

引用格式:李国志. 山东省农户秸秆资源化利用绩效评价: 基于三阶段DEA模型[J]. 资源科学, 2021, 43(5): 996-1007. [Li G Z. Performance evaluation of farmers' straw resource utilization in Shandong Province: Based on three-stage DEA model[J]. Resources Science, 2021, 43(5): 996-1007.] DOI: 10.18402/resci.2021.05.13

山东省农户秸秆资源化利用绩效评价 ——基于三阶段DEA模型

李国志

(温州大学商学院, 温州 325035)

摘要:基于山东省932个农户2018年的秸秆资源化利用投入产出数据,利用三阶段DEA模型对农户秸秆资源化利用绩效进行评价。结果发现:①剔除外界环境和随机干扰的影响前,农户综合效率均值为0.5422,纯技术效率均值为0.7048,规模效率均值为0.7693;剔除外界环境和随机干扰的影响后,农户综合效率均值为0.5075,纯技术效率均值为0.9044,而规模效率均值为0.5611,规模效率下降是引起农户秸秆资源化利用综合效率下降的主要原因。②不同区域之间农户秸秆资源化利用绩效存在一定差异。剔除外界环境和随机干扰的影响前,各地区综合效率排序为德州市>菏泽市>潍坊市>聊城市>济宁市>临沂市;剔除外界环境和随机干扰的影响后,各地区综合效率排序变为菏泽市>德州市>潍坊市>聊城市>临沂市>济宁市。德州市和济宁市农户秸秆资源化利用绩效受外界环境和随机干扰影响较大。③SFA模型回归结果显示,政府的技术培训和资金补贴、专业经济合作组织的指导、农户对秸秆资源化利用方式和技术的认知等因素能显著降低农户的直接生产资料、劳动力和人力资本等投入中的浪费,由此提高农户秸秆资源化利用绩效。总体而言,山东省秸秆主产区农户秸秆资源化利用绩效相对较低,可以通过扩大秸秆利用规模、改善外界环境(如技术培训和资金补贴)等途径来提升绩效。

关键词:农户;秸秆资源化利用;绩效评价;三阶段DEA模型;山东省

DOI: 10.18402/resci.2021.05.13

1 引言

随着经济快速发展,资源短缺与环境问题日益严重,生物质资源则由于清洁、安全、可再生等优点而成为世界各国重点开发的领域。秸秆是农作物收获后的副产品,产量大、纤维素含量高,实现秸秆资源化利用,不但能促进农业经济增长,并且能有效减轻因秸秆焚烧引起的环境污染和促进农业生态治理^[1]。研究表明,秸秆还田能有效提高土壤有机质水平^[2],长期实施还可以提升土壤酶活性^[3]。此外,秸秆经过处理后可以转化为食用菌、水稻等的育苗基质^[4],发酵后可以生产清洁的沼气能源^[5]。山东省是农业大省,2018年农作物种植面积将近1108

万 hm^2 ,秸秆产量约为9258万t,折标准煤约4675万t,资源化利用潜力巨大^①。但有研究发现,山东省尚有相当一部分秸秆未得到有效利用,秸秆焚烧现象依然非常严重^[6],这不仅污染了生态环境,还存在严重安全隐患,因此必须进一步提升秸秆资源化利用水平。农户是秸秆资源化利用的主体,秸秆资源化利用绩效的高低将直接影响其积极性,因此对农户秸秆资源化利用绩效进行研究,找出制约绩效提升的关键因素,将有利于提升秸秆资源化利用程度,实现农户收入增长和生态环境保护的双赢。

要推进秸秆资源化利用,必须掌握区域的秸秆资源产量。由于农作物种类较多,分布区域广泛,

收稿日期:2020-04-11;修订日期:2021-05-01

基金项目:国家社会科学基金重点项目(15AJY004);山东省自然科学基金项目(ZR2019MG024)。

作者简介:李国志,男,江西抚州人,博士,教授,研究方向为资源经济和区域经济。E-mail: ligz@sdu.edu.cn

① 农作物种植面积来源于《山东统计年鉴》,秸秆产量和折标准煤数据来源于本文测算。

2021年5月

很难通过大范围实地调查来了解各类秸秆的产量。因此,在理论研究和实际应用中,一般利用间接估算法来进行测算,如GIS技术^[7]、资源密度指数^[8]、草谷比系数法^[9]、作物收获指数法^[10]和模型计算法^[11]等,其中草谷比系数法应用最广。如孙建飞等^[12]发现江苏省主要粮食作物草谷比存在较大变异,其变异系数为2.2%~16.7%;丛宏斌等^[13]认为中国秸秆资源总体呈现出“东高西低、北高南低”的阶梯状分布特征;霍丽丽等^[14]测算出中国各区域玉米秸秆草谷比取值范围为0.84±0.23,2018年全国玉米秸秆理论资源量为2.16亿t。也有学者将草谷比系数与含水率结合起来估算秸秆质量,如Diep等^[15]认为不同含水率水稻作物的草谷比值从1.0~1.6不等,并据此对越南的水稻秸秆产量进行估算。还有学者认为仅根据草谷比系数法以质量形态衡量秸秆价值不太全面,应构建作物秸秆多适宜性综合统一评价体系^[16]。

农户是秸秆资源化利用的核心主体,其意愿和行为对秸秆资源化利用绩效有重要影响。部分文献对农户秸秆资源化利用意愿的影响因素进行了研究,主要涉及环境规制^[17]、公共信任^[18]、农地承包经营权稳定性^[19]、耕地经营规模^[20]、农户禀赋^[21]、环境素养^[22]等众多方面。还有学者分析了农户秸秆资源化利用意愿和行为的不一致性^[23]。关于秸秆资源化利用绩效问题,现有文献多通过构建指标体系来进行综合绩效评价,采用的评价方法包括基于熵权改进的TOPSIS法^[24]、灰色评价法^[25]、BP神经网络法^[26]、线性规划建模^[27]、模糊综合评价法^[28]等。很多研究结果表明目前秸秆资源化利用绩效较低,尚有较大提升空间。秸秆资源化利用方式有很多种,不同利用方式的绩效存在一定差异,需要进行比较,以提高秸秆利用绩效^[29]。有学者发现,在目前技术条件下,饲料化利用具有相对较高的适宜性和利用价值^[16]。还有学者认为秸秆质量会对资源化利用(如发电)绩效产生较大影响^[30]。

现有文献从不同角度对秸秆资源化利用的绩效问题进行研究,得出很多富有价值的结论。但总体而言,尚存在一些不足之处:其一是在研究对象(内容)方面。现有文献主要是基于区域层面的绩效测度或对不同利用方式绩效进行比较,而对农

户这一核心主体的秸秆资源化利用绩效问题缺乏关注;其二是在研究方法方面。现有文献采用的研究方法本质上非常类似,即通过构建评价指标体系来进行综合评价,只不过各文献所选择的指标有所差异,以及权重计算方法不同而已,缺乏从投入产出角度的分析。极少的几篇文献^[31,32]涉及到农户的秸秆资源化利用绩效,但主要是对基质化利用方式进行研究,对其他的资源化利用方式没有涉及。本文在现有文献基础上,利用三阶段DEA模型,对山东省农户的秸秆资源化利用绩效进行实证研究,以期了解影响农户秸秆资源化利用绩效的主要因素,为推进秸秆资源化利用政策制定提供理论依据。

2 研究方法 with 变量选择

2.1 研究方法

本文利用三阶段数据包络模型(Data Envelopment Analysis, DEA)来对农户秸秆资源化利用绩效进行评价。三阶段DEA模型是Fried等^[33]提出,其与传统DEA模型的主要区别在于考虑了环境因素和随机噪声对决策单元效率评价的影响^[34]。三阶段DEA模型主要步骤为:

第一阶段,利用原始投入和产出数据进行初始效率评价。DEA模型在分析投入产出关系时,有CCR和BCC两种模型,其中前者假设生产函数为规模报酬不变,而后者为规模报酬可变。在农户秸秆资源化利用中,随着秸秆处理规模提升和先进设备的使用,规模报酬往往呈递增趋势。因此,本文选择BCC模型进行分析。BCC模型的本质是一个线性规划问题,可表示为:

$$\begin{aligned} & \min_{\theta, \lambda} \theta_k \\ & \text{s.t.} \begin{cases} \sum_{k=1}^K \lambda_k \mathbf{x}_{n,k} \leq \theta_k \mathbf{x}_{n,k} & (n=1, 2, \dots, i) \\ \mathbf{y}_{m,k} \leq \sum_{k=1}^K \lambda_k \mathbf{y}_{m,k} & (m=1, 2, \dots, j) \\ \lambda_k \geq 0 & (k=1, 2, \dots, K) \\ \sum_{k=1}^K \lambda_k = 1 \end{cases} \quad (1) \end{aligned}$$

式中: k 表示决策单元(DMU); n 、 m 分别表示投入变量和产出变量的个数; $\mathbf{x}_{n,k}$ 、 $\mathbf{y}_{m,k}$ 分别表示第 k 个决策单元的投入向量和产出向量; λ_k 表示第 n 项投入和第 m 项产出的加权系数; θ_k 表示第 k 个决策

单元的效率值,且 $\theta \in [0, 1]$, 取值越大代表效率越高。

根据BCC模型得出的效率值为综合技术效率(TE),可以进一步分解为纯技术效率(PTE)和规模效率(SE),即 $TE = PTE \times SE$ 。

第二阶段,通过随机前沿方法(Stochastic Frontier Approach, SFA)剔除外界环境因素和随机噪声的影响。即将第一阶段得到的投入变量的松弛变量作为被解释变量,将外界环境变量作为解释变量,构建SFA模型。具体如下:

$$s_{ik} = f_i(z_k; \beta_i) + v_{ik} + \mu_{ik} \quad (2)$$

式中: s_{ik} 表示第 k 个决策单元的第 i 个投入变量的松弛变量; $f_i(z_k; \beta_i)$ 表示环境变量对松弛变量 s_{ik} 的影响; $z_k = (z_{1k}, z_{2k}, \dots, z_{pk})$ 表示由 p 个环境变量构成的向量; β_i 表示待估参数向量; v_{ik} 表示随机误差项,且 $v_{ik} \sim N(0, \sigma_v^2)$; μ_{ik} 表示管理无效率项,服从截断正态分布,即 $\mu_{ik} \sim N^+(\mu_i, \sigma_\mu^2)$ 。

为了对松弛变量进行调整,在利用最大似然估计法求出 β_i 、 σ^2 和 γ 等参数后,需要进一步求出随机干扰项 v_{ik} 和管理无效率项 μ_{ik} 的估计值。根据Fried等^[33]的观点,混合误差项($v_{ik} + \mu_{ik}$)的分解方法如下:

$$E[v_{ik} | v_{ik} + \mu_{ik}] = s_{ik} - f_i(z_k; \beta_i) - E[\mu_{ik} | v_{ik} + \mu_{ik}] \quad (3)$$

其中,管理无效率项 μ_{ik} 可根据罗登跃^[35]和陈巍巍等^[36]给出的公式进行估计。具体如下:

$$E[\mu_{ik} | v_{ik} + \mu_{ik}] = \frac{\sigma_\lambda}{1 + \lambda^2} \left[\frac{\phi\left(\frac{\varepsilon_k \lambda}{\sigma}\right)}{\phi\left(\frac{\varepsilon_k \lambda}{\sigma}\right)} + \frac{\varepsilon_k \lambda}{\sigma} \right] \quad (4)$$

式中: $\lambda = \sigma_\mu / \sigma_v$, $\varepsilon_k = v_{ik} + \mu_{ik}$, $\sigma^2 = \sigma_\mu^2 + \sigma_v^2$, ϕ 和 φ 分别为标准正态分布的密度函数和分布函数。

最后,需根据上述结果对投入变量进行调整,以剔除外界环境因素和随机噪声的影响,使所有的决策单元面临相同的外部环境和随机干扰。方法如下:

$$x_{ik}^* = x_{ik} + [\max(z_k \beta_i) - z_k \beta_i] + [\max(v_{ik}) - v_{ik}] \quad (5)$$

式中: x_{ik}^* 、 x_{ik} 分别表示调整后和调整前的投入变量值; β_i 为环境变量的估计参数; $[\max(z_k \beta_i) - z_k \beta_i]$ 表示消除外界环境的影响; $[\max(v_{ik}) - v_{ik}]$ 表示消除随机噪声的影响。

第三阶段,再次运行DEA模型。将调整后的投入变量值代替原始的投入变量值,再次按照开始的DEA-BCC模型运行,获得新的效率估计值。新的效率值剔除了外界环境因素和随机噪声的影响,能够真实反映出农户对秸秆资源化利用的效率。

2.2 变量选择

(1) 投入与产出变量

其一,产出指标。本文将农户秸秆资源化利用所获得的收入作为产出指标(单位:元)。农户秸秆资源化利用方式有很多种,有些可以直接转化为收入(如出售),有些是将秸秆作为原材料进行生产(如基质化、工业化生产等),还有些是将其作为肥料、饲料加以利用,在具体调研时由农户根据实际情况进行填报^②。

其二,投入指标。主要选择与秸秆资源化利用密切相关的投入变量,主要包括:①直接生产资料投入,主要指与秸秆收集、粉碎、运输等相关的直接投入(单位:元);②劳动力投入,农作物秸秆资源化利用是典型的劳动密集型生产,需要大量的劳动力投入,按成年人每日工作8小时计算劳动力投入时间(单位:人·日);③人力资本投入,主要指农户所接受的与农作物秸秆资源化利用相关的技术培训次数(单位:次)。

(2) 环境变量

本文主要考虑3类环境变量对农户秸秆资源化利用绩效的影响。其一,农户个人及家庭特征。主要包括:①户主年龄。年龄能综合反映农业生产决策者的生产经验、健康程度等对秸秆资源化利用绩效的影响。②户主文化程度。文化层次对农户成本收益意识及新型农业技术的接受等有重要影响,进而会影响秸秆资源化利用绩效。③秸秆资源化利用收入占家庭总收入比重,主要用来反映农户兼

②农户处理秸秆的方式很多,包括直接丢弃、焚烧、出售、肥料化、基质化、饲料化等。本文界定的资源化利用指除直接丢弃和焚烧之外的所有的处理方式(包括出售)。严格意义上讲,秸秆出售并非是农户直接进行资源化利用,但秸秆收购方最终是将秸秆进行资源化利用。因此,本文将秸秆出售也纳入统计口径。

2021年5月

业状况对秸秆资源化利用绩效的影响。④人均农作物种植面积,主要用来反映农业生产规模对秸秆资源化利用绩效的影响。其二,政策保障及相关条件支持。主要包括:①政府是否提供技术培训和资金补贴(包括秸秆还田、农机购置等各方面),主要衡量政府政策支持对秸秆资源化利用绩效的影响。②周边交通状况,主要反映交通便利程度对秸秆资源化利用绩效的影响。③农户是否加入专业经济合作组织,主要反映行业组织推动和专业技术指导等对秸秆资源化利用绩效的影响。其三,农户对秸秆资源化利用的认知。主要包括:①是否了解秸秆相关产品的市场信息,如供求信息、价格波动等,主要反映农户的市场认知对秸秆资源化利用绩效的影响。②是否了解秸秆资源化利用的主要方式和技术,主要反映农户的生产技术认知对秸秆资源化利用绩效的影响。

3 研究区域及数据获取

3.1 研究区域

本文以山东省秸秆主要产地(地级市层面,为便于行文,下文称为秸秆主产区)为研究区域。在

确定具体包含哪些地区时,现有文献并无非常科学和明确的界定办法,本文在综合考虑专家意见(包括5位农业经济相关专业学者和2位农业管理部门工作人员,通过电话访谈方式了解其意见)和山东省实际情况基础上,将当年秸秆产量超过全省平均值30%以上的地区作为秸秆主产区。山东省共16个地级市(原来有17个,2019年莱芜市并入济南市),其平均产量占总产量比值应为6.25%,因此秸秆主产区的产量占比应在8.13%以上。为了解2018年山东省秸秆资源的地区分布特征,可以根据农作物产量和草谷比系数(表1)对各地区秸秆产量进行估算。

估算结果显示(表2),2018年山东省农作物秸秆总产量为9258万t。其中,秸秆产量较大的区域主要包括菏泽市(1277万t)、德州市(1155万t)、聊城市(870万t)、潍坊市(813万t)、济宁市(786万t)和临沂市(773万t)等,这6个地区秸秆产量占全省秸秆总量的比重均在8.13%以上,因此可以确定为秸秆主产区。简单加总可得,6个秸秆主产区2018年的秸秆产量达5674万t,占整个山东省秸秆产量

表1 各类农作物秸秆的草谷比系数

Table 1 Straw-to-grain ratio coefficients for various types of crop straws

秸秆种类	草谷比系数	秸秆种类	草谷比系数	秸秆种类	草谷比系数
小麦	1.37	高粱	1.72	油菜	2.51
稻谷	0.95	大豆	1.67	棉花	4.75
谷子	1.45	薯类	0.60	烟叶	1.60
玉米	1.58	花生	1.50	蔬菜及瓜果	0.10

注:草谷比系数根据现有文献、实地调研和专家意见综合确定。因版面限制,各地农作物产量数据未在表中列出,若有需要可以向作者索取,也可以通过2019年《山东统计年鉴》得到。

表2 2018年山东省及各地区秸秆产量

Table 2 Straw production in Shandong Province and different regions in the province, 2018

地区	秸秆产量/万t	占比/%	地区	秸秆产量/万t	占比/%	地区	秸秆产量/万t	占比/%
菏泽市	1277	13.80	滨州市	612	6.61	东营市	226	2.45
德州市	1155	12.47	青岛市	586	6.32	淄博市	226	2.44
聊城市	870	9.40	济南市	490	5.29	日照市	171	1.85
潍坊市	813	8.78	泰安市	457	4.93	威海市	145	1.57
济宁市	786	8.49	烟台市	353	3.82			
临沂市	773	8.35	枣庄市	318	3.43	全省	9258	100

注:因莱芜市已并入济南市,所以其秸秆产量也加到济南市。表中数据为秸秆理论产量,实际生产中由于收集技术等原因,能最终进行资源化利用的秸秆数量要低一些,但这并不影响秸秆主产区的确定。

的61.34%,其余10个地区秸秆产量之和为3576万t,占全省产量之比为38.66%。

从秸秆种类构成看,在秸秆主产区5674万t秸秆中,玉米秸秆共2474万t(占43.60%),小麦秸秆共2164万t(占38.14%),蔬菜瓜果秸秆共577万t(占10.17%),其他农作物秸秆产量共459万t(占8.09%)。可见,秸秆主区内秸秆种类以玉米秸秆、小麦秸秆和蔬菜瓜果秸秆为主。

3.2 数据获取与处理

本文实证研究所需数据包括农户秸秆资源化利用的投入和产出数据,以及外界环境变量数据,主要通过问卷调查获得相关数据。为了保障调查效果,事先对调查人员进行培训,对可能出现理解偏差的问题进行统一解释,并进行预调查。正式调查时,由经过培训的在校大学生利用暑期社会实践机会到样本村随机入户进行面对面调查。为减少样本分布偏差,本文在6个秸秆主产区各随机选择10个样本村,每个样本村发放15~20份问卷,累计发放并回收1015份,剔除明显随意作答和关键信息缺失的问卷,实际有效样本数为932份,问卷有效率为91.82%。有效样本在各秸秆主产区分布情况为菏泽市152份、德州市148份、聊城市156份、潍坊市167份、济宁市145份和临沂市164份。样本数据的描述性统计结果如表3所示。

由表3可知,样本农户在秸秆资源化利用中的投入和产出数值存在较大差异,这主要是由于农户农作物生产规模和生产效率不同所引起的。环境变量的描述性统计结果显示,受访农户年龄均值为45.21岁,健康程度良好且生产经验丰富;平均文化程度略高于初中水平,说明受访农户的文化素质和学习能力相对较低;秸秆资源化利用收入占家庭总收入比重均值为35.36%,说明农户兼业程度较高,调查中也发现,受访农户秸秆资源化利用的主要方式为肥料化和饲料化,经济回报相对偏低;人均农作物种植面积为4.425亩,略高于全省平均水平;有81.2%的农户表示政府提供了技术培训和资金补贴,说明政府政策的受益面较广;周边交通状况均值为2.405,总体而言比较方便,这主要归功于国家近年来日益增加的农村基础设施建设投入,尤其是“村村通”道路建设,为农业生产和秸秆资源化利用带来了极大的便利;66.4%的受访农户加入了各类专业经济合作组织;34.0%的农户表示了解秸秆相关产品的市场信息,28.8%的农户表示了解秸秆资源化利用的主要方式和技术,说明大多数农户秸秆资源化利用缺乏必要的认知。

由于各变量数据赋值方法、数值大小和衡量单位存在很大差异,为便于实证分析,本文统一对样本数据进行标准化处理。具体公式如下:

表3 样本数据的描述性统计结果

Table 3 Descriptive statistics of the sample data

变量类型	变量名称	变量赋值	最小值	最大值	均值	标准差
产出变量	秸秆资源化利用收入	实际收入/元	3000	180000	28456.35	4133.62
投入变量	直接生产资料投入	实际投入/元	800	85000	11864.40	2348.16
	劳动力投入	实际投入时间/(人·日)	8	1250	233.28	109.45
	人力资本投入	实际接受培训次数/次	1	6	3.112	1.371
环境变量	户主年龄	实际年龄/岁	25	72	45.21	13.24
	户主文化程度	小学及以下=1,初中=2,高中或中专=3,大专及以上=4	1	4	2.232	0.730
	秸秆资源化利用收入占家庭总收入比重	实际比重/%	10	95	35.36	28.77
	人均农作物种植面积	实际面积/亩	1.200	12.450	4.425	2.070
	政府是否提供技术培训和资金补贴	否=1,是=2	1	2	1.812	0.585
	周边交通状况	不方便=1,一般=2,方便=3	1	3	2.405	0.512
	农户是否加入专业经济合作组织	否=1,是=2	1	2	1.664	0.429
	是否了解秸秆相关产品的市场信息	否=1,是=2	1	2	1.340	0.405
	是否了解秸秆资源化利用的主要方式和技术	否=1,是=2	1	2	1.288	0.376

2021年5月

$$y_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s} \quad (6)$$

式中: x_i 为原变量序列; y_i 为标准化后的变量序列;

$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$, $s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$ 。标准化后的序列 y_i 均值为0, 方差为1, 且无量纲。

4 结果与分析

4.1 第一阶段模型估计结果

基于前文所述方法, 本文利用DEAP2.1软件来进行第一阶段实证分析, 对农户秸秆资源化利用绩效进行测算, 结果汇总于表4。

由表4可知, 在没有剔除外界环境及随机干扰等因素影响的条件下, 秸秆主产区农户秸秆资源化利用综合效率均值为0.5422, 纯技术效率均值为0.7048, 规模效率均值为0.7693。这说明目前山东省秸秆主产区农户秸秆资源化利用绩效相对较低, 并且在目前技术条件和投入产出规模下, 如果能改善经营管理效率, 秸秆资源化利用绩效还可以有较大幅度提高。从不同地区的横向比较看, 6个秸秆主产区秸秆资源化利用绩效从高到低为德州市>菏泽市>潍坊市>聊城市>济宁市>临沂市, 其中德州市是唯一一个综合效率超过0.6的地区, 菏泽市、潍坊

表4 第一阶段区域效率均值

Table 4 Regional efficiency averages at the first stage

区域	综合效率	纯技术效率	规模效率
平均值	0.5422	0.7048	0.7693
菏泽市	0.5786	0.7245	0.7986
德州市	0.6033	0.7705	0.7830
聊城市	0.5008	0.6437	0.7780
潍坊市	0.5572	0.7254	0.7681
济宁市	0.4814	0.6661	0.7227
临沂市	0.4576	0.6472	0.7070

市和聊城市这3个地区的综合效率介于0.5与0.6之间, 济宁市和临沂市综合效率小于0.5。其主要原因是: 德州市、菏泽市等地区秸秆产量大, 农户秸秆利用规模化程度更高且更加偏好出售、能源化利用等方式, 产出投入比较高, 而济宁市、临沂市等地农户秸秆处理规模相对更小, 秸秆饲料化利用、肥料化利用比重相对更高, 产出投入比相对较低。

进一步考察样本农户的各项效率的具体分布情况, 结果如表5所示。可以看出, 样本农户之间秸秆资源化利用绩效存在较大差异。综合效率方面, 超过93.00%的农户综合效率在0.8以下, 其中有41.95%的农户综合效率在0.4~0.6之间, 甚至有9.01%的农户综合效率低于0.2, 只有6.97%的农户综合效率在0.8以上。纯技术效率方面, 86.16%的农户纯技术效率在0.8以下, 其中比重最高的区间为0.6~0.8, 有43.03%的农户, 3.11%的农户纯技术效率低于0.2, 有13.84%的农户纯技术效率高于0.8。规模效率方面, 76%左右农户规模效率低于0.8, 其中47.00%的农户介于0.6和0.8之间, 只有1.93%的农户规模效率小于0.2, 规模效率高于0.8的农户比重为24.03%。

4.2 第二阶段模型估计结果

根据前文所述方法, 第二阶段分别将直接生产资料投入松弛变量、劳动力投入松弛变量和人力资本投入松弛变量作为被解释变量, 将户主年龄和户主文化程度等9个环境变量作为解释变量构建SFA模型, 并利用Frontier4.1软件进行估计, 以分解出管理无效率、外界环境和随机干扰等因素对农户秸秆资源化利用绩效的影响程度。模型估计结果如表6所示。

由表6可以看出, 3个模型的LR值均在1%显著

表5 第一阶段样本农户的效率分布

Table 5 Efficiency distribution of the sample farming households at the first stage

效率类型	效率值区间	[0, 0.2)	[0.2, 0.4)	[0.4, 0.6)	[0.6, 0.8)	[0.8, 1.0]
综合效率	农户数	84	168	391	224	65
	比例/%	9.01	18.03	41.95	24.03	6.97
纯技术效率	农户数	29	112	261	401	129
	比例/%	3.11	12.02	28.00	43.03	13.84
规模效率	农户数	18	84	168	438	224
	比例/%	1.93	9.01	18.03	47.00	24.03

表6 第二阶段模型估计结果

Table 6 Estimated results of the model at the second stage

变量	直接生产资料投入松弛		劳动力投入松弛		人力资本投入松弛	
	系数	标准误	系数	标准误	系数	标准误
常数项	8.4403*	3.2548	4.2930**	2.8695	4.0236**	2.3308
户主年龄	0.2842	0.1634	0.2154	0.1890	-0.3215	0.1672
户主文化程度	-0.6372***	0.4208	-0.3335	0.1702	-1.235**	0.5821
秸秆资源化利用收入占家庭总收入比重	-0.3744*	0.2065	0.6228*	0.4426	0.2852	0.2002
人均农作物种植面积	-1.1525**	0.7506	0.5582*	0.4016	0.7836	0.3124
政府是否提供技术培训和资金补贴	-2.4006**	0.8645	-1.3628**	0.5294	-1.6028***	0.9965
周边交通状况	0.7285	0.5408	-0.8110**	0.5124	0.4962	0.2206
农户是否加入专业经济合作组织	-3.8655***	1.1246	-2.0664**	0.7729	-1.4894***	0.8386
是否了解秸秆相关产品的市场信息	-2.0306**	0.6643	1.2710	0.3608	1.1045*	0.4124
是否了解秸秆资源化利用的主要方式和技术	-2.5885***	1.2204	-1.6944**	0.9854	-3.2025***	1.4286
σ^2	1635.46***		1208.22***		985.63***	
γ	0.9034***		0.8467***		0.8720***	
Log likelihood	-489.36		-375.85		-406.77	
LR 检验值	44.82***		60.38***		21.75***	

注: *、**、***分别表示在10%、5%和1%显著性水平下通过检验。

性水平下通过检验,说明SFA模型总体比较合理,所选择的环境变量对各项投入松弛变量具有显著影响。此外, σ^2 值均比较大, γ 值均大于0.8并且在1%显著性水平下通过检验,因此可以认为经济因素是引起各项投入松弛的主要原因(γ 值接近1,表示管理无效起主要作用; γ 值接近0,则表示随机噪声起主要作用)。进一步分析各环境变量对投入松弛变量的具体影响如下:

其一,农户个人及家庭特征变量方面。户主年龄对直接生产资料投入松弛和劳动力投入松弛具有正向影响,对人力资本投入松弛具有负向影响,但均不显著,其原因可能是农民会根据自身年龄和身体状况选择适宜的秸秆资源化利用方式,要素投入相对固定,因此年龄的影响不显著。户主文化程度对直接生产资料投入松弛和人力资本投入松弛具有显著的负向影响,说明户主文化程度提高能有效减少直接生产资料和人力资本投入中的浪费,提高秸秆资源化利用绩效。同时,对劳动力投入松弛具有负向影响,但不显著。秸秆资源化利用收入占家庭总收入比重和人均农作物种植面积这两个变量对各项投入松弛具有相似的影响,能显著减少直接生产资料投入的浪费,但同时又会显著增加劳动力投入的浪费,对人力资本投入松弛具有正向影

响,但不显著。

其二,政策保障及相关条件支持变量方面。政府是否提供技术培训和资金补贴对各项投入松弛均具有显著的负向影响,说明政府给予一定的技术和资金支持能有效降低农户在直接生产资料、劳动力和人力资本等投入中的浪费,由此提高秸秆资源化利用绩效。周边交通状况对劳动力投入松弛有显著的负向影响,说明交通状况改善能显著降低劳动力投入的浪费,同时对直接生产资料和人力资本投入有正向影响,但不显著。农户是否加入专业经济合作组织对各项投入松弛均具有显著的负向影响,说明专业经济合作组织能有效降低农户在直接生产资料、劳动力和人力资本等投入中的浪费,由此提高秸秆资源化利用绩效。

其三,农户对秸秆资源化利用的认知方面。是否了解秸秆相关产品的市场信息对直接生产资料投入松弛具有显著负向效应,但对人力资本投入松弛具有显著的正向效应,说明农户对市场信息了解越多,越能降低直接生产资料投入的浪费,但同时会增加人力资本投入的浪费。此外,对劳动力投入也有一定的正向影响,但并不显著。总体而言,劳动力投入主要受秸秆利用规模和机械化程度、便利程度等因素的影响,农户认知的影响不显著。是否

2021年5月

了解秸秆资源化利用的主要方式和技术对各项投入松弛均具有显著的负向影响,说明农户对秸秆资源化利用的方式和技术越了解,就越能降低其在直接生产资料、劳动力和人力资本等投入中的浪费,由此提高秸秆资源化利用绩效。

4.3 第三阶段模型估计结果

根据研究方法中所述,第三阶段主要是将调整后的投入变量值代替原始的投入变量值,与原始产出数据一起,再按照第一阶段中的DEA-BCC模型运行,可得出新的农户秸秆资源化利用绩效估计值。结果如表7所示。

由表7可知,在剔除外界环境及随机干扰等因素影响后,秸秆主产区农户秸秆资源化利用综合效率均值为0.5075,与第一阶段相比下降了0.0347;纯技术效率均值为0.9044,与第一阶段相比增加了0.1996;规模效率均值为0.5611,与第一阶段相比下降了0.2082。说明剔除了外界环境及随机干扰等因素影响后,农户秸秆资源化利用综合绩效有所降低,而这主要是由于规模效率大幅下降所引起。从不同地区的横向比较看,6个秸秆主产区秸秆资源

化利用绩效排序也发生了较大变化,从高到低为菏泽市>德州市>潍坊市>聊城市>临沂市>济宁市。与第一阶段相比,各地区综合效率均有所下降,其中德州市下降幅度最大(下降了0.0552),临沂市下降幅度最小(下降了0.0146),这直接导致德州市排序下降而临沂市排序上升。其原因可能是德州市农户秸秆资源化利用的产出投入受政府政策、交通条件等外界环境影响更大,一旦剔除外界环境影响,其综合效率下降更为明显。其原因可能是随着秸秆利用规模提升,农户会增加一些短期劳动力投入,主要用于秸秆收储等技术含量较低的环节,无需进行系统的培训,因此人力资本增加并不显著。

进一步考察样本农户的各项效率的具体分布情况,结果如表8所示。可以看出,综合效率方面,与第一阶段相比,0.6~0.8和0.8~1.0两个区间的农户数量和占比明显下降,而低于0.6以下的农户数量和占比明显增加。其中96.14%的农户综合效率在0.8以下,只有3.86%的农户综合效率高于0.8,并且综合效率低于0.2的农户占比增加到12.12%。纯技术效率方面,第三阶段要明显高于第一阶段,其

表7 第三阶段区域效率均值

Table 7 Regional efficiency averages at the third stage

区域	综合效率	与第一阶段相比	纯技术效率	与第一阶段相比	规模效率	与第一阶段相比
平均值	0.5075	0.0347 ↓	0.9044	0.1996 ↑	0.5611	0.2082 ↓
菏泽市	0.5562	0.0224 ↓	0.9208	0.1963 ↑	0.6040	0.1946 ↓
德州市	0.5481	0.0552 ↓	0.9396	0.1691 ↑	0.5833	0.1997 ↓
聊城市	0.4739	0.0269 ↓	0.8812	0.2375 ↑	0.5378	0.2402 ↓
潍坊市	0.5266	0.0306 ↓	0.9102	0.1848 ↑	0.5786	0.1895 ↓
济宁市	0.4395	0.0419 ↓	0.8531	0.1870 ↑	0.5152	0.2075 ↓
临沂市	0.4430	0.0146 ↓	0.8376	0.1904 ↑	0.5289	0.1781 ↓

注:表中↓表示与第一阶段相比减少,↑表示与第一阶段相比增加,下同。

表8 第三阶段样本农户的效率分布

Table 8 Efficiency distribution of the sample farming households at the third stage

效率类型	效率值区间	[0, 0.2)		[0.2, 0.4)		[0.4, 0.6)		[0.6, 0.8)		[0.8, 1.0]	
		分布	变化	分布	变化	分布	变化	分布	变化	分布	变化
综合效率	农户数	113	29 ↑	202	34 ↑	412	21 ↑	169	55 ↓	36	29 ↓
	比例/%	12.12	3.11 ↑	21.67	3.64 ↑	44.21	2.26 ↑	18.13	5.9 ↓	3.86	3.11 ↓
纯技术效率	农户数	0	29 ↓	0	112 ↓	0	261 ↓	64	337 ↓	868	739 ↑
	比例/%	0	3.11 ↓	0	12.02 ↓	0	28 ↓	6.87	36.16 ↓	93.13	79.29 ↑
规模效率	农户数	81	63 ↑	143	59 ↑	447	279 ↑	198	240 ↓	63	161 ↓
	比例/%	8.69	6.76 ↑	15.34	6.33 ↑	47.96	29.93 ↑	21.25	25.75 ↓	6.76	17.27 ↓

中93.13%的农户位于0.8~1.0区间,并且所有的农户均在0.6以上。规模效率的变化与综合效率类似,与第一阶段相比,0.6~0.8和0.8~1.0两个区间的农户数量和占比明显下降,而低于0.6以下的农户数量和占比明显增加。其中93.24%的规模效率低于0.8,与第一阶段相比大幅增加,只有6.76%的农户规模效率高于0.8,并且规模效率低于0.2的农户占比也增加到8.69%。

为更加直观判断第三阶段与第一阶段的各项效率差异,本文进一步利用符号秩和检验法(Wilcoxon)进行农户层面的配对检验。结果显示,综合效率、纯技术效率和规模效率的配对检验 P 值分别为0.018、0.006和0.011,均小于临界值0.05,因此拒绝“中位数相等”的零假设,可以认为各项效率均存在显著性差异。可见,剔除外界环境及随机干扰等因素的影响后,农户秸秆资源化利用的综合效率和规模效率显著下降,而纯技术效率则显著上升。其原因可能是第一阶段的综合效率和规模效率被高估,效率提高一定程度是由于外界环境及随机干扰等因素的作用,并非完全是农户管理能力和经营规模提升的结果。在实际中,各地均会对农户秸秆资源化利用给予一定的政策和资金支持,这较大地提升了农户产出投入比,一旦剔除这些外界因素影响,其效率将显著下降。纯技术效率提升则说明在目前技术水平上,农户所投入各种要素的生产效率相对较高,因此规模效率低下是制约综合效率的根本原因。

5 结论与启示

5.1 结论

本文基于山东省秸秆主产区农户的调研数据,通过三阶段DEA模型对农户秸秆资源化利用绩效进行测度并进行区域比较。研究结论可概括为:

(1)2018年,山东省农作物秸秆总产量为9258万t,资源化利用潜力巨大。其中菏泽市、德州市、聊城市、潍坊市、济宁市和临沂市等6个地区为秸秆主产区,其秸秆产量占全省总量的比重为61.34%,因此这些地区秸秆资源化利用绩效的提高对推动山东省秸秆资源化利用具有重要的示范效应。

(2)山东省秸秆主产区农户秸秆资源化利用绩效总体较低。在没有剔除外界环境及随机干扰等

因素影响的条件下,农户秸秆资源化利用综合效率均值为0.5422,纯技术效率均值为0.7048,规模效率均值为0.7693;在剔除外界环境及随机干扰等因素的影响后,农户秸秆资源化利用综合效率均值变为0.5075,纯技术效率均值变为0.9044,规模效率均值变为0.5611。规模效率下降是导致农户秸秆资源化利用综合效率下降的主要原因。因此,要提升农户秸秆资源化利用综合效率,需要进一步提升农户秸秆资源化利用规模,通过增加要素投入来发挥规模效应。

(3)各秸秆主产区之间,农户秸秆资源化利用绩效也存在一定差异。在没有剔除外界环境及随机干扰等因素影响的条件下,各地区农户秸秆资源化利用综合效率均值由高到低依次为德州市>菏泽市>潍坊市>聊城市>济宁市>临沂市,最高的为德州市,其综合效率也仅有0.6033;剔除外界环境及随机干扰等因素的影响后,各地区综合效率均有所下降,且农户秸秆资源化利用综合效率均值排序变为菏泽市>德州市>潍坊市>聊城市>临沂市>济宁市,最高的为菏泽市,其综合效率仅为0.5562。这一方面说明目前各地区秸秆资源化利用绩效均较低,有很大的提升空间,另一方面也反映出外界环境和随机干扰因素确实对各地区秸秆资源化利用绩效有重要影响,尤其是德州市。从政策启示角度看,随机干扰因素的影响我们往往难以控制,但可以通过改善外界环境来提高农户秸秆资源化利用绩效。

(4)环境变量中,户主文化程度提高、政府提供技术培训和资金补贴,农户加入专业经济合作组织、了解秸秆资源化利用的主要方式和技术等因素均能显著减少农户的直接生产资料、劳动力和人力资本等投入中的浪费,由此提高农户秸秆资源化利用绩效。此外,周边交通状况改善能有效减少劳动力投入的浪费,农户了解秸秆相关产品的市场信息能有效减少直接生产资料投入的浪费。

5.2 启示

如前文所述,政府政策支持、农户认知和秸秆储运便捷性等对农户秸秆资源化利用绩效有重要影响。为了提升农户秸秆资源化利用绩效,首先政府要加大对农户秸秆资源化利用的支持力度,包括提供必要的技术培训以及资金补贴等,降低农户资

2021年5月

金投入和风险;其次,充分发挥各类专业经济合作组织对农户的技术指导作用,提升农户秸秆资源化利用的组织化和规模化程度;再次,加大相关信息的宣传和教育。农户是否掌握秸秆资源化利用方式、技术和相关产品的市场信息对提升农户决策效率有重要作用,因此应通过各种途径将相关信息及时告知农户;最后,强化农业基础设施建设,改善田间道路的交通条件,完善秸秆收集、储运系统,为农户秸秆资源化利用创造良好的条件。

参考文献(References):

- [1] 司开玲. 秸秆焚烧与农村环境危机: 基于“代谢断裂”理论的思考[J]. 中国农业大学学报(社会科学版), 2018, 35(4): 61-68. [Si K L. Straw burning and rural environmental crisis: Based on the theory of “metabolic fracture” [J]. Journal of China Agricultural University Social Sciences, 2018, 35(4): 61-68.]
- [2] 王士超, 闫志浩, 王瑾瑜, 等. 秸秆还田配施氮肥对稻田土壤活性碳氮动态变化的影响[J]. 中国农业科学, 2020, 53(4): 782-794. [Wang S C, Yan Z H, Wang J Y, et al. Nitrogen fertilizer and its combination with straw affect soil labile carbon and nitrogen fractions in paddy fields[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2020, 53(4): 782-794.]
- [3] 程曼, 解文艳, 杨振兴, 等. 黄土旱塬长期秸秆还田对土壤养分、酶活性及玉米产量的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2019, 27(10): 1528-1536. [Cheng M, Xie W Y, Yang Z X, et al. Effects of long-term straw return on corn yield, soil nutrient contents and enzyme activities in dryland of the Loess Plateau, China [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2019, 27(10): 1528-1536.]
- [4] 文中华, 刘喜雨, 孟军, 等. 生物炭和腐熟秸秆组配基质对水稻幼苗生长的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2020, 51(1): 10-17. [Wen Z H, Liu X Y, Meng J, et al. Research on biochar and rotten straw-based matrix on the growth of rice seedlings[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2020, 51(1): 10-17.]
- [5] 俞建良, 熊强, 刘晓峰, 等. 我国秸秆沼气行业发展模式探讨[J]. 中国沼气, 2019, 37(6): 74-79. [Yu J L, Xiong Q, Liu X F, et al. Discussion on the development model of straw biogas industry in China[J]. China Biogas, 2019, 37(6): 74-79.]
- [6] 许越越, 赵明松, 苏弘扬. 基于MODIS数据的山东省秸秆焚烧遥感监测[J]. 科技创新与生产力, 2018, (7): 33-36. [Xu Y Y, Zhao M S, Su H Y. Remote sensing monitoring of straw burning in Shandong Province based on MODIS data[J]. Sci-tech Innovation and Productivity, 2018, (7): 33-36.]
- [7] Jiang D, Zhuang D F, Fu J Y, et al. Bioenergy potential from crop residues in China: Availability and distribution[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2012, 16(3): 1377-1382.
- [8] Zhai N N, Mao C L, Feng Y Z, et al. Current status and future potential of energy derived from Chinese agricultural land: A review [J]. BioMed Research International, 2015, DOI: 10.1155/2015/824965.
- [9] Isabelle L M S, Terezinha F C, Narie R D S, et al. Electricity production from sugarcane straw recovered through Bale system: Assessment of retrofit projects[J]. BioEnergy Research, 2019, 12(1): 865-877.
- [10] Dai J, Bean B, Brown B, et al. Harvest index and straw yield of five classes of wheat[J]. Biomass and Bioenergy, 2016, 85(2): 223-227.
- [11] Edelvy B A, Ralf K S, Osvaldo R R, et al. Life cycle assessment of the valorization of rice straw for energy purposes: Rice production in Cuba[J]. Journal of Agriculture and Environment for International Development, 2018, 112(2): 297-320.
- [12] 孙建飞, 郑聚峰, 程琨, 等. 基于可收集的秸秆资源量估算及利用潜力分析[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(2): 404-413. [Sun J F, Zheng J F, Cheng K, et al. Estimate of collectable straw resources and competitive utilization potential[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2018, 24(2): 404-413.]
- [13] 丛宏斌, 姚宗路, 赵立欣, 等. 中国农作物秸秆资源分布及其产业体系与利用路径[J]. 农业工程学报, 2019, 35(22): 132-140. [Cong H B, Yao Z L, Zhao L X, et al. Distribution of crop straw resources and its industrial system and utilization path in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019, 35(22): 132-140.]
- [14] 霍丽丽, 赵立欣, 姚宗路, 等. 中国玉米秸秆草谷比及其资源时空分布特征[J]. 农业工程学报, 2020, 36(21): 227-234. [Huo L L, Zhao L X, Yao Z L, et al. Difference of the ratio of maize stovers to grain and spatiotemporal variation characteristics of maize stovers in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(21): 227-234.]
- [15] Diep N Q, Fujimoto S, Minowa T, et al. Estimation of the potential of rice straw for ethanol production and the optimum facility size for different regions in Vietnam[J]. Applied Energy, 2012, 93(5): 205-211.
- [16] 曹志宏, 黄艳丽, 郝晋珉. 中国作物秸秆资源利用潜力的多适宜性综合评价[J]. 环境科学研究, 2018, 31(1): 179-186. [Cao Z H, Huang Y L, Hao J M. Multi-suitability comprehensive evaluation of crop straw resource utilization in China[J]. Research of Environmental Sciences, 2018, 31(1): 179-186.]
- [17] 李芬妮, 张俊飏, 何可. 非正式制度、环境规制对农户绿色生产行为的影响: 基于湖北1105份农户调查数据[J]. 资源科学, 2019, 41(7): 1227-1239. [Li F N, Zhang J B, He K. Impact of informal institutions and environmental regulations on farmers'

- green production behavior: Based on survey data of 1105 households in Hubei Province[J]. *Resources Science*, 2019, 41(7): 1227-1239.]
- [18] 尚燕, 颜廷武, 江鑫, 等. 公共信任对农户生产行为绿色化转变的影响: 以秸秆资源化利用为例[J]. *中国农业大学学报*, 2020, 25(4): 181-191. [Shang Y, Yan T W, Jiang X, et al. Influence of public trust on the transformation of green production behavior of farmers: Taking straw resource utilization for example[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2020, 25(4): 181-191.]
- [19] 高立, 赵从雨, 宋宇. 农地承包经营权稳定性对农户秸秆还田行为的影响[J]. *资源科学*, 2019, 41(11): 1972-1981. [Gao L, Zhao C Y, Song Y. Effect of stability of land contract and land-use rights on straw retention for rural households[J]. *Resources Science*, 2019, 41(11): 1972-1981.]
- [20] 曹慧, 赵凯. 耕地经营规模对农户亲环境行为的影响[J]. *资源科学*, 2019, 41(4): 740-752. [Cao H, Zhao K. Farmland scale and farmers' pro-environmental behavior: Verification of the inverted U hypothesis[J]. *Resources Science*, 2019, 41(4): 740-752.]
- [21] 姚科艳, 陈利根, 刘珍珍. 农户禀赋、政策因素及作物类型对秸秆还田技术采纳决策的影响[J]. *农业技术经济*, 2018, (12): 64-75. [Yao K Y, Chen L G, Liu Z Z. The influence of farmer's endowment, policy factors and crop types on the adoption decision of straw returning technology[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2018, (12): 64-75.]
- [22] 郭清卉, 李世平, 南灵. 环境素养视角下的农户亲环境行为[J]. *资源科学*, 2020, 42(5): 856-869. [Guo Q H, Li S P, Nan L. Farming households' pro-environmental behaviors from the perspective of environmental literacy[J]. *Resources Science*, 2020, 42(5): 856-869.]
- [23] 姜维军, 颜廷武. 能力和机会双轮驱动下农户秸秆还田意愿与行为一致性研究: 以湖北省为例[J]. *华中农业大学学报(社会科学版)*, 2020, (1): 47-55. [Jiang W J, Yan T W. Study on the consistency of farmers' straw returning willingness and behavior under the dual drive of ability and opportunity: A case study of Hubei Province[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University (Social Sciences Edition)*, 2020, (1): 47-55.]
- [24] 盖豪, 颜廷武, 何可, 等. 基于农户视角的秸秆机械化还田服务绩效评价及其障碍因子诊断: 来自冀、鲁、皖、鄂四省的调查[J]. *长江流域资源与环境*, 2018, 27(11): 2597-2608. [Gai H, Yan T W, He K, et al. A evaluation of mechanized straw returning service performance and its obstacle indicators based on farmers' perspective: Based on the investigation of Hebei, Shandong, Anhui and Hubei Provinces in four provinces[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2018, 27(11): 2597-2608.]
- [25] 卫斌, 涂维亮. 荆州市农业废弃物资源化利用绩效测度及对策[J]. *长江大学学报(社会科学版)*, 2019, 42(6): 71-75. [Wei B, Tu W L. The performance measurement and countermeasures for the utilization of agricultural waste in Jingzhou[J]. *Journal of Yangtze University (Social Sciences Edition)*, 2019, 42(6): 71-75.]
- [26] 丁美. 农作物秸秆资源潜力与开发可持续性评价体系研究: 以江苏省为例[D]. 南京: 南京农业大学, 2011. [Ding M. Study on Sustainability Evaluation System for Crop Straw Resource Potential and Development: Jiangsu Province as an Example[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2011.]
- [27] Dal-Mas M, Giarola S, Zamboni A, et al. Strategic design and investment capacity planning of the ethanol supply chain under price uncertainty[J]. *Biomass and Bioenergy*, 2011, 35(5): 2059-2071.
- [28] 张科研. 江苏省农作物秸秆综合利用技术评价[D]. 南京: 南京农业大学, 2016. [Zhang K Y. Technical Evaluation on the Comprehensive Utilization of Straw in Jiangsu[D]. Nanjing Agricultural University, 2016.]
- [29] Cong P, Li Y Y, Wang J, et al. Increasing straw incorporation rates improves subsoil fertility and crop yield in the Huang-Huai-Hai Plain of China[J]. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 2020, 66(14): 1976-1990.
- [30] Roth M G, Mourtzinis S, Gaska J M, et al. Wheat grain and straw yield, grain quality, and disease benefits associated with increased management intensity[J]. *Agronomy Journal*, 2020, 113(1): 308-320.
- [31] 李鹏, 张俊飏, 丁玉梅, 等. 农业生产废弃物循环利用的产业联动绩效及影响因素的实证研究: 以废弃物基质化产业为例[J]. *中国农村经济*, 2012, (11): 69-77. [Li P, Zhang J B, Ding Y M, et al. An empirical study on industrial linkage performance and impact factors of waste recycling in agricultural production: An example of waste matrix industry[J]. *China Rural Economy*, 2012, (11): 69-77.]
- [32] 李鹏, 张俊飏. 农业生产废弃物循环利用绩效测度的实证研究: 基于三阶段DEA模型的农户基质化管理[J]. *中国环境科学*, 2013, 33(4): 754-761. [Li P, Zhang J B. Empirical studies of agricultural production waste recycling efficiency: Based on peasant household substrate management with three-stage DEA model[J]. *China Environmental Science*, 2013, 33(4): 754-761.]
- [33] Fried H O, Lovell C A K, Schmidt S S, et al. Accounting for environment effects and statistical noise in data envelopment analysis [J]. *Journal of Productivity Analysis*, 2002, 17(1): 157-174.
- [34] Fuentes R, Fuster B, Lillo-Banuls A. A three-stage DEA model to evaluate learning-teaching technical efficiency: Key performance indicators and contextual variables[J]. *Expert Systems With Applications*, 2016, 48(4): 89-99.
- [35] 罗登跃. 三阶段DEA模型管理无效率估计记[J]. *统计研究*, 2012, 29(4): 104-107. [Luo D Y. A note on estimating managerial inefficiency if three-stage DEA model[J]. *Statistical Research*, 2012, 29(4): 104-107.]
- [36] 陈巍巍, 张雷, 马铁虎, 等. 关于三阶段DEA模型的几点研究[J]. *系统工程*, 2014, 32(9): 144-149. [Chen W W, Zhang L, Ma T H, et al. Research on three-stage DEA model[J]. *Systems Engineering*, 2014, 32(9): 144-149.]

Performance evaluation of farmers' straw resource utilization in Shandong Province: Based on three-stage DEA model

LI Guozhi

(School of Business, Wenzhou University, Wenzhou 325035, China)

Abstract: Based on the straw resource utilization input-output data of 932 farmers in Shandong Province in 2018, this study evaluated the performance of straw resource utilization using three-stage data envelopment analysis (DEA) model. The study found that: (1) Before excluding the influence of external environment and random interference, the mean value of farmers' comprehensive efficiency was 0.5422, the mean value of pure technical efficiency was 0.7048, and the mean value of scale efficiency was 0.7693. After excluding the influence of external environment and random interference, the mean value of farmers' comprehensive efficiency was 0.5075, the mean value of pure technical efficiency was 0.9044, while the mean value of scale efficiency was 0.5611. The decrease of scale efficiency is the main reason for the decrease of comprehensive efficiency of farmers' straw resource utilization. (2) There are some differences in the performance of farmers' straw resource utilization between different regions. Before excluding the influence of external environment and random interference, the ranking of comprehensive efficiency of each region was Dezhou>Heze>Weifang>Liaocheng>Jining>Linyi. After excluding the influence of external environment and random interference, the ranking of comprehensive efficiency became Heze>Dezhou>Weifang>Liaocheng>Linyi>Jining. The performance of farmers' straw resource utilization in Dezhou and Jining is more influenced by external environment and random disturbances. (3) The regression results of the stochastic frontier approach (SFA) model show that government technical training and financial subsidies, guidance from professional economic cooperatives, and farmers' knowledge of straw resource utilization methods and technologies can significantly reduce the waste of farmers' inputs such as direct production materials, labor, and human capital, and improve farmers' performance of straw resource utilization. Overall, the performance of farmers' straw resource utilization in the main straw-producing areas of Shandong Province is relatively low, and it can be improved by expanding the scale of straw utilization and improving the external environment such as technical training and financial subsidies.

Key words: farmers; straw resource utilization; performance evaluation; three-stage DEA model; Shandong Province