

doi:10.16104/j.issn.1673-1891.2022.01.004

低碳减排新理念下农业生态效率评价研究——以安徽省为例

姜亮宇,张克荣,金燕芝,侯有信

(阜阳师范大学商学院,安徽 阜阳 236000)

摘要:基于安徽省2010—2019年16个地级市的面板数据,使用非期望产出的SBM超效率DEA模型和Malamquist-Luenberger指数分别从静态和动态角度对农业生态效率进行测算,得出以下结论:安徽省农业生态效率整体呈增长态势;农业生态效率空间分布不均衡,呈现出皖南地区>皖中地区>皖北地区的空间分布格局;技术效率和技术进步共同导致安徽省农业生态效率的提高,且技术进步影响程度大于技术效率;农业人口投入、当地经济发展水平和农村用电量对农业生态效率的提高有很强的促进作用。基于此,建议要增强皖北地区农业投入的力度,积极推广低碳农业新技术,优化当地农业机械配置结构,协调工业和农业发展关系。

关键词:农业生态效率;非期望产出的SBM超效率模型;农业碳排放;安徽省

中图分类号:F323.22 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-1891(2022)01-0016-07

Evaluation of Agricultural Ecological Efficiency Under the New Concept of Low Carbon Emissions: Take Anhui Province as an Example

JIANG Liangyu, ZHANG Kerong, JIN Yanzhi, HOU Youxin

(Business School, Fuyang Normal University, Fuyang, Anhui 236000, China)

Abstract: Based on the panel data of 16 prefecture-level cities in Anhui province from 2010 to 2019, this paper uses the unexpected SBM super-efficiency DEA model and Malamquist-Luenberger index to measure the agricultural eco-efficiency from static and dynamic perspectives respectively. The following conclusions are drawn: The overall eco-agricultural efficiency of Anhui Province shows an increasing trend. The spatial distribution of agricultural eco-efficiency was unbalanced, presenting a pattern of southern Anhui > central Anhui > northern Anhui. Technical efficiency and technological progress synergize to the improvement of agricultural ecological efficiency in Anhui Province, with technological progress playing a bigger role. Agricultural population input, local economic development level and rural electricity consumption have a strong promotion effect on the improvement of agricultural ecological efficiency. Based on this, it is suggested that we strengthen the agricultural input in northern Anhui, actively promote the new low-carbon agricultural technology, optimize the local agricultural machinery configuration structure, and coordinate the relationship between industry and agriculture development.

Keywords: agricultural ecological efficiency; SBM super-efficiency model with unexpected output; agricultural carbon emissions; Anhui province

0 引言

当前气候问题日益严重,可持续发展理念逐渐在全球达成共识,建立低碳减排的经济发展模式成为全世界的重要发展方向。在2030年前实现碳达峰、2060年前实现碳中和,这是我国作为负责任大

国做出的担当。由于农业在碳排放上扮演着重要的角色,因此建立农业低碳减排的高质量发展方式就显得尤为必要。低碳减排理念下农业生态效率是农业生态效率在低碳经济下的拓展,是将农业发展和低碳环保结合起来,实现农业和环境可持续发展的新模式。作为传统的农业大省,安徽省农业产

收稿日期:2021-09-27

基金项目:阜阳市人文社科研究专项项目(FYSK2019QD02);安徽省创新发展研究课题攻关项目(2018CXF163);安徽高校省级人文社科研究重点项目(SK2020A0333);安徽省科技创新战略与软科学研究专项项目(202006f01050035)。

作者简介:姜亮宇(1995—),男,山西临汾人,硕士研究生,研究方向:区域经济学。

值占总产值的比重高于全国平均水平。2010 年安徽省第一产业占总产业的比重为 12.1%, 高于全国平均水平 10.1%; 2019 年安徽省第一产业占比下降至 7.9%, 但仍然高于全国平均水平 7.1%^[1]。较大的农业占比并没有提升安徽省农业生态化水平, 相反农业碳排放和面源污染却对环境造成较为严重的破坏。通过对农业生态效率进行测算, 可以对安徽省农业生态化发展现状有进一步了解, 在此基础上将农业生态效率和农业碳排放进行对比, 可以为安徽省降低农业碳排放水平提供较为客观的建议。

2003 年英国的《能源白皮书》首次提出低碳经济一词, 在此之后越来越多的学者开始研究低碳农业问题。鲍健强等^[2]认为现代农业是建立在化石燃料的巨大消耗之上的, 它给人类带来高产值的同时也极大地破坏了当地的环境, 所以低碳农业是走生态、高效、有机的新路子; David^[3]认为国家需要制定战略政策来保证低碳农业的发展。从农业碳排放的来源上, 李孝忠等^[4]通过灰色关联分析法整体分析了农业碳排放的几个重要指标, 依次确定了其对碳排放的贡献程度, 将农业碳排放源划分为化肥、农药、农用塑料薄膜、农用柴油、农业机械、农业灌溉、农村用电和土地翻耕, 通过各要素的碳转换系数计算其碳排放量。基于农业碳中和法制建设的视角, 刘明明等^[5]发现我国农业碳中和面临着关键领域缺乏法制支持, 监督和激励机制尚未完善, 研究建议健全相关法律制度, 完善农业多元的激励制度。王春荣等^[6]从供给侧结构改革的角度对安徽省面临的高产量、高库存、高进口相关问题进行分析, 何可等^[7]通过构建起农业绿色水平指标体系, 使用熵值法和泰尔指数对绿色农业发展进行测算。综上, 可以发现学界对低碳农业的研究主要集中在低碳农业的法制建设、低碳农业碳排放源的计算和地区间绿色农业发展的现状, 较少学者从低碳减排视角下对农业生态效率进行评价。

通过对现有研究低碳农业效率的相关学者^[8-10]汇总和梳理分析, 发现在研究农业碳排放时, 并未同时考虑到农业面源污染对农业效率造成的影响。低碳农业是协调好农业发展中经济效益和生态效益之间的关系, 使农业走向可持续化发展的道路。本研究通过构建低碳减排农业效率的指标体系, 将农业碳排放和农业面源污染放入到非期望产出中, 使用非期望产出的超效率 SBM 模型对安徽省 2010—2019 年农业生态效率进行测算, 兼顾农业的经济效益和生态效益, 在考虑农业效率的基础上引入低碳减排的理念, 将地区农业碳排放占比和农业

生态效率进行对比, 较为全面地分析了安徽省低碳农业发展水平。

1 研究方法

1.1 非期望产出的超效率 DEA 模型

传统的数据包络模型只能对决策单元的有效性进行区分, 不能对有效的决策单元进行进一步的区分。非期望产出的超效率 DEA 模型由 Tone^[11]在原有非期望产出的 SBM 模型和超效率 DEA 模型的基础上改造而来, 使其同时具有衡量超效率和非期望产出的能力, 可以对有效决策单元进行更进一步的区分。非期望产出的超效率 DEA 模型如式(1)(2)所示。

$$\min \rho = \frac{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{x}/x_{ik}}{\frac{1}{r_1 + r_2} \left(\sum_{s=1}^{r_1} \bar{y}^d/y_{sk}^d + \sum_{q=1}^{r_2} \bar{y}^u/y_{qk}^u \right)} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \sum_{j=1, j \neq k}^n x_{ij} \lambda_j - \bar{x} \leq 0; \sum_{j=1, j \neq k}^n y_{sj}^d \lambda_j - \bar{y}^d \geq 0 \\ \sum_{j=1, j \neq k}^n y_{qj}^u \lambda_j - \bar{y}^u \leq 0; \bar{x} \geq x_k \\ \bar{y}^d \leq y_k^d; \bar{y}^u \geq y_k^u \\ \lambda_j \geq 0, i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n; s=1, 2, \dots, r_1; \\ q=1, 2, \dots, r_2 \end{cases} \quad (2)$$

式中: n 为生产单元(本文以安徽省 16 个地级市作为生产单元), 每个生产单元由投入要素 P , 期望产出 Q , 非期望产出 M 这 3 部分构成; p, q, m 分别代表投入要素、期望产出和非期望产出的个数; S_p^x 和 S_m^u 分别代表投入和非期望产出的冗余; S_q^y 代表期望产出的不足; x_{p0}, y_{q0} 和 u_{m0} 分别代表要素投入量、期望产出量和非期望产出量; 投入冗余 $IE_x = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P S_p^x/x_{p0}$ 表

示投入要素的可缩减比例; 期望产出不足 $IE_y = \frac{1}{Q+M}$

$\sum_{q=1}^Q S_q^y/y_{q0}$ 表示期望产出的可扩张比例; 非期望产出

冗余 $IE_u = \frac{1}{Q+M} \sum_{m=1}^M S_m^u/u_{m0}$ 表示非期望产出的可缩减

比例; $\min \rho$ 代表要计算农业效率的最小值, 取值范围为 0~1。当 $\rho=1$ 时, 代表生产单元完全有效, 不存在投入和非期望产出过剩和期望产出的不足; 当 $\rho < 1$ 时, 表示生产单元处于无效区间, 需要对投入要素和产出要素进行进一步调整, 以优化农业生态效率。

通过使用非期望产出的 SBM 超效率 DEA 模

型,可以在测算农业效率的同时减少农业碳排放和面源污染,较为全面地衡量安徽省农业生态效率。

1.2 Malmquist-Luenberger 指数

CHUNG 等^[12]在传统 Malmquist 指数上进行修正,使其可以在考虑投入产出的同时减少非期望产出的数量,简称 ML 指数。

ML 指数可以分解为技术进步(Tech)和技术效率(Effch)2部分。ML 指数>1时,代表与上一期相比,本期农业生态效率有所改善;ML 指数<1时,代表与上一期相比,本期农业生态效率有所恶化。ML 指数=技术进步(Tech)×技术效率(Effch)=纯技术效率(Pech)×规模技术效率(Sech)×技术进步(Tech)。ML 指数可以从动态角度对农业生态效率进行测算,用来反映 2010—2019 年安徽省农业生态效率的变动情况。将 ML 指数分解成技术效率和技术进步 2 部分,可以进一步探讨技术进步和技术效率对安徽省农业生态效率发展的贡献程度。

1.3 Tobit 模型

在计算出安徽省农业生态效率之后,为了进一步探讨哪些因素对农业生态效率产生影响,使用 Tobit 模型进行探究。由于 DEA 模型计算出来的效率值取值范围为 0~1,采用传统的回归模型会产生一定的误差。Tobit 回归是以被解释变量为约束条件,解释变量为观察值,这样可以减小测量误差。所以 DEA 模型常与 Tobit 回归一起进行分析。

2 指标体系构建

参照张荧楠等^[13]构建的指标体系,将农业生态效率指标体系划分为投入指标和产出指标,产出指标包括期望产出指标和非期望产出指标(表 1)。期望产出为农林牧渔总产值(以 2010 年为基期进行价格平减),非期望产出包括农业碳排放和农业面源污染。农业碳排放类型、碳排放系数和各污染系数的估算参考了张荧楠等^[13]的研究,其中农业碳排放主要来源于化肥、农药、农膜、柴油、农业灌溉和农业耕作 6 个方面,其碳排放分别为:化肥 0.896 kg/kg、农药 4.934 kg/kg、农膜 5.18 kg/kg、柴油 0.593 kg/kg、农业灌溉 20.476 kg/hm²、农业耕作 312.6 kg/hm²。农业面源污染主要来源于残余的化肥、农药和农膜,通过使用熵值法把农业面源污染处理成综合污染指数,具体估算系数如化肥污染为化肥总使用的 0.65;农药污染为农药总使用的 0.5;地膜的残余量为地膜总使用的 0.103。这里对缺失值的处理主要采用了均值替代法^[14]。

表 1 投入产出指标

指标分类	指标变量	变量说明
投入指标	机械动力	农业机械总动力/万 kW
	水利	有效灌溉面积/khm ²
	化肥	农药化肥施用量/t
	土地	农业播种面积/khm ²
	劳动力	乡村从业人员/万人
期望产出指标	农业总产值	农林牧渔总产值/万元
非期望产出指标	农业碳排放量	碳排放综合(化肥、农药、农膜、柴油、农业耕作和农业灌溉)/t
	农业面源污染	化肥、农药和农膜污染处理后的综合污染指数(熵值法)

3 实证分析

3.1 农业生态效率的测定

数据包络模型要求指标同向递增,通过 Pearson 相关系数可以对其进行检验,检验结果如表 2 所示。所有投入产出指标在置信度 0.01 区间内同向性显著,达到 DEA 对指标同向性的要求。使用 Maxdea Pro 8.8 和 MATLAB 软件通过规模报酬可变的 SBM 超效率 DEA 模型对安徽省 2010—2019 年农业生态效率进行测算,结果如表 3 所示。

表 2 指标同向性检测

	土地	机械动力	水利	化肥	劳动力
农林牧渔总产值	0.925 **	0.803 **	0.904 **	0.880 **	0.817 **
碳排放	0.979 **	0.899 **	0.899 **	0.972 **	0.885 **
农业污染	0.904 **	0.821 **	0.804 **	0.892 **	0.829 **

注:“**”表示在 0.01 级别(双尾),相关性显著。

从表 3 可知,安徽各市在农业生态效率上呈较为稳定的增长态势,地区之间发展差异较大。其中合肥、阜阳、六安、马鞍山和芜湖在 2019 年农业生态效率达到了有效值 1,而淮北、亳州、淮南和滁州在农业生态效率上提高缓慢。毗邻江浙,这为芜湖、马鞍山、黄山等皖南城市引进先进的农业技术带来便利,在农业生态效率上长期处于有效地位。皖北地区如阜阳,地处平原,这为农业机械化、规模化发展创造了条件。规模化耕作可以避免个体农户重复使用化肥对环境造成污染,优化农业资源配置,提高农业生态效率。进一步探究安徽省农业生态效率空间演变趋势时,发现安徽省农业生态效率整体呈现增长态势,农业生态发展中心不断由皖南向安徽北部移动。2010 年农业生态有效区主要集中在皖南一带,到 2015 年合肥正式加入农业生态发展行列,2019 年农业生态发展区域扩展到六安和阜阳。

表 3 2010—2019 年安徽省地级市非期望超效率 DEA 值

地区	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
合肥	0.729	0.902	1.005	1.004	1.000	1.002	1.004	1.002	0.929	1.041
淮北	0.289	0.299	0.321	0.347	0.354	0.356	0.353	0.401	0.372	0.421
亳州	0.325	0.403	0.418	0.418	0.419	0.411	1.012	0.474	0.436	0.520
宿州	0.424	0.524	0.549	0.565	0.597	0.615	0.606	0.622	0.609	0.718
蚌埠	0.364	0.434	0.461	0.489	0.508	0.533	0.587	0.597	0.588	0.717
阜阳	0.496	0.589	0.585	0.625	0.661	0.676	0.766	1.002	0.816	1.042
淮南	0.334	0.399	0.407	0.413	0.408	0.319	0.353	0.363	0.333	0.363
滁州	0.399	0.483	0.512	0.526	0.538	0.541	0.575	0.572	0.560	0.592
六安	0.380	0.445	0.458	0.425	0.451	0.542	0.671	0.747	0.751	1.043
马鞍山	0.522	0.560	0.581	0.611	0.624	0.644	0.689	0.714	0.741	1.000
芜湖	0.646	0.716	0.762	0.825	0.864	0.884	1.025	0.872	0.799	1.008
宣城	0.518	0.594	0.621	0.599	0.650	0.669	0.759	0.805	0.851	1.043
铜陵	1.079	1.019	1.000	1.000	1.021	0.566	0.669	0.681	0.692	0.775
池州	0.493	0.596	0.632	0.659	0.698	0.753	0.769	0.820	0.844	1.031
安庆	0.636	1.004	1.006	1.003	1.010	1.003	1.003	1.000	0.849	1.009
黄山	0.835	1.009	1.011	1.001	1.000	1.004	1.005	1.000	0.908	1.033
均值	0.529	0.624	0.646	0.657	0.675	0.657	0.740	0.730	0.692	0.835

农业碳排放量和农业生态效率分别与农业发展的规模和质量相关,安徽省农业实现低碳化要求农业碳排放占比较高的地区有较高的农业生态效率,这样才能从整体上降低农业碳排放水平,提高农业发展质量。将安徽各市农业碳排放占比和农业生态效率进行对比,发现皖北地区、皖中地区和皖南地区农业碳排放占比分别为 0.51、0.34、0.15,与之对应的农业生态效率分别为 0.51、0.76、0.8(图 1)。研究发现皖北地区农业碳排放占比最大但农业生态效率最低,皖南地区农业碳排放占比最小但农业生态效率却最高,这说明农业生态效率与农业碳排放之间发展不均衡。具体来看,皖北地区农业碳排放较高的城市如阜阳、宿州和亳州农业生态效率分别为 0.73、0.58 和 0.48,低于皖中地区平均农业生态效率 0.76。皖中地区如合肥、安庆农业碳排放占比分别位列全省第 5 和第 8,农业生态效率全省排名分别为第 2 和第 3,说明在优化农业技术配置,提高农业效率方面合肥和安庆处于前列。皖南地区农业碳排放整体占比较小,农业生态效率整体发展水平高,其中黄山和铜陵农业碳排放占比分别位列全省第 15 和第 16,农业生态效率全省排名分别为第 1 和第 4。

残余的化肥,农药和薄膜会对环境带来严重影响,破坏当地生态平衡。为了对安徽省面源污染现状有一个客观的了解,通过面源污染雷达图加以体现。如图 2 可得,安徽省农业面源污染综合指数在

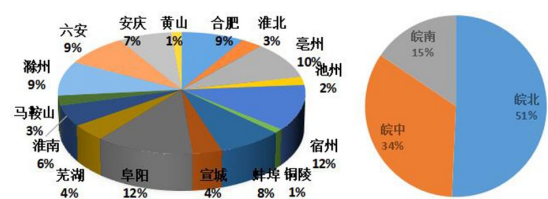


图 1 安徽各市农业碳排放占比

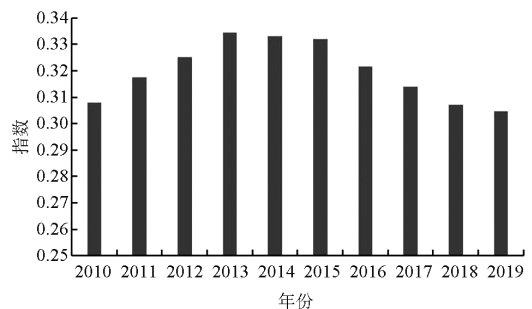


图 2 安徽农业面源污染综合指数

2013 年达到顶峰,一定程度上是过度使用农药、化肥和薄膜导致的,在 2015 年之后农业污染指数大幅度下降说明安徽省大力推广绿色农业发展模式,减少了农业污染物的排放。

3.2 Malmquist-Luenberger 指数的动态效率分析

用 ML 指数对安徽省农业生态效率进行动态测算,并将其分解为技术效率和技术进步,结果如表 4 所示。研究发现,除 2016—2017 年、2017—2018 年之外,其他年份 ML 指数均大于 1,这表明安徽省农业生态效率有着不同程度的提高。农业生态效率

的变动受到技术进步和技术效率的双重影响,其中技术进步影响程度较大。进一步对安徽省 16 市农业生态效率进行动态分析,结果如表 5 所示。从表 5 可以看出,除淮南和铜陵之外,其他 ML 指数均大于 1,说明安徽省整体农业生态效率呈现增长态势。从技术效率角度分析,淮南、滁州、芜湖、铜陵、安庆和黄山技术效率值小于 1,说明其在农业生态上未能实现技术的有效配置。从技术进步的角度看,铜陵的技术进步值小于 1,说明在农业生态发展中铜陵市存在一定的技术退步。从规模技术效率角度看,皖南城市如马鞍山、铜陵、池州和黄山未达到有效值 1,这说明扩大农业发展规模有利于该市农业生态效率的提高。

表 4 2010—2019 年安徽省农业生态效率指数变化及其分解

时间	技术效率	技术进步	纯技术效率	规模技术效率	ML 指数
2010—2011	1.013	1.152	1.054	0.966	1.216
2011—2012	1.012	1.062	1.014	1.004	1.076
2012—2013	1.013	1.009	1.031	0.997	1.031
2013—2014	1.006	1.076	0.991	1.029	1.054
2014—2015	0.972	0.992	1.059	0.945	1.042
2015—2016	1.113	1.120	1.064	1.037	1.184
2016—2017	1.019	1.005	1.004	1.035	0.989
2017—2018	0.971	0.996	0.999	0.974	0.994
2018—2019	1.011	1.129	1.002	1.010	1.131
均值	1.015	1.060	1.024	1.000	1.080

表 5 2010—2019 年安徽各市农业生态效率指数变化及分解

地级市	技术效率	技术进步	纯技术效率	规模技术效率	ML 指数
合肥	1.025	1.019	1.002	1.023	1.021
淮北	1.007	1.051	1.007	0.999	1.056
亳州	1.108	1.057	1.073	1.004	1.137
宿州	1.014	1.124	1.031	1.003	1.158
蚌埠	1.027	1.155	1.102	0.986	1.205
阜阳	1.029	1.065	1.005	1.024	1.070
淮南	0.981	1.006	0.980	1.003	0.995
滁州	0.990	1.141	0.948	1.067	1.073
六安	1.043	1.080	1.097	0.978	1.169
马鞍山	1.006	1.073	1.026	0.984	1.095
芜湖	0.997	1.037	0.996	1.000	1.034
宣城	1.028	1.084	1.009	1.030	1.089
铜陵	0.964	0.971	1.034	0.940	0.999
池州	1.043	1.061	1.050	0.999	1.115
安庆	0.975	1.027	0.997	0.977	1.024
黄山	0.996	1.012	1.029	0.977	1.036
均值	1.015	1.060	1.024	1.000	1.080

3.3 农业生态效率影响因素分析

通过使用 Tobit 模型对影响农业生态效率的因素进行分析,具体指标如表 6 所示,分析结果如表 7 所示。为了减小自变量的波动,对自变量 $X_1 \sim X_6$ 取自然对数; C 为常数项。

表 6 相关指标选取

指标	单位
单位机械投入(X_1)	kw/hm ²
单位人口投入(X_2)	人/hm ²
农村居民收入(X_3)	元
人均 GDP(X_4)	元
农村用电量(X_5)	万 kW
第二产业占生产总值的比重(X_6)	%

表 7 农业生态效率影响因素 Tobit 回归结果

变量	相关系数	标准差	Z 统计量	概率
C	-0.596	1.332	-0.450	0.655
X_1	-0.351	0.059	-5.950	0.000
X_2	0.358	0.073	4.910	0.000
X_3	-0.203	0.096	-2.110	0.037
X_4	0.524	0.075	6.940	0.000
X_5	0.063	0.031	2.050	0.042
X_6	-0.602	0.128	-4.700	0.000

研究发现 X_1 、 X_2 、 X_4 、 X_6 在 1% 的水平下通过了显著性检验, X_3 和 X_5 在 5% 的水平下通过了显著性检验。单位机械投入(X_1)、农村居民收入(X_3)、第二产业占生产总值的比重(X_6)对农业生态效率起到负向调节,说明工业化发展对农业生态效率起到抑制作用。收入的提高会导致农民在前期大量购买农药化肥用来提高农业产量,对环境造成一定的污染。单位人口投入(X_2)、人均 GDP(X_4)和农村用电量(X_5)对安徽农业生态效率起到显著的促进作用。

为了进一步探讨农业生态效率是否和地理位置有关,采用空间自相关分析方法分别对安徽省农业生态效率、农业碳排放量和农业面源进行全局莫兰指数(MI)分析,结果如表 8 所示。

表 8 空间莫兰指数(MI)

	MI	MI 的期望值	平均值	标准差	Z 值	P 值
综合效率	-0.276	-0.067	-0.071	0.154	-1.331	0.080
农业碳排放	-0.366	-0.067	-0.060	0.162	-1.894	0.008
面源污染	-0.353	-0.067	-0.065	0.154	-1.951	0.005

安徽省农业生态效率、农业碳排放和面源污染在空间上虽然通过了显著性 P 检验(表8),但并未发现有明显的聚类关系。说明安徽省的农业生态效率并未在空间上形成集聚的现象。

4 结论与建议

4.1 研究结论

基于安徽省2010—2019年10年的面板数据,运用非期望产出的SBM超效率DEA模型以及Malamquist-Luenberger指数,分别从静态和动态角度对安徽省农业生态效率进行分析,并使用Tobit模型对相关影响因素进行探究,最后,通过莫兰自相关指数对农业生态效率全局自相关进行判定,得出以下结论。

1)安徽省农业生态效率总体呈增长态势,从2010年的0.529增长至2019年的0.835,增长幅度高达57.8%。在空间分布格局上农业生态效率皖南地区>皖中地区>皖北地区。皖北、皖中、皖南地区农业生态效率分别由2010年的0.37、0.54、0.68增长至2019年的0.63、0.92、0.98,增长幅度分别为69%、72%和43%,皖中地区和皖北地区农业生态效率有较高幅度的提高。安徽省农业生态效率与碳排放占比发展不均衡,农业碳排放占比最高的地区农业生态效率最低。

2)除2016—2018年之外,安徽农业生态效率ML指数均大于1,说明在不同年份上安徽农业生态效率有着不同程度的提高。全省技术效率和技术进步共同导致农业生态效率的变动,其中技术进步的影响程度更大。

3)安徽省农业面源污染变化呈倒U型,在2010—2014年农业污染面源指数呈增长态势,在2014年达到较高水平,之后农业污染面源污染指数呈下降趋势。这表明安徽为促进农业发展大规模投入和使用了农药、化肥和薄膜,对环境造成一定

的污染;从2015年开始,安徽省大力推动低碳农业的发展,使得农业面源污染呈现出逐年下降的趋势。

4)单位机械投入、农民收入和工业化发展对农业生态效率有显著的抑制作用,单位人口投入、人均GDP和农村用电量对农业生态效率有显著的促进作用。

5)安徽省生态农业效率与碳排放、农业面源污染在空间上并未形成较为显著的集聚现象,在一定程度上表明其与地理位置关系不大。

4.2 政策建议

本研究据此给出以下建议。

1)充分发挥农民在农业生态发展中的主体地位。农民是农业耕作的主体,是实现农业生产方式走向生态化的重要推动力。政府推动农业走向生态化就必须让农民充分了解生态农业的优点,改变农民传统的耕作理念。建立适当的激励和补偿机制能有效调动农民发展生态农业的积极性,逐步形成一种低碳生活方式。

2)加强地区间合作交流,引进先进低碳农业技术。皖中和皖北地区农业碳排放占安徽省总体的85%,但农业生态效率却落后于皖南。这说明皖北皖中地区农业技术与皖南相比有一定的差距。推动皖中和皖北地区向皖南地区学习生态农业经验,加强地区间交流合作,能有效提高农业生态效率,减少农业碳排放。

3)优化产业结构,促进工业和农业协调发展。农业为工业发展提供重要的原材料和劳动力,工业则为农业发展提供耕作机械,化肥和农药。促进农业和工业协调发展不仅可以优化当地产业结构,还能为建立更高质量的工业发展模式和促进农业低碳绿色发展打下坚实的基础。这一方面要求工业优化资源配置,建立更加生态化的发展模式,另一方面要求工业反哺农业,提高农产品的竞争力。

参考文献:

- [1] 张辉.新中国成立70年来中国产业结构演变趋势研究[J].新视野,2019(4):5-14.
- [2] 鲍健强,苗阳,陈锋.低碳经济:人类经济发展方式的新变革[J].中国工业经济,2008(4):153-160.
- [3] DAVID N.Low carbon agriculture: objectives and policy pathways[J].Environmental Development,2012,1(1):25-39.
- [4] 李孝忠,李佳辰,李东.低碳经济视域下黑龙江省农业现代化水平综合评价[J].农业经济与管理,2020(6):33-42.
- [5] 刘明明,雷锦锋.我国农业实现碳中和的法制保障研究[J].广西社会科学,2021(9):30-38.
- [6] 王春荣,吴磊.基于供给侧改革的安徽省低碳农业发展思路[J].山西能源学院学报,2021,34(4):57-59.
- [7] 何可,李凡略,张俊飏,等.长江经济带农业绿色发展水平及区域差异分析[J].华中农业大学学报,2021,40(3):43-51.
- [8] 曹俊文,曾康.低碳视角下长江经济带农业生态效率及影响因素研究[J].生态经济,2019,35(8):115-119+127
- [9] 吉雪强,尚杰.基于三阶段SBM模型的中国农业生态效率研究[J].中国农业资源与区划,2021,42(7):210-217.
- [10] 梁耀文,王宝海.环渤海地区农业生态效率时空演化及影响因素研究[J].生态经济,2021,37(6):109-116.

- [11] TONE K. Dealing with undesirable outputs in DEA: a Slacks-Based Measure (SBM) approach [J]. National Graduate Institute for Policy Studies, 2003(6): 44-45.
- [12] CHUNG Y H, FÄRE R, GROSSKOPF S. Productivity and undesirable outputs: A directional distance function approach [J]. Microeconomics, 1997, 51(3): 229-240.
- [13] 张荣楠, 张兰婷, 韩立民. 农业生态效率评价及提升路径研究——基于山东省 17 个地级市的实证分析 [J]. 生态经济, 2021, 37(4): 118-124+131.
- [14] 宋亮, 万建洲. 缺失数据插补方法的比较研究 [J]. 统计与决策, 2020, 36(18): 10-14.

(上接第 15 页)

- [5] 李兰兰, 於冉, 於忠祥, 等. 基于 STIRPAT 模型的长江经济带农业碳排放时空特征及影响因素分析 [J]. 安徽农业大学学报(社会科学版), 2020, 29(5): 32-37+132.
- [6] 田云, 张俊飏, 李波. 中国农业碳排放研究: 测算、时空比较及脱钩效应 [J]. 资源科学, 2012, 34(11): 2097-2105.
- [7] 高标, 房骄, 卢晓玲, 等. 区域农业碳排放与经济增长演进关系及其减排潜力研究 [J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(1): 13-18.
- [8] HOFFERT M I. Advanced technology paths to global climate stability: energy for a green house planet [J]. Science, 2002(5595): 981-987.
- [9] 黄山美. 发展低碳农业的碳市场机制初探 [J]. 中国农学通报, 2011, 27(8): 395-401.
- [10] 伍芬琳, 李琳, 张海林, 等. 保护性耕作对农田生态系统净碳释放量的影响 [J]. 生态学杂志, 2007(12): 2035-2039.
- [11] 段华平, 张悦, 赵建波, 等. 中国农田生态系统的碳足迹分析 [J]. 水土保持学报, 2011, 25(1): 203-208.
- [12] 胡向东, 王济民. 中国畜禽温室气体排放量估算 [J]. 农业工程学报, 2010, 26(10): 247-252.
- [13] 闵继胜, 胡浩. 中国农业生产温室气体排放量的测算 [J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(7): 21-27.
- [14] 张文婧, 廖进中, 廖任飞. 关于“单位 GDP 碳排放”概念的探析 [J]. 湖南大学学报(社会科学版), 2010, 24(5): 74-76.
- [15] EHRLISH P R, HOLDREN J P. Impact of population growth [J]. Science, 1971(171): 1212-1217.
- [16] DIETAT, ROSAEA. Effects of population and affluence on CO₂ emissions [C] // Proceedings of the National Academy of Sciences, USA. Washington, D.C.: National Academy of Sciences, 1997: 175-179.
- [17] 戴小文, 何艳秋, 钟秋波. 中国农业能源消耗碳排放变化驱动因素及其贡献研究——基于 Kaya 恒等扩展与 LMDI 指数分解方法 [J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(11): 1445-1454.