

基于三阶段 DEA 模型的江苏省农业生产效率研究

鲁庆尧, 孟祥海

(淮阴师范学院经济与管理学院, 江苏 淮安 223001)

摘要: 本文运用三阶段 DEA 模型对江苏省农业生产效率进行测算, 结合聚类分析方法把江苏省所有城市生产效率分为三种类型。对比第一阶段与第三阶段聚类分析的结果, 可以看出外部环境因素和随机因素对农业生产效率产生一定的影响。运用随机前沿分析法(SFA)得出如下结论: 城市化水平、净出口贸易、交通便利性的提高有利于改善农业生产效率; 财政支农不利于农业生产效率的提高。江苏省各地区应该结合当地的经济水平和资源禀赋, 通过提高管理水平或调整农业生产规模, 从而改善农业生产效率。

关键词: 江苏省; 农业生产效率; 三阶段 DEA 模型; 聚类分析; 随机前沿分析法

中图分类号: F323.5; F304

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2021)01-0094-06

Research on the Agricultural Production Efficiency of Jiangsu Province Based on the Three-stage Data Envelopment Analysis(DEA) Model

LU Qingyao, MENG Xianghai

(School of Economics and Management, Huaiyin Normal University, Huaian 223001, China)

Abstract: Based on the three-stage Data Envelopment Analysis (DEA) model, in this paper, we conducted empirical research on the agricultural production efficiency of Jiangsu in 2012. According to the comprehensive technical efficiency, all the cities were divided into three types by cluster analysis method. In comparison with the result of cluster analysis in the first stage and that in the third stage, it can be seen that external environmental factors as well as random factors exert certain influences on the agricultural production efficiency. The improvement of urbanization level, net export and the convenience of traffic are the positive factors to agricultural production efficiency, while financial support in agriculture is the negative factor to agricultural production efficiency. Governments of each region in Jiangsu Province should combine farming with the characteristics of its efficiency, with a focus on improving the level of management and expanding the scale of agricultural production so as to ameliorate the agricultural production efficiency.

Key words: Jiangsu Province; Agricultural Production Efficiency; Three-stage DEA Model; Cluster analysis; Stochastic Frontier Approach

江苏省整体经济发展水平较高, 但存在地区差异, 具体表现在城市化水平、财政支农力度、进出口贸易发展程度、交通基础设施等方面, 这些因素将影响到农业生产活动。因此对农业生产效率进行评价时, 必须考察这些因素对农业生产效率的影响方向和程度。

过去研究我国农业生产效率主要运用基于非参数的数据包络分析法(Data Envelopment Analysis,

DEA)和基于参数的随机前沿分析法(Stochastic Frontier Approach, SFA), 这些文献多是从全国层面开展研究。孟令杰较早地运用 DEA 对我国农业技术效率进行了测量^[1]; 陈卫平运用 Malmquist 指数法对我国农业全要素生产率进行了测算和评价^[2]。计量分析显示: 农村人均纯收入对农业生产效率产生负向作用, 农村人口文化程度和城市化有利于提升农业生产效率, 财政支农对农业生产效率未产生显著影响^[3]。分析对象包括水稻^[4]、棉花^[5]、小麦^[6]等。本文将融合 DEA 和 SFA 的优势来测算江苏省农业生产效率, 讨论环境因素和随机误差对农业生产效率的影响, 研究环境变量和随机误差对农业生产效率的影响程度, 为政府决

收稿日期: 2019-03-26

基金项目: 国家社科基金青年项目(16CJY052); 江苏高校“青蓝工程”资助(苏教师[2018]12号、苏教师[2019]3号)

作者简介: 鲁庆尧(1979-), 男, 副教授, 博士, 主要从事区域农业发展研究。

策和制定改善措施提供实证依据。

1 研究方法

三阶段DEA模型是由Fried等提出的一种能够更好地评估DMU(Decision Making Unit,决策单元)效率的方法,它能够有效剔除外部环境和随机误差对效率测算的干扰,其构建和运用包括三个阶段。

第一阶段:传统的DEA模型(BCC模型)。DEA方法由Charnes等提出^[7],Banker、Charnes和Cooper在1984年扩充CCR模型提出了可变规模报酬(Variable Returns to Scale, VRS)假设下的BCC模型^[8],把综合技术效率(TE)分解为纯技术效率(PTE)与规模效率(SE)。假设某系统有n个决策单元,m个输入和s个输出指标,第j个DMU的输入和输出指标向量分别为

$$X_j = (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})^T > 0 \text{ 和}$$

$$Y_j = (y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj})^T > 0, j = 1, 2, \dots, n。 \text{ 在VRS假设下,引入松弛变量} S^- \text{和} S^+ \text{的BCC模型为:}$$

$$\begin{aligned} & \min \{ \theta \} \\ & \begin{cases} \sum_{j=1}^n X_j \lambda_j + S^- = \theta X_0 \\ \sum_{j=1}^n Y_j \lambda_j - S^+ = Y_0 & \dots\dots\dots(1) \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\ \lambda \geq 0, S^- \geq 0, S^+ \geq 0 \end{cases} \end{aligned}$$

λ_j 为投入、产出指标的权重系数; θ 为决策单元DMU₀的有效值。若 $\theta^* = 1, S^{*-} = S^{*+}$,则认为该决策单元DEA有效;若 $\theta^* = 1, S^{*-}, S^{*+}$,不全为0,则认为该单元DEA弱有效;若 $\theta^* < 1$,则认为决策单元非有效^[9]。

第二阶段:相似SFA分析模型。Fried等^[10]认为,第一阶段测算的投入松弛变量受到环境因素、随机因素和管理效率的影响,一般的DEA模型无法区别三种因素对效率值的影响程度。需要借助SFA模型观测出三种因素的影响,并消除环境和随机因素影响得出新的效率值。以投入导向为例,设有n个决策单元,均有m种投入、p个可观测的环境变量,分别对每个决策单元的投入松弛变量进行SFA分析,可构建如下SFA回归方程:

$$S_{ik} = f^i(Z_k; \beta^i) + v_{ik} + u_{ik} \dots\dots\dots(2)$$
$$i = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, n$$

S_{ik} 表示第k个决策单元第i项投入的松弛变

量; $z_k = (z_{1k}, z_{2k}, \dots, z_{pk})$ 表示p个可观测的环境变量, $\beta^i = (\beta^{i1}, \beta^{i2}, \dots, \beta^{ip})^T$ 为投入松弛变量的待估参数; $f^i(z_k; \beta^i)$ 表示环境变量对投入松弛变量值 s_{ik} 的影响,一般取 $f^i(z_k; \beta^i) = z_k \beta^i$ 。 $v_{ik} + u_{ik}$ 为复合误差项, v_{ik} 表示随机干扰,即 $v_{ik} \sim N(0, \sigma_{vi}^2)$; u_{ik} 表示管理无效率,即 $u_{ik} \sim N^+(\mu_i, \sigma_{ui}^2)$, v_{ik} 与 u_{ik} 独立不相关。当 $\gamma = \sigma_{ui}^2 / (\sigma_{vi}^2 + \sigma_{ui}^2)$ 趋近于1时,管理因素的影响占主导地位;当 γ 趋近于0时,随机误差的影响占主导地位。

依据SFA模型的计算结果,调整决策单元的投入项,对处于环境较好或运气较好的决策单元增加投入。具体的计算方法如下:

$$\hat{x}_{ik} = x_{ik} + \left[\max_k \{ z_k \hat{\beta}^i \} - z_k \hat{\beta}^i \right] + \left[\max_k \{ \hat{v}_{ik} \} - \hat{v}_{ik} \right]$$
$$i = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, n$$
$$\dots\dots\dots(3)$$

x_{ik} 表示第k个决策单元i项初始的投入值, \hat{x}_{ik} 为调整后的修正值; $\hat{\beta}^i$ 为环境变量参数的估计值; \hat{v}_{ik} 为随机干扰项的估计值。式(3)中第一个括号表示将全部决策单元调整至相同环境,第二个括号表示将全部决策单元调整至相同的随机误差。

第三阶段:调整后的DEA模型。将第二阶段得到的调整数据 \hat{x}_{ik} 代替原始的实际值 x_{ik} ,产出仍为原始值 y_{ik} ,再次运用BCC模型进行测算。

2 数据来源与说明

2.1 指标选择

借鉴过去学者的研究方法,同时兼顾数据可得性,确定了农林牧渔总产值作为农业产出指标,选取农作物总播种面积、农林牧渔业总人数、农业机械总动力、农用化肥总施用量为农业生产投入项。

(1)产出指标:农业产出变量。农业产出以农业、林业、畜牧业、渔业和农林牧渔服务业GDP之和进行计算,单位:亿元。

(2)投入指标:投入变量包括土地、劳动力、农业机械动力、化肥4个方面^[11-12]。

土地投入(千公顷):因为耕地在一年内种二次或三次,也有可能休耕、弃耕等,以农作物总播种面积计算能更客观地反映土地投入。劳动力投入(万人):以参与农林牧渔业生产的全部劳动力计算。农业机械动力投入(万千瓦):包括耕作、排灌、收获、农用运输、植物保护和其他农业生产

所用到的机械总动力。化肥投入(万吨):以本年度内实际投入农业生产的化肥施用量(折纯量),包括氮肥、钾肥、磷肥和复合肥。数据来自2013年《江苏统计年鉴》。

2.2 环境变量的选取及说明

环境变量即地区的城市化水平、当地的财政支农力度、进出口贸易发展程度、交通基础设施等方面也影响农业产出,这些外部因素会对农业生产效率产生一定的影响,具体分析如下。

(1)城市化水平的提高意味着劳动力机会成本的增加,要素资源供给紧张,农业生产必须向集约化方向发展,有利于农业生产效率的提高。城市化水平用城镇人口占总人口的比重来代表。

(2)财政支农的相关政策方面,考虑到财政支农可以提高农民种地的积极性,休耕和撂荒现象将减少,因此本文选择各地财政预算支出中农林水事务的支出数额计算,单位:亿元。

(3)进出口贸易。进出口贸易拓宽了农产品的经销渠道,销售市场更加广阔,提升了农产品的市场价值,能够提高农业生产要素的利用率。用各地区进出境的货物总金额表示,单位:亿元。

(4)交通便利性。交通基础设施建设使得人才流动更加便利、频繁,企业之间的“时间距离”缩短,推动了市场交易的便利性,有利于产生正外部性,改善生产要素的产出。选用公路网密度(等级公路总里程/地区总面积)来衡量交通便利性^[13],单位:公里/平方公里。

环境变量数据均来自2013年《江苏统计年鉴》。

3 实证结果与分析

3.1 第一阶段传统DEA实证结果

利用DEAP 2.1软件分析结果如表1所示。在不剔除环境因素和随机因素的情况下,2012年江苏省各市农业综合技术效率平均值为0.734,纯技术效率均值为0.865,规模效率均值为0.844。其中综合技术效率最大值为1(无锡和苏州),其他各市在纯技术效率和规模效率方面均存在可改进的空间;综合技术效率最小值为0.458(宿迁),上述效率值包含了环境因素和随机因素的影响。

利用SPSS软件Ward法对综合技术效率(TE)进行聚类分析,得到相应的谱系聚类图如图1所示。

由表2可知,江苏省各市的2012年农业生产效率通过Ward法得到的聚类结果可分成三类,第一类3个城市同属于苏南;第二类5个城市中,镇

江和常州属于苏南,其他3个城市属于苏中;第三类5个城市同属于苏北。由此看出,农业生产不仅受自然条件的影响,同样也受到外部经济因素

表1 2012年江苏省13个市农业生产综合技术效率、纯技术效率、规模效率及规模报酬

地区	TE1	PTE1	SE1	规模报酬
南京	0.972	0.979	0.992	irs
无锡	1.000	1.000	1.000	-
徐州	0.554	0.913	0.607	drs
常州	0.865	0.939	0.922	irs
苏州	1.000	1.000	1.000	-
南通	0.749	1.000	0.749	drs
连云港	0.534	0.714	0.749	drs
淮安	0.474	0.636	0.745	drs
盐城	0.785	1.000	0.785	drs
扬州	0.777	0.816	0.951	drs
镇江	0.751	1.000	0.751	irs
泰州	0.623	0.648	0.960	drs
宿迁	0.458	0.598	0.767	drs
平均值	0.734	0.865	0.844	

注:TE1为综合技术效率,PTE1为纯技术效率,SE1为规模效率。irs为规模报酬递增,drs为规模报酬递减,-为规模报酬不变,下同

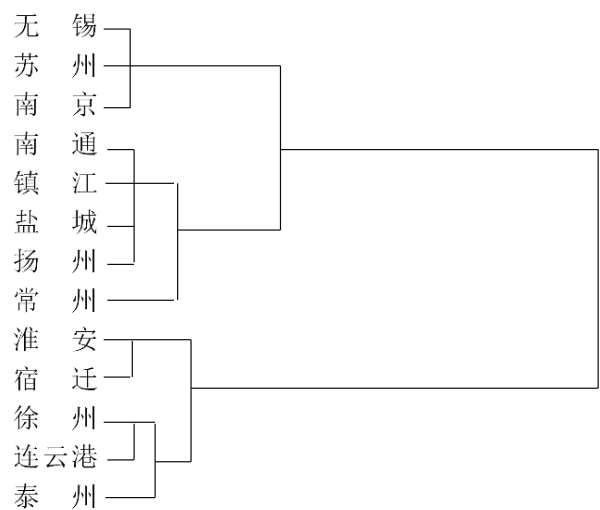


图1 基于Ward法的2012年江苏农业生产综合技术效率的谱系聚类图

表2 分类情况

类别	地区	TE1 平均值
第一类	无锡、苏州、南京	0.991
第二类	南通、镇江、盐城、扬州、常州	0.785
第三类	淮安、宿迁、徐州、连云港、泰州	0.529

的影响。

3.2 第二阶段SFA回归结果

将第一阶段各投入变量的松弛变量作为被解释变量,四个环境变量为解释变量,运用软件Frontier 4.1回归结果见表3。

表3结果为外部环境变量对各农业投入要素的影响。当回归系数为负时,表示提升环境变量

值会减少投入要素的松弛量值,即表示能够节约投入量,提高农业生产效率;反之,当系数为正时,说明增加环境变量将会提升投入要素的松弛量值,从而导致各松弛变量值增加,不利于农业生产效率的提高。

表3 SFA回归结果

	土地投入 松弛变量	劳动力投入 松弛变量	农业机械动力 投入松弛变量	化肥投入 松弛变量
常数项	940.898*** (3.768)	127.865*** (125.195)	737.521*** (4.246)	59.888*** (61.582)
城市化水平	-641.608** (-1.780)	-121.140*** (-119.442)	-556.016*** (-2.728)	-60.389*** (-60.968)
财政支农	-0.000 3** (-1.606)	0.000 03*** (2.630)	0.000 04 (-0.325)	0.000 03*** (13.524)
进出口贸易	29.519 (0.325)	-9.755*** (-9.507)	-29.089 (-0.417)	-6.275*** (-5.990)
交通便利性	-161.921** (-1.981)	-15.030*** (-13.718)	-122.826 (-1.488)	-12.472*** (-16.204)
σ_{vi}^2	11 555.977*** (223.339)	639.478*** (639.534)	13 159.019*** (12 835.813)	105.318*** (105.348)
γ	0.610* (1.856)	1.000*** (48 127.393)	0.944*** (10.692)	1.000*** (168 684.080)
log likelihood	-76.185	-52.868	-73.353	-39.990
LR test of the one-sided error	0.144	3.689	1.629	7.322

注:括号中的数为相应估计的t统计量。*、**、***分别表示在10%、5%、1%显著性水平上显著,下同

表3显示,四个环境变量系数多数通过了显著性检验,这说明外部环境因素对各市农业生产投入冗余存在显著的影响。劳动力、农业机械动力和化肥投入松弛变量的 γ 值均大于0.9,且达到1%的显著性水平,说明这三种投入冗余中管理因素的影响占据主导地位;这与三种要素投入在实际生产中较难量化的事实相符。土地投入松弛变量的 γ 值为0.610,且通过10%显著性检验,表明土地投入冗余中,管理因素的影响大于随机因素。

(1)城市化水平。城市化水平的系数为负,表明提升城市化水平能够减少所有投入的松弛变量,对土地投入松弛变量的t值通过5%显著性水平的检验,对其他三种投入要素松弛变量的t值均通过1%显著性水平的检验。这表明城市化水平的提升确实能实现资源的有效配置,有利于农业生产效率的提高。

(2)财政支农。对土地投入的系数为负,且t值通过5%显著性水平的检验,说明财政支农的增加能够提高农民种地的积极性,减少土地撂荒

或废弃。对劳动力投入、农业机械动力、化肥投入松弛变量的系数为正,且其中两项的t值通过1%显著性水平的检验,但数值均非常小。原因可能是财政支农对农业生产效率并没有起到应有的作用,财政支农会增加农户的预期收入,放松农户的资金约束,加大生产要素投入。

(3)进出口贸易。进出口贸易量对劳动力投入和化肥投入松弛变量系数为负,且t值均通过1%显著性水平的检验。说明进出口贸易量的增加能够减少劳动力投入和化肥投入的浪费,有利于农业生产效率的提高。进出口贸易量的增加,能够促进比较优势农产品的出口,农民按照比较优势原则安排农业生产,从而有利于农业生产效率的提高。

(4)交通便利性。对四种投入松弛变量的系数均为负,其中2个系数的t值通过1%显著性水平的检验,1个系数的t值通过5%显著性水平的检验。表明较好的交通基础设施方便运送农业生产资料和农产品,有利于高效开展农业生产活动。

以上分析说明,各环境变量对于不同地区(市)的影响存在差别。因此,有必要调整投入变量,对农业生产效率进行再次测算。

3.3 第三阶段投入调整后的DEA实证结果

依据式(3)对投入量进行调整,运用调整后的投入值与原始产出再次代入BCC模型计算,得到

表4 调整后各市的农业生产技术效率、纯技术效率及规模效率值与调整前各值对比

地区	综合技术效率			纯技术效率			规模效率			规模报酬	
	TE1	TE3	方向	PTE1	PTE3	方向	SE1	SE3	方向	第一阶段	第三阶段
南京	0.972	0.914	↓	0.979	0.968	↓	0.992	0.944	↓	irs	irs
无锡	1.000	0.766	↓	1.000	1.000	-	1.000	0.766	↓	-	irs
徐州	0.554	0.951	↑	0.913	0.955	↑	0.607	0.996	↑	drs	irs
常州	0.865	0.735	↓	0.939	0.981	↑	0.922	0.750	↓	irs	irs
苏州	1.000	0.975	↓	1.000	1.000	-	1.000	0.975	↓	-	irs
南通	0.749	0.839	↑	1.000	0.903	↓	0.749	0.929	↑	drs	irs
连云港	0.534	0.971	↑	0.714	0.987	↑	0.749	0.984	↑	drs	irs
淮安	0.474	0.946	↑	0.636	0.959	↑	0.745	0.986	↑	drs	irs
盐城	0.785	1.000	↑	1.000	1.000	-	0.785	1.000	↑	drs	-
扬州	0.777	0.980	↑	0.816	1.000	↑	0.951	0.980	↑	drs	irs
镇江	0.751	0.581	↓	1.000	1.000	-	0.751	0.581	↓	irs	irs
泰州	0.623	0.902	↑	0.648	0.974	↑	0.960	0.926	↓	drs	irs
宿迁	0.458	0.959	↑	0.598	0.975	↑	0.767	0.984	↑	drs	irs
平均值	0.734	0.886	↑	0.865	0.977	↑	0.844	0.908	↑	-	-
最大值	1.000	1.000	-	1.000	1.000	-	1.000	1.000	-	-	-
最小值	0.458	0.581	↑	0.598	0.903	↑	0.607	0.581	↓	-	-

注:TE3为第三阶段综合技术效率,PTE3为第三阶段纯技术效率,SE3为第三阶段规模效率。↑、↓、-,分别表示调整后较调整前数值增加、减少、不变

改进后的效率值及规模报酬状态,如表4所示。

剔除环境变量和随机因素的影响后,从表4可分析得出如下结论:

无锡、苏州综合技术效率值由1变为小于1,说明剔除环境变量和随机因素的影响后,这两市的农业生产不再是高效的,究其原因,主要是规模效率值在降低,而纯技术效率仍然保持1。盐城的综合技术效率值由小于1变为1,直接原因是规模效率值由0.785上升至1,说明调整后盐城的农业生产相对是高效的。

综合技术效率值增加的有8个城市,减少的有5个,全省的平均值增加,说明全省各市的综合技术效率值整体在提高。最大值不变,最小值增加,说明各市之间的差距减小。纯技术效率值增加的有7个城市,不变的有4个城市,减少的有2个城市,全省的平均值增加,说明各市的纯技术效率值整体提高。纯技术效率值最大值不变,最小值增加,说明各市之间的纯技术效率差距减小。各市农业规模状态也由规模报酬递减为主改变为以规模报酬递增为主,而且方向趋势更加一致。

利用SPSS软件,采用Ward法对江苏省各市的农业生产的综合技术效率(TE)进行聚类分析,

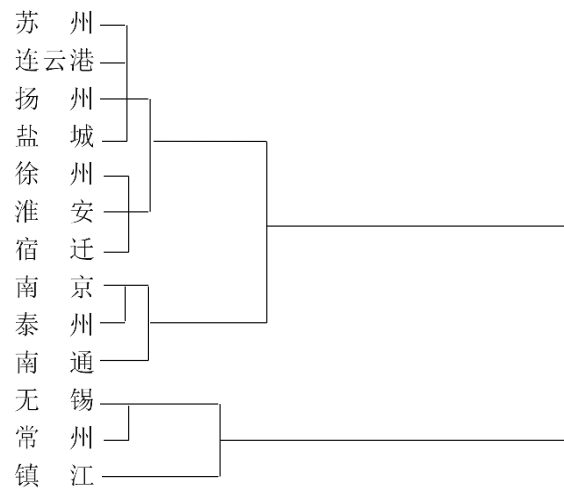


图2 基于Ward法的2012年江苏农业生产综合技术效率的谱系聚类图(调整后)

得到相应的谱系聚类图如图2所示。

调整后的江苏2012年农业生产效率值通过Ward法得到的聚类结果可分成三类,见表5。

表5显示,第一类7个城市分属于三个经济区域;第二类3个城市分属于两个经济区域;第三类

3个城市同属于苏南。相比第一阶段的分类,剔除外部环境和随机因素的影响,同类城市的经济

表5 分类情况

类别	地区	TE3 平均值
第一类	苏州、连云港、扬州、盐城、徐州、 淮安、宿迁	0.969
第二类	南京、泰州、南通	0.885
第三类	无锡、常州、镇江	0.694

区域性在减弱,各类之间的平均值差距也减小。

4 结论与建议

4.1 结论

(1)对比调整前后各市农业生产效率的变化情况,说明环境因素和随机因素对农业生产效率确实存在重要的影响。在经过第二阶段剔除环境因素和随机因素的调整后,各市的农业综合技术效率值、纯技术效率值均有明显提高,规模效率值略有下降,幅度很小,但规模报酬的方向均调整为递增(盐城市不变),说明应用三阶段DEA模型测算的农业生产效率更为客观、合理。

(2)通过第二阶段的SFA回归分析发现,环境因素中城市化水平、进出口贸易、交通便利性都有助于提高农业生产资源的有效配置,是农业生产的有利因素,对农业生产的影响显著;财政支农对农业生产效率没有起到正面作用,存在极小的负面影响。

(3)运用原始数据得出的综合技术效率值进行聚类分析,同类城市具有明显的经济区域特征。经过剔除外部环境和随机因素的影响,同类城市的经济区域性在减弱,各类之间的平均值差距也减小。

4.2 建议

由于环境和随机因素确实对农业生产效率产生显著影响,而随机因素是不可控因素,因而控制环境因素是提高农业生产效率的有效途径之

一。依据研究结论,首先要提升城市化水平,驱使农业生产资源的投入更加节约化;其次是不断提升各地的进出口贸易水平,重点关注农产品的出口渠道,提升农产品的市场价值;完善各地的交通道路设施,尤其是乡村道路的建设。另外,适时改进或调整财政支农的政策方向和落实方法,减少财政支农对农业生产效率的负面影响。

参考文献:

- [1] 孟令杰. 中国农业产出技术效率动态研究[J]. 农业技术经济, 2000(5): 1-4.
- [2] 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(1): 18-23.
- [3] 郭军华, 倪明, 李帮义. 基于三阶段DEA模型的农业生产效率研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2010(12): 27-38.
- [4] 周宏, 褚保金. 中国水稻生产效率的变动分析[J]. 中国农村经济, 2003(12): 42-46.
- [5] 孙林, 孟令杰. 中国棉花生产效率变动[J]. 数量经济技术经济研究, 2004(2): 23-27.
- [6] 张冬平, 冯继红. 我国小麦生产效率的DEA分析[J]. 农业技术经济, 2005(3): 48-53.
- [7] Charnes A, Cooper W W, Rhodes E. Measuring the Efficiency of Decision Making Units [J]. European Journal of Operation Research, 1978, 2(6): 429-444.
- [8] Banker, Charnes, Cooper. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Development Analysis[J]. Management Science, 1984, 30(9): 1078-1092.
- [9] 白建华, 杨文凤, 央青卓嘎. 基于数据包络分析的高原地区青稞种植效率评价-基于427户青稞种植户的入户调查[J]. 东北农业科学, 2019, 44(3): 64-70.
- [10] Fried H O, Lovell C A K, Schmidt S S, et al. Accounting for Environmental Effects and Statistical Noise in Data Envelopment Analysis[J]. Journal of Productivity Analysis, 2002(17): 157-174.
- [11] 乔世君. 中国粮食生产技术效率的实证研究[J]. 数理统计与管理, 2004(5): 11-16.
- [12] 孙江, 负鸿琬. 河南省农业生产效率的DEA分析[J]. 河南农业科学, 2011, 40(6): 5-8, 12.
- [13] 陶长琪, 齐亚伟. 技术效率与要素累积对中国地区差距的效应分析[J]. 科学学与科学技术管理, 2011(9): 23-29.

(责任编辑:王昱)