

陈宝珍, 任金政. 粮食生产生态效率测算与改善路径[J]. 江苏农业学报, 2019, 35(1): 211-218.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2019.01.030

粮食生产生态效率测算与改善路径

陈宝珍, 任金政

(中国农业大学经济管理学院, 北京 100083)

摘要: 粮食生态效率是衡量粮食生产与资源环境协调的重要指标。将面源污染纳入到粮食生产效率测算体系, 运用改进的 SBM-DEA 对全国 31 个省市自治区 2006–2015 年的粮食生态效率进行测算, 并根据生产过程中各投入产出因素的冗余率或不足率提出改善途径。研究表明, 从全国来看, 研究期间中国粮食生态效率总体呈缓慢上升趋势, 粮食主产区生态效率增长幅度明显; 从地区来看, 东北地区、中部地区、西部地区和东部地区粮食生态效率依次递减; 从省市自治区来看, 上海、西藏、青海、吉林和新疆等省市自治区的粮食生态效率较高, 而山西、甘肃、广东、浙江、河北和陕西等省份的粮食生态效率相对较低; 中国粮食生态效率较低的原因, 主要在于资源投入过多和污染排放指标较高, 降低粮食生产的资源消耗和污染排放是提高中国粮食生态效率的主要途径。

关键词: 粮食生态效率; 冗余率; 不足率; 改善路径

中图分类号: F323.22 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2019)01-0211-08

Measurement and improvement of ecological efficiency in grain production

CHEN Bao-zhen, REN Jin-zheng

(College of Economics and Management, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: Grain eco-efficiency is an important index to measure the coordination of grain production and environment. The non-point source pollution was included in the estimation system of the grain eco-efficiency. The improved SBM-DEA was used to estimate the grain eco-efficiency in 31 provinces, municipalities and autonomous regions of China from 2006 to 2015. According to the redundancy rate and deficiency rate of each input-output factor in the production process, the improvement ways of grain eco-efficiency in China were proposed. The results showed that, from the national point of view, the overall grain eco-efficiency in China increased slowly, but the ecological efficiency in the major grain-producing areas increased significantly during the study period. From the perspective of area, the grain eco-efficiency in the northeast, central, western and eastern regions decreased in order. From the perspective of provinces, municipalities and autonomous regions, the grain eco-efficiency was higher in Shanghai, Tibet, Qinghai, Jilin and Xinjiang, and relatively lower in Shanxi, Gansu, Guangdong, Zhejiang, Hebei and Shaanxi. The reasons for the low grain eco-efficiency in China mainly lie in the excessive input of resources and the higher pollution emission. Reducing the resource consumption and pollution discharge in the process of food production is the main way to improve the grain eco-efficiency in China.

Key words: grain eco-efficiency; redundancy rate; deficiency rate; improvement path

粮食生产关系到国计民生和国家安全。2004

年以来, 中国粮食产量不断攀升, 2017 年粮食生产能力达到 6×10^{11} kg, 有力保障了经济社会的稳定发展。但在产量增加的同时, 粮食生产的资源禀赋变化也应引起足够注意, 如农业劳动人口逐渐减少, 城镇化过程中耕地面积的不断减少, 水资源的严重短缺, 化学制品过量使用引起的面源污染等。根据

收稿日期: 2018-04-02

作者简介: 陈宝珍(1991-), 女, 汉族, 河北临西人, 博士研究生, 研究方向为生态经济、农业经济管理。(E-mail) chenbaozhen1019@163.com

通讯作者: 任金政, (E-mail) rjzheng1977@163.com

《第一次全国污染普查公报》,农业总氮、总磷排放比例高达 57.2% 和 67.3%,其中化肥、农药的过量使用是造成面源污染的重要原因。党中央国务院充分认识到这一问题的严重性,十九大报告提到要着力解决突出环境问题,加强农业面源污染防治;2017 年和 2018 年的 1 号文件都提出了一些具体要求,如 2017 年的“推行绿色生产方式,增强农业可持续发展能力,要深入推进化肥农药零增长行动,促进农业节本增效”;2018 年的“加强农业面源污染防治,将开展农业绿色发展行动作为农村突出环境问题综合治理和建设生态宜居美丽乡村的重要内容”。

提高粮食生产效率,减少农业面源污染是当前中国面临的极为迫切的问题。粮食生态效率是对粮食生产效率和生态保护综合要求的表达,粮食生态效率不但要求效率,即以最少的资源投入实现最大的产量,同时推崇生态的生产方式,以谋求产出既定条件下的污染最小化,因而兼顾了粮食产量和生态环境的双重要求。在农业供给侧结构性改革的趋势下,粮食生态效率的提升是增质提效的具体体现,有利于实现粮食生产的可持续,真正做到绿色、协调发展。

1 国内外研究述评

粮食生产效率的高低直接关系中国粮食安全问题 and 农民生活水平。对粮食生产效率的测算,除了关注传统意义上的土地、劳动力、水等投入要素,也应看到粮食生产的生态环境效应。生态效率(Eco-efficiency)概念最早由 Schaltegger 和 Sturm 提出,20 世纪 90 年代随着世界可持续发展工商业联合会(WBCSD)的推广而广受重视。生态效率有众多定义,其核心在于生产评价中引入经济和生态双重维度。依照生态效率思想,在农业生态效率评价中不但要重视期望产出(经济效益)最大化,还要重视非期望产出(生态负面影响)最小化。国外学者对农业生产污染问题研究较早,如 Donoso 等研究了智利化肥、农药使用量对环境污染的影响^[1]。Reddy 等从污染损失角度评估了农村地区水污染的经济损失,具体包括对农业生产,人类健康和牲畜的损失^[2]。在农业生态效率具体研究方面,Vlontzos 和 Pardalos 将温室气体引入 DEA 模型对欧洲国家进行农业生态效率的评价分析,通过对国家间农业生态效率的比较,发现不同发展水平的国家农业生态效率存在显著差异^[3]。Fei 等采用非径向方向距离函

数评价了中国各省市自治区农业能源消耗和二氧化碳投入产出的综合生态效率,发现中国大部分省份的农业综合效率偏低,各地区之间由于资源条件差距呈现出不同方向的松弛^[4]。在中文文献方面,大部分研究集中于中国生态效率的测算和分析,而将农业部门作为主体进行生态效率研究的文献较少,针对粮食生产的生态效率研究更少。潘丹和应瑞瑶对中国 30 个省市自治区的农业生态效率进行了测算,认为 1998-2009 年中国农业生态效率虽然呈现缓慢上升态势,但整体仍处于较低水平,资源的过度消耗和环境污染物的过量排放是农业生态效率低的主要原因^[5]。程翠云等利用基于机会成本的经济核算方法对中国 2003-2010 年的农业生态效率进行总体分析与评价,认为农业生态效率总体水平比较低,但呈逐年好转的趋势,农业生态效率空间分布特征显著^[6]。王宝义和张卫国测算了中国东部、中部、西部三大地区、八经济区及省际农业(种植业)生态效率,发现中国农业生态效率总体呈现“W”结构且表现为上升趋势,但是因化肥、农药、农膜的过度使用而造成的负面作用在部分地区仍十分突出^[7]。具体到粮食生产角度的生态效率研究较少,主要以传统意义上的全要素生产率的测算分析为主。张利国和鲍丙飞^[8]分析了中国粮食主产区粮食全要素生产率时空演变及驱动因素,认为从时间维度看,主产区粮食全要素生产率年均增长 1.3%,且是技术进步“单轨驱动”模式;从空间维度看,主产区粮食全要素生产率除四川省下降之外,其余省市自治区粮食全要素生产率均上升。杨义武等运用 1999-2013 年省级面板数据,基于动态广义矩估计和空间计量模型,考察了农业前沿技术进步和技术效率对粮食增产的作用渠道,认为农业前沿技术进步和技术效率对粮食增产均具有显著的促进作用,且前者的边际效应大于后者^[9]。

综上所述,国内外学者越来越重视农业生产的生态效率,但大部分研究针对整个农业部门,缺少对农业具体部门,尤其是粮食生产效率的深入分析。对粮食生态效率的研究符合农业可持续发展要求,具有国家层面的战略意义,还直接关系农民的持久收入和乡村振兴的实现。本研究主要借鉴前人对农业生态效率研究的相关成果,将研究重点聚焦在粮食生产过程,在效率评价体系中综合考虑资源、环境和经济要素,采用 SBM-DEA 模型具体测算各省市

自治区粮食生产的生态效率,在此基础上分析了各省份粮食生态效率的时空分布特征,并对各省份生态效率的松弛变量展开深入分析,从而更具有针对性地提出相应的建议对策。

2 研究方法和数据选择

2.1 SBM-DEA 模型

DEA 分析方法最初由 Charnes 等提出,第一个模型为 CCR 模型^[10]。Banker 等^[11]将 CCR 模型中规模收益不变的假定改为规模收益变动的假定,即考虑规模收益可变(VRS)的 BCC 模型,该模型可以评价不同部门间的相对技术有效性。本研究基于 Tone 建立的 SBM 模型^[12],该模型将松弛指标包含在目标函数之中,因而能将非期望产出纳入到效率计算的过程中,考虑不同角度的改进空间。其基本原理如下:

假定一个生产系统中有 n 个相互独立的决策单元 DMU,每个决策单元投入 m 种资源,生产 s_1 种期望产出,并带来 s_2 种非期望产出(污染)。相应的矩阵表达为投入要素 $X = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in R^{m \times n}$,期望产出 $Y^g = (y_1^g, y_2^g, \dots, y_n^g)^T \in R^{s_1 \times n}$,非期望产出 $Y^b = (y_1^b, y_2^b, \dots, y_n^b)^T \in R^{s_2 \times n}$ 。生产者试图以最小的投入 X ,生产出最多的期望产出 Y^g ,同时带来最小的污染 Y^b 。则规模报酬可变的生产过程可以描述为:

$$P = \{ (x, y^g, y^b) \mid x \geq X\lambda, y^g \leq Y^g\lambda, y^b \geq Y^b\lambda, \lambda = 0 \} \quad (1)$$

在 SBM-DEA 模型中,不同决策单元距离生产前沿面的距离可以通过不同方向的松弛指标来表示,同时松弛指标也体现了决策单元的改进方向。 $s^- \geq 0, s^g \geq 0, s^b \geq 0$ 分别为投入指标、期望产出以及非期望产出的松弛变量。考虑到不同的投入/产出指标在生产过程中的重要性不同,可以对不同类型的指标赋予权重, w_i, w_r^g, w_r^b 分别为 3 类指标的权重,采用的基于 SBM-DEA 生态效率评价模型如下:

$$\theta = \min \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{w_i^- s_i^-}{x_{i0}}}{1 + \frac{1}{s_1 + s_2} \left(\sum_{r=1}^{s_1} \frac{w_r^g s_r^g}{y_{r0}^g} + \sum_{r=1}^{s_2} \frac{w_r^b s_r^b}{y_{r0}^b} \right)} \quad (2)$$

变量满足以下条件:

$$x_0 = X\lambda + s^-$$

$$y_0^g = Y^g\lambda - s^g$$

$$y_0^b = Y^b\lambda - s^b$$

$$s^- \geq 0, s^g \geq 0, s^b \geq 0, \lambda = 0$$

式中, $\lambda \in R^n$ 为 DMU 的线性组合系数向量,权重系数 $\sum_{i=1}^m w_i^- = m, w_i^- \geq 0, \sum_{r=1}^{s_1} w_r^g + \sum_{r=1}^{s_2} w_r^b = s_1 + s_2, w_r^g \geq 0, w_r^b \geq 0$ 。在该模型中,当且仅当 $\theta_0 = 1$,同时满足 $s^- = 0, s^g = 0, s^b = 0$,决策单元 DMU 为 DEA 有效。若决策单元非 DEA 有效,则可通过减少投入方向、非期望产出方向的冗余或增加期望产出的方式提高效率,即 $\hat{x}_0 \leftarrow x_0 - s^-$, $\hat{y}_0^b \leftarrow y_0^b - s^b$, $\hat{y}_0^g \leftarrow y_0^g + s^g$ 。

2.2 生态效率损失分析指标

SBM-DEA 模型不仅能测算出各个决策单元的生态效率值,还能得出特定决策单元与最优决策单元相比较的期望产出不足率和投入、非期望产出冗余率,从而可以为各地改善生态效率提供依据,具有较好的政策价值和意义。当被评价单元存在效率损失时, $\theta < 1$,此时松弛变量不全为零。参照 Cooper 等^[13]的研究结果,从松弛变量的角度可以将效率损失的来源分为:(1)投入方向冗余,表示所耗费的资源可以降低的比例;(2)期望产出方向的不足,表明粮食产量可以增加的比例;(3)非期望产出方向的冗余,表明污染可以减少的比例。投入冗余率、期望产出不足率以及非期望产出冗余率的具体计算过程如下。

$$IE_x = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{i0}}; IE_{y^g} = \frac{1}{s_1} \sum_{r=1}^{s_1} \frac{s_r^g}{y_{r0}^g}; IE_{y^b} = \frac{1}{s_2} \sum_{r=1}^{s_2} \frac{s_r^b}{y_{r0}^b}$$

2.3 投入/产出指标变量选取及处理分析

生态效率测算兼顾生产过程中的资源消耗、经济效益和生态损耗,因此其测算涉及投入指标、期望产出指标和非期望产出指标。根据中国粮食生产的实际,参照以往相关研究结果,选取土地、劳动力、用水量、化肥、农药、柴油和动力作为投入指标;粮食产量作为期望产出指标;面源污染作为非期望产出指标。具体指标如表 1 所示。其中, β 为权重系数, $\beta_1 =$ 粮食作物播种总面积/农作物播种总面积, $\beta_2 =$ (农业产值/农林牧副渔总产值) \times (粮食作物播种总面积/农作物播种总面积)。由于过渡施用化肥是粮食生产中的主要污染来源,具体表现为氮、磷流失带来的水体面源污染。因此非期望指标以总氮、总磷污染的等标污染排放表示。借鉴张利国等^[8]的处理方式,令 $F_{\text{pollution}} = f \times \mu \times \eta$, $F_{\text{pollution}}$ 为化肥使用引起的总氮和总磷的污染负荷; f 为氮肥、磷肥使用折纯量; μ 为氮肥、磷肥有效成分中氮、磷所占比例; η 为氮肥或磷肥进入水体的流失率。根据 GB3838-2002 中的Ⅲ类水质标

准,将总氮、总磷污染物负荷转换为等标污染排放量。计算公式为:等标污染排放量=污染物排放总量/污

染物排放评价标准。其中,全氮、全磷污染物排放评价标准分别为 1.0 mg/L 和 0.2 mg/L。

表 1 投入/产出指标体系

Table 1 Input-output indicator system

指标	指标类型	具体指标
投入指标	土地(x_1)	粮食播种面积(10^3 hm^2)
	劳动力(x_2)	第一产业就业人口 $\times \beta_2 (\times 10^4)$
	用水量(x_3)	农业用水量 $\times \beta_2 (10^8 \text{ m}^3)$
	资源综合投入(x_4)	(农用化肥折纯量+农药使用量+农用柴油使用量) $\times \beta_1 (10^7 \text{ kg})$
	动力投入(x_5)	农用机械总动力 $\beta_1 (10^7 \text{ W})$
期望产出指标	粮食产量(y^a)	粮食产量(10^7 kg)
非期望产出指标	面源污染(y^b)	等标污染排放量(10^6 m^3)

数据来源:《中国统计年鉴》、《中国农村统计年鉴》及《第一次全国污染普查》。

3 粮食生产效率测算和改善路径分析

3.1 粮食生产效率测算结果时空分析

利用基于 SBM-DEA 的生态效率评价模型,对中国 31 个省市自治区 2006–2015 年的粮食生产的生态效率进行测算。计算所得全国及各地区平均粮食生态效率见图 1,各省市自治区粮食生态效率均值见图 2。

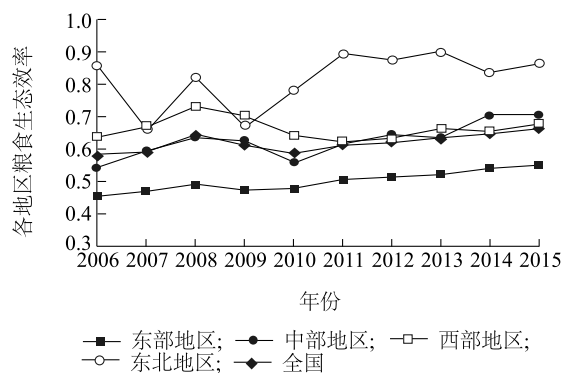


图 1 各地区粮食生态效率变动趋势

Fig.1 Trends of food ecological efficiency in different regions

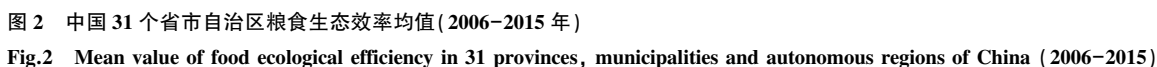
根据计算结果可知,(1)从全国范围看,2006–2015 年粮食生态效率呈缓慢上升趋势。东北地区粮食生态效率最高,其次为中部地区和西部地区,东部地区最低。(2)上海、西藏、青海、吉林和新疆是粮食生态效率均值高的省市自治区,年均粮食生态效率高于 0.90。粮食生产过程中较好地实现了资源节约和环境保护。(3)山西、甘肃、广东、浙江、河北和陕西是粮食生态效率低的省份,年均粮食生态效率值均低于 0.35,粮食生态效率较低反映了这部

分省份粮食生产方式较为粗放,不利于粮食生产的可持续。(4)受自然资源条件、经济发展水平、劳动力状况等因素的制约,不同省市自治区粮食生态效率的差距较大。从直观上来看,粮食生态效率与单纯的粮食产量没有明显的一致性,说明综合考虑资源消耗和环境因素的生态效率评价不同于只注重粮食产量单一指标的传统思路。

从图 3 可以更为直观地看出各省市自治区 2006–2015 年粮食生态效率的时空分布和变动情况。从地区来看,东北地区 and 西南地区粮食生态效率始终保持在较高水平,而东南沿海地区的经济较发达省份始终处于生态效率较低的状态,中部地区粮食生态效率改善明显;从各省市自治区来看,四川、湖南、北京、山东和江西的粮食生态效率增加幅度最大,在研究期间分别增加了 85.58%、81.68%、78.43%、69.70% 和 36.22%,粮食生态效率的提高表明生产方式的绿色化、集约化趋势;而贵州、新疆、陕西、广西和浙江是粮食生态效率下降最为严重的 5 个省市自治区,分别下降了 34.22%、19.20%、2.99%、2.73% 和 1.86%,说明这些省市自治区在兼顾粮食生产和环境方面仍存在一定缺陷;山东、内蒙古、江西、湖南、四川、河南、安徽、江西等粮食主产区生态效率得到明显改善,表明粮食生产的规模优势有助于提高粮食生态效率。

3.2 粮食生态效率损失分析

通过测算各省市自治区投入、产出指标的松弛变量值,确定各省市自治区的投入冗余率、期望产出不足率以及非期望产出冗余率,判断出各省市自治区粮食生态效率的改进空间,测算结果如表 2 所示。



市自治区都存在非期望产出方向的冗余,平均冗余率高达 48.54%。粮食生产的面源污染问题已成为生态效率低下的最主要原因。从各地区来看,东部地区的松弛主要表现为劳动力、农药、化肥、动力投入过多,以及面源污染问题;西部地区的松弛则表现为土地、劳动力以及水资源投入过多,与其他省市自

治区相比,农业生产方式过于粗放。从各省市自治区来看,山西、陕西、内蒙古、甘肃和云南的土地投入冗余较为严重,陕西、云南、甘肃、山西和广东劳动力投入冗余较为严重,广东、甘肃、广西、江苏和福建用水量冗余较为严重,浙江、陕西、福建、海南和河北综

合资源投入冗余较为严重,天津、河北、山西、浙江和甘肃动力投入存在较大冗余,湖北、江苏、河北、广东和云南面源污染方向存在大量冗余,粮食产量方向基本不存在不足问题。

表2 粮食生态效率投入和产出的冗余率或不足率

Table 2 Redundancy or deficiency rate of food ecological efficiency inputs and outputs

地区	省市区	投入方向冗余率(%)					非期望产出冗余率(%)	期望产出不足率(%)
		土地	劳动力	用水量	综合资源	动力		
东部地区	北京	16.51	26.76	1.28	11.55	49.11	19.80	0
	天津	26.97	44.72	6.87	49.23	77.72	58.72	0
	河北	33.46	65.34	43.47	52.74	71.00	89.77	0
	上海	0.83	2.84	1.31	0.50	0	0.22	0
	江苏	15.18	43.03	66.92	22.26	20.85	90.69	0
	浙江	17.59	63.62	57.27	62.54	60.14	84.77	0
	福建	25.07	67.44	59.28	55.86	35.33	86.31	0
	山东	5.63	42.97	0	20.59	45.23	56.13	0
	广东	20.92	71.94	74.63	47.95	40.94	89.40	0
	海南	35.54	67.30	43.31	55.81	53.38	60.54	0
中部地区	东部均值	19.77	49.60	35.43	37.90	45.37	63.64	0
	安徽	33.03	62.25	42.14	23.52	48.98	85.78	0
	江西	5.30	14.25	6.14	0	35.73	20.27	0
	河南	4.47	12.21	0	2.30	1.88	16.05	0
	湖北	12.32	58.13	41.05	24.59	26.23	91.99	0
	湖南	0.69	22.24	6.03	0	8.99	29.38	0
	山西	47.94	75.07	41.85	31.82	68.72	69.83	0
西部地区	中部均值	17.29	40.69	22.87	13.71	31.76	52.21	0
	内蒙古	42.47	29.64	51.60	10.57	32.96	69.71	0
	广西	28.16	69.19	68.45	36.05	44.21	87.09	0
	重庆	10.77	21.21	0	2.47	12.10	30.42	0
	四川	7.87	22.81	1.00	0	4.09	29.61	0
	贵州	22.09	29.08	5.79	0.30	29.02	40.08	0
	云南	40.37	75.65	49.06	34.02	44.74	88.53	0
	西藏	0	0.72	1.78	4.54	4.89	2.72	0
	陕西	44.73	78.25	52.07	59.52	55.73	70.37	0
	甘肃	41.38	75.37	69.57	26.28	58.13	70.82	0
	青海	2.10	3.98	4.26	0.44	3.36	3.28	0.20
	宁夏	9.69	8.29	16.91	6.06	2.60	2.51	0
	新疆	3.26	8.92	21.97	10.46	0	0	0
东北地区	西部均值	21.07	35.26	28.54	15.89	24.32	41.26	0.02
	辽宁	17.51	37.46	22.05	19.54	27.67	48.58	0
	吉林	5.22	5.51	1.62	2.68	0.96	4.99	0
	黑龙江	14.14	10.50	11.65	0.95	0.47	6.43	0
东北均值		12.29	17.82	11.78	7.73	9.70	20.00	0

3.3 粮食生态效率提升路径分析

(1) 提高资源利用效率,推行可持续生产方式

总体来看中国现阶段粮食生态效率不足的主要原因是过多的资源消耗和面源污染。部分地区土地规模小、土地流转速度较慢,造成土地利用效率低,生产方式粗放,应加快完善土地经营权流转市场,形成土地利用规模经济;劳动力投入冗余省份应采取适当的措施促进农村人口的转移就业,深入推动乡村振兴战略,提高单位劳动人口所创造的粮食产量和经济价值;粮食生产用水需求较大,应大力发展节水农业,改变传统的大水漫灌低效率的用水方式,在农村推广节水灌溉方式,提高水资源的利用效率;控制农药、化肥等化学资源的使用量,同时警惕盲目推进农业机械化,避免走发达国家石油农业的老路,重视有机农业的发展,促进机械技术现代化与生物技术现代化同步推进,发展生态农业,在提高产量的同时将污染程度降到最低;此外,还应加强面源污染的管理和防治,通过测土配方施肥等技术手段合理控制要素投入,提高粮食生产的可持续性。

(2) 发挥粮食主产区粮食生产优势,兼顾非主产区粮食生态效率

结合中国粮食生产实际,提高粮食生态效率不仅要投入产出具体方向进行改进,还应在粮食生产总布局上下功夫。研究表明,2006—2015年粮食主产区生态效率得到明显改善,对全国生态效率的提升起到支撑作用。应进一步突出主产区粮食生产优势,重点加大对主产区内低效率省份的整治,综合采用技术、财政手段,提高河北、江苏、湖北、辽宁的粮食生态效率,实现粮食主产区全部省市自治区粮食生态效率最大化;对于非粮食主产区省市自治区,因地区差异,所造成粮食生态效率低下的原因不同,故应采取差异化的政策支持措施,使之与当地的生产条件相匹配,因地制宜地提高各地区粮食生态效率。

(3) 提高科技水平,为粮食生态效率的改善提供有力支撑

在粮食生产过程中,无论提高资源利用率还是降低污染排放量,都离不开科学技术的支持,应加大对粮食生产相关科学技术研究的支持和推广。依靠科技进步不但能提高中国粮食生产综合效率,还有助于降低成本,提高中国粮食在国际市场的竞争力,增加农民收入。

4 讨论

粮食生态效率的测算过程考虑了资源投入和粮食产量以及粮食生产过程中对环境的影响,改善了只注重产量和产值的传统思维模式,符合农村农业的可持续发展和乡村振兴战略。通过对全国31个省市自治区2006—2015年的粮生态效率进行测算,结果表明10年间中国粮食生态效率总体呈缓慢上升趋势;从地区来看,东北地区、中部地区、西部地区和东部地区粮食生态效率依次递减,各地区的变动情况表现为东北地区、西南地区 and 东南沿海地区变动较小,中部地区生态效率改善明显;从省份来看,上海、西藏、青海、吉林和新疆等省市自治区粮食生态效率较高,而山西、甘肃、广东、浙江、河北和陕西等省份粮食生态效率较低,各省份效率变动情况突出表现为山东、内蒙古、江西、湖南、四川、河南、安徽、江西等粮食主产区生态效率增长幅度较大。松弛变量计算结果表明,劳动力、化肥、农药、柴油和机械动力过多投入以及由此引发的面源污染问题是东部地区粮食生态效率不高的主要原因,而土地、劳动力和水的过度使用即“粗放型”农业生产方式是西部地区粮食生态效率较低的主要原因。资源投入冗余和污染排放冗余是中国粮食生态效率较低的主要原因,降低粮食生产的资源消耗和污染排放是提高中国粮食生态效率的主要手段。

粮食生态效率测算过程中,受粮食生产相关指标数据短缺因素影响,相应指标按农业整个部门的指标进行折算。该方法有可能与实际情况存在部分偏差,但采用SBM-DEA模型所计算的生态效率是各省市自治区的相对效率,测算结果仍能反映出各省市自治区粮食生产的效率状况,研究结论总体符合现实情况。相对于以往对农业部门生态效率的研究而言,粮食生态效率的研究更为具体,研究结果和政策分析更具有针对性和可操作性。提高粮食生产的生态效率符合乡村振兴战略,有利于实现粮食生产的可持续发展,促进粮食增产、人民增收,有助于建设产业兴旺、生态宜居、生活富裕的美丽乡村。

参考文献:

- [1] DONOSO G, CANCINO J, MAGRI A. Effects of agricultural activities on water pollution with nitrates and pesticides in the Central Valley of Chile[J]. Water Science and Technology, 1999, 39(3):

- 49-60.
- [2] REDDY V R, BEHERA B. Impact of water pollution on rural communities: an economic analysis[J]. *Ecological Economics*, 2006, 58(3): 520-537.
- [3] VLONTZOS G, PARDALOS P M. Assess and prognosticate greenhouse gas emissions from agricultural production of EU countries, by implementing, DEA Window analysis and artificial neural networks[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, 76: 155-162.
- [4] FEI R, LIN B. The integrated efficiency of inputs-outputs and energy-CO₂ emissions performance of China's agricultural sector[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, 75: 668-676.
- [5] 潘丹,应瑞瑶. 中国农业生态效率评价方法与实证——基于非期望产出的SBM模型分析[J]. *生态学报*, 2013, 33(12): 3837-3845.
- [6] 程翠云,任景明,王如松. 我国农业生态效率的时空差异[J]. *生态学报*, 2014, 34(1): 142-148.
- [7] 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, 26(6): 11-19.
- [8] 张利国,鲍丙飞. 我国粮食主产区粮食全要素生产率时空演变及驱动因素[J]. *经济地理*, 2016, 36(3): 147-152.
- [9] 杨义武,林万龙,张莉琴. 农业技术进步、技术效率与粮食生产——来自中国省级面板数据的经验分析[J]. *农业技术经济*, 2017(5): 46-56.
- [10] CHARNES A, COOPER W W, RHODES E. Measuring the efficiency of decision making units[J]. *European Journal of Operational Research*, 1978, 2(6): 429-444.
- [11] BANKER R D, CHARNES A, COOPER W W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis[J]. *Management Science*, 1984, 30(9): 1078-1092.
- [12] TONE K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. *European Journal of Operational Research*, 2001, 130(3): 498-509.
- [13] COOPER W W, SEIFORD L M, TONE K. *Data envelopment analysis*[M]. Boston: Kluwer Academic Publishers, Second Edition, 2007.

(责任编辑:陈海霞)