

doi: 10.7621/cjarrp.1005-9121.20210724

· 绿色发展 ·

基于三阶段SBM模型的中国农业生态效率研究*

吉雪强, 尚杰*

(东北林业大学经济管理学院, 黑龙江哈尔滨 150040)

摘要 [目的] 剔除外生环境影响和随机干扰对农业生态效率的影响, 更精准测度中国各地农业生态效率, 为中国绿色农业发展提供有效建议。[方法] 文章基于考虑非期望产出的SBM模型结合三阶段DEA建模法构建考虑非期望产出的三阶段SBM模型, 利用2008—2017年中国31省(市、自治区)面板数据, 在剔除外生环境影响和随机干扰的基础上对中国各地农业生态效率进行了测度。[结果] 外生环境影响和随机干扰对农业生态效率测度有着明显影响, 在外生环境影响和随机干扰下2008—2017年中国31省市农业生态效率均值皆有明显下降, 因此使用三阶段SBM模型是必要的; 宏观经济环境改善会增加农业生态效率冗余, 政策支持力度的加大和科技发展能减少农业生态效率冗余; 整体来看, 中国农业生态效率不断改善, 第三阶段中国31省市农业生态效率均值从2008年的0.37增长到2017年的0.59, 但未达到效率前沿, 仍具有改进空间, 其中, 农业生态效率领先省(市、自治区)与落后省(市、自治区)之间差距较大, 第三阶段农业生态效率均值最高的广东省比最低的西藏自治区高出0.85。[结论] 为了提高农业生态效率促进绿色农业发展一方面需要营造良好外部环境, 重视科技创新作用; 另一方面要多角度推动农业环境改善, 促进地区交流合作。

关键词 绿色农业 农业生态效率 三阶段DEA SBM-DEA 非期望产出

中图分类号: F323.22 **文献标识码**: A **文章编号**: 1005-9121[2021]07-0210-08

0 引言

近10年来中国农业发展取得了不断突破, 但随之而来的农业污染问题也逐渐严峻。农业生产是国家发展的基础, 如何在提高农业产出的同时降低农业生产污染以推动农业生态改善是中国农业可持续发展的重要问题, 更是在农业领域贯彻落实生态文明理念的重要方向。绿色农业作为一种既有利于环境保护, 又有利于农产品数量与质量安全的现代农业发展的形态与模式^[1], 近些年来成为了学者们关注的重点^[2-5]。

农业生态效率是农业可持续发展能力的一个非常重要的指标^[6]。农业生态效率强调以尽可能小的资源消耗和环境污染, 得到尽可能多的农业产出^[7]。通过农业生态效率测度可以对中国绿色农业发展情况进行量化, 从而更好地就绿色农业建设提出建议, 推动农业可持续发展。从现有研究来看, 评价生态效率的方法主要有比值法、数据包络分析法等多种方法^[8-9]。其中数据包络分析(DEA)方法无需预设函数关系, 减少了主观争议性, 被诸多学者用以测度农业生态效率^[10-13]。DEA模型在效率测度过程中具有诸多优点, 但是DEA模型在效率测度中易受环境因素和随机干扰影响。Frie等提出的三阶段DEA法能调整外部环境与随机误差对效率的影响^[14-15]。现有研究中较少考虑到外部环境与随机误差等因素对农业生态效率测度产生的干扰, 这影响了农业生态效率测度, 也不利于绿色农业发展相关建议的制定。

收稿日期: 2019-12-04

作者简介: 吉雪强(1996—), 男, 江西吉安人, 硕士研究生。研究方向: 生态农业经济

*通讯作者: 尚杰(1962—), 女, 黑龙江哈尔滨人, 博士、教授。研究方向: 农业经济、环境科学与资源利用。Email: shangjie2005@126.com

*资助项目: 国家自然科学基金项目“种植大户化肥施用行为与农业面源污染控制:影响机理与政策模拟研究”(71573036); 国家社会科学基金后期资助项目“区块链技术与农业生态产品供应链治理耦合研究”(20FGLB059)

对现有农业生态效率研究进行梳理发现,采用DEA方法进行农业生态效率测度已取得较多成果,但在测度过程中没有考虑环境因素影响和随机干扰,因此所测度的农业生态效率在一定程度上与现实有所偏离,而据此所提出的政策建议也存在一定局限性,难以有效指导我国绿色农业发展。为此,文章基于现有研究成果,利用考虑非期望产出的三阶段SBM模型,在剔除外部环境及随机误差的基础上进行农业生态效率测度,以为绿色农业发展提供建议。该文相对现有研究而言,一方面在农业生态效率测度方法上有所创新,通过考虑非期望产出的SBM模型和考虑环境因素及随机干扰的三阶段DEA建模法结合,构建考虑非期望产出的三阶段SBM模型,优化农业生态效率测度准确性;另一方面,在剔除环境因素影响和随机干扰基础上测度的农业生态效率更准确反映出各地农业生态环境情况,基于此为绿色农业发展提出的政策建议更具有现实意义。

1 研究方法、变量选择、数据来源

1.1 研究方法

该文使用主成份分析法对面源污染综合测度,利用考虑非期望产出的三阶段SBM模型进行农业生态效率测度。这里重点就考虑非期望产出的三阶段SBM模型进行介绍。

1.1.1 考虑非期望产出的SBM模型

Tone在2001年提出的SBM模型基础上提出考虑非期望产出的SBM模型^[6],如式(1)所示。在式(1)中, $x = (x_{ij}) \in R^{m \times n}$, $y = (y_{ij}) \in R^{s \times n}$, n 个部门, m 个投入, s 个产出,其中 s_1 个好产出, s_2 个坏产出。 S^- 和 S^b 表示投入和非期望产出过剩(冗余),而 S^g 代表期望产出不足; ρ 为效率值。

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

(1)

subject to $x_0 = X\lambda + S^-$
 $y_0^g = Y^g\lambda - S^g$
 $y_0^b = Y^b\lambda + S^b$
 $S^- \geq 0, S^g \geq 0, S^b \geq 0$

式(1)中, ρ 为效率值, m 表示投入个数, s_1 表示期望产出个数, s_2 表示非期望产出个数; S_i^- 和 X_i 分别表示决策单元的投入冗余以及投入变量, S_r^g 和 Y_r^g 分别表示决策单元的期望产出不足以及期望产出变量, S_k^b 和 Y_k^b 分别表示决策单元的非期望产出过剩以及非期望产出变量; λ 表示权重向量。

1.1.2 考虑非期望产出的三阶段SBM模型

第一阶段:利用非期望产出SBM模型计算出初始农业生态效率和指标的松弛量;

第二阶段:参考Fried等^[4]学者的做法,使用随机前沿模型对冗余值和环境变量进行测度并根据测度结果对农业生态效率的投入产出数据进行调整,使用的方程为:

$$s_{ij}^- = f^i(z_j; \beta_i^-) + v_{ij}^- + \mu_{ij}^-, s_{ij}^g = f^i(z_j; \beta_i^g) + v_{ij}^g + \mu_{ij}^g, s_{ij}^b = f^i(z_j; \beta_i^b) + v_{ij}^b + \mu_{ij}^b \tag{2}$$

式(2)中, s_{ij}^- 表示第 j 个地区在第 i 年其农业生态效率投入指标或产出指标的松弛量, s_{ij}^g 表示第 j 个省市在第 i 年其农业生态效率期望产出指标松弛量, s_{ij}^b 表示第 j 个省市在第 i 年其农业生态效率非期望产出指标松弛量; $f^i(Z_j; \beta_i)$ 指的是环境变量对松弛量的影响,假定农业生态效率受到 k 个环境因素的影响,那么 $z_j = [z_{1j}, z_{2j}, \dots, z_{kj}]$, $j = 1, 2, \dots, n$, 其中 β_i 为待估参数。在式(2)中 $v_{ij} + \mu_{ij}$ 则为农业生态效率测度之中的综合误差项,其中 v_{ij} 反映了对农业生态效率产生影响的统计噪音,其中 $v_{ij} \sim iidN^+(0, \sigma_v^2)$, σ_v^2 表示 v_{ij} 的方差, μ_{ij} 则反映出在农业生态效率测度中管理无效率的作用,其中 $\mu_{ij} \sim iidN^+(\mu^i, \sigma_\mu^2)$, μ^i 表示 μ_{ij} 的均值,

σ_μ^2 表示 μ_{ij} 的方差。假定 v_{ij} 和 μ_{ij} 相互独立,且与环境变量也相互独立。定义 $\gamma = \sigma_\mu^2 / (\sigma_\mu^2 + \sigma_v^2)$,当 γ 趋近1时,管理无效率占主要影响地位,当 γ 趋近0时,随机因素占主要影响地位。本文采用极大似然估计未知参数,对投入产出数据调整,公式如下:

$$X_{ij}^A = X_{ij} + [\max(f(z_j; \beta_{ij}^-) - f(z_j; \beta_{ij}^+)) + [\max(v_{ij}^-) - v_{ij}^-]], i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$y_{ij}^{gA} = Y_{ij}^g + [\max(f(z_j; \beta_{ij}^g) - f(z_j; \beta_{ij}^g)) + [\max(v_{ij}^g) - v_{ij}^g]], i = 1, 2, \dots, s_1; j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

$$y_{ij}^{bA} = Y_{ij}^b + [\max(f(z_j; \beta_{ij}^b) - f(z_j; \beta_{ij}^b)) + [\max(v_{ij}^b) - v_{ij}^b]], i = 1, 2, \dots, s_2; j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

x_{ij}^A 、 y_{ij}^{gA} 和 y_{ij}^{bA} 3项分别表示经过调整之后的农业生态效率投入指标、期望产出指标和非期望产出指标。 x_{ij} 表示调整前的投入变量, y_{ij}^g 表示调整前的期望产出变量, y_{ij}^b 表示调整前的非期望产出变量。 $[\max(f(z_i; \beta_{ij}^-) - f(z_i; \beta_{ij}^+))]$ 表示将农业生态效率测度中的所有决策单元调整在相同外部环境, $[\max(v_{ij}^-) - v_{ij}^-]$ 表示去除农业生态效率测度中的统计噪音。在进行第二阶段的分析时,该文采用罗登跃^[15]等学者所推演的公式进行管理无效率的计算为:

$$E(\mu | \varepsilon) = \sigma^* \times \left[\frac{\phi(\lambda \frac{\varepsilon}{\sigma})}{\varphi(\frac{\lambda \varepsilon}{\sigma})} + \frac{\lambda \varepsilon}{\sigma} \right] \quad (6)$$

式(6)中, ε 为联合误差项, $\sigma^* = (\sigma_\mu \sigma_v) / \sigma$, $\sigma = \sqrt{\sigma_\mu^2 + \sigma_v^2}$, $\lambda = \sigma_\mu / \sigma_v$; ϕ 和 φ 分别是标准正太分布的密度函数和分布函数。

第三阶段:使用第二阶段调整后的数据,再次运用非期望SBM模型进行效率测算。

1.2 变量选择

1.2.1 农业生态效率投入—产出指标

该文结合现有研究^[7,10,12],构建农业生态效率投入—产出指标体系,见表1。其中碳排放公式为:农业碳排放量=相应指标*排放系数。参考现有研究将排放系数设为:化肥0.896(kg/kg)、农药4.934(kg/kg)、农膜5.180(kg/kg)、柴油0.593(kg/kg)、农业灌溉20.476(kg/hm²)、农业耕作312.600(kg/hm²)。在现有研究中污染排放指数多采用化肥污染量、农药污染量、地膜污染量等指标,该文在参考现有研究基础上利用主成分分析法对化肥污染量、农药污染量、农膜残留量进行综合获得的面源污染指数作为污染排放替代指标。其中化肥污染量=化肥施用量×化肥流失率(另外两项污染运算相同),现有研究在污染指标流失率设置方面多参考赖斯芸、吴小庆等学者做法^[17-18],为此结合现有研究该文将化肥流失率设置为65%,设置农药污染率50%,设置地膜残留率为10%。

表1 农业生态效率投入—产出指标体系

一级指标	二级指标	变量及说明
投入指标	劳动力投入	农林牧渔业从业人员 x(农业总产值/农林牧渔业总产者) 以第一产业从业人员作为农林牧渔业从业人员的替代指标
	土地投入	农作物总播种面积
	化肥投入	化肥施用量
	农药投入	农药使用量
	农膜投入	农膜使用量
	农业机械动力投入	农业机械总动力
	灌溉投入	有效灌溉面积
	役畜投入	大牲畜年底头数
期望产出指标	农业总产值	农业总产值(可比价格)
非期望产出指标	碳排放	化肥、农药、农膜、农用柴油、农业灌溉、农业播耕碳排放总和
	污染排放	综合面源污染指数

1.2.2 环境变量

结合中国农业生态效率特点,选择经济发展水平、政府对产业发展的政策支持、技术支撑等3个指标为环境变量。在考虑相关指标的可得性及环境指标选择要求基础上,该文选择地区第一产业产值作为各地区宏观经济发展水平的代理变量,选择地方财政支农支出作为反映政府对农业发展支持力度的代理变量,考虑农业发展多技术支持的现实,选择研究与发展内部经费作为当年技术投入的代理变量。

1.3 数据来源

该文以中国省级行政区为研究对象,其中中国台湾省、香港特别行政区、澳门特别行政区因数据缺失未纳入研究范围。农业生态效率通过考虑非期望产出的三阶段SBM模型测度获得;碳排放、污染排放、劳动力投入数据则通过上文所述其所对应的计算方法计算获得;其余基础数据则源于各年《中国农村统计年鉴》《中国科技统计年鉴》《中国统计年鉴》。

2 农业生态效率测度

2.1 第一阶段农业生态效率测度

2.1.1 非期望产出面源污染指数计算

该文利用2008—2017年各地化肥施用量、农药使用量、农膜使用量数据结合上文提供的公式分别计算出各省市化肥流失量、农药污染量、农膜污染量,而后将其进行标准化(使用极差法)后输入SPSS.20软件进行主成份分析。首先对数据进行KMO和Bartlett检验,得KMO=0.686, Bartlett Sig<0.01,根据Kaiser的研究可知KMO在0.6~0.7仍是可接受的范围^[9],所以该文认为可利用主成份分析法进行面源污染指数的综合测度。对投入数据进行因子分析,其中产出成份1特征值为2.341,其解释总方差达到了78.046%,接近80%。而后该文利用各指标所对应载荷数除以成份1所对应的特征根的开方,而后对所获得的系数进行归一化,从而确定每个指标的权重。经过计算得到化肥流失量、农药污染量、农膜污染量所占权重为0.350、0.339、0.311。为此,可得面源污染指数的计算公式:

农业生产面源污染指数=标准化后化肥流失量×0.350+标准化后农药使用量×0.339+标准化后农膜使用量×0.311

2.1.2 第一阶段农业生态效率

Coelli等^[20]认为,规模报酬可变假设适用于微观研究对象。根据该文研究对象较为宏观的特点,该文选择规模报酬不变非期望产出SBM模型进行农业生态效率测度,利用DEA-SLOVER PRO 5.0工具,按照默认设定期望与非期望产出比重为1:1,参考王宝义的研究将2008—2017年31个地区作为310个决策单元进行测度。通过运算得到第一阶段农业生态效率,对效率值进行调整得到表3与表4中2008—2017年各年份第一阶段农业生态效率均值以及各省市2008—2017年第一阶段农业生态效率均值。

从纵向来看,第一阶段农业生态效率均值由2008年的0.49增长到2017年的0.74,整体上保持较快增长,反映出中国农业生态建设取得了较好成果。从横向上来看,不同地区农业生态效率差距较大,2008—2017年间第一阶段效率均值最高的是上海市,达到了0.98,最低的是山西省,为0.27,相差了0.71。为进一步了解真实的农业生态效率,下面利用随机前沿模型对环境因素和随机干扰进行剔除,以获得更为客观的农业生态效率数据。

2.2 第二阶段数据调整

该阶段以第一阶段测度获得的关于农业生态效率的各投入产出指标的冗余变量为被解释变量,以2008—2017年各地第一产业产值、各地财政支农支出、各地研究经费支出3个环境变量为解释变量,对环境变量以极差法标准化后利用Frontier4.1工具计算环境变量对农业生态效率的各投入产出指标变量冗余的影响,得表2结果。

在测度过程中,各模型的LR值都达到1%显著水平,表明模型存在无效率项,可以采用随机前沿模

表2 随机前沿分析

		估计系数	标准误差			估计系数	标准误差
劳动投入	β_0	1.45E+01	1.62E+01	农业机械动力投入	β_0	-6.84E+02***	2.40E+02
	β_1	-1.12E+02	7.81E+01		β_1	3.38E+03***	6.50E+02
	β_2	-2.58E+01	5.92E+01		β_2	-1.12E+03***	4.03E+02
	β_3	-1.96E+02***	5.20E+01		β_3	-9.99E+02***	2.50E+02
	σ^2	8.64E+04***	1.00E+00		σ^2	5.73E+06***	1.00E+00
	γ	9.43E-01***	4.81E-03		γ	9.45E-01***	5.06E-03
土地投入	β_0	2.91E+02**	1.37E+02	灌溉投入	β_0	-8.19E+01	7.53E+01
	β_1	4.85E+03***	3.03E+02		β_1	2.55E+03***	4.03E+02
	β_2	-2.33E+03***	2.47E+02		β_2	-2.01E+03***	2.93E+02
	β_3	-5.61E+03***	2.38E+02		β_3	-1.41E+03***	2.88E+02
	σ^2	8.23E+06***	1.00E+00		σ^2	1.63E+06***	1.17E+00
	γ	9.49E-01***	3.62E-03		γ	9.67E-01***	2.83E-03
化肥投入	β_0	2.91E+02**	1.37E+02	役畜投入	β_0	2.53E+01	2.02E+01
	β_1	4.85E+03***	3.03E+02		β_1	-2.17E+01	9.12E+01
	β_2	-2.33E+03***	2.47E+02		β_2	8.59E+01	8.47E+01
	β_3	-5.61E+03***	2.38E+02		β_3	-2.14E+02***	6.73E+01
	σ^2	8.23E+06***	1.00E+00		σ^2	1.02E+05***	1.01E+00
	γ	9.49E-01***	3.62E-03		γ	9.12E-01***	7.53E-03
农药投入	β_0	1.46E+03	8.89E+02	碳排放	β_0	5.85E+00	8.88E+00
	β_1	7.96E+03***	2.18E+03		β_1	-2.29E+00	4.09E+01
	β_2	-1.01E+04***	7.29E+02		β_2	4.22E+01	3.33E+01
	β_3	-1.77E+04***	8.80E+02		β_3	-2.20E+02***	2.65E+01
	σ^2	5.79E+08***	1.00E+00		σ^2	2.31E+04***	1.10E+00
	γ	9.46E-01***	4.21E-03		γ	9.51E-01***	4.21E-03
农膜投入	β_0	-2.66E+04***	5.68E+02	面源污染排放	β_0	-1.11E-03	8.80E-03
	β_1	4.03E+04***	3.73E+02		β_1	6.35E-03	4.75E-02
	β_2	-2.88E+03***	4.87E+02		β_2	2.87E-02	3.56E-02
	β_3	-4.09E+04***	1.09E+02		β_3	-1.54E-01***	2.59E-02
	σ^2	3.38E+09***	1.00E+00		σ^2	1.26E-02***	3.99E-03
	γ	8.97E-01***	8.81E-03		γ	9.21E-01***	2.67E-02

注：*、**、***表示在10%、5%、1%显著性水平上显著；且LR均达到1%的显著水平

型进行参数估计。此外，从表2可知，各模型 γ 值在1%显著水平接近于1，表明管理无效率对冗余变量有显著影响。从表2各环境因素对投入产出指标冗余的影响来看，环境因素对大部分投入产出指标都产生了显著影响，表明该文选择的环境变量较为恰当。

从表2中系数可看出，随着第一产业产值提升，劳动投入冗余、役畜投入冗余、碳排放产出冗余减少，而其余投入指标及非期望产出指标冗余则随之增加，且这些随着第一产业产值提升其冗余增加的变量系数在1%水平显著，可知，第一产业产值提升整体上会提高农业生态效率冗余。这是因为我国农业生产体系不健全，生产过程中管理较为松散，农业资源投入产出率低，从而导致各项投入冗余增加。此外，从表2系数可看出财政支农支出增加会促进役畜投入冗余及面源污染排放冗余、碳排放冗余增加，而其他投入指标冗余则随之减少且这些指标的系数在1%水平显著，因此可知财政支农支出的增加整体上会降低农业生态效率冗余。这是因为随着政府对农业生产关注加强，农业生产的管理水平将得到一定程度提升，各项投入将得到更为有效的利用。从表2系数可看出科技研究经费的增多能够减少各项投入指标和非期望产出指标冗余，且其系数都在1%水平显著，可知科技研究经费的增加能够有效减少农业生态效率冗余。这主要是由于农业科技创新有助于提高生产能力。

2.3 第三阶段效率测度

将第二阶段调整后数据再次利用DEA-SLOVER PRO 5.0工具按第一阶段设定进行运算，得到剔除了

环境因素和随机干扰后的农业生态效率,对数据进行整理,得表3与表4中2008—2017年各年份第三阶段效率均值以及各省市2008—2017年间第三阶段效率均值。

表3 2008—2017年各年份第一、三阶段农业生态效率均值

时间	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	均值
第一阶段效率	0.49	0.49	0.50	0.51	0.52	0.55	0.57	0.60	0.64	0.74	0.56
第三阶段效率	0.37	0.38	0.40	0.42	0.43	0.46	0.47	0.49	0.56	0.59	0.46

表4 各省市2008—2017年间第一、三阶段农业生态效率均值

省市	第一阶段效率	第三阶段效率	省市	第一阶段效率	第三阶段效率	省市	第一阶段效率	第三阶段效率
广东	0.75	0.89	福建	0.68	0.58	甘肃	0.30	0.26
江苏	0.84	0.86	黑龙江	0.45	0.58	海南	0.69	0.25
山东	0.54	0.85	辽宁	0.49	0.49	山西	0.27	0.23
河南	0.48	0.76	安徽	0.35	0.46	宁夏	0.42	0.15
四川	0.67	0.75	浙江	0.73	0.43	天津	0.64	0.13
陕西	0.77	0.73	吉林	0.48	0.42	上海	0.98	0.09
湖北	0.46	0.69	内蒙古	0.36	0.4	北京	0.85	0.08
河北	0.50	0.68	云南	0.36	0.39	青海	0.60	0.07
广西	0.54	0.68	重庆	0.64	0.37	西藏	0.89	0.04
湖南	0.49	0.65	江西	0.34	0.35			
新疆	0.49	0.61	贵州	0.40	0.35			

从表3和表4可看出,整体上一、三阶段农业生态效率有着较大差距,可知环境因素和随机干扰对农业生态效率测度产生较大影响,为此利用随机前沿分析方法对环境因素和随机干扰进行剔除是必要的。从纵向上而言,2008—2017年各年份第一阶段农业生态效率均值和第三阶段生态效率均值都显示出上升的趋势,但是第三阶段各年份农业生态效率均值都较第一阶段要更低;整体上来看,第三阶段农业生态效率未达到前沿,且相比第一阶段农业生态效率而言,各年份农业生态效率均值在剔除环境因素和随机干扰之后都出现了下降,这反映出仅使用非期望产出SBM-DEA模型所测度的第一阶段农业生态效率值比现实情况要虚高,进一步反映出中国农业生态效率改进空间较大。从横向上来看,各省市2008—2017年间第三阶段农业生态效率均值发生了较大变化,相较于第一阶段,广东、江苏等省份2008—2017年间农业生态效率均值有所上升,表明环境因素和随机干扰对其效率值产生了一定抑制。而陕西、福建等省市2008—2017年间第三阶段农业生态效率均值相较于第一阶段出现了下降,表明这些省市之前较高的农业生态效率值得益于其较好的外部环境,如发达的经济宏观环境、政府政策扶持等。

3 结论与建议

3.1 结论

该文在现有研究基础上利用考虑非期望产出的SBM模型结合三阶段DEA建模法构建考虑非期望产出的三阶段SBM模型对农业生态效率进行测度,在研究中通过随机前沿分析剔除外生环境因素和随机干扰对农业生态效率测度的影响,使农业生态效率测度更加客观,通过分析得到以下结论。

(1) 外生环境影响和随机干扰对农业生态效率测度具有显著影响。该文利用三阶段非期望产出SBM-DEA模型对农业生态效率进行测度,结果第一阶段农业生态效率与剔除了外生环境影响和随机干扰后的第三阶段农业生态效率之间有着较大差距,在外生环境影响和随机干扰下2008—2017年各年份中国31省市农业生态效率均值皆有明显下降,显示出外生环境影响和随机干扰对农业生态效率测度有着明显的影

响,在农业生态效率测度中剔除掉外生环境影响和随机干扰是必要的。

(2)宏观经济环境改善会增加农业生态效率冗余,政策支持力度的加大和科技发展能减少农业生态效率冗余。根据分析可知,第一产业产值提升,土地投入、化肥投入、农业机械动力投入、灌溉投入冗余以及碳排放产出冗余将增加,而其余投入指标及非期望产出指标冗余则随之减少;财政支农支出增加会造成化肥投入、农药投入、农膜投入、役畜投入冗余以及面源污染排放冗余增加,而其他投入指标及非期望产出指标冗余则随之减少;科技研究经费的增多能够减少各项投入指标和非期望产出指标冗余。

(3)整体上中国农业生态效率不断改善,但仍有较大改进空间,各地区间农业生态效率差距较大。从第三阶段农业生态效率测度结果来看,我国农业生态效率均值整体呈现上升趋势,第三阶段中国31省市农业生态效率均值从2008年的0.37增长到2017年的0.59,但仍未达到效率前沿,仍具有改进空间。其中,农业生态效率领先省市与落后省市之间差距较大,第三阶段农业生态效率均值最高省市比最低省市高出0.85。

3.2 建议

(1)营造良好外部环境,加大科技创新支撑。根据研究可知环境因素对农业生态效率有着重要影响,绿色农业发展需要良好外部环境支撑。首先,要通过制度建设、引导教育等方式,提高农业资源利用效率;其次,要为农业生态建设提供良好政策环境,在政策制定中要坚持绿色发展导向,立足农业农村发展实际协调农业生产和生态保护,要以农业农村部为核心协同生态环境部、科技部、财政部、交通部等部门就全国绿色农业发展涉及的环境政策、技术发展政策、金融支持政策、物流保障政策进行充分协商,建立绿色农业发展多方位保障体系;此外,要重视科技创新,发挥中国农业科学院、中国农业大学等涉农研究机构作用,推动良种优种培育,积极促进良性循环多级利用技术、立体开发多层利用技术,系统调节控制技术现代生态农业技术的推广和应用,为绿色农业发展提供技术支撑。

(2)多角度推动农业环境改善,促进地区交流合作。根据研究可知中国农业生态效率有着较大改进空间,为此必须通过观念培育、制度设计、人才培养、技术应用等多途径提高农业生态效率,实现绿色农业高效发展。一方面要重视生态环保观念培育宣传,通过课堂、网络、电视、公益讲座等多种方式对农业生产者及农产品消费者进行环保观念引导;另一方面要制定相关规划和制度规章,将绿色农业发展作为长期工程进行考量,加强规章制度设计以规范农业生产;此外,重视绿色人才培养,通过建立农民培训课堂、专家入村实地指导、引进农林院校人才等方式为绿色农业建设提供人才支撑;另外,绿色农业建设过程中要重视先进技术装备使用,以科技创新推动绿色农业发展。最后,绿色农业是关系到国家农业可持续发展的关键问题,应当在中央协调下建立跨区域绿色农业发展合作组织,积极推广广东、江苏、山东等地的先进经验,促进地区绿色农业交流合作,推动绿色农业发展。

参考文献

- [1] 严立冬.绿色农业发展与财政支持.农业经济问题,2003,32(10):36-39.
- [2] 段清斌,吴长好,马新叶,等.绿色农业发展中存在的问题和对策研究——以河南省息县为例.中国农业资源与区划,2015,36(4):59-66.
- [3] 于法稳.新时代农业绿色发展动因、核心及对策研究.中国农村经济,2018,40(5):21-36.
- [4] 沈兴兴,段晋苑,朱守银.农业绿色生产社会化服务模式探析.中国农业资源与区划,2020,41(1):15-20.
- [5] 梁志会,张露,张俊飏,等.基于MOA理论消费者绿色农产品溢价支付意愿驱动路径分析——以大米为例.中国农业资源与区划,2020,41(1):30-37.
- [6] 聂弯,于法稳.农业生态效率研究进展分析.中国生态农业学报,2017,25(9):1371-1380.
- [7] 侯孟阳,姚顺波.中国农村劳动力转移对农业生态效率影响的空间溢出效应与门槛特征.资源科学,2018,40(12):149-160.
- [8] STTGSONB. Eco-efficiency: Creating more value with less impact. WBCSD, 2000: 5-36.
- [9] 潘兴侠,何宜庆,胡晓峰.区域生态效率评价及其空间计量分析.长江流域资源与环境,2013,22(5):640-647.
- [10] 王宝义,张卫国.中国农业生态效率测度及时空差异研究.中国人口·资源与环境,2016,26(6):11-19.
- [11] 洪开荣,陈诚,丰超,等.农业生态效率的时空差异及影响因素.华南农业大学学报(社会科学版),2016,15(2):31-41.

- [12] 王宝义, 张卫国. 中国农业生态效率的省际差异和影响因素——基于1996—2015年31个省份的面板数据分析. 中国农村经济, 2018(1): 46-62.
- [13] 王永静, 陈增增. 天山北坡经济带农业生态效率评价及提升路径研究——基于Super-SBM模型和Global-Malmquist指数. 生态经济, 2020, 36(2): 111-117.
- [14] Fried H O, Lovell C A K, Schmidt S S. Accounting for environmental effects and statistical noise in data envelopment analysis. *Journal of Productivity Analysis*, 2002, 17(1): 157-174.
- [15] 罗登跃. 三阶段DEA模型管理无效率估计注记. 统计研究, 2012, 29(4): 104-107.
- [16] Tone K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 2001, 130(3): 49-49.
- [17] 赖斯芸, 杜鹏飞, 陈吉宁. 基于单元分析的非点源污染调查评估方法. 清华大学学报(自然科学版), 2004, 44(9): 1184-1187
- [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. 长江流域资源与环境, 2012, 21(6): 714-714.
- [19] Kaiser H F, Rice J, Little Jiffy, et, al. *Journal of Educational & Psychological Measurement*, 1974, 34(1): 111-117.
- [20] Coelli T J, Rao D S P. Total factor productivity growth in agriculture: A malmquist index analysis of 93 countries. *Agricultural Economics*, 2005, 32(S1): 115-134.

A STUDY ON CHINA'S AGRICULTURAL ECOLOGICAL EFFICIENCY BASED ON THE THIRD STAGE SBM MODEL *

Ji Xueqiang, Shang Jie*

(School of Economics and Management, Northeast Forestry University, Haerbin 150040, Heilongjiang, China)

Abstract This research aims to eliminate the impact of exogenous environmental impact and random interference on agricultural ecological efficiency, more accurately measure the agricultural ecological efficiency of China's provinces and cities, and provide effective suggestions for the development of green agriculture in China. Based on the SBM model considering unexpected output and Three-stage DEA modeling method, a three-stage SBM model considering unexpected output was constructed. Using panel data from 31 provinces and cities in China from 2008 to 2017, the paper measured the agricultural ecological efficiency of China's provinces and cities on the basis of excluding the exogenous environmental impacts and random disturbances. The influence of exogenous environment and random disturbance had significant effects on the measurement of agricultural ecological efficiency. Under the influence of exogenous environment and random disturbance, the average agricultural eco efficiency of 31 provinces in China decreased from 0.56 to 0.46 from 2007 to 2018, so it was necessary to use the three-stage SBM model. The improvement of macroeconomic environment would increase the redundancy of agricultural ecological efficiency, and the increase of policy support and the development of science and technology could reduce the redundancy of agricultural ecological efficiency. Overall, China's agricultural ecological efficiency had continued to improve. The average agricultural ecological efficiency of China's 31 provinces and cities had increased from 0.37 in 2008 to 0.46 in 2017, but it had not reached the frontier of efficiency and there is still room for improvement. Among them, there was a large gap between the leading provinces and the backward provinces in agricultural ecological efficiency. In the third stage, the average value of agricultural ecological efficiency in the highest provinces was 0.85 higher than that in the lowest provinces. In order to improve the agricultural ecological efficiency and promote the development of green agriculture, on the one hand, it is necessary to create a good external environment and attach importance to the role of scientific and technological innovation; on the other hand, it is necessary to promote the improvement of agricultural environment from multiple angles and promote regional exchanges and cooperation.

Keywords green agriculture; agro-ecological efficiency; three-stage DEA; SBM-DEA; non-expected output