

基于 DEA 和 STIRPAT 模型的山东省 农业生态效率评价

许燕琳, 李子君

(山东师范大学 地理与环境学院, 济南 250358)

摘要:为了促进区域农业的可持续发展,以 1998—2017 年山东省 134 个县(市、区)的面板数据为样本,采用考虑非期望产出的超效率 SBM 模型和 STIRPAT 模型等多种方法,对山东省农业生态效率的时空变化特征和影响因素进行了分析。结果表明:(1) 1998—2017 年,山东省农业生态效率呈现波动上升的趋势,但总体效率值偏低。(2) 山东省农业生态效率地区间差异显著,空间集聚性逐渐减弱,空间分布由最初的高值区零星分布逐渐形成自西向东“低—高—低—高”的带状分布形式。(3) 农民人均纯收入、第一产业占比与山东省农业生态效率呈显著正相关,机械化水平、人均播种面积、财政支农水平以及种植结构则主要呈负相关,其中,第一产业占比和财政支农在 0.75 分位点、种植结构在 0.25, 0.75 分位点上对山东省农业生态效率的影响不显著。山东省农业生态效率总体转好,但水平较低,应因时因地制宜地采取措施提高区域农业生态效率。

关键词:农业生态效率; 超效率 SBM 模型; STIRPAT 模型; 时空差异; 山东省

中图分类号:F062.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2021)04-0293-07

Evaluation of Agro-Ecological Efficiency in Shandong Province Based on DEA and STIRPAT Models

XU Yanlin, LI Zijun

(College of Geography and Environment, Shandong Normal University, Jinan 250358, China)

Abstract: In order to promote the sustainable development of regional agriculture, based on the panel data of 134 counties (cities, districts) in Shandong Province from 1998 to 2017, the spatial and temporal variation characteristics of agro-ecological efficiency in Shandong Province were analyzed by using various methods such as super-efficient SBM model and STIRPAT model. The results showed that: (1) in 1998—2017, the agro-ecological efficiency of Shandong Province showed an upward trend in fluctuation, but the overall efficiency value was low; (2) the agro-ecological efficiency of Shandong Province was significantly different between regions, and the spatial agglomeration gradually weakened; the spatial distribution from the initial high value area sporadic distribution gradually formed from west to east ‘low—high—low—high’ zonal distribution; (3) farmers’ per capita net income, primary industry share, mechanization level, per capita planting area, fiscal support level and planting structure had significant effects on agro-ecological efficiency in Shandong Province, the per capita net incomes of farmers and the proportion of primary industry were significantly positively correlated with the agro-ecological efficiency of Shandong Province, while the rest were mainly negatively correlated. The overall agricultural ecological efficiency of Shandong Province was better, but the level was low. Measures should be taken to improve the regional agricultural ecological efficiency according to the time and local conditions.

Keywords: agro-ecological efficiency; super-efficient SBM model; STIRPAT model; temporal and spatial differentiation; Shandong Province

收稿日期:2020-06-15

修回日期:2020-08-12

资助项目:山东水土保持学会重点领域创新资助项目(2019003);国家自然科学基金(41101079)

第一作者:许燕琳(1996—),女,山东东营人,硕士研究生,研究方向为水土资源利用与生态修复。E-mail: xuy0819@126.com

通信作者:李子君(1974—),女,山东莒县人,博士,教授,主要从事水土资源利用与生态修复研究。E-mail: lizijun@sdnu.edu.cn

农业是我国国民经济的基础,也是社会发展的保障。在农业经济快速发展的同时,也带来了一系列的生态恶化、环境污染、资源浪费等问题^[1],农业污染有取代工业污染成为第一污染源的趋势^[2]。据《重点流域农业面源污染综合治理示范工程建设规划(2016—2020年)》数据:2015年,我国化肥使用量6 022万t,利用率仅为35.2%;农药使用量近年来稳定在30万t(有效成分)左右,利用率为36.6%;农用地膜使用量145万t,当季农膜回收率尚不足2/3。农业面源污染形势严峻,同时由于我国监管体制不够健全、民众防控意识淡薄、污染治理技术尚不完善等因素使得农业污染现象未减反增,农业污染成为粮食安全、生态安全乃至社会经济发展的桎梏。因此,在保持农业经济快速增长的前提下减少环境污染,做到资源节约、生态良好和农业发展三者相互协调,提高农业生态效率,是实现资源、环境和社会经济可持续发展的必然趋势。

自1990年“生态效率”概念提出以来,在企业生态效率、土地利用生态效率和区域生态效率研究等方面得到了广泛应用^[3]。农业生态效率是生态效率在农业领域的引申,具体指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,并保证农产品质量^[1]。在“两型农业”背景下,一些学者开展了农业生态效率的相关研究并取得了丰硕的成果^[3-5]。这些研究大多采用数据包络分析法(Data Envelopment Analysis, DEA)及其扩展模型对研究区域农业生态效率的时空差异进行评价分析,为有效制定与当地农业生态环境相符合的政策措施,维护农业可持续发展和生态平衡提供了参考和依据^[6]。在研究空间尺度上,全国尺度的农业生态效率^[7-8]是当前研究的热点,也有部分学者对区域尺度、流域尺度的农业生态效率^[9-11]进行了研究。对于农业生态效率影响因素方面的研究仍较为匮乏,研究方法也比较单一,考虑到传统DEA存在截尾值1的现象,现有研究多以Tobit模型进行回归分析^[12-13]。总体来看,国内对农业生态效率的研究仍存在以下不足:(1)在研究指标上,由于评价指标体系选取的主观性以及地区间的差异性,不同研究之间缺乏可比性;(2)在研究方法上,传统DEA模型的测算值在0~1,无法对达到完全效率的决策单元(Decision Making Units, DMU)进行进一步区分;(3)在研究空间尺度上,由于数据的可获得性,研究区域过多集中在全国尺度,以省域为研究尺度的研究相对较少。

山东省是我国重要的粮食生产基地,对保障区域和国家粮食安全起着重要的作用^[14-15]。同时,山东省又是农业污染大省,近5年农药使用量始终居全国首

位,化肥使用量居全国第二位,农膜回收制度不健全且回收率低,农业污染强度居高不下。迄今为止,山东省仍处于传统农业向现代化农业过渡阶段,为满足人口大省的社会经济需求,农业生产活动仍以牺牲生态环境为代价换取经济效益,造成了严重的资源浪费和环境污染。因此,对山东省农业生态效率进行评价分析研究具有重大意义。基于此,本文以山东省为研究区域,省内134个县(市、区)为研究单元,运用考虑非期望产出的超效率SBM模型,对山东省农业生态效率的时空变化进行研究,采用STIRPAT模型分析影响农业生态效率变化的因素,拟为山东省生态农业的发展以及省内农业污染重点区域的精准调控提供一定的参考依据,对形成绿色、可持续的农业生产模式具有重要的参考价值。

1 研究区概况

山东省位于中国东部沿海地区,地处黄河下游,位于34°22.9'—38°24.0'N, 114°47.5'—122°42.3'E,全省辖16个地级市,总面积15.79万km²。山东省地势中部突起,为鲁中南山地丘陵区,东部半岛是起伏和缓的波状丘陵区,西部、北部是华北平原的一部分,山地、丘陵和平原分别占全省总面积的15.5%, 13.2%, 55%。全省以暖温带季风气候为主,夏季高温多雨,冬季寒冷干燥,年平均气温11~14℃,年均降水量为550~950mm,降雨集中在7—8月份。植被以北温带针、阔叶林为主,主要包括油松、侧柏、杨柳等。土壤类型以棕壤、褐土、潮土和砂姜黑土分布最为广泛。

2017年,山东省人口总量达10 006万人,居全国第二位,地区生产总值72 634.15亿元,其中,农业总产值4 403.2亿元,居全国第2位。作为农业大省,近5 a山东省农作物播种面积粮食总产量始终居全国前3,对确保全国粮食安全具有重要的作用。

2 研究数据与方法

2.1 研究数据

本文投入、产出指标所涉及的数据主要来源于1998—2017年山东省17地市的统计年鉴、统计公报,部分数据来源于《中华人民共和国全国分县市人口统计资料》、《中国县域统计年鉴》,缺失数据通过插值进行推算。各类污染系数主要参考第一次全国污染源普查领导小组办公室颁布的《全国第一次污染普查手册》中的《农业污染源肥料流失系数手册》、《农药流失系数手册》和《农田地膜残留系数手册》,同时结合山东省当地的实际情况,确定化肥流失、农药无效利用以及地膜残留系数分别为69%, 65%, 36%。

2.2 研究方法

2.2.1 考虑非期望产出的超效率 SBM 模型 数据包络模型(DEA)在生态效率评价中应用广泛,其中由 Tone^[16] 2001 年提出的 SBM 模型能够对生态环境约束下的农业生态效率进行测算,相比于传统的径向、角度的 DEA 模型,非径向、非角度的 SBM 模型能够解决径向模型对无效率的测量未包含松弛变量的问题。但在实际的测算中通常会出现不止一个 DMU 效率值为 1 的现象,为此,Andersen 等^[17]提出了超效率模型,以进一步区分有效的 DMU,Tone^[18]在 2002 年将这一概念引入 SBM 模型,并将其定义为 SBM 超效率模型,其基本公式为:

$$\rho^* = \min \frac{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{x}_i}{\frac{1}{s_1 + s_2} \left(\sum_{r=1}^{s_1} \frac{\bar{y}_r^d}{y_{r_0}^g} + \sum_{\ell=1}^{s_2} \frac{\bar{y}_\ell^b}{y_\ell^g} \right)} \quad (1)$$
$$\begin{cases} \bar{x} \geq \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j^b, \bar{y}^g \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j^g, \bar{y}^b \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j^b, \\ \bar{x} \geq x_0, \bar{y}^g \leq y_0^g, \bar{y}^b \geq y_0^b; \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \bar{y}^g \geq 0, \lambda \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中:假设有 n 个决策单元,每个决策单元由投入 m ,期望产出 s_1 ,非期望产出 s_2 构成; x, y^b, y^g 为相应的投入矩阵、期望产出矩阵和非期望产出矩阵中的元素; λ 为权重向量; ρ^* 为目标效率值。

2.2.2 农业生态效率评价指标体系的构建 山东省农业主要以种植业为主,因此本文以山东省种植业作为测评对象。通过借鉴以往的研究成果,在遵循科学性、可获得性和区域性原则的基础上,从投入、期望产出和非期望产出方面构建山东省农业生态效率评价指标体系。其中投入变量采用土地投入、化肥投入、农药投入、农膜投入、机械投入、劳动投入指标,期望产出采用农业产值指标,非期望产出以农业面源污染中的化肥流失、农药无效利用以及地膜残留进行表征(表 1)。

表 1 农业生态效率评价指标

指标类型	指标选取	变量及单位
投入变量	土地投入	农作物播种面积(hm ²)
	化肥投入	化肥施用量(折纯)(t)
	农药投入	农药使用量(t)
	农膜投入	农用地膜使用量(t)
	机械投入	农业机械总动力(kW)
	劳动投入	农业从业人员个数(万人)
期望产出	农业产值	种植业总产值(万元)
非期望产出	农业面源污染	化肥流失(t)
		农药无效利用(t)
		地膜残留(t)

2.2.3 全局空间自相关 全局空间自相关是从整体尺度来分析研究区域的空间集聚效应以衡量空间要素间的相互关系,具体计算公式为:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})} \quad (3)$$

式中: I 为 Moran 指数; n 为样本个数; x_i 和 x_j 分别为空间单元 i 和 j 上属性值; \bar{x} 为所有空间数据的平均值; w_{ij} 为研究对象 i 和 j 之间的空间邻接矩阵;Moran's I 值得取值范围为 $[-1, 1]$,若 $I > 0$ 代表空间正相关; $I < 0$ 代表负相关; $I = 0$ 则不相关。

2.2.4 STIRPAT 模型 农业生态效率作为农业生产集约化、绿色化相结合的产物,社会经济因素、科技因素、政策因素等都在不同程度上对农业生态效率有显著影响,本研究结合山东省的地域特点并借鉴相关研究^[19-21],选取山东省农业生态效率的影响因素(表 2)。社会经济方面:以城镇化率表征人口规模,以农民人均纯收入、第一产业占比分别表征省域和个人的富裕程度;科技方面:以农业机械化水平表示技术水平;政策方面:以财政支农水平体现政策影响;农业生产活动方面:以人均播种面积表征生产规模,以种植结构表征生产结构。

表 2 农业生态效率影响因素

影响因素	表征变量及单位
城镇化率	户籍城镇人口/总人口(%)
农民人均纯收入	通过相关年鉴获取(元)
第一产业占比	第一产业增加值/地区总产值(%)
机械化水平	农业机械总动力/农作物总播种面积(kW/hm ²)
人均播种面积	农作物总播种面积/农业从业人员(hm ² /人)
财政支农水平	财政农林水事务支出/地方财政一般预算支出(%)
种植结构	粮食作物播种面积/农作物总播种面积(%)

本文对农业生态效率影响因素的分析采用 STIRPAT 模型,该模型来源于 IPAT 环境压力等式^[22-23]。York 等^[24]将 IPAT 等式表示成随机形式,即通过人口、富裕度和技术的随机回归分析,分析各驱动力对环境压力的影响,提出 STIRPAT 模型:

$$I = aP^bA^cT^de \quad (4)$$

式中: I 为环境压力; P 为人口数量; A 为富裕度; T 为技术; a 为模型系数; b, c, d 为各驱动力指数; e 为误差。IPAT 认为 I 是 P, A, T 这 3 种驱动力共同作用,且 I 与各驱动因子间均呈等比例变化关系。

本研究借鉴传统 STIRPAT 模型,修正并重新构建计量模型,将 A 修正为 A_1 和 A_2 ,分别表示宏观与微观的富裕程度,同时引入其他影响农业生态效率的驱动因素对标准 STIRPAT 模型进行扩展。为了通

过回归分析确定相关参数,将原式转化为对数形式:

$$\ln I' = \ln C' + a_1 \ln P' + a_2 \ln A_1 + a_3 \ln A_2 + a_4 \ln T' \quad (5)$$

式中: I' 为农业生态效率值; C' 为常数; P' 为城镇化率; A_1 为农民人均纯收入; A_2 为第一产业占比; T' 为农业机械化水平; X_1 为人均播种面积; X_2 为财政支农水平; X_3 为种植结构; a_1-a_7 为弹性系数。

2.2.5 分位数回归 与普通最小二乘法基于均值的估计不同,分位数回归(Quantile Regression, QR)采用加权残差绝对值之和的方法进行参数的估计,从而在不同的分位数下,可以得到不同的分位数函数^[25]。对于分位数 y 的 τ 分位数函数 $Q(\tau)$ 可以定义为:

$$Q(\tau) = \inf\{y : F(y) \geq \tau\} \quad (0 < \tau < 1) \quad (6)$$

式中: τ 为回归平面以下的数据占全体数据的百分比。即因变量 y 的分布被 τ 分为两部分:小于分位数 $Q(\tau)$ 的比例为 τ ,大于分位数 $Q(\tau)$ 的比例为 $1-\tau$ 。与普通最小二乘法基于均值的估计不同,分位数回归采用加权残差绝对值之和的方法进行参数的估计,对于回归方程 $Y = \beta x + \varepsilon$,要分析自变量 X 对因变量 Y 在各分位数 τ 的影响,我们需求解:

$$\beta(\tau) = \arg \min_{\beta \in R^p} \sum_{i=1}^n \rho_{\tau}(y_i - x'_i \beta) \quad (7)$$

其中, $\rho_{\tau}(z) = \tau_z I_{[0, \infty)}(z) - (1-\tau) z I_{(-\infty, 0)}(z)$ 。

公式(7)相当于求解如下线性规划:

$$\max_z \{y'z \mid X'z = (1-\tau)X'e, z \in [0, 1]^n\} \quad (8)$$

3 结果与分析

3.1 山东省农业生态效率的时间变化

以 1998—2017 年山东省 134 个县(市、区)的投入、产出要素为评价对象,基于非径向、非角度、规模报酬可变(VRS)的超效率 SBM 模型[公式(1)和(2)],运用 maxDEA Pro 7 软件计算出各 DMU 的农业生态效率值,并绘制出时间变化趋势图(图 1)。从图中可以看出,1998—2017 年,山东省农业生态效率

值总体呈波动上升趋势,但基本处于 0.6 以下水平,总体偏低。1998—2017 年,山东省人口总量增加 1 137 万人,粮食需求量增加 542 万 t,农民为提高产量以满足庞大的粮食需求而大量投入农药、化肥等增产性物质,使该时期农药无效利用、化肥流失、农膜残留的冗余率分别达 66.36%,57.90%,80.79%,农业面源污染严重,农业生态效率值始终处于较低水平。具体可分为 3 个阶段:第一阶段为 1998—2001 年,农业生态效率缓慢下降,由 1998 年的 0.2 下降至 2001 年的 0.15。在该时期内,投入以及非期望产出冗余率均值分别由 1998 年的 75%,77%增加至 2001 年的 88%,92%,达到研究期间最大值,而期望产出冗余率保持不变,表明该阶段农业生态效率的下降主要是由于投入以及非期望产出冗余的增大造成的,值得注意的是,投入指标中化肥、农药、农膜的冗余最为严重,均大于 50%,因此农业生产活动中化肥、农药、农膜的过量使用是导致该阶段农业生态效率下降的最主要原因;第二阶段为 2001—2004 年,该阶段农业生态效率值波动起伏较大,在 2002 年骤升至 0.6 后下降至 2004 年的 0.33,但下降幅度小于上升幅度,总体仍表现为增加趋势,主要由于 2001 年以来“三农”问题的提出对山东省农业生态化的发展起到了积极的促进作用,农民生活条件显著改善,农村生态建设扎实推进,同时“两湖一河”流域农田“两减三保”行动实施以来,流域内 12 市 69 县(市、区)高产粮田、瓜菜田化肥使用量比项目实施前减少 30%,农药使用量降低 30%~40%,农业面源污染治理效果显著;第三阶段为 2004—2017 年,农业生态效率波动上升,由 0.33 上升至 0.54。当前生态环境的恶化日益引起人们的重视,政府大力发展生态农业、循环农业,相继建成沿黄生态高效现代农业示范区和各类农业科技示范区,同时农民自身素质不断提高、环保意识增强也在一定程度上促进了农业生态效率的上升。

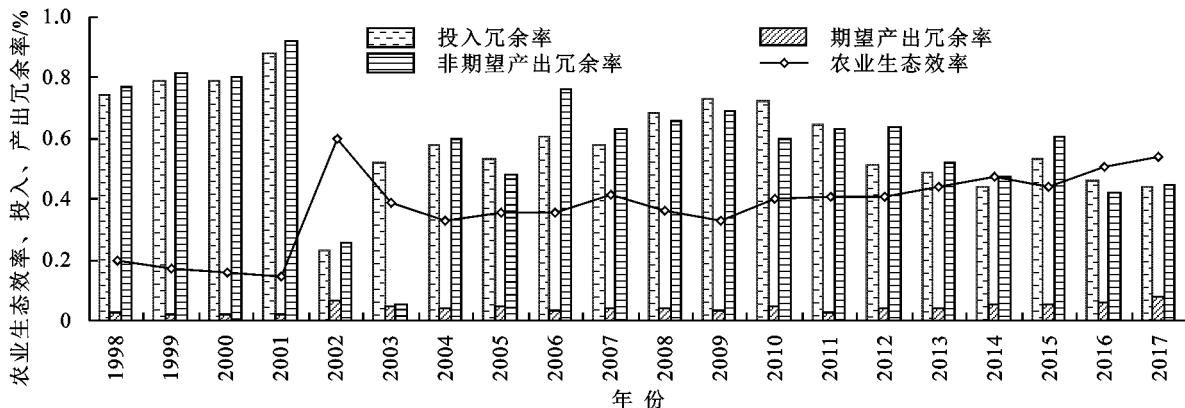


图 1 1998—2017 年山东省农业生态效率及投入、产出冗余率的时间变化

3.2 山东省农业生态效率的空间差异

运用 ArcGIS 10.5 软件将 1998 年、2004 年、2010 年、2017 年省各县的农业生态效率值分成 4 类:低效率(0~0.3)、中等效率(0.3~0.6)、较高效率(0.6~0.9)、高效率(>0.9),并绘制出相应年份山东省县域

农业生态效率分布图(图 2)。总体来看,山东省农业生态效率中高值区域以鲁中地区和山东半岛的青岛、烟台地区为中心呈扩张趋势,逐渐形成自西向东“低—高—低—高”的带状分布形式。

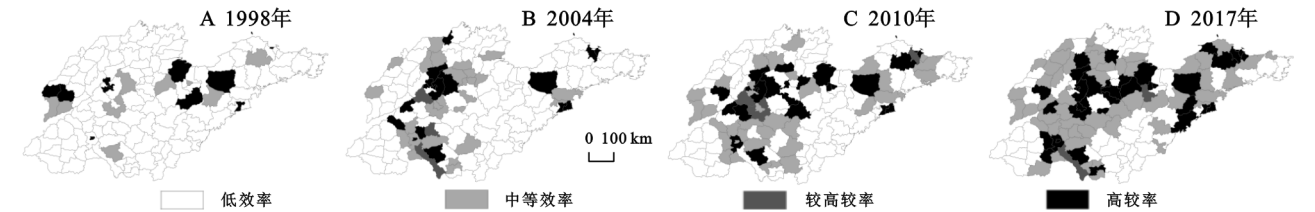


图 2 1998—2017 年山东省农业生态效率的空间分布

1998 年,仅济南市中区、天桥区、历下区、平度市、安丘市、寿光市、烟台开发区、济宁市中区、东昌府区以及冠县达到完全效率,章丘市、滕州市、栖霞市、青州市、阳谷县、莘县处于中等效率水平,主要由于这些地区农业经济发展较快,农业经营模式已由片面追求经济利益转向开始注重生态效益。

“高投入,高产出,高污染”的农业生产模式抑制了鲁西地区的菏泽市,德州市的德城区、齐河县,聊城市东昌府区、东阿县,济宁市的鱼台县、兖州区等地区农业生态效率的提高;临沂市位于鲁中南山地丘陵区,是山东省重要的水源涵养地,水土流失严重,加之地形起伏大、坡耕地面积多,农业机械化程度较低,使该地区农业发展相对滞后,农民更注重农产品的增收而忽视了农业生产活动所产生的面源污染,导致农业生态效率偏低。

2004 年,农业生态效率中高效率值地区数量上升,主要集中于鲁中地区的济南、淄博、泰安,南部的济宁、枣庄以及半岛地区的烟台、青岛所辖县(市、区)。而栖霞市、青州市、东昌府区、阳谷县等下降明显,均由高效率值下降至低效率值,说明各地区农业生态效率值存在波动性。

为了探究山东省各县(市、区)农业生态效率的空间集聚效应,根据公式(3),运用 ArcGIS 10.5 软件中的空间统计工具计算 1998—2017 年的全局 Moran's *I* 值(表 3)。由于 1998—2002 年的 *p* 值未通过显著性检验,因此,仅对 2003—2017 年的全局 Moran's *I* 值进行相关分析,结果显示,Moran's *I* 值由 2003 年的 0.39 下降至 2015 年的 0.16,后又上升至 2017 年的 0.26,且均在 1%显著水平上通过检验,表明山东省农业生态效率在空间分布上呈显著的正相关性,地理空间格局是影响山东省农业生态效率的重要因素^[1],2003—2015 年,但空间集聚效应在波动中呈减弱态势,说明各县(市、区)在发展农业经济的同时降低了对地区间交流合作的重视度,使得相邻县(市、区)之间的差异逐渐增大,2015 年以后,为缩小各县(市、区)之间差异,相邻县(市、区)逐渐加强交流合作,使得 Moran 指数开始增大。

2010 年,农业生态效率较 2004 年上升明显,中等效率和较高效率的县(市、区)占比达 28%,济阳县、章丘市、博山区、临淄区、周村区等 21 个县(市、区)达到完全效率,空间上自西向东“低—高—低—高”的带状分布形式基本形成。

2017 年,农业生态效率低效率的地区数量总和仅占总县(市、区)数量的 34%,整体达到较高水平。黄河三角洲地区虽然是国家高效生态经济区、国家级自然保护区,但农业基础条件差、生态环境脆弱等问题使得该地区的东营市,滨州市的无棣县、沾化县,德州市的乐陵市,潍坊市寒亭区、昌邑市,淄博市的高青县等地区农业生态效率持续偏低;鲁西地区是山东省重要的粮食生产基地,粮食产量占全省的 47%,

表 3 2003—2017 年山东省农业生态效率全局 Moran'*I*

年份	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Moran's <i>I</i>	0.39	0.34	0.32	0.36	0.42	0.25	0.35	0.24	0.24	0.20	0.23	0.16	0.16	0.24	0.26
<i>Z</i> 得分	6.40	5.60	5.18	8.32	6.90	3.70	5.77	3.98	4.04	3.26	3.76	2.69	2.68	3.97	4.31
<i>p</i> 值	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00

3.3 山东省农业生态效率的影响因素分析

基于 1998—2017 年的山东省农业生态效率值,构建 STIRPAT 多变量非线性模型,在通过最小二乘法(Ordinary Least Squares, OLS)进行回归分析的基础上,为进一步考察被解释变量内部不同影响因素的差异^[26],采用分位数回归法(QR)作进一步分析。

根据公式(4)得到如下拟合结果(表 4)。
OLS 回归和 QR 回归结果都表明,农民人均纯收入、第一产业占比、机械化水平、人均播种面积、财政支农、种植结构对山东省农业生态效率有显著影响,城镇化水平对农业生态效率没有显著作用,主要因为城镇化水平升高,一方面能够通过增长极作用将经济增长的红

利(科技、教育、卫生医疗等)由城市渗透扩散到农村地区,从而提高农村的物质与精神文明^[12],另一方面农村大量高素质青壮年涌入城市,剩余劳动力农业经营方式粗放、生产效率低下,不利于农业生态效率的提高。

表 4 STIRPAT 模型拟合结果

变量	OLS	QR		
		分位点 0.25	分位点 0.5	分位点 0.75
城镇化率(P')	0.0497(1.4531)	0.0400(1.4032)	0.0061(0.3002)	0.0602(0.8009)
农民人均纯收入(A_1)	0.5827*** (7.1514)	0.6817*** (5.6098)	0.5481*** (6.2150)	0.4370*** (2.8935)
第一产业占比(A_2)	0.0673** (2.2601)	0.1862*** (3.6159)	0.1198** (2.2189)	0.0592(0.6615)
机械化水平(T')	-0.1560*** (-3.7302)	-0.2214*** (-3.0658)	-0.2685*** (-5.6128)	-0.1296* (-1.7116)
人均播种面积(X_1)	-0.2042*** (-1.1955)	-0.2716*** (-3.0951)	-0.3624*** (-6.3892)	-0.3150*** (-3.4455)
财政支农(X_2)	-0.0847** (-2.5755)	-0.1138* (-2.2339)	-0.0859** (-2.0992)	-0.0184(-0.3534)
种植结构(X_3)	-0.1242** (-2.5320)	-0.1118(-1.1784)	-0.0993* (-1.7267)	-0.0697(-0.9290)
常数	-5.4858*** (-2.5320)	-6.2844*** (-8.4352)	-5.0827*** (-9.5380)	-4.3149*** (-3.9341)
调整 R^2	0.7095	0.7063	0.6838	0.8156

注:括号内为弹性系数的 t 值;*, **, *** 分别表示在 10%, 5%, 1% 水平上显著。

农民人均纯收入系数随着分位数的增加而逐渐下降,但均在 1% 水平上显著,说明农业生态效率受低水平的农民人均纯收入影响更大。农民人均纯收入反映的是该地区农村居民收入的平均水平,农民人均纯收入的提高意味着农民生活质量的改善,农民在高生活水平下更容易接受先进的生产技术和生态观念。因此,应大力促进省内农村劳动力多渠道转移就业和增收,改善农村基础设施,推广先进、绿色的生产理念。

第一产业占比在 0.25, 0.5 分位点上与农业生态效率呈显著正相关,在 0.75 分位点上无显著影响,说明对 0.75 分位点以上的县(市、区),第一产业占比已不是制约其农业生态效率提升的因素。一产占比高,当地经济发展对农业的依赖程度大,政府、农民更重视农业生产效率以及农业污染的治理,但一产占比过高非不会对农业生态效率产生正向影响,反而会抑制当地工业经济的发展。因此,做好各部门经济协调发展与农业生态效率提高“两手抓”的工作对当前山东省生态经济的发展至关重要。

机械化水平在所有分位点上均与农业生态效率呈显著负相关。机械化水平的上升虽在一定程度上有利于农业生产效率的提高,但粮食生产资料在机械化大规模经营中得不到充分利用会造成农业投入增加、污染加重。因此,需要在保证农业现代化的前提下合理配置生产资料,减少农业污染。

人均播种面积在 0.25, 0.5, 0.75 分位点上对农业生态效率产生微弱的先升后降影响,且系数均为负。农业生产规模的扩大不利于土地、资本、劳动力等生产要素的优化配置,人均播种面积过大,很难做到农作物的精细化管理。因此,对于分位点较低和较高的县(市、区),应积极完善农村土地分配制度,禁止滥垦、乱占土地,尤其针对黄河三角洲地区集中分布的未利用地,要在确保生态建设和环境保护用地的前提下,合理配置农地经营规模。

财政支农水平在 0.75 分位点上对农业生态效率无显著影响,在 0.25, 0.5 分位点上均产生负向影响。说明山东省财政资金配置结构不合理,财政支农更多地倾向于农业经济发展而忽略了农业生态质量,由此可见,促进农业生态化发展要重视财政支农资金的合理分配,对分位点低的县(市、区)进行重点调控。

种植结构仅在 0.5 分位点上与农业生态效率呈显著负相关。以粮食作物为主的种植结构在产生一定经济效益的同时势必会带来严重的农业污染,忽视当地自然生态条件大量种植粮食作物非但不利于当地水土保持与农业资源的可持续利用,也会对生态环境造成严重的破坏。鲁西地区以粮食作物为主的种植结构严重阻碍了该地区农业生态效率的提高,需要合理分配农作物经营规模,缓解当地的环境压力。

4 讨论与结论

4.1 讨论

(1) 本文通过考虑非期望产出、非径向、非角度的超效率 SBM 模型解决了效率评价中投入、产出的松弛性问题并对达到完全效率的 DMU 进行进一步区分,但在规模报酬可变(VRS)条件下仅能得到纯技术效率(PTE),而未能将规模效率(SE)纳入研究范畴。因此,山东省农业生态效率的规模收益情况(RTS)应是下一步研究的重点。

(2) 囿于数据的可获得性,在对山东省农业生态效率影响因素的研究中,未能对区位因素、农业受灾情况以及劳动力文化水平等对农业生态效率影响显著的其他因素进行深入分析。因此,对农业生态效率影响因素的多向考虑是未来研究的方向。

(3) 根据研究结果,山东省农业生态效率总体仍处于较低水平,而作为全国粮食主产区之一的山东,在“生态农业”大力推广的背景下,要提高农业生态效率,必须以黄河三角洲地区、鲁中南山地丘陵区以及

鲁西地区的各县(市、区)为重点,充分发挥地区间的联动机制,通过技术借鉴、人才引进等方式,实现地区间协同发展;同时充分考虑不同地区的自然环境条件以及经济发展水平,合理配置农地经营规模,优化农作物种植结构,对化肥、农药、地膜过量冗余的地区实施严格控制;此外,通过拓宽农业发展渠道,如物质多层利用、山地立体农业、农业观光旅游等,引导山东省农业向生态化、绿色化发展。

4.2 结论

(1) 从时间变化看,1998—2017年,山东省农业生态效率呈现出先缓慢下降后波动上升的趋势,1998—2001年为下降阶段,波动时段主要集中在2001—2004年,2005—2017年农业生态效率值的上升趋势占据主导地位,但研究时段内总体效率值仅为0.37,处于较低水平。

(2) 从空间差异看,山东省农业生态效率中高值区数量不断增加,低值区数量逐渐减少,空间分布由最初的高值区零星分布逐渐形成自西向东“低—高一低—高”的带状分布,相邻县(市、区)之间的差异逐渐增大,空间集聚效应逐渐减弱。

(3) 从山东省农业生态效率的影响因素分析结果看,农民人均纯收入、机械化水平、人均播种面积在所有分位点上均对山东省农业生态效率有显著影响,其中,农民人均纯收入具有正向效应,其余则主要呈负向效应;第一产业占比和财政支农分别呈正向和负向效应,且均在0.75分位点上不显著;种植结构仅在0.5分位点上对山东省农业生态效率有负向影响。

参考文献:

- [1] 侯孟阳,姚顺波.1978—2016年中国农业生态效率时空演变及趋势预测[J].地理学报,2018,73(11):2168-2183.
- [2] 郑德凤,郝帅,孙才志.基于 DEA-ESDA 的农业生态效率评价及时空分异研究[J].地理科学,2018,38(3):419-427.
- [3] 金贵,邓祥征,赵晓东,等.2005—2014年长江经济带城市土地利用效率时空格局特征[J].地理学报,2018,73(7):1242-1252.
- [4] 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.
- [5] 李南洁,肖新成,曹国勇,等.面源污染下三峡库区农业生态环境效率及影子价格测算[J].农业工程学报,2017,33(11):203-210.
- [6] 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.
- [7] 高奇,师学义,张琛,等.县域农业生态环境质量动态评价及预测[J].农业工程学报,2014,30(5):228-237,293.
- [8] 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[J].中国农村经济,2018(1):46-62.
- [9] 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.
- [10] 张子龙,鹿晨昱,陈兴鹏,等.陇东黄土高原农业生态效率的时空演变分析:以庆阳市为例[J].地理科学,2014,34(4):472-478.
- [11] 胡卫卫,于水,马智源,等.基于 DEA-Malmquist 模型的江苏省农业生态效率时空差异分析[J].水土保持通报,2018,38(2):297-302.
- [12] 黄娟,刘玥.三峡库区农业生态效率测度及其影响因素分析[J].统计与决策,2018,34(7):123-127.
- [13] 洪开荣,陈诚,丰超,等.农业生态效率的时空差异及影响因素[J].华南农业大学学报:社会科学版,2016,15(2):31-41.
- [14] 屈志光,陈光炬,刘甜.农业生态资本效率测度及其影响因素分析[J].中国地质大学学报:社会科学版,2014,14(4):81-87.
- [15] 于元赫,李子君.山东省耕地利用集约度时空变化及政策启示[J].中国土地科学,2017,31(4):52-60.
- [16] Tone K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. European Journal of Operational Research, 2001,130(3):498-509.
- [17] Andersen P, Petersen N C. A Procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis[J]. Management Science, 1993,39(10):1261-1264.
- [18] Tone K. A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis [J]. European Journal of Operational Research, 2002,143(1):32-41.
- [19] 宫大鹏,赵涛,慈兆程,等.基于超效率 SBM 的中国省际工业化石能源效率评价及影响因素分析[J].环境科学学报,2015,35(2):585-595.
- [20] 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[J].资源科学,2018,40(12):2475-2486.
- [21] 陈肖飞,姚士谋,张落成.1990 年以来长江三角洲耕地资源变化及驱动因子研究[J].长江流域资源与环境,2015,24(9):1521-1527.
- [22] 黄蕊,王铮,丁冠群,等.基于 STIRPAT 模型的江苏省能源消费碳排放影响因素分析及趋势预测[J].地理研究,2016,35(4):781-789.
- [23] 孙克,徐中民,宋晓娟,等.人文因素对省域环境污染影响的空间异质性估计[J].生态学报,2017,37(8):2588-2599.
- [24] York R, Rosa E A, Dietz T. STIRPAT, IPAT and ImPACT: analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts[J]. Ecological Economics, 2003,46(3):351-365.
- [25] 黄杰龙,陈秋华,幸绣程,等.中国省域森林公园旅游产业竞争力的时空演化特征及影响因素[J].长江流域资源与环境,2018,27(10):2305-2315.
- [26] 陈占明,吴施美,马文博,等.中国地级以上城市二氧化碳排放的影响因素分析:基于扩展的 STIRPAT 模型[J].中国人口·资源与环境,2018,28(10):45-54.