和备择假设 H_1 的对数似然估计值,若原假设成立,则其服从卡方分布。表2的检验结果显示零假设均被拒绝,因此,利用超越对数函数形式的SFA模型是合适的。

3.2 结果分析

本研究利用Frontier 4.1软件进行分析。首先,采

表1 变量的统计性描述

Table 1 Statistical description of variables

变量 Variable	符号 Symbol	均值 Mean	标准差 Standard deviation	最大值 Maximum	最小值 Minimum	观测数 Number
农业生产总值/10 ⁴ 元	Y	2 559.56	1 016.52	6 042.93	851.30	195
土地面积/10 ⁴ hm ²	A	638.51	287.69	1 586.40	282.67	195
农业从业人员数量/10 ⁴	L	1 298.23	684.76	3 245.66	556.70	195
机械总动力/10 ⁴ kW	M	5 071.26	308.42	13 353.02	1 319.80	195
农业用水量/10 ⁸ m ³	W	157.06	59.06	316.40	66.38	195
化肥折纯量/10 ⁴ t	F	288.91	139.63	716.09	104.40	195
环境污染/10 ⁴ t	CE	608.12	247.18	1 329.62	266.94	195
环境规制/10 ⁴ 元	ER	34.93	14.20	84.57	10.13	195
产业结构/%	Ins	11.37	3.90	21.60	1.20	195
农业基础设施建设/套	Fes	4 353.64	3 935.43	14 098.00	474.00	195
农业财政支持/10 ⁸ 元	Gov	84.13	59.03	398.62	24.22	195
受灾面积/10 ³ hm ²	Nda	1 646.85	1 069.27	7 394.00	91.00	195

表2 模型假设检验结果
Table 2 Test results of model hypothesis

零假设 Null hypothesis	自由度 DOF	LR值 LR value	检验结论 Conclusion
$H_0: \gamma=\mu=\eta=0$	2	443.418	拒绝 H_0
$H_0: \eta=0$	1	31.276	拒绝 H_0
$H_0: \beta_0=\beta_1=\beta_2=0$	7	109.744	拒绝 H_0
$H_0: \beta_3=0$	6	79.682	拒绝 H_0
$H_0: \beta_0=\beta_1=\beta_2=\beta_3=0$	27	613.252	拒绝 H_0

用BATTESE等^[31]提出的一步法对超越对数生产函数SFA模型进行回归,分析影响粮食主产区农业绿色发展的各类因素。其次,对粮食主产区GTFP进行测度,明晰环境约束下的农业绿色发展质量。最后,针对测度结果进行进一步分解,分析粮食主产区农业绿色发展的主要动力及改善方向。由于一步法放松了对技术无效率项和前沿生产函数项解释变量的独立性要求,可以将其同时纳入回归模型进行估计,且一步法在技术无效率项的解释变量较少时得到的结果更为显著和准确,与前沿函数解释变量的相关性关联也可以在估计系数中反映,更为贴近经济发展的现实情况。本研究中技术的无效率项解释变量较

少,因此一步法基本适用。

3.2.1 农业绿色发展的影响因素分析

表3为各项变量的回归结果。首先,从诊断性结果来看, σ^2 和 γ 均通过了 t 检验, γ 值为94.7%,趋近于1, η 等于0.014 2,表明技术无效率项客观存在,且每年降低1.42%,由此带来的实际产出偏离前沿生产面的影响很大,病虫害等不可控随机因素的影响只占5.3%。绝大多数变量参数在1%水平下显著,SFA模型整体估计效果较好。

其次,从前沿函数的参数回归结果来看,土地面积、劳动力和机械总动力一次项和二次项系数都显著为正,表明增加三者投入对农业绿色生产效率具有正向影响。化肥施用量的一次项系数显著为正,二次项系数显著为负,呈现倒U型关系,表明在短期内增加化肥用量可以增加农业经济产出,提高绿色全要素生产效率,但过量使用会造成面源污染等问题,阻碍农业绿色发展。农业用水量一次项系数显著为负,二次项系数显著为正,表明过量用水已经造成了资源浪费,事实上近年来主产区水资源保障能力不断下降,大部分省份要靠抽取地下水来满足农业生产的用水

表3 超越对数生产函数SFA模型的参数回归结果
Table 3 Parameter regression results of the translogarithmic production function SFA model

随机前沿项 Random front term			技术无效率项 Technical inefficient term					
变量 Variable	系数 Coefficient	t 检验 t -test	变量 Variable	系数 Coefficient	t 检验 t -test			
常量	0.776 237 15***	3.217 03	lnAC	-0.236 084 6***	-4.892 22	常量	2.497 979 1***	13.638 60
lnA	0.180 798 53**	2.023 59	lnLM	-0.226 682 66***	-7.602 76	CE	0.000 669 620 4***	17.711 49
lnL	0.463 609 65***	3.312 07	lnLW	0.180 920 24***	7.142 47	ER	-0.015 661 637***	-16.832 3
lnM	0.632 058 47***	5.586 47	lnLF	0.141 611 01***	3.933 29	Ins	-0.018 195 95**	-4.043 83
lnW	-0.237 504 52**	-2.090 16	lnLC	-0.269 637 95***	-6.825 02	Fes	0.000 019 690 3***	6.202 34
lnF	1.411 079 9***	9.621 52	lnMW	-0.099 373 072***	-3.011 75	Gov	-0.000 691 553***	-5.961 28
lnC	-1.941 543 5***	-10.201 89	lnMF	0.037 31	0.886 25	Nda	0.000 032 785 361	0.679 46
t	0.012 430 347**	2.367 04	lnMC	0.125 459 88***	2.741 43	σ^2	0.128 533 67***	3.976 82
lnA ²	0.128 145 78***	231.755 94	lnWF	0.062 494 341*	1.939 32	γ	0.947 363 94***	39.947 21
lnL ²	0.152 812 45***	6.953 11	lnWC	-0.196 128 68***	-4.419 02	μ	0.697 905 9*	1.673 19
lnM ²	0.035 160 422***	3.072 07	lnFC	0.438 122 81***	5.129 09	η	0.014 198 013***	7.769 17
lnW ²	0.034 799 843**	2.150 06	tlNA	0.004 890 538***	5.362 94	lg(likelihood)	789.642	
lnF ²	-0.225 317 28***	-4.727 27	tlNL	0.008 737 018 1***	9.873 56	LR	370.535 09	
lnC ²	0.228 613 73***	4.497 20	tlNM	-0.005 850 057***	-8.973 54			
t^2	-0.000 342 87***	-4.800 01	tlNW	0.003 123 008 3***	3.860 37			
lnAL	0.083 021 456***	4.069 55	tlNF	0.000 12	0.118 23			
lnAM	-0.107 256 98***	-3.134 27	tlNC	-0.007 920 104***	-5.623 39			
lnAW	0.084 436 929***	3.773 79	Prob>chi2	<0.001	<0.001			
lnAF	0.161 512 43***	4.334 34						

注:***、**、*分别表示显著性水平为1%、5%和10%。LR为似然比检验统计量,符合混合卡方分布。

Note:***, **, * indicate the 1%, 5% and 10% significance levels. LR is the likelihood ratio test statistic, which conforms to the mixed chi-square distribution.

需求。机械总动力与土地面积、劳动力数量的交叉项均显著为负,表明机械总动力与二者之间有一定程度的替代关系,机械化程度增加可以减少劳动力的投入,有利于发展适度规模经营,进而降低生产成本,提高耕地利用效率。而农业用水量和化肥施用量与其他要素的交叉项几乎都为正,说明投入匹配度较高,存在较强的互补关系。此外,各要素与时间交互项的回归结果表明,除化肥施用量随时间的效率溢出表现为不显著外,其余要素的时变效应均较大。综上分析,现阶段增加土地面积、劳动力数量以及提高机械化水平是提高生产效率的主要方式,我国依然处于“粗放的劳动密集型”农业生产状态,土地集约化、劳动力优化、机械化水平提高、水资源高效利用和化学用品适量使用有利于农业产业的绿色发展。

最后,从技术无效率项的参数回归结果来看,环境污染系数显著为正,环境规制系数显著为负,表明生产效率受环境约束影响,环境污染的增加会阻碍粮食主产区农业的绿色发展,化肥农药会对土壤造成化学污染,秸秆焚烧等造成大气污染,农膜残留改变土壤理化性状,这些均对农作物生长造成了负面影响。而环境规制有利于生产效率的提高,政府通过法律监管或相应的生态补偿机制对污染行为进行约束,同时刺激环境技术创新和促进经济增长,与“波特假说”较为一致。产业结构和农业财政支持系数显著为负,说明农业产业占比和财政支持力度加大能够较好地调整市场状态,产生相应的激励作用,降低损耗,促进绿色全要素生产率的增长。受灾面积无显著影响,农业基础设施建设显著为正,说明主产区的基础设施已经较为完善,继续投入带来的投入产出比反而有所降低。

3.2.2 农业绿色发展的质量分析

表4和图1分别为13个粮食主产区及三大流域的农业绿色全要素生产率平均增长和时间变化情况。整体来看,主产区GTFP增长率的均值为3.3%,除湖南省的GTFP增长率为负值外,其余省份均为正值,其中所有省份技术效率和技术进步率均处于增长状态,增长率分别约为1.8%和1.9%,而各省份规模效率和要素配置效率正负值有波动但幅度较小,两者对GTFP增长率的影响较为微弱,规模效率平均增长了0.1%,配置效率降低了0.5%。说明2004年以来,我国粮食主产区的农业绿色发展质量存在一定程度的改善,绿色农业技术效率提高和技术进步是改善的主要动力,规模经营的贡献程度不高,还有待进一步推广,多数省份存在投入要素冗余或不足的配置问题,已经阻碍

表4 2004—2018年粮食主产区农业绿色全要素生产率的平均增长与分解(%)

Table 4 Average growth and decomposition of agricultural green total factor productivity in major grain-producing areas from 2004 to 2018(%)

流域 Drainage basin	省份 Province	GTFP	TE	TC	SC	AE
松花江流域	黑龙江	6.5	2.3	2.3	1.5	0.4
	吉林	7.7	2.4	2.1	2.3	0.9
	辽宁	4.6	1.3	1.8	1.2	0.3
黄河流域	内蒙古	8.0	1.6	1.7	2.9	1.7
	河北	3.2	1.7	1.5	0.3	-0.4
	山东	0.9	1.5	1.6	-1.0	-1.1
	河南	4.8	2.7	1.7	1.3	-1.0
长江流域	湖南	-2.2	1.1	2.1	-4.7	-0.7
	湖北	3.0	2.1	1.8	0.2	-1.0
	江西	1.3	1.5	2.0	-1.2	-1.0
	江苏	0.2	1.7	1.8	-1.9	-2.1
	安徽	2.8	2.0	2.0	-0.3	-0.9
	四川	2.0	0.9	2.3	1.0	-2.3
平均值		3.3	1.8	1.9	0.1	-0.5

了绿色发展水平的提高。

从时间变化来看,2018年以前,粮食主产区农业绿色发展质量在逐年提高,但提高速度前期波动较大,后期呈现下降趋势。其中技术效率增长率较为稳定,技术进步增长率稳中略有下降,二者一直是农业GTFP增长的主要动力。根据图1可知,2005—2007年的农业GTFP增长率处于上升阶段,并达到近十几年的峰值,原因可能是划定粮食主产区以来,国家颁布的各项支持政策促进了规模经营,与此相伴的是机械化、劳动力等要素投入的替代调整,规模效率和要素配置效率提高,农业总产值增加。并且国家在此期间还发布环保专项通知,2005年正式将环境规制纳入“十一五”规划,碳排放等污染受到限制性约束,农业绿色发展水平显著提高;2007—2008年的农业GTFP增长率出现下降,这主要是由松花江流域的技术进步效率、黄河和长江流域的规模效率下降引起的;2008—2009年又上升,归因于规模效率和要素配置效率的增加,这两年的增减变化幅度较大,可能是由于农业生产受自然影响较大;2009—2016年农业GTFP呈现波动下降趋势,这一阶段尽管农业绿色发展水平仍处在不断改善状态,但随着我国经济发展水平不断提高,为追求经济价值,畜牧业养殖规模扩大、种植业化肥过量投入产生较多的农业碳排放,影响GTFP的增长速度。而2012年国家提出建立耕地生

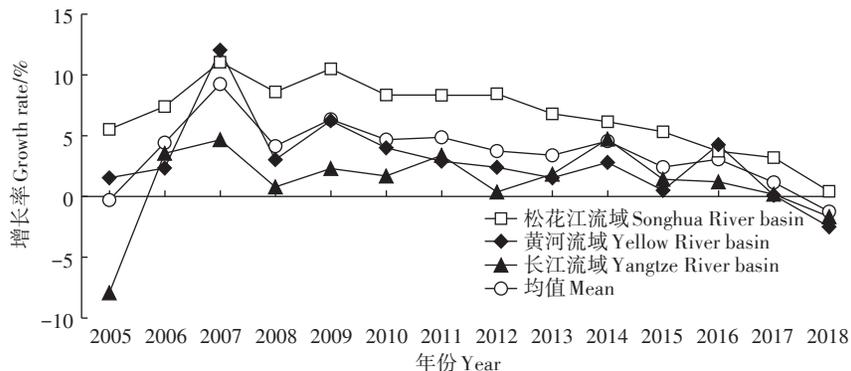


图1 三大流域GTFP的增长率

Figure 1 Growth rate of GTFP in the three basins

态保护机制,实现经济与环境协调发展,加大对耕地环境污染治理力度,以及后来化肥减量增效等各种环境政策的发布又起到一定的推动作用,但实现农业绿色生产、绿色消费等是一个投入大、周期长且见效慢的过程,导致技术进步的增长率在这一时期缓慢下降;2016—2018年增长率持续下降,甚至变为负增长,这与我国经济由高速增长阶段转向高质量发展阶段有关,经济增长速度的减缓使得主产区的农业绿色发展速度也减缓。

从区域差异来看,粮食主产区农业绿色发展呈现出区域不均衡的特征。从图1可以看出,松花江流域的绿色发展质量改善程度最高,其次是黄河流域和长江流域。图2中,2008—2012年间粮食主产区流域内和流域间的变异系数差异较大,农业绿色发展水平的差距也大。其中,松花江流域内均衡差异最小,这可能是由于该流域内的气候条件和土壤特性等更为相近;2012年以前,长江流域的变异系数大于黄河流域,之后黄河流域内的发展差异增大且一直高于长江流域。这可能由于长江流域的粮食主产区较多,流域内的农业生产不同,湖南省和江苏省多年出现负增长情况。而黄河流域则主要受山东省的影响,省内人多

地少、农业种植多以经济作物为主,碳排放量高,绿色发展的改善程度相对流域内的其他省份不明显。不同流域的农业生产受生产要素、气候条件与作物适应程度的影响较大,同一流域自然环境差异较小,但社会经济、政策实施等因素也会对农业绿色发展造成影响。

3.2.3 农业绿色发展动力分析

结合图3、图4、图5和上述分析可知,松花江流域的绿色发展质量改善程度最高,主要驱动因素除技术效率和技术进步外,在2008—2013年间规模效率成为主导。尽管该地区由于地理位置和气候等自然条件以及经济条件限制,其农业生产的技术进步水平和产值总量相对较低,但在实施管理以及资源要素投入的使用效率方面优越,尤其是黑龙江省、吉林省和内蒙古自治区人少地多,规模经营程度高使得技术效率和规模效率高。且国家高度重视东北黑土地的保护工作,每年下拨专项资金用于秸秆还田等绿色生产技术的推广,本质也是环境规制投资的一部分,因此该地区农业绿色发展增长远高于其他地区。黄河流域的绿色发展质量改善程度处于中等水平,该流域的粮食主产区大多位于东部地区,经济发展水平较高,主

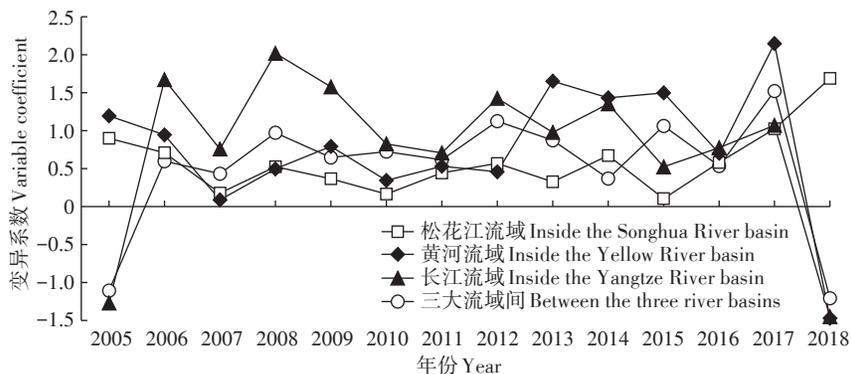


图2 流域内和流域间GTFP变异系数

Figure 2 Coefficient of variation of GTFP within and between basins

要动力来自技术效率与技术进步的双重驱动(技术效率为主导),但地块分散、水资源短缺等因素限制其经营规模和要素配置,使得规模配置效率与要素配置效率多年为负值,阻碍绿色全要素生产率的提高。要进一步通过建设高标准农田等方式发展适度规模经营,调整农业要素投入的配比结构。长江流域的农业绿色发展质量改善程度最低,但技术进步增长率最高,由技术创新带动的农业发展水平较高,该地区的主要动力来自技术进步与技术效率的双重驱动(技术进步为主导),长三角一体化合作的深化也进一步带动该区域包括农业在内的经济发展。而在规模效率和要素配置效率的增长方面,不仅出现负增长的问题,劳动力大量转移、地块碎片化程度高,加之洪涝等自然灾害率

高、不确定性大,导致二者之间多年变化的极度不协调,进一步抑制了农业绿色全要素生产率的增长。

4 结论与政策启示

4.1 研究结论

以绿色全要素生产率为视角,利用全国13个粮食主产区2004—2018年的面板数据,构建超越对数生产函数SFA模型并实证评估了主产区农业绿色发展质量,通过影响因素的回归分析与GTFP增长率测算分解,全面解析了粮食主产区农业绿色发展的动力来源与区域差异,得出的主要结论如下:

(1)从回归分析来看,基础投入要素中的土地面积、劳动力、机械总动力对农业绿色发展具有正向影

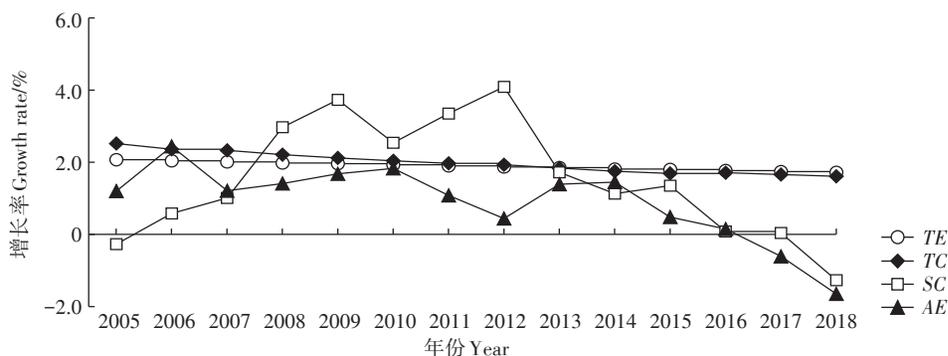


图3 松花江流域GTFP的分解

Figure 3 Decomposition of GTFP in the Songhua River basin

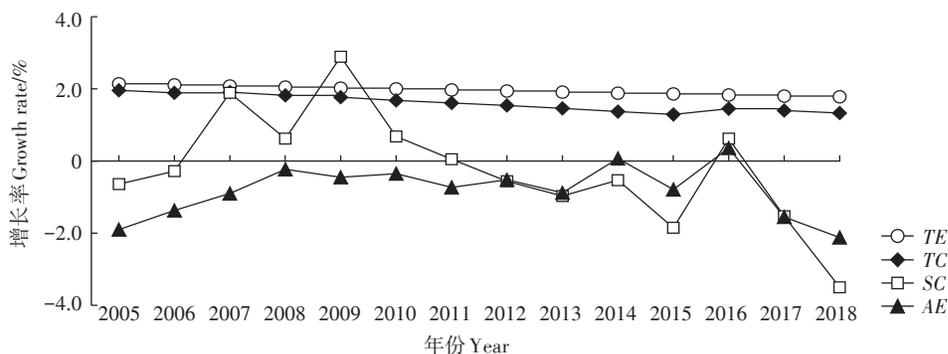


图4 黄河流域GTFP的分解

Figure 4 Decomposition of GTFP in the Yellow River basin

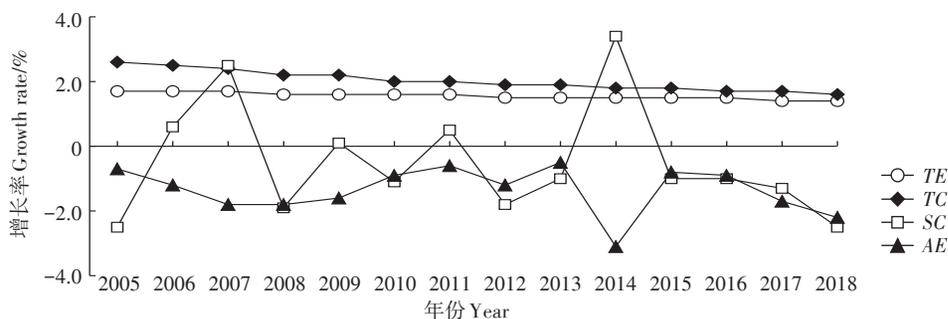


图5 长江流域GTFP的分解

Figure 5 Decomposition of GTFP in the Yangtze River basin

响,农业用水量和化肥施用量分别呈现U型和倒U型关系;环境因素中的环境污染阻碍农业绿色发展,而环境规制则对发展绿色农业有一定促进作用。外生因素中的第一产业占比和农业财政支持具有正向影响,自然灾害具有负向影响。

(2)从GTFP增长率的测算来看,2004年以来,粮食主产区GTFP增长率的平均值为3.3%,除湖南省出现负增长外,其余省份的农业绿色发展状况在不断改善。改善速度在2007年达到峰值,2008年下降后2009年略有上升,而后呈现波动中下降和持续下降态势。且区域间呈现不均衡状态,松花江流域改善程度最高且流域内差异小,黄河流域和长江流域改善程度较低,流域内差异大。

(3)从GTFP增长率的分解来看,松花江流域农业绿色发展主要源于技术效率、技术进步和规模效率的三重驱动;黄河流域和长江流域的主要动力均来自技术效率与技术进步的双重驱动,其中,黄河流域以技术效率为主导,长江流域以技术进步为主导。

4.2 政策启示

根据研究结论可知,统筹协调经济增长、资源节约与环境保护三者的关系,强化技术进步和技术效率的核心作用,提高规模效率和要素配置效率,有效实施环境规制政策并增强环境治理效果,以绿色全要素生产率的提升驱动主产区农业绿色发展,是实现粮食持续安全和经济绿色增长的重要途径。具体应从以下几方面进行改进:

(1)有效实施环境规制政策,提高农业污染治理效果。各粮食主产区政府要根据自身自然环境、要素禀赋和农业生产特点,制定适宜的差异化环境规制政策,包括化肥农药限量、生态补偿、农牧循环经济补贴等,激发环境规制给农业生产带来的“创新补偿”效应。同时要将产出高效与生态改善纳入农业绿色发展的考核指标中,定期进行监督评估。此外,还可以通过扩大财政支农规模,建立全面的灾害预警系统和区域性的防灾体系,减少外生因素对农业绿色发展的负面影响。

(2)加大农业技术创新,促进成果转化推广。粮食主产区尤其是黄河流域和长江流域各省份要充分利用自身经济实力、教育资源等,继续增强其技术效率和技术进步的优势。鼓励农业企业、高等院校、科研院所等围绕农业生产科技需求,重点推进环境修复、保护性耕作、废弃物资源化利用、要素投入减量增效等关键技术的研发,依托网络媒体等进行推广,定

期进行现场指导和技术培训会,提高农民的专业化和技术化水平,促进农村生产生活方式绿色转型。

(3)调整要素投入结构,发展适度规模经营。目前大多数粮食主产区仅依赖技术对生产效率的提高,规模效率和要素配置效率尚有较大提升空间,可以通过集约化、规模化农业生产降低单位面积的资源消耗,提高资源利用效率。松花江流域可以在土地规模优势下进一步调整劳动力、水资源等要素的投入比例;黄河流域和长江流域可以通过土地流转、托管等措施整合利用土地资源,针对北方水资源较为短缺的省份,还应当通过构建生态水渠、推广节水灌溉等举措提高水资源利用效率。

(4)完善区域协调发展机制,缩小区域绿色发展差距。应结合不同省份农业生产优势与制约因素规划自身绿色发展方向,在生态阈值内考虑产业优势,建立互惠合作机制和资金横向转移支付体系。同时,要健全资源流通和政策共享的区域协调发展机制,促进要素有序流动和优化配置,共同提高粮食主产区农业绿色生产效率。

参考文献:

- [1] 牛善栋,方斌. 中国耕地保护制度70年:历史嬗变、现实探源及路径优化[J]. 中国土地科学, 2019, 33(10): 1-12. NIU S D, FANG B. Cultivated land protection system in China from 1949 to 2019: Historical evolution, realistic origin exploration and path optimization[J]. *China Land Science*, 2019, 33(10): 1-12.
- [2] 姚成胜,胡宇,黄琳. 粮食主产区农业现代化水平评价及其空间非均衡性演变[J]. 农业现代化研究, 2020, 41(1): 34-44. YAO C S, HU Y, HUANG L. The evaluation of the agricultural modernization level in major grain producing areas and its spatial non-equilibrium evolution[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2020, 41(1): 34-44.
- [3] 曹慧,赵凯. 粮食主产区粮食生产技术效率时空特征分析[J]. 华东经济管理, 2017, 31(12): 82-90. CAO H, ZHAO K. An analysis on the temporal and spatial characteristics of grain production technical efficiency of major grain producing areas[J]. *East China Economic Management*, 2017, 31(12): 82-90.
- [4] 李谷成,冯中朝. 中国农业全要素生产率增长:技术推进抑或效率驱动——一项基于随机前沿生产函数的行业比较研究[J]. 农业技术经济, 2010, 29(5): 4-14. LI G C, FENG Z C. Agricultural total factor productivity growth in China: Technology-driven or efficiency-driven: A comparative study of industries based on stochastic frontier production functions[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2010, 29(5): 4-14.
- [5] 蔺鹏,孟娜. 环境约束下京津冀区域经济发展质量测度与动力解构——基于绿色全要素生产率视角[J]. 经济地理, 2020, 40(9): 36-45. LIN P, MENG N N. Quality measurement and dynamic deconstruction of regional economic development in Beijing-Tianjing-Hebei region under environmental constraints: From the perspective of green

- total factor productivity[J]. *Economic Geography*, 2020, 40(9):36-45.
- [6] KALIRAJAN K P, OBWONA M B, ZHAO S. A decomposition of total factor productivity growth: The case of Chinese agricultural growth before and after reforms[J]. *American Journal of Agricultural Economics*, 1996, 78(2):331-338.
- [7] 陈卫平. 中国农业生产率增长、技术进步与效率变化:1990—2003年[J]. 中国农村观察, 2006, 27(1):18-23, 38. CHEN W P. Productivity growth, technical progress and efficiency change in Chinese agriculture: 1990—2003[J]. *China Rural Survey*, 2006, 27(1):18-23, 38.
- [8] VIAGGI D, BARTOLINI F, RAGGI M. Combining linear programming and principal-agent models: An example from environmental regulation in agriculture[J]. *Environmental Modelling & Software*, 2009, 24(6):703-710.
- [9] OUTHWAITE O, BLACK R, LAYCOCK A. The pursuit of grounded theory in agricultural and environmental regulation: A suggested approach to empirical legal study in biosecurity[J]. *Law & Policy*, 2010, 29(4):493-528.
- [10] 涂正革, 湛仁俊. 中国碳排放区域划分与减排路径——基于多指标面板数据的聚类分析[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2012, 12(6):7-13, 136. TU Z G, ZHAN R J. Analysis on China's carbon emission division and reduction path: Based on multivariate panel data clustering analysis method[J]. *Journal of China University of Geosciences(Social Sciences Edition)*, 2012, 12(6):7-13, 136.
- [11] LAMBERT D K, PARKER E. Productivity in Chinese provincial agriculture[J]. *Journal of Agricultural Economics*, 1998, 49(3):378-392.
- [12] 黄庆华, 胡江峰, 陈习定. 环境规制与绿色全要素生产率:两难还是双赢? [J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(11):140-149. HUANG Q H, HU J F, CHEN X D. Environmental regulation and green total factor productivity: Dilemma or win-win? [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2018, 28(11):140-149.
- [13] PORTER M E. America's green strategy[J]. *Scientific American*, 1991, 264(4):193-246.
- [14] 揭懋汕, 郭洁, 陈罗焯, 等. 碳约束下中国县域尺度农业全要素生产率比较研究[J]. 地理研究, 2016, 35(5):898-908. JIE M S, GUO J, CHEN L Y, et al. Spatial and temporal changes of total factor productivity in agriculture: A stochastic frontier analysis of China at county level, 1991—2011[J]. *Geographical Research*, 2016, 35(5):898-908.
- [15] 潘丹, 应瑞瑶. 资源环境约束下的中国农业全要素生产率增长研究[J]. 资源科学, 2013, 35(7):1329-1338. PAN D, YING R Y. Agricultural total factor productivity growth in China under the binding of resource and environment[J]. *Resources Science*, 2013, 35(7):1329-1338.
- [16] 陈红, 关博, 孙文娇. 我国粮食主产区不同环境规制下农业生产效率研究[J]. 商业研究, 2017, 60(3):167-174. CHEN H, GUAN B, SUN W J. Research on agricultural production efficiency under different environmental regulations in major grain producing areas in China [J]. *Commercial Research*, 2017, 60(3):167-174.
- [17] FAN S G. Production and productivity growth in Chinese agriculture: New measurement and evidence[J]. *Food Policy*, 1997, 22(3):213-218.
- [18] 叶裕民. 全国及各省区市全要素生产率的计算和分析[J]. 经济学家, 2002, 14(3):115-121. YE Y M. The calculation and analysis of total factor productivity of the whole country and each province[J]. *Economist*, 2002, 14(3):115-121.
- [19] 李欠男, 李谷成, 高雪, 等. 农业全要素生产率增长的地区差距及空间收敛性分析[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(7):28-36. LI Q N, LI G C, GAO X, et al. Analysis of regional gap and spatial convergence of agricultural total factor productivity growth[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2019, 40(7):28-36.
- [20] 王留鑫, 姚慧琴, 韩先锋. 碳排放、绿色全要素生产率与农业经济增长[J]. 经济问题探索, 2019, 439(2):142-149. WANG L X, YAO H Q, HAN X F. Carbon emission, green total factor productivity and agricultural economic growth[J]. *Inquiry into Economic Issues*, 2019, 439(2):142-149.
- [21] 张海波, 刘颖. 我国农业全要素生产率增长及收敛研究[J]. 统计与决策, 2012, 28(13):139-142. ZHANG H B, LIU Y. Study on the growth and convergence of agricultural total factor productivity in China[J]. *Statistics & Decision*, 2012, 28(13):139-142.
- [22] 王奇, 王会, 陈海丹. 中国农业绿色全要素生产率变化研究:1992—2010年[J]. 经济评论, 2012, 43(5):24-33. WANG Q, WANG H, CHEN H D. A study on agricultural green TFP in China: 1992—2010 [J]. *Economic Review*, 2012, 43(5):24-33.
- [23] 展进涛, 徐钰娇. 环境规制、农业绿色生产率与粮食安全[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(3):167-176. ZHAN J T, XU Y J. Environmental regulation, agricultural green TFP and grain security[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2019, 29(3):167-176.
- [24] 展进涛, 徐钰娇, 葛继红. 考虑碳排放成本的中国农业绿色生产率变化[J]. 资源科学, 2019, 41(5):884-896. ZHAN J T, XU Y J, GE J H. Change in agricultural green productivity in China considering the cost of carbon emissions[J]. *Resources Science*, 2019, 41(5):884-896.
- [25] MEEUSEN W, BROECK J V D. Efficient estimates from Cobb-Douglas production functions with composed error[J]. *International Economic Review*, 1977, 18(2):435-444.
- [26] BATTESE G E, COELLI T J. Frontier production functions, technical efficiency and panel data: With application to paddy farmers in India [J]. *Journal of Productivity Analysis*, 1992, 3(1):153-169.
- [27] SOLOW R M. Technical change and the aggregate production function [J]. *The Review of Economics and Statistics*, 1957, 39(3):312-320.
- [28] KUMBHAKAR S C, LOVELL C A K. Stochastic frontier analysis[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2003:20-40.
- [29] 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. GE P F, WANG S J, HUANG X L. Measurement for China's agricultural green total factor productivity[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2018, 28(5):66-74.
- [30] 石晓然, 张彩霞, 殷克东. 中国沿海省市海洋生态补偿效率评价[J]. 中国环境科学, 2020, 40(7):3204-3215. SHI X R, ZHANG C X, YIN K D. Evaluation of marine ecological compensation efficiency of coastal provinces and cities in China[J]. *China Environmental Science*, 2020, 40(7):3204-3215.
- [31] BATTESE G E, COELLI T J. A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data[J]. *Empirical Economics*, 1995, 20(2):325-332.