

• 研究报告 •

技术进步、环境规制与农业生产低碳化 发展水平时空演变研究 ——基于东三省31个地级市实证研究

庄雪维, 陈红

(东北林业大学 经济管理学院, 哈尔滨 150000)

摘要: 从相对低碳和绝对低碳角度选取相关指标利用熵权法对东三省中的31个地级市的农业生产低碳化发展水平进行了评价, 并以技术进步、环境规制为主要关注对发展水平影响因素进行了实证分析。结果表明: 东三省总体平均层面与各地级市的农业生产低碳化发展水平整体上呈不断上升的趋势, 其中上升趋势的主要贡献来源于相对化低碳发展水平的提升, 绝对低碳化发展水平趋势稳定。从空间分布来看, 各城市的农业生产低碳化增速水平具有局部空间聚集特征; 从时空演变趋势来看, 低碳化发展水平较高的城市由东南、东北为源点随着时间推移延扩; 在低碳化发展水平提升过程中, 技术进步对低碳化发展水平的提升具有重要正向作用, 政府环境规制政策负向影响低碳化水平, 但在技术进步对低碳化水平的提升作用中表现出部分正向调节效应。

关键词: 低碳农业; 技术进步; 环境规制

中图分类号: F303 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-5919(2023)01-0041-06

DOI: 10.13691/j.cnki.cn23-1539/f.2023.01.007

Research on the Temporal and Spatial Evolution of Technological Progress, Environmental Regulation and Low-carbon Development of Agricultural Production ——Empirical Research Based on 31 Prefecture-level Cities in the Three Northeastern Provinces

ZHUANG Xue-wei, CHEN Hong

(College of Economics and Management, Northeast Forestry University, Harbin 150000, China)

Abstract: This paper selected relevant indicators from the perspective of relative low carbon and absolute low carbon, and used the entropy weight method to evaluate the low carbon development level of agricultural production in 31 prefecture-level cities in the three northeastern provinces, and focused on technological progress and environmental regulation. It analyzed the influencing factors of development level empirically. The results showed that: the overall average level of the three northeastern provinces and the low-carbon development level of agricultural production in the prefecture-level cities were on the rise as a whole. From the perspective of spatial distribution, the growth rate of low-carbon agricultural production in each city had the characteristics of local spatial aggregation; from the perspective of the temporal and spatial evolution trend, cities with a higher level of low-carbon development extend from the southeast and northeast as the source points over time. In the process of improving the level of low-carbon development, technological progress had an important positive effect on the improvement of the level of low-carbon development, and government environmental regulation policies had a negative impact on the level of low-carbon development by negatively affecting scale efficiency.

Key words: Low-carbon agriculture; Technological progress; Environmental regulation

收稿日期: 2022-06-27

第一作者简介: 庄雪维(1995-), 男, 山东临沂人, 硕士研究生。

通讯作者: 陈红(1965-), 女, 黑龙江哈尔滨人, 博士, 教授, 博士生导师。研究方向: 农业经济管理。

责任编辑: 付佳

1 引言

由传统有机农业向机械化、化学化、电气化为特征^[1]的现代无机农业的生产方式转变过程中，农业领域的碳排放快速上升。据联合国粮农组织研究报告，2018年，粮食体系排放的二氧化碳当量高达160亿t，占人为温室气体排放总量的33%^[2]。籍此背景，2021年中央1号文件中明确提出，要大力支持生态农业技术推广与创新，发展绿色低碳农业，构建现代化农业发展体系。其中，农业生产技术进步和环境规制政策是实现农业绿色低碳发展的两条有力途径。相关研究表明，农业生产技术进步对农业碳减排的影响较为复杂，包含能源回弹效应的抑制作用^[3]，技术进步对能源使用量和使用成本的降低作用^[4]和对周边地区溢出效应的促进作用^[5]；环境规制对农业绿色全要素生产率的影响也未达成共识，包含短期负向影响绿色全要素生产率的“遵循成本效应”^[6]和长期正向影响绿色全要素生产率的“创新补偿”效应^[7]。因此，虽然农业生产技术在过去几十年内取得了很大的发展，在此期间我国也推行了相关环保政策，并从2015年开始实施化肥、农药零增长行动。但由于农业生产技术进步、环境规制政策对农业生产碳排放和农业绿色全要素生产率均具有双向影响，因此对农业生产低碳化发展水平的影响也有待实证分析。而东三省作为全国重要粮食主产区、粮食安全的压舱石，对其市域层面的农业生产低碳化发展水平测度及时空演变可以明晰各地级市农业生产的低碳化发展水平的空间特征和不均衡性，并通过分析技术进步与环境规制政策在其低碳化水平过程中所起作用，为东三省各地级市间的农业低碳化生产水平提升和协调发展提供方向；同时，东三省农业生产在技术和机械使用、种植经验积累、农业劳动力培养等方面相对于其他粮食主产区具有较强的优势，随着城市化水平的提升，其他地区的农业生产模式多会向东三省模式靠拢，东三省模式可为其他粮食主产区农业生产低碳化发展提供路径参照。

通过对相关研究文献的梳理可以发现，虽然我国低碳农业的发展起步比较晚，但进展迅速，且仍有可以深入研究的方面：一是部分研究在选取低碳发展水平评价指标时，所选指标中个别或部分指标与所研究问题并非完全匹配，二是现有研究多集中于全国层面和省际层面，市级层面研究较少。因此，本文选取东三省31个地级市种植业作为研究对象，选取相关指标建立指标体系，以熵权法测算指数作为对各市的农业生产低碳发展水平的数值量化，并就技术进步、环境规制对其影响进行初步识别分析。

2 模型、变量和数据

2.1 碳排放测算方法

本文在农业生产碳排放量的碳源选取及其排放系数的确定参照了李波等^[8]的处理，选取了化肥、农药、农膜、柴油、翻耕和农业灌溉六个碳排放源，计算公式为 $E = \sum E_i = \sum E_i \cdot \sigma_i$ ，式中 E 为农业的碳排放总量， E_i 为各种碳源的碳排放量， T_i 为各碳排放源的量， σ_i 为各碳排放源的碳排放系数。

2.2 农业生产低碳化指标体系构建

表1 农业生产低碳化发展水平评价指标体系

一级指标	二级指标	指标含义	属性
碳源使用绝对量低碳化水平	单位播种面积碳排水平	碳排放量/粮食播种面积	负向
	从业人员人均碳排水平	碳排放量/农业从业人员	负向
	化肥施用强度	化肥施用实物量/粮食播种面积	负向
	农药施用强度	农药施用量/粮食播种面积	负向
	农膜施用强度	农膜使用量/粮食播种面积	负向
	柴油施用强度	柴油使用量/播种面积	负向
	化肥减排强度	当年化肥减少量/上一年化肥施用量	正向
	农药减排强度	当年农药减少量/上一年农药使用量	正向
	农膜减排强度	当年农膜减少量/上一年农膜使用量	正向
	柴油减排强度	当年柴油减少量/上一年柴油使用量	正向
	耕地有效灌溉率	耕地有效灌溉面积/耕地总面积	正向
	复种指数	粮食播种面积/耕地总面积	负向
	单位碳排 GDP	农业产值/碳排放量	正向
碳源使用相对量低碳化水平	单位碳排农业可支配收入	农业可支配收入/碳排放量	正向
化肥使用效率	化肥使用效率	农业产值/化肥施用量	正向
	单位播种面积农业产值	农业产值/粮食播种面积	正向
粮食单产	粮食单产	粮食产量/粮食播种面积	正向

注：表格中指标的统计口径如无特殊注明均为种植业。

本文将农业生产低碳化发展水平的提升界定为两方面:一为化肥等投入要素使用量相对于现有水平的减少,二为化肥等投入要素同等规模使用水平产出的增加。基于以上界定和数据可获得性的掣肘,结合已有研究中农业低碳化发展水平评价指标体系,本文选取以下指标来构建指标体系衡量种植业生产低碳化发展水平。

2.3 DEA-Global-Malmquist-Luenberger 指数的计算

Oh^[9]在 Chung 等^[10]的基础上构建了 Global Malmquist-Luenberger (GML) 指数,定义了全局生产技术集 $P^c(x) = \bigcup_{t=1}^T (P^t(x^t))$, 并在此基础上构建了 GML 指数,本文用到的对 GML 指数的分解参照李铭泓等^[11]的处理,相应的函数表达式为

$$GML_t^{t+1} = GMLPECH_t^{t+1} \times GMLSECH_t^{t+1} \times GMLTECH_t^{t+1} \quad (1)$$

GMLPECH、GMLSECH 和 GMLTECH 分别代表纯技术效率变化指数、规模效率变化指数和技术变化指数,前两项指数的乘积即为技术效率变化指数。在计算 GML 指数时选取的投入变量包括化肥施用实物量、农药使用量、农膜使用量、农田优先灌溉面积、农用机械总动力、农用柴油使用量、粮食作物播种面积和农业从业人员数,共 8 个投入指标;产出方面选取了农业产值作为期望产出,农业生产的二氧化碳排放量作为非期望指标。

2.4 低碳化影响因素回归模型构建

$$Y_i = \alpha + \sum \beta x + i \cdot year + GML + GML(RD) \quad (2)$$

$$Y_i = \alpha + \sum \beta x + i \cdot year + i \cdot year \times GER + GML \times GER + GML(RD) \times GER \quad (3)$$

(Y 在 $i=1, 2, 3$ 分别对应 ALCDI, RALCDI, AALCDI)

以上模型表达式中, AALCDI 为农业生产绝对低碳化指数,衡量由于碳源使用绝对量的变化而计算的低碳化指数,主要受环境规制政策的影响; RALCDI 为农业生产相对低碳化指数,衡量由于碳源使用效率和效益变化而计算的低碳化指数,主要受技术进步影响; ALCDI 为以上两者的熵权加权综合。式(2)计量技术进步及其分解项对综合的农业生产低碳化指数、绝对低碳化指数和相对低碳化指数的影响;式(3)测度环境规制政策对低碳化指数的影响,以及环境规制与技术进步的交叉项是否显著,从而识别环境规制政策在技术进步对低碳化指数产生影响中是否具有调节效应。

2.5 数据来源

本文以东三省中的 31 个地级市作为研究对象,研究年份选取 2000—2019 共 20 年,相关的数据主要来源于中国统计年鉴,各地级市统计年鉴与统计公报(若有的话)等年鉴、资料汇编。

3 实证结果与分析

3.1 东三省农业生产低碳化发展水平趋势分析

由图 1 可知,东三省农业省低碳化指数整体来看处于上升趋势,由 2000 年的 0.109 上升到 2019 年的 0.212,总计增长了 0.944 倍,年均增长率为 3.56%。从图 1 中可以看到,农业生产的低碳化趋势与农业生产的相对低碳化趋势几乎是吻合的,这说明几乎所有低碳化水平的提升几乎都来源于以生产效率和生产效益为核心的农业生产技术进步。

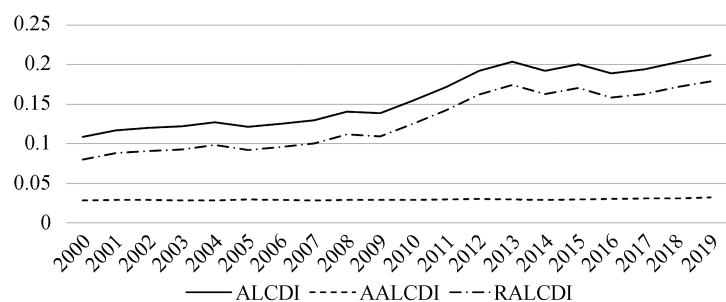


图 1 31 地级市平均低碳化指数变化趋势

注:为直观反映低碳化发展趋势,对低碳化指数进行了 100 倍乘的处理。

3.2 各地级市低碳化发展水平差异分析

3.2.1 低碳化指数增速空间差异分析

从各地级市的年均农业生产低碳化指数增速空间分布图来看,低碳化指数增速相对较快城市在东三省区域内存在一定程度上的局部分布集聚性。具体而言,在低碳化增速水平上超过东三省整体平均增速的城市有朝阳、大连、牡丹江、松原、大庆、葫芦岛、铁岭、绥化、黑河、丹东、沈阳、锦州、四平 and 哈尔滨,共计 14 个城市,而其中又以朝阳、大连、牡丹江、松原的增速表现较为突出,增速在 5.9% 以上,即为图 2 中的深红色区域,与其城市周围邻接的区域也存在相对较高的低碳化发展增速。此外从增速表现较快的城市名单来看,也可以看出农业生产具有相对的经济封闭性,其低碳化发展水平的提升速度与该城市总体的经济发展水平并无明显的直接关系。增速表现较差的城市有伊春、鞍山、鹤岗和七台

河，后两个城市尤甚，与增速头部城市有近5倍差距。

3.2.2 低碳化指数时空演变分析

从农业生产低碳化指数的时空变化图来看，大部分城市的低碳化发展水平都有不同程度的提升(见图3)。整体趋势来看，低碳化发展水平较高的城市起初主要集中在东三省的东北部和东南区域，随着时间的推移逐渐向周边区域扩散。从扩散的时间趋势来看，2008年之前，这种扩散速度较慢，各城市的低碳化发展水平虽然有所提升，但提升缓慢，大部分城市的低碳化发展水平并没有跳出原有的发展层级水平。2008年之后，局部地区的低碳化水平扩散速度加快，其中东北部区域的低碳化发展的协同扩散表现最为明显，至2019年，整个北部区域的低碳化发展水平均已迈入了中等水平。至2019年，低碳化发展水平表现较差的城市主要集中在东三省的中部区域和西南区域。对比综合来看，虽然部分区域内各城市低碳化发展的水平有了一定程度的协同扩散，但区域间发展水平仍然存在不平衡的问题。

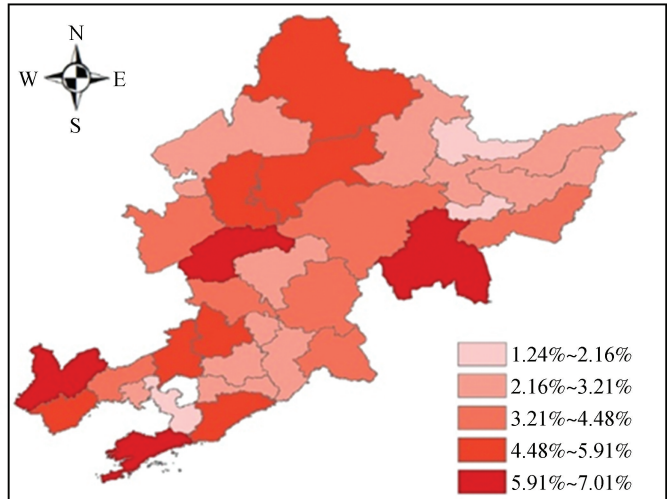


图2 低碳化指数年均增速空间分布

部分区域内各城市低碳化发展的水平有了一定程度的协同扩散，但区域间发展水平仍然存在不平衡的问题。

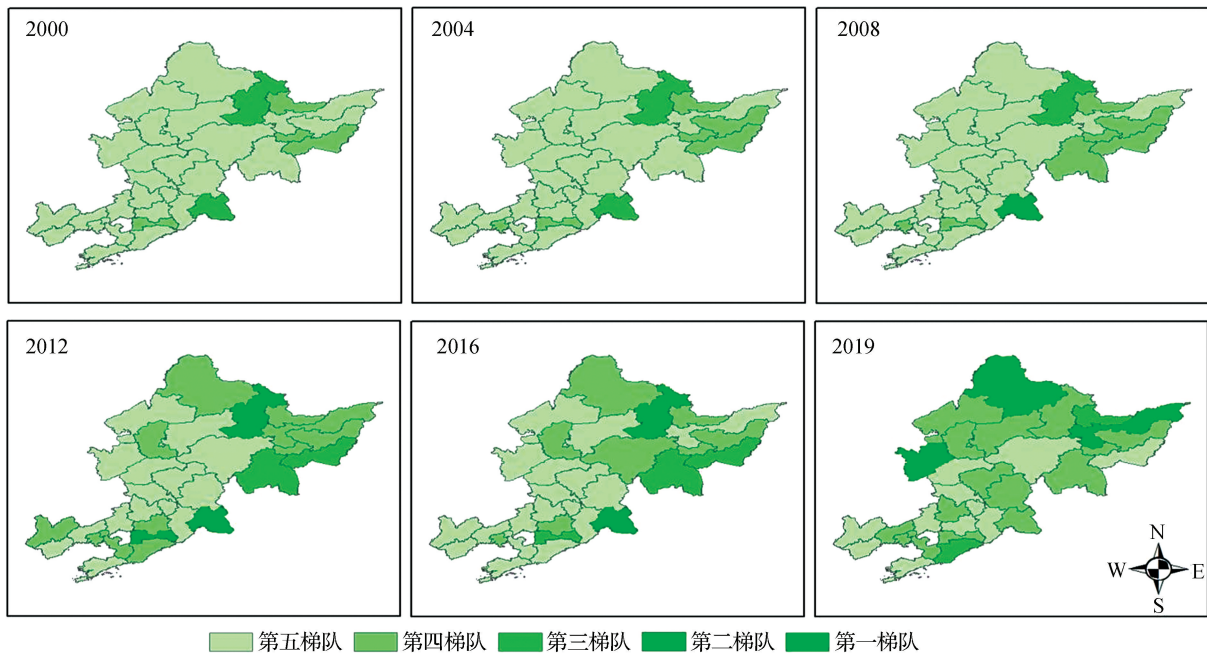


图3 31地级市低碳化指数时空演变图

4 技术进步、环境规制对农业低碳化发展水平影响的实证分析

4.1 研究假说

由图1可知，低碳化指数提升主要来源于相对低碳化指数的拉动，即东三省农业低碳化发展仍主要处于“相对减排阶段”^[12]，低碳发展水平的提升主要源于同等规模要素投入量产出效益的提升，而后者又代表了由化肥、农药等硬技术和要素配置能力、生产经营决策能力等软技术构成的广义农业进步技术^[5]，上述为技术进步有利一面。不利一面为化肥、农药、农用机械等要素的规模化使用会增加能源需求，进而导致农业生产碳排放的增加，不利于农业生产低碳化水平的提升。但考虑东三省黑土资源丰富，耕地规模化水平较高，因此认为在农业生产低碳发展水平提升过程中，农机对人力的替代、化肥肥效的提升等技术进步体现对于产出的提升比例要远大于要素能源使用量增加所带来的碳排放的增加幅度。同时，政府已经意识到要素过量投入等问题的存在并开始制定对应环保政策，这会增加生产主体的生产成本，挤占生产性投资的同时造成实际利润下降^[6]，从而对低碳化水平的提升产生不利影响；但环境规制政策的实施也会倒逼生产主体优化资源配置效率，部分通过促进技术进步、提升全要素生产率

的途径提升要素使用效率,进而提升低碳化发展水平。短期内政策规制的两种效应会同时存在,且成本效应会大于创新补偿效应,即在正向加强技术进步作用低碳化发展水平路径的同时整体表现为负向影响。基于以上分析,本文提出以下两个假说:

H1:体现在农业生产各环节的技术进步在农业生产低碳化过程中正面作用大于负面作用,会提升低碳化水平。

H2:短期内政府环境规制政策对低碳化发展水平整体呈不利影响,但会通过降低碳源资源使用量,优化要素配置,在技术进步对低碳化的提升作用中起到正向调节效应。

4.2 指标选取

结合已有的相关研究^[13-17]和研究样本自身特点,并考虑数据可获得性,本文选择地区经济发展水平、产业结构、财政支农强度、农村居民收入水平、城乡收入差距和机械化水平作为控制变量。核心解释变量得选取方面,在测算农业生产低碳化指数因素之一的技术进步时,本文借鉴田云等^[5]做法的基础上,以农业生产的全要素生产率作为衡量指标。

在环境规制代理变量选取上,以虚拟变量反映该地区所受到的环境规制强度。以2015年开始推行的化肥、农药减量化运动作为时间分割点,受到规制取值为1,反之为0。取值为:

$$GER = \begin{cases} 1 & year > 2015 \\ 0 & year < 2016 \end{cases} \quad (9)$$

环境规制与技术进步及其分解项的乘积项:GML(RD)表示为GML的RD分解项(GML=GMLPECH×GMLTECH×GMLSECH),模型中*i*·*year*×*GER*项计量环境规制政策的时间异质性,GML×*GER*、GML(RD)×*GER*两项则是以交叉项的形式识别政府环境规制政策是否在技术进步对低碳化发展水平的影响中表现出调节效应。

4.3 实证结果分析

表2 技术进步、环境规制对农业生产低碳化发展水平影响回归分析结果

	ALCDI(2)	AALCDI(3)	RALCDI(4)	ALCDI(5)	AALCDI(6)	RALCDI(7)
GML	0.091***	-0.003	0.094***	0.090***	-0.005*	0.001***
	-5.340	(-1.13)	-5.420	-4.970	(-2.02)	-5.470
GER				-0.027***	-0.001	-0.001***
				(-5.45)	(-1.19)	(-6.20)
GER×GML				0.002	0.00352*	-0.001
				-0.190	-2.240	(-0.12)
GER×GMLPECH				-0.003	0.006***	-0.009
				(-0.26)	-3.890	(-0.79)
GER×GMLTECH				-0.010	0.000	-0.009
				(-0.98)	(-0.33)	(-0.92)
GER×GMLSECH				0.019	-0.002	0.021
				-1.620	(-0.94)	-1.730
cons	0.062*	0.034***	0.028	0.0712**	0.033***	0.000
	-2.4	-9.98	-1.06	-2.86	-9.62	-1.51
R ²	0.746	0.271	0.731	0.77	0.278	0.757
N	620	620	620	620	620	620
t	statistics	in	parentheses	* <i>p</i> <0.05	** <i>p</i> <0.01	*** <i>p</i> <0.001

注:限于篇幅,该表略去了控制变量与GML分解项的回归结果。

① 技术进步对农业生产低碳化发展水平影响分析。回归结果表明,以GML指数作为衡量指标所反映农业生产技术进步对农业生产的总体低碳化水平和相对低碳化水平均产生了显著的正向影响,假说H1得证见表2。近些年来,东三省农业生产在各环节都取得了巨大的进步,其中包括大型播种收割机械的采用;生物技术的进步;良种的培育;滴灌、变量灌溉等新型灌溉方式和秸秆还田、浅耕与深耕相结合的耕作方式的采用,当然这些技术的普及也离不开政府相关部门的财政支持和人员推广,以上各个方面的技术进步共同作用降低了单位资源和单位产出的碳排放,从而提升了农业生产的低碳化发展水平。

② 环境规制及交叉项对农业生产低碳化发展水平影响分析。回归结果表明,政府2015年开始推行的化肥、农药减量化政策对总体低碳化水平和相对低碳化发展水平的提升产生了显著的负面效应,但在技术进步对低碳化水平的正向影响中,政府的环境规制并未产生负向的调节效应,而是表现为正向的增强,政策规制变量与技术进步规模效率的乘积项正向影响相对低碳化水平,与技术进步、技术进步纯技术效率的乘积项正向影响绝对低碳化水平,可能的解释为:由于东三省农业生产已具有一定的现代化物

质基础和人力资本基础,在环境规制政策倒逼农业生产主体进行低碳化生产改革的过程中,发生的转换成本相对较小,很快便进入了体现资源规模优化配置、产出效率提升的“创新补偿”效应阶段。但政策规制变量与技术进步的交叉项对综合低碳化指数和相对低碳化指数的影响均不显著,因此假说 H2 仅部分得证,环境规制政策对低碳化发展水平的负向影响路径仍有待分析证明。

5 结论

本文从相对低碳和绝对低碳角度选取了与研究口径相匹配的指标,利用熵权法对东三省中的 31 个地级市的农业生产低碳化发展水平进行了评价,结果表明:东三省总体平均层面与各地级市的农业生产低碳化发展水平整体上呈不断上升的趋势,其中上升趋势的主要贡献来源于相对化低碳发展水平的提升;从空间上来看,各城市的农业生产低碳化增速水平具有局部空间聚集特征。从低碳化发展水平的时空演变趋势来看,低碳化发展水平较高的城市由东南、东北为源点随着时间推移延扩,实证部分对农业生产低碳化发展的影响因素进行了检验,回归结果证明了技术进步的正向作用、政府环境规制政策的短期负向作用及其在技术进步对低碳化水平正向影响中的部分正向调节效应。

基于以上分析结果,本文提出以下建议:

① 针对东三省城市间农业生产低碳化发展水平的不平衡,各城市应结合自身实际,找出弱势所在,采取针对性政策。如伊春、鹤岗等城市低碳化发展增速之所以表现较慢,是因为其自身低碳化发展水平已经较高,此时对于低碳化发展水平的提升便不能在追求发展增速作为第一目标;而如齐齐哈尔、松原等低碳化发展水平表现靠后的城市,应在与低碳化发展水平更高的城市比较中找出自身的短板在于相对低碳化指数较低,即要素的使用效率不高,此时便应通过优化要素资源配置、提升生产管理水平、加大低碳生产技术推广普及力度等途径提升其农业生产低碳化发展水平。

② 由于东三省农业生产低碳化发展仍处于相对减排到绝对减排的过渡阶段,故命令式的环境规制政策短期内由于成本效应较大等原因对各地级市农业生产低碳化发展水平的提升产生不利影响,但目前各地级市低碳化指数中绝对低碳化指数的贡献仍相比较低,具有较大提升空间,且环境规制会增加技术进步对农业生产要素的减量化使用,因此应继续推行相关环境规制政策,加大环境规制力度,倒逼生产主体进一步优化要素配置、更新生产技术,使得环境规制对低碳化发展的作用扭负为正。

参考文献:

- [1] 金书秦,林煜,牛坤玉. 以低碳带动农业绿色转型: 中国农业碳排放特征及其减排路径[J]. 改革, 2021(5): 29-37.
- [2] Francesco N Tubiello, Cynthia Rosenzweig, Giulia Conchedda, et al., "Greenhouse Gas Emissions from Food Systems: Building the Evidence Base," *Environmental Research Letter*, vol. 16, no. 6, 2021, pp. 1-13.
- [3] 张永强, 田媛, 王珏, 等. 农村人力资本、农业技术进步与农业碳排放[J]. 科技管理研究, 2019, 39(14): 266-274.
- [4] 魏玮, 文长存, 崔琦, 等. 农业技术进步对农业能源使用与碳排放的影响: 基于 GTAP-E 模型分析[J]. 农业技术经济, 2018(2): 30-40.
- [5] 田云, 尹志昊. 技术进步促进了农业能源碳减排吗?: 基于回弹效应与空间溢出效应的检验[J]. 改革, 2021(12): 45-58.
- [6] Barbera A J, McConnell V D. The impact of environmental regulations on industry productivity: direct and indirect effects[J]. *Journal of environmental economics and management*, 1990, 18(1): 50-65.
- [7] Porter M E, Van der Linde C. Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship[J]. *Journal of economic perspectives*, 1995, 9(4): 97-118.
- [8] 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.
- [9] Dong-hyun Oh. A global Malmquist-Luenberger productivity index[J]. *Journal of Productivity Analysis*, 2010, 34(3): 62-70.
- [10] Y. H. Chung, R. Färe, S. Grosskopf. Productivity and Undesirable Outputs: A Directional Distance Function Approach[J]. *Journal of Environmental Management*, 1997, 51(3): 43-51.
- [11] 李铭泓, 黄羿, 朱伟俊, 等. 中国交通运输业碳排放全要素生产率研究: 基于 Global Malmquist-Luenberger 指数[J]. 科技管理研究, 2021, 41(9): 203-211.
- [12] 程琳琳. 中国农业碳生产率时空分异: 机理与实证[D]. 武汉: 华中农业大学, 2018.
- [13] 庞丽. 我国农业碳排放的区域差异与影响因素分析[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(12): 1-7.
- [14] 孔昕. 基于 Tobit 模型的低碳经济农业生产率增长影响因素实证研究[J]. 中国农业资源与区划, 2016, 37(10): 140-145.
- [15] 黄晓慧, 杨飞, 陆迁. 城镇化、空间溢出效应与农业碳排放: 基于 2007—2019 年省级面板数据的实证分析[J]. 华东经济管理, 2022, 36(4): 107-113.
- [16] 朱丽娟, 刘青. 气候变化背景下美国发展低碳农业的经验借鉴[J]. 世界农业, 2012(8): 1-3, 4.
- [17] 郭素玲. 低碳经济下农业科技创新的困境与出路[J]. 安阳师范学院学报, 2014(1): 49-5