

刘俊辉,曾福生.碳排放约束下的粮食主产区农业生产效率及其影响因素[J].江苏农业科学,2018,46(17):321-326.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.17.080

# 碳排放约束下的粮食主产区农业生产效率及其影响因素

刘俊辉, 曾福生

(湖南农业大学经济学院,湖南长沙 410128)

**摘要:**在考虑区域间技术集合差异的基础上,将农业碳排放作为非期望产出纳入农业生产效率测算体系中,采用共同前沿(Meta-frontier)和SBM-undesirable模型估算在碳排放约束下粮食主产区2000—2016年的农业生产效率,并通过管理无效率和技术无效率维度分解农业生产无效率项,最后运用随机效应的Tobit模型分析环境变量对共同前沿下农业生产效率的影响。结果表明,群组前沿下农业生产效率均大于等于共同前沿下农业生产效率;东北地区农业生产效率整体呈上升趋势,中西部地区农业生产效率整体呈下降趋势,东部地区农业生产效率整体较平稳;东北地区农业生产无效率部分主要来自于管理无效率,东部地区及中西部地区农业生产无效率部分绝大部分来自技术无效率;农村居民家庭人均纯收入、乡村就业人口平均受教育年限对碳排放约束的农业生产效率有显著的正向作用,城市化水平及自然灾害则相反,财政支农比影响不显著。

**关键词:**农业生产效率;SBM-Undesirable模型;Meta-frontier模型;共同技术比率;农业碳排放

**中图分类号:** F323.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)17-0321-06

改革开放近40年来,我国农业生产条件逐步改善,生产效率快速提升,成功养活了13亿多人口,并能满足国民经济持续增长的需求。我国农业综合生产能力的提升得力于资源的投入及农业生产率的提高,同时生产能力的提升也付出了较大的环境代价,如电力、化石能源、化肥和农药、农膜等使用量逐年增加,导致碳排放量不断增长,因此农业碳排放形势也越发严峻<sup>[1]</sup>。研究表明,我国农业源在全国温室气体排放总量中大约占17%<sup>[2]</sup>。我国政府在《联合国气候变化框架公约》中下达了新一轮碳减排目标。提升农业现代化水平及有效控制农业碳排放量,成为当前我国农业发展的必然选择。粮食主产区作为我国的产粮基地,肩负着国家粮食安全的重任,同时统筹保供、保安全、保生态的担子也越来越重,迫切须要转变农业发展方式。因粮食主产区各省之间资源禀赋、经济社会环境和发展水平等要素差异,农业发展水平也不一致。因此,在考虑区域间技术集合差异的基础上,将农业碳排放纳入农业生产效率测算的范畴内,研究碳排放约束下粮食主产区农业生产效率及差异来源,有利于协调农业发展、资源利用与生态环境保护之间的矛盾,加快农业生产方式转变及实现农业集约式发展,对发展低碳农业与提升农业整体生产效率具有重要的指导意义。

国外学者对农业生产效率的研究主要是针对农业生产效率测度及影响因素的分析。微观视角是对农场和农户的生产技术效率研究,如 Battese 等采用随机前沿函数分析方法测算了印度农场的生产技术效率<sup>[3]</sup>。Lambert 等从农场资本结构

角度研究了美国农场的生产技术效率<sup>[4]</sup>。宏观视角是对国家层面的农业生产技术效率的测定。如 Wadud 等采用随机前沿函数法和数据包络分析(data envelopment analysis,简称 DEA)方法对比分析了孟加拉国的农场生产技术效率<sup>[5]</sup>。Armagan 等采用曼奎斯特指数分解法分析了土耳其农业生产技术效率及其变动<sup>[6]</sup>。研究影响农业生产效率的因素,如 Vicente 研究发现,巴西农业生产中的土地和劳动力投入过多,气候、土壤和灌溉条件反而是影响巴西农业生产技术效率进步的因素<sup>[7]</sup>。Asadullah 等从土地所有权的角度分析了影响农业生产效率的因素<sup>[8]</sup>。从国内来看,部分学者对农业生产效率的研究给予了高度关注,研究范围包括家庭、地区、国家层面,着力点是针对农业生产效率的测定、影响因素的分析等。在农业生产效率的测算中可分为不考虑环境因素约束下和考虑环境因素约束下的农业生产效率研究框架。在不考虑环境因素约束下的农业生产效率研究中,以 DEA、随机前沿生产函数等为主要测算方法,如朱继东利用2016年调查数据采用 DEA 测算方法分析了河南省信阳市新型农业生产经营主体的生产效率<sup>[9]</sup>。熊鹰等通过三阶段 DEA 测算了典型有机农业区域的生产效率<sup>[10-11]</sup>。田伟等通过随机前沿生产函数模型对我国1998—2010年的农业技术效率进行了测定<sup>[12]</sup>。在考虑环境因素约束下农业生产效率的研究中,主要是将农业非合意产出作为非期望产出,纳入农业生产效率测算中,如李谷成等将化肥、农业固定废弃物、畜禽养殖、水产养殖等产生的化学需氧、总氮和总磷作为农业非期望产出测算农业生产效率<sup>[13]</sup>;田云等将农民在农业生产过程中产生的碳排放量纳入测算农业生产效率的范围<sup>[14]</sup>。环境约束下的农业生产效率测算方法以 DEA 为主,如陈红等运用2步 DEA 方法测算了不同环境规制下粮食主产区的农业全要素效率<sup>[15]</sup>;王宝义等利用 SBM-undesirable 扩展模型测算了我国1993—2013年的农业生态效率<sup>[16]</sup>。沈能等基于不同的环境和技术,通过 SBM 方向性距离函数和共同前沿(Meta-

收稿日期:2018-05-06

基金项目:国家自然科学基金(编号:71573081)。

作者简介:刘俊辉(1991—),男,湖南株洲人,硕士研究生,主要从事粮食安全研究。E-mail:1007161990@qq.com。

通信作者:曾福生,博士,教授,博士生导师,主要从事农业经济理论与政策研究。E-mail:zefusheng@163.com。

frontier)效率函数分析农业生产效率<sup>[17]</sup>。其他方法如吴小庆等基于层次分析法(analytic hierarchy process,简称 AHP)和 DEA 模型<sup>[18]</sup>及朱玉林等利用能值理论分析农业生态效率<sup>[19]</sup>。在影响农业生产效率因素的研究中,王宝义等认为,人均农业增加值、农业规模化水平、农业受灾率、农业机械化密度、农民家庭经营收入比、财政支农水平、工业化水平、区位等都会不同程度地影响农业生态效率<sup>[20]</sup>。李博等认为,造成我国农业生产效率差异关联度最高的是产业结构的地区差异,其他因素由高到低依次排序为农业结构的地区差异、灾害影响的地区差异、农村劳动者教育素质的地区差异、城市化水平的地区差异、城乡收入比的地区差异<sup>[21]</sup>。

现有文献虽然考虑了环境因素的影响,但将具有不同农业生产技术水平的地区置于相同技术水平下测算农业生产效率,有失偏颇。很多研究已表明,我国农业生产效率存在差异,但很少对差异来源进行区分。因此,在充分考虑区域间技术集合差异的基础上,本研究基于 SBM - undesirable 和 Meta - frontier 相结合的模型,将农业碳排放作为非期望产出纳入农业生产效率测算体系中,从管理无效率和技术无效率 2 个维度区分农业生产效率的差异,并运用随机效应的 Tobit 回归模型分析环境变量对粮食主产区农业生产效率的影响,为发展低碳农业与提升农业整体生产效率提供决策参考。

## 1 方法与数据

### 1.1 研究方法

1.1.1 SBM - undesirable 模型 早期 SBM 模型在处理非期望产出时是将非期望产出作为投入变量或者直接作为期望产出计算效率值,会导致效率值高估或无效率。Sarrico 在前 2 种方法的基础上提出了 SBM - Undesirable 模型<sup>[22]</sup>。

设  $x \in R^m$ ,  $y^g \in R^{s_1}$ ,  $y^b \in R^{s_2}$  依次为投入、期望产出、非期望产出要素,其中  $m$ 、 $s_1$ 、 $s_2$  分别表示 3 类变量的个数。定义矩阵  $X = [x_1, \dots, x_n] \in R^{m \times n}$ ,  $Y^g = [y_1^g, \dots, y_n^g] \in R^{s_1 \times n}$ ,  $y^b = [y_1^b, \dots, y_n^b] \in R^{s_2 \times n}$ ,其中  $n$  为决策单元个数。假设  $X > 0$ ,  $Y^g > 0$ ,  $y^b > 0$ ,则生产可能集为  $P = \{(x, Y^g, y^b) | x \geq \lambda X, Y^g \leq Y^g \lambda, y^b \geq Y^b \lambda, \lambda \geq 0\}$ ,其中  $\lambda$  为一个非负权重向量。故 SBM - undesirable 模型公式为

$$\min \rho^* = \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{i0}}}{1 + \frac{1}{s_1 + s_2} \left( \sum_{r=1}^{s_1} \frac{s_r^g}{y_{r0}^g} + \sum_{r=1}^{s_2} \frac{s_r^b}{y_{r0}^b} \right)};$$

$$\text{s. t. } x_0 = \lambda X + s^-; y_0^g = Y^g \lambda - s^g;$$

$$y_0^b = Y^b \lambda + s; \lambda \geq 0; s^- \geq 0; s^g \geq 0; s^b \geq 0. \quad (1)$$

式中:  $\rho^*$  为某个决策单元的效率值;带下标 0 表示某个决策单元,  $r_0$  表示待求的决策单元;  $X$ 、 $Y^g$ 、 $Y^b$  分别表示最优投入向量、最优期望产出向量、最优非期望产出向量;  $s^-$ 、 $s^g$ 、 $s^b$  依次表示为投入松弛变量、期望产出松弛变量、非期望产出松弛变量。当  $s^- = 0$ 、 $s^g = 0$  且  $s^b = 0$  时,即  $\rho^* = 1$  时,决策单元处在前沿面上,表明决策单元是有效的。当  $\rho^* < 1$  时,决策单元无效率,须要通过改进投入与产出数量使决策单元达到有效率的前沿面。

1.1.2 Meta - frontier 模型 传统 DEA 在研究各决策单元效率时,假定各决策单元具有相同的技术水平,未考虑各决策单

元间存在着资源禀赋、经济社会环境和发展水平的差异,导致无法准确衡量各决策单元的效率水平。Battese 等针对此问题,提出了共同边界生产函数(Meta - frontier production function)分析方法:首先依据一定的标准将各决策单元划分为不同群组,采用随机前沿法(stochastic frontier approach,简称 SFA)估计不分组决策单元和分组决策单元的技术效率,通过比较共同前沿和群组前沿的技术效率值得到技术落差比率(meta - technology ratio,简称 MTR),然而此研究方法存在共同前沿无法包络群组前沿的问题<sup>[23]</sup>;此后,O'Donnell 扩展研究了此问题,采用 DEA 方法取代了 SFA 法,解决了上述问题<sup>[24]</sup>。

1.1.2.1 群组边界与共同边界 考虑到粮食主产区各省存在资源禀赋、经济社会环境和发展水平差异而导致的生产技术异质性问题,将粮食主产区各省划分为东北地区、东部地区、中西部地区 3 个群组,其中东北地区包括黑龙江省、辽宁省、吉林省;东部地区包括河北省、山东省、江苏省;中西部地区包括河南省、安徽省、湖南省、湖北省、江西省、内蒙古自治区、四川省。根据 Battese 等的 Meta - frontier 模型,将农业碳排放作为非期望产出纳入模型中,构建基于 SBM - undesirable 的共同边界模型<sup>[23]</sup>。设投入和产出向量元素分别为  $x \in R^m$ ,  $y \in R^n$ ,则投入和产出的共同技术集合和生产可能性集分别为  $T^{\text{meta}} = \{(x, y) : x \geq 0, y \geq 0; x \text{ 可以生产 } y\}$  和  $P^{\text{meta}}(x) = \{y : (x, y) \in T^{\text{meta}}\}$ 。共同技术效率(meta frontier efficiency,简称 MTE)也等价于共同距离函数( $D^{\text{meta}}$ ):

$$0 \leq D^{\text{meta}}(x, y) = \inf_{\theta} \{ \theta > 0; \left( \frac{y}{\theta} \right) \in P^{\text{meta}}(x) \} = \text{MTE}(x, y) \leq 1. \quad (2)$$

式中:  $\theta$  为参数。

同理,群组技术集合和生产可能性集分别为  $T^k = \{(x, y) : x \geq 0, y \geq 0; \text{在群组 } k \text{ 中 } x \text{ 可生产 } y\}$  和  $P^k(x) = \{y : (x, y) \in T^k\}$ ;故群组技术效率(group frontier efficiency,简称 GTE)也等价于群组距离函数( $D^k$ ):

$$0 \leq D^k(x, y) = \inf_{\theta} \{ \theta > 0; \left( \frac{y}{\theta} \right) \in P^k(x) \} = \text{GTE}(x, y) \leq 1. \quad (3)$$

式中:  $D^{\text{meta}}$  和  $D^k$  通过共同前沿和群组前沿下的公式(2)、(3)中的 SBM - undesirable 模型测算得到。

1.1.2.2 共同技术比率和无效率 共同技术比率(meta technology ratio,简称 MTR)用共同边界技术水平与群组边界技术水平比值表示,反映群组边界技术水平与共同边界技术水平的差距,即现实技术水平与潜在最优技术水平的差距。共同技术比率(MTR)表达式为

$$0 \leq \text{MTR}(x, y) = \frac{D^{\text{meta}}(x, y)}{D^k(x, y)} = \frac{\text{MTE}(x, y)}{\text{GTE}(x, y)} \leq 1. \quad (4)$$

则 MTE 也等价于:  $\text{MTE}(x, y) = \text{GTE}(x, y) \times \text{MTR}(x, y)$ 。其中公式(4)中 MTR 越接近 1,表示群组前沿技术水平越接近共同前沿技术水平,实际生产技术离潜在最优生产技术水平越近,故技术效率越高。

MTR 虽能反映粮食主产区各省(自治区)之间实际农业生产效率与潜在农业生产效率的水平差距,但不能进一步判断出粮食主产区各省(自治区)之间存在农业生产效率差距的原因,无法厘清是来自生产单元的管理缺失还是来源于技

术水准相异的制度结构问题。因此参考 Chiu 等的方法<sup>[25]</sup>, 将共同前沿下粮食主产区各省(自治区)农业生产无效率(inefficiency,简称 IE)分解为技术差距无效率(technology inefficiency,简称 TIE)与管理无效率(management inefficiency,简称 MIE)。

$$IE = 1 - MTE = TIE + MIE;$$

$$TIE = GTE \times (1 - MTR);$$

$$MIE = 1 - GTE。$$

TIE 主要是由粮食主产区各省(自治区)之间生产技术差

距导致的;MIE 是由粮食主产区各省(自治区)内部管理无效率导致的。通过无效率分解可为提升碳排放约束下的农业生产效率提供共同而又有区别的政策依据。

1.2 数据与变量

根据上述研究方法,考虑到决策单元数量与投入及产出数量的关系和数据的可获得性,选取 2000—2016 年粮食主产区各省(自治区)的相关数据进行分析,包含生产投入要素、期望产出及非期望产出原始数据(表 1)。

表 1 2000—2016 年投入产出指标的描述性统计

指标类型	投入指标					产出指标	
	农林牧副渔从业人员总数(万人)	年末机械总动力(万 kW)	农业化肥使用量(万 t)	农作物播种面积(×10 <sup>3</sup> hm <sup>2</sup> )	有效灌溉面积(×10 <sup>3</sup> hm <sup>2</sup> )	期望产出	非期望产出
						农林牧副渔总产值(亿元)	农业碳排放量(万 t)
最小值	508.00	902.30	74.80	3 622.02	1 315.10	543.16	113.73
最大值	3 564.00	13 353.00	716.10	1 4472.32	26 480.00	9 549.60	871.73
平均值	1 442.37	4 535.06	272.10	8 302.02	3259.81	3 162.84	399.38
标准差	752.49	3 081.98	136.62	2 696.55	1 983.39	1 995.18	189.91

(1)投入指标主要选取了农林牧副渔从业人员总数(万人)、年末机械总动力(万 kW)、农业化肥使用量(万 t)、农作物播种面积(khm<sup>2</sup>)、有效灌溉面积(khm<sup>2</sup>)等 5 个投入指标,涵盖了农业生产劳动力、土地、资本等三大要素。投入指标原始数据均来自历年《中国农村统计年鉴》《中国统计年鉴》及粮食主产区各省(自治区)统计年鉴。(2)产出指标分为期望产出与非期望产出。期望产出选用农林牧副渔总产值(亿元)作为产出变量,数据来源于历年《中国农村统计年鉴》。非期望产出选用农业碳排放量(万 t)作为产出变量,农业碳排放来自于农业生产过程的非合意产出,包括化肥、农药、农膜、柴油、农作物实际播种面积及有效灌溉面积,数据均来自于《中国农村统计年鉴》。农业碳排放估算公式为

$$E = \sum E_i = \sum T_i \cdot \delta_i。$$

式中:E 为农业碳排放总量;E<sub>i</sub> 为各碳源的碳排放量;T<sub>i</sub> 为各碳排放源的排放量;δ<sub>i</sub> 为各碳排放源的碳排放系数。根据表 2 碳排放系数,可得碳排放总量。

2 结果与分析

2.1 共同技术效率和群组技术效率分析

根据 SBM - undesirable 和 Meta - frontier 模型,测算出 2000—2016 年碳排放约束下共同前沿和群组前沿下的粮食主产区农业生产效率。从表 3 可知,东北地区平均 MTE 为

表 3 共同前沿和群组前沿下粮食主产区各省(地区)农业的生产效率(2000—2016 年)

东北地区				东部地区				中西部地区			
省(自治区)	MTE	GTE	MTR	省(自治区)	MTE	GTE	MTR	省(自治区)	MTE	GTE	MTR
黑龙江省	0.834 5	0.839 0	0.994 6	河北省	0.673 2	0.951 1	0.707 8	安徽省	0.586 2	0.807 9	0.725 6
吉林省	0.778 6	0.788 6	0.987 3	江苏省	0.919 6	1.000 0	0.919 6	河南省	0.606 0	0.874 1	0.693 3
辽宁省	1.000 0	1.000 0	1.000 0	山东省	0.785 8	0.999 5	0.786 2	湖北省	0.840 0	0.988 5	0.849 8
								湖南省	0.896 1	0.998 2	0.897 7
								江西省	0.799 5	0.974 6	0.820 3
								内蒙古自治区	0.748 9	1.000 0	0.748 9
								四川省	1.000 0	1.000 0	1.000 0
均值	0.871 0	0.875 9	0.994 5	均值	0.792 9	0.983 5	0.806 2	均值	0.782 4	0.949 0	0.824 4

表 2 农业碳排放碳源、碳排放系数及参考来源

碳源	碳排放系数	参考来源
化肥	0.895 6 kg/kg	West 等 <sup>[26]</sup> 、美国橡树岭国家实验室 <sup>[27]</sup>
农药	4.934 1 kg/kg	美国橡树岭国家实验室
农膜	5.18 kg/kg	南京农业大学农业资源与生态环境研究所
柴油	0.592 7 kg/kg	IPCC 联合国气候变化政府间专家委员会
翻耕	312.6 kg/km <sup>2</sup>	中国农业大学生物与技术学院 <sup>[28]</sup>
农业灌溉	20.476 kg/hm <sup>2</sup>	Dubey 等 <sup>[29]</sup>

注:翻耕面积为当年农作物实际播种面积,灌溉面积为当年有效灌溉面积。

0.871 0,距离潜在的最优技术水平相差 13%,仍有一定的上升空间,其中效率最高的为辽宁省;东部地区平均 MTE 为 0.792 9,距离潜在的最优技术水平相差 21%,有较大的上升潜力,其中效率最高的为江苏省;中西部地区平均 MTE 为 0.782 4,与东部地区平均 MTE 相当,其中效率最高的为四川省。东北地区平均 MTE 和 GTE 值相差无几,即 MTR 接近于 1.000 0,说明东北地区农业生产技术水平较高,实际技术水平与最优技术水平比较接近。东部地区和中西部地区 GTE 明显高于 MTE,即东部地区和中西部地区的 MTR 相比东北地区较小,均值分别为 0.805 3、0.819 5,说明 2 地区的实际技术水平与最优技术水平有一定的差距。

图 1 进一步反映了 2000—2016 年共同前沿下粮食主产区农业生产效率的变化趋势。在共同前沿下,粮食主产区中

东北地区农业生产效率整体呈上升趋势;东部地区农业生产效率整体变化不大;中西部地区农业生产效率整体呈下降趋势。2016 年,粮食主产区农业生产效率从高到低排列依次为东北地区、东部地区、中西部地区,其值分别为 0.885 2、0.820 6、0.747 2。2016 年粮食主产区在共同前沿下的平均农业生产效率为 0.817 7。

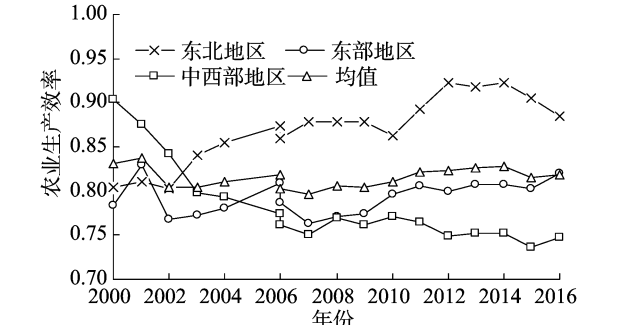


图1 2000—2016年东北、东部、中西部地区共同前沿下的农业生产效率

图 2 进一步反映了 2000—2016 年群组前沿下粮食主产区农业生产效率的变化趋势。在群组前沿下,东北地区农业生产效率与图 1 共同前沿下农业生产效率相差不大。东部地区农业生产效率较高,其次为中西部地区,都整体呈下降的趋势,并都大于在共同前沿下的农业生产效率。2016 年粮食主产区在群组前沿下的平均农业生产效率为 0.924 2。

2.2 共同技术比率分析

由表 3 可知,东北地区实际技术水平最接近潜在的最优技术水平,其次为中西部地区,最差为东部地区。在粮食主产区省(自治区)中,只有辽宁省、四川省的实际技术水平与潜

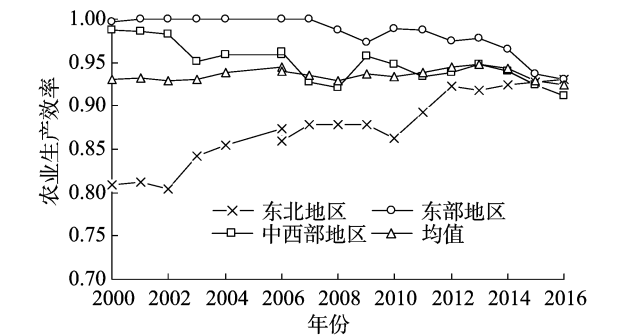


图2 2000—2016年东北、东部、中西部地区群组前沿下的农业生产效率

在最优技术水平无差距;而河南省的实际技术水平与潜在最优技术水平差距最大。通过共同技术比率比较,还须进一步分析技术差距的来源,对农业生产无效率进行分解。

2.3 农业生产无效率分解

在共同前沿和群组前沿下粮食主产区农业生产效率均存在改进和提升的空间,为了进一步分析碳排放约束下粮食主产区农业生产无效率的来源,探究实际生产技术与潜在最优生产技术差距的内在原因,采用无效率分解的方法从 TIE 和 MIE 2 个方面进行分析。由表 4 可知,IE 最小的地区为东北地区,其次东部地区,最后为中西部地区,分别为 0.128 9、0.207 1、0.217 6。从具体群组上看,东北地区 IE 主要来自 MIE,所占比例为 96.28%,因此在内部管理方面的提升的空间较大,须改进内部管理水平;东部地区及中西部地区 IE 主要来自 TIE,所占比例分别为 92.05%、76.58%,因此须要提升地区农业生产技术水平。

表 4 粮食主产区各省(区)农业生产无效率均值分解(2000—2016 年)

省 (自治区)	IE	东部地区				省 (自治区)	IE	中西部地区			
		TIE	占比(%)	MIE	占比(%)			TIE	占比(%)	MIE	占比(%)
黑龙江省	0.165 4	0.004 4	2.66	0.161 0	97.34	安徽省	0.413 9	0.221 8	53.59	0.192 1	46.41
吉林省	0.221 4	0.010 0	4.52	0.211 4	95.48	河南省	0.393 9	0.268 0	68.04	0.125 9	31.96
辽宁省	0	0	0	0	0	湖北省	0.160 0	0.148 5	92.81	0.011 5	7.19
东北地区	0.128 9	0.004 8	3.72	0.124 1	96.28	湖南省	0.103 9	0.102 1	98.27	0.001 8	1.73
河北省	0.326 8	0.277 9	85.04	0.048 9	14.96	江西省	0.200 5	0.175 1	87.33	0.025 4	12.67
江苏省	0.080 4	0.080 4	100	0.000 0	0	内蒙古自治区	0.251 1	0.251 1	100.00	0.000 0	0
山东省	0.214 2	0.213 7	99.77	0.000 5	0.23	四川省	0	0	0	0	0
东部地区	0.207 2	0.190 7	92.04	0.016 5	7.96	中西部地区	0.217 7	0.166 7	76.57	0.051 0	23.43

3 影响因素分析

3.1 指标选取

影响农业生产效率的因素较多,本研究选用对农业生产效率产生影响但又不在于样本主观可控范围的环境变量,如国家的宏观经济环境、政府对农业发展的支持力度、人力资源因素和自然灾害等变量。在宏观经济环境中,选取农村居民家庭人均纯收入及城市化水平变量为研究指标。农村居民家庭人均纯收入越高,对农业生产的积极性也越强,因此对农业生产投入的能力也越高,预期对农业生产效率有提升作用。农村居民家庭人均纯收入数据来源于历年《中国统计年鉴》,城市化水平用城镇人口占总人口的比例表示。城市化对农业生产是一把双刃剑,一方面为农业生产转移过剩劳动力,为农业

规模化经营提供条件等;另一方面可能会引起农业生产人口过疏化、老龄化,导致休耕、弃耕及过度依赖化学品的投入等问题,因此城市化对农业生产效率不作预判。政府对农业发展的支持力度采用政府对农业的财政支出占当年总财政支出的比例表示;政府对农业的财政支出在农业的基础设施建设、农技推广等方面起着重要的作用,对农业生产效率提升有着显著的作用;但农业生产取得的巨大成就在很大程度上是通过资源性投入,如化肥、农药、农膜等化学品的投入,并以牺牲生态资源为代价实现的。因此,在碳排放约束下,可能会导致农业生产效率下降。在人力资源方面,用农村劳动力受教育状况来衡量,但考虑到数据的可获得性,用乡村就业人口平均受教育年限(年)表示。根据历年《中国人口与就业统计年鉴》中各地区乡村 6 岁及 6 岁以上人口分为未上过学、小学、

初中、高中和大专以上等 5 个层次,参考康继军等设定的权重为 0、5、8、11、14.5 年,计算出各地区乡村就业人口平均受教育年限<sup>[30]</sup>。教育是形成人力资本的重要途径,农村人力资本的积累使农民能掌握更多农业生产的知识与技能,在农业生产中会更加注重有效率与低污染的生产实践,提升碳排放约束下的农业生产效率。在自然灾害选用农作物受灾面积占农作物实际播种面积比例表示,其数据经历年《中国农村统计年鉴》计算所得。农业生产受自然灾害的影响,在相同的投入条件下,农业生产效率会降低。

3.2 模型设定与实证分析

为了更好地解释环境变量对共同前沿下粮食主产区农业生产效率的影响,将农村居民家庭人均纯收入(ICM)、城镇化率(URB)、财政支农比(FAC)、乡村就业人口平均受教育年限(EDU)、受灾面积比(DIS)作为解释变量,共同前沿下的农

业生产效率作为被解释变量。为了消除量纲的影响,把农村居民家庭人均纯收入(ICM)进行对数化处理,选用 2 段截尾的 Tobit 模型进行计量检验。在面板数据中,因固定效应 Tobit 模型估计量被证明是有偏的,学术界目前大多数采用随机效应的 Tobit 模型。因共同前沿下粮食主产区各省(自治区)的农业生产效率值均在 0.5~1.0 之间,经处理为在 50~100 之间,所以随机效应的 Tobit 模型左端在 50 处截取,右端在 100 处截取,回归方程为

$$MTE_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln ICM_{it} + \beta_2 URB_{it} + \beta_3 FAC_{it} + \beta_4 EDU_{it} + \beta_5 DIS_{it} + \varepsilon_{it} \quad (9)$$

式中: $i$  表示某一地区; $t$  表示年份; $\beta_0$  为常数项; $\beta_1 \sim \beta_5$  为共同前沿对应的解释变量系数; $\varepsilon$  为随机误差项。随机效应的面板 Tobit 回归结果见表 5。

表 5 共同前沿粮食主产区 MTE 影响因素回归结果

模型	LnICM	URB	FAC	EDU	DIS	常数项	个体效应标准差	随机干扰项标准差	Rho 值	Wald 检验值	P 值
共同前沿	6.31 **	-0.63 ***	-0.29	5.25 **	-0.09 **	20.07	18.29 ***	6.71 ***	0.88	27.87	0.000 0

注:\*\*\*、\*\*、\* 分别表示在 1%、5%、10% 水平上显著。LnICM 表示对 ICM 进行对数化处理。

从回归结果(表 5)上看, $P$  值接近于 0(表 5 中  $P$  值很小,保留 4 位小数),回归模型整体显著,效果较好。Rho 值在 0.85 以上,表明个体效应变化主要解释了农业生产效率。从具体影响因素看,农村居民家庭人均纯收入系数为正,且通过了 5% 的显著性检验,说明农村居民家庭人均纯收入增加,农业生产投入能力增强,有利于提升碳排放约束下的农业生产效率,与预期一致。城镇化率为负,且在 1% 水平上显著,说明在城市化进程中,对碳排放约束下的农业生产造成了负面影响,可能是城市化进程使农业生产投入要素减少,并且对农业生态环境效应有一定程度的破坏。财政支农比在碳排放约束下对农业生产效率造成了负向影响,但未通过显著性检验,这不能说明政府增加对农业财政的支持,反而造成了农业生产效率的下降,而说明须改善政府财政支农结构,注重农业生产和生态环境效应的协调性,不能仅依靠资源性投入,牺牲环境来换取农业生产效率。乡村就业人口平均受教育年限在 5% 水平上正向显著,与预期一致,说明通过教育能显著提升碳排放约束下的农业生产效率,同时注重农业生态环境效应。受灾面积比在 5% 水平下负向显著,说明自然灾害对碳排放约束下的农业生产效率造成了不利影响。

4 结论与建议

基于 SBM - undesirable 和 Meta - frontier 相结合的模式,测算了碳排放约束下共同前沿和群组前沿下的粮食主产区各省(自治区)农业生产效率,以及共同边界下东北地区、东部地区、中西部地区的共同技术比率。结果表明:(1)从碳排放约束下的农业生产效率变化趋势看,共同前沿和群组前沿下粮食主产区农业生产效率均值变化不大,东北地区整体呈上升趋势,中西部地区整体呈下降趋势,东部地区整体较平稳。(2)碳排放约束下的粮食主产区三大群组在 MTE 上呈东北地区 - 东部地区 - 中西部地区依次递减的格局;而在 GTE 上从高到低排序为东部、中西部、东北地区;在 MTR 上呈东北地区 - 中西部地区 - 东部地区依次排序的现状。(3)通过分解碳排放约束下的农业生产无效率项发现,东北地区的农业生

产无效率主要是来自于管理无效率,东部地区及中西部地区绝大部分来自于技术无效率。最后,本研究基于随机效应的面板 Tobit 回归模型分析了环境变量对碳排放约束下的共同前沿下粮食主产区农业生产效率的影响。研究表明,农村居民家庭人均纯收入、乡村就业人口平均受教育年限对碳排放约束下的农业生产效率提升有着显著的正向作用,城市化水平及自然灾害则相反。

鉴于以上结论,为增强农业综合生产能力,提升农业生产效率和发展低碳农业,统筹资源节约、环境保护和经济增长三者协调发展,提出以下政策建议:(1)实行差别化的地区农业发展政策,完善低碳农业立法工作与政策体系建设。粮食主产区各省(自治区)存在着资源环境、社会经济水平等方面的差异,导致各地区实际农业生产效率存在差距,其原因有管理缺失或技术水准相异,须要因地制宜提升农业生产效率。东北地区中农业生产无效率主要是由管理缺失造成的,因此要提升地区的管理效率,从而充分挖掘地区内部潜力。东部地区及中西部地区的农业生产无效率主要是由农业生产技术水平落后导致的,须要学习和借鉴东北地区农业生产先进技术,提升农业生产效率。低碳农业的发展是统筹资源与环境协调发展的需要,有利于优化农业生产结构,提升农业生态效益,但低碳农业的相关法律、法规、条例比较滞后,农民环境生态意识薄弱,农业污染严重。低碳农业相关法律、法规、条例的制定可缓解当前农业碳排放形势,改善农业生产格局。(2)优化农业生产布局,实现农业经济与资源环境协调发展。优化农业生产布局,须要引导农业增产转向提质的轨道上来,发展绿色、优质、特色、品牌农业。增产作为过去我国农业发展的目标之一,对保障人口大国粮食安全至关重要;但随着我国农业综合生产能力的提升,数量上已经不存在问题了,依靠牺牲资源和环境来获取农业生产数量的增加已成为过去式,应在农业生产过程中应用新型农业生产技术和清洁环保技术,科学降低农药、化肥、农膜等投入,提升资源的利用效率。根据地方农业实际情况,因地制宜发展各地区农业,建设一批具有示范作用的农业现代化产业园、农业科技园以及享

有知名度的农产品品牌等。(3)优化政府财政支农结构,重点方向是改善农业薄弱环节和完善农业科技创新体系。政府财政支农在农业基础设施建设、农业科研投入及推广等方面发挥着重要作用,对提升农业生产效率有显著的正向作用。但整体上财政支农水平不高,同时在结构上也存在一些问题,如相关部门环保意识薄弱、农业生产投入浪费、农业的盲目投资、支农政策只局限当前的情况未考虑长远等。因此须要改进政府财政支农的项目组合,重点改善农业中的薄弱环节,大力推进农业基础设施建设,如兴修农田水利、完善田间节水设施等,增强农业抵御自然灾害的能力。提升农业科技创新能力,须要增加农业科研投入,发挥好政府财政支农资金的带头作用,拓宽投资渠道,让社会更多的资金注入农业科研中;其次要让最新的科研成果在农业中得到有效的应用,为农业发展插上科技的翅膀。(4)加强农业知识和技能培训,分类培育农业专业人才,完善农业人才梯队。实证研究表明,农村劳动力受教育水平对农业生产有着长远积极的影响,低碳农业的发展必须让广大农业工作者掌握低碳农业涉及的农业器具的使用和农业生产技术的应用。因为涉及到低碳农业相关的知识和技能培训工作,须要普及和深化低碳农业知识,提升农业工作者在农业生产实践中的生态环保意识,降低农业碳排放水平;推广应用低碳农业生产技术,建立健全的在农业生产实践中农民与科研人员及时有效的反馈机制,提升低碳农业生产效率。现代农业的发展,离不开农业科技人员的支撑,因此,须要在广大农业工作者中培育一批科技领军人物及技术骨干和懂生产、服务、经营的全能型人才,使人力资本成为我国农业竞争力的优势。

#### 参考文献:

- [1] 冉光和,王建洪,王定祥. 我国现代农业生产的碳排放变动趋势研究[J]. 农业经济问题,2011,32(2):32-38.
- [2] 董红敏,李玉娥,陶秀萍,等. 中国农业源温室气体排放与减排技术对策[J]. 农业工程学报,2008,24(10):269-273.
- [3] 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.
- [4] Lambert D K, Bayda V V. The impacts of farm financial structure on production efficiency[J]. Journal of Agricultural & Applied Economics,2005,37(1):277-289.
- [5] Wadud A, White B. Farm household efficiency in Bangladesh: a comparison of stochastic frontier and DEA methods[J]. Applied Economics,2000,32(13):1665-1673.
- [6] Armagan G, Ozden A, Bekcioglu S. Efficiency and total factor productivity of crop production at NUTS1 level in Turkey: malmquist index approach[J]. Quality & Quantity,2010,44(3):573-581.
- [7] Vicente J R. Economic efficiency of agricultural production in Brazil[J]. Revista De Economia E Sociologia Rural,2004,42(2):376-80.
- [8] Asadullah M N, Rahman S. Farm productivity and efficiency in rural Bangladesh: the role of education revisited[J]. Applied Economics, 2009,41(1):17-33.
- [9] 朱继东. 新型农业生产经营主体生产效率比较研究——基于信阳市调研数据[J]. 中国农业资源与区划,2017,38(2):181-189.
- [10] 熊 鹰,郭耀辉,景晓卫,等. 四川省重点生态功能区有机农业生产效率研究——基于三阶段 DEA 模型的实证分析[J]. 中国农业资源与区划,2017,38(10):162-170.
- [11] 刘子飞,王昌海. 有机农业生产效率的三阶段 DEA 分析——以陕西洋县为例[J]. 中国人口·资源与环境,2015,26(7):105-112.
- [12] 田 伟,柳思维. 中国农业技术效率的地区差异及收敛性分析——基于随机前沿分析方法[J]. 农业经济问题,2012,33(12):11-18.
- [13] 李谷成,陈宁陆,闵 锐. 环境规制条件下中国农业全要素生产率增长与分解[J]. 中国人口·资源与环境,2011,21(11):153-160.
- [14] 田 云,张俊飏,吴贤荣,等. 碳排放约束下的中国农业生产率增长与分解研究[J]. 干旱区资源与环境,2015,29(11):7-12.
- [15] 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.
- [16] 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,2016,27(6):11-19.
- [17] 沈 能,周晶晶,王群伟. 考虑技术差距的中国农业环境技术效率库兹涅茨曲线再估计:地理空间的视角[J]. 中国农村经济, 2013,29(12):72-83.
- [18] 吴小庆,王亚平,何丽梅,等. 基于 AHP 和 DEA 模型的农业生态效率评价——以无锡市为例[J]. 长江流域资源与环境,2012, 21(6):714-719.
- [19] 朱玉林,周 杰,李 莎,等. 基于能值理论的湖南农业生态经济系统生态效率分析[J]. 湖南科技大学学报(社会科学版), 2011,14(6):86-89.
- [20] 王宝义,张卫国. 中国农业生态效率的省级差异和影响因素——基于 1996—2015 年 31 个省份的面板数据分析[J]. 农业技术经济,2018,37(1):46-62.
- [21] 李 博,张文忠,余建辉. 碳排放约束下的中国农业生产效率地区差异分解与影响因素[J]. 经济地理,2016,36(9):150-157.
- [22] Sarrico C S. Data envelopment analysis: a comprehensive text with models, applications, references and DEA - solver software[J]. Journal of the Operational Research Society,2001,52(12):1408-1409.
- [23] Battese G E, Rao D S P, O'Donnell C J. A metafrontier production function for estimation of technical efficiencies and technology gaps for firms operating under different technologies[J]. Journal of Productivity Analysis,2004,21(1):91-103.
- [24] O'Donnell C J. Meta - frontier frameworks for the study of firm - level efficiencies and technology ratios[J]. Empirical Economics, 2008,34(7):231-255.
- [25] Chiu C R, Liou J L, Wu P I, et al. Decomposition of the environment inefficiency of the meta - frontier with undesirable output[J]. Energy Economics,2012,34(5):1392-1399.
- [26] West T O, Marland G. A synthesis of carbon sequestration, carbone missions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States[J]. Agriculture Ecosystems and Environment,2002,91(1):217-232.
- [27] 智 静,高吉喜. 中国城乡居民食品消费碳排放对比分析[J]. 地理科学进展,2009,28(3):429-434.
- [28] 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.
- [29] Dubey A, Lal R. Carbon footprint and sustainability of agricultural production systems in Punjab, India, and Ohio, USA[J]. Journal of Crop Improvement,2009,23(4):332-350.
- [30] 康继军,张宗益,傅蕴英. 中国经济转型与增长[J]. 管理世界, 2007,23(1):7-17.