

农业碳排放效率时空分异及低碳农业发展研究

——以安徽省 16 市为例

朱道才^{1,2}, 梁俊太¹

(1. 安徽财经大学 经济学院, 安徽 蚌埠 233030; 2. 安徽师范大学 地理与旅游学院, 安徽 芜湖 241000)

摘要: 农业是二氧化碳等温室气体的重要排放来源, 发展低碳农业、降低农业碳排放是实现中国碳达峰、碳中和目标的重要途径, 因此农业碳排放效率研究具有重要的实践价值和战略意义。研究选取安徽省 16 市 2011—2020 年的面板数据, 利用 SBM-DEA 和 Malmquist 模型, 对安徽省各市农业碳排放效率进行测算, 并采用 σ 收敛测算变异系数对安徽省农业碳排放效率变动趋势进行分析。测算结果表明: 安徽省总体农业碳排放量呈现先增后减的倒 U 型趋势, 自 2016 年后低碳农业发展水平显著提升; 安徽省农业碳排放效率整体水平较高, 但区域发展不平衡, 地区发展差异大, 且各市农业碳排放效率水平差异逐年增大, 呈离散态势。未来应进一步提高政策支持力度、发展低碳农业技术、加强农业碳减排宣教和搭建区域合作平台, 发展低碳农业, 提高碳排放效率。

关键词: 碳排放效率; 时空分异; 低碳农业

中图分类号: F061.5

文献标识码: A

文章编号: 1008-7699(2023)04-0063-12

一、引言

2015 年 11 月于法国巴黎召开的第 21 届联合国气候变化大会上, 与会的近两百个国家及组织共同审议并缔结《巴黎协定》, 在全球温室气体排放等气候问题方面达成一致。2021 年 3 月, 习近平总书记在中央财经委员会第九次会议上强调, 国家生态文明整体布局需将“双碳”目标囊括在内, 发扬艰苦奋斗精神, 如期实现 2030 年前碳达峰、2060 年前碳中和的“双碳”目标。在中国碳排放形势严峻、绿色可持续发展攻坚克难的情势下, 虽然工业、服务业是碳排放的主要来源, 但近年来农业的高速发展也在一定程度上为实现“双碳”目标增加了负担^[1]。不同于工业生产, 农业生产同时具备碳源与碳汇双重属性, 且受气候影响较大, 农业碳减排是控制碳排放的关键步骤之一。因此, 研究农业碳排放强度的区域差异、时空格局与效率测算, 对制定合理的农业减排政策具有理论和实践两方面的重大意义^[2]。

农业碳排放问题已经引起世界关注, 在生态农业、循环农业等模式产生发展的基础上, 2016 年国际上出现一种新型农业模式, 强调务农环境的可持续性、高产、低污染, 进而实现农业生态系统的自我完善,^[3] 国外学者将该模式定义为以低碳经济为基础、旨在减少农业碳排放而逐渐形成的农业发展新模式。即在进行农业生产过程中, 栽种作物经光合作用或其他生物作用固定大气中的碳进而储存为碳汇,^[4] 再通过化肥、机械等农业生产资料的消耗, 将各类温室气体排放出来的生态型农业^[5]。不同国家根据本国具体情况已制定不同类型的农业减碳战略^[6]。早在 2007 年, 中国就提出了“两型”农业发展方式, 注重低碳生态化农业发展, 但近年来中国农业高速发展的同时, 农业碳排放量持续走高。研究表明, 农业碳排放量持续上升和生态环境破坏加剧的原因主要为灌溉水源不洁, 秸秆焚烧和化肥施用, 过度使用农药、农膜

收稿日期: 2022-06-10

基金项目: 安徽省哲学社会科学规划重大项目 (AHSKZD2019D03), 安徽财经大学研究生科研创新基金项目 (ACYC2020225)

作者简介: 朱道才(1966—), 男, 安徽和县人, 教授、博士生导师, 理学博士。

生产资料等。^[7]据联合国粮农组织统计,农业及有关产业碳排放已达到人类生产生活所产生碳排放总量的25%,因此,发展低碳农业、降低农业生产碳排放已成为中国实现联合国气候变化大会上减排承诺的必然之选^[8]。

国外对低碳农业的研究较早,国内学者对农业碳减排、农业实现“双碳”目标的研究大多集中于2015年后,研究方向包含低碳农业效率测算及时空演绎、中国低碳农业发展的现状及意义和低碳农业发展路径三大主要方面。

在低碳农业经济效率与生态效率测算方面,部分学者利用SBM模型对低碳农业技术进步率和环境效率进行了测算,^[9]为保证科学性可利用熵值法,从人口、经济、社会、生态等层面构建多方位指标,^[10]进一步结合Malmquist—Luenberger模型测算低碳农业全要素生产率。^[11]与此同时,部分学者通过引入RAM模型来构造最优边界,将农产品、碳产品归入生产效率分析的框架,从而能够测算不同模式低碳农业联合生产的效率水平。^[12]在实施效果方面,借助普通最小二乘法、固定效应回归、空间双重差分等模型,对农业能源碳排放强度等产生的影响进行分析^[13]。

学界对中国低碳农业发展的现状以及发展意义也进行了大量研究与阐述。国内学者普遍认为,中国是典型的农业大国,农业生产活动导致的碳排放一直受到全世界广泛关注。^[14]同其他国家相似,中国农业碳排放持续增长也源于农业经营规模的扩大,然而对于以中国为代表的发展中国家而言,以牺牲农业发展换取农业碳减排的做法不现实也不可取,必须切实转变农业生产方式,进而达到降低碳排放的目的^[15]。而当今中国发展低碳农业仍存在短板,如农民低碳农业胜任素质整体偏低且个体差异明显,农民进行低碳农业生产行为的程度不高等,^[16]虽然现阶段低碳农业技术已在全国大面积推广,但落实不到位、农户对低碳技术认知及掌握程度不高、技术人员短缺等问题依旧存在^[17]。

近年来,学界对如何发展低碳农业、转变农业生产方式等现实路径进行了深入探索。一方面,产业优化升级是农业低碳化发展的重要支撑,有研究表明提高农业技术效率以及推动技术进步能够明显抑制农业碳排放,^[18]其中,规模效率提高是影响技术效率发挥减排作用的主要原因;^[19]同时,技术溢出和规模效应发挥减排作用与产业集聚程度呈正向相关关系;^[20]虽然农业减碳效应区域差异巨大,^[21]但农业产业集聚能够大幅度提高农业减排效率,并对周边地区产生正向带动作用^[22]。在农业产业集聚程度处于相对较低水平时,产业越聚集,农业生产碳排放量越大,但当聚集水平逐渐提高到较高水平后,碳排放水平则会逐渐降低。^[23]另一方面,针对生产过程中的农业耕地、土壤碳汇的研究也呈增长态势,^[24,25]在充分考量耕地碳汇功能的基础上,将“绿色”“低碳”发展理念统一纳入农业产业发展评价框架中是实现农业碳减排的重要途径,^[26]土壤碳汇虽然具有巨大发展潜力,^[27]但相关理论研究与技术研发力度不足、难以预估发展成本、缺乏高层次管理人员等问题也亟待解决^[28,29]。黄贤金等在基于IPAT模型预测人为碳排放的变化趋势前提下,对比分析了我国在2060年实现碳中和的可行性以及不同土地利用方式承载的碳汇分布特征,为优化面向碳中和的国土空间分布格局提供决策参考。^[30]部分学者提出,在进一步发展低碳农业的前提下,统筹建立跨区域的农业低碳绿色合作机制、注重农业绿色低碳技术研发、探索因地制宜的农业碳减排机制等机制体制创新显得尤为重要,而引导农业发展方式转变、广泛应用节能减碳新技术新手段、建立健全低碳农业从业农民补偿机制等举措需同时并行。

综上所述,国内外关于低碳农业的研究虽然较为丰富,但在低碳农业效率测度方面的深度挖掘相对缺乏,且大多以全国范围内各省的低碳农业发展水平为主要研究尺度。且从中观层面来看,目前以一省为例测度省域内各地级市低碳农业效率水平差异的研究较少,而按照中央统一决策部署,以各省为主体制定的不同低碳农业发展政策评价具有极为重要的现实意义,亟待补充该方面的相关研究。同时,现有对于低碳农业产业发展路径的探寻多集中于宏观方面,以政策引导、规则制定为主流,具体到经营主体乃至农户的相关生产建议及路径则比较少。基于此,本文以2011—2020年安徽省16市的面板数据为样本,综合国内外研究确定碳排放系数后计算各市农业碳排放量,利用DEA效率评价方法中的SBM-DEA

模型和 Malmquist 模型对低碳农业发展效率进行测算,进而分析市域差距,同时用 σ 收敛测算其变动趋势,为安徽省科学合理制定相关政策提供依据。

二、研究对象与数据来源

(一) 研究对象

安徽省地处长江淮河流域,季风明显、四季分明,适宜多种农作物种植,全省获批多个国家级现代农业产业园、农业产业强镇。安徽省是农业大省,保障粮食安全和优质绿色农产品有效供给的责任重大,要实现农业农村“双碳”目标较为困难。习近平总书记指出:“加快把传统农业改造成为有市场竞争力、能带动农民致富、可持续发展的高效生态农业”,这为安徽发展绿色低碳农业指明了方向。近年来,安徽省以习近平生态文明思想为指导,以部省共建推进安徽现代生态农业产业化建设为契机,科学构建现代农业产业体系、生产体系、经营体系,积极打造品牌化运营的产品生态圈、联合体组织的企业生态圈、复合式循环的产业生态圈,构建“三位一体”的现代生态农业产业化发展模式。境内阜南县作为农牧大县,同时也是国家级农业(林业)循环经济试点县,成功探索出以阜南县为代表的有机废弃物利用“三全”模式,加快推进能源开发清洁替代和能源消费电能替代,促进了生态产品价值实现,实现了能源体系的低碳转型,并成功入选 2021 年 4 月 16 日中法德领导人气候视频峰会“习近平时间”三大典型案例之一。因此,以安徽省为例,研究农业碳排放效率,探索绿色低碳农业发展道路具有重要的现实意义和参考价值。

(二) 研究方法

1. SBM 模型与 Malmquist 模型

DEA 作为已得到广泛应用的数据包络分析方法,是在相对效率概念理论的基础上进行演绎发展进而逐渐生成的一种系统分析方法,主要应用于测度各决策单位(DMU)间的相对效率并对其做出评价,得出每个决策单位综合绩效的数量从而精确指出部分决策单位非 DEA 有效的内在原因和非有效程度,进一步对各决策单位的投入规模恰当与否做出判断,同时还能给各决策单位调整投入规模及程度给予方向指引。

因测算农业碳排放效率产出指标包含非期望产出,故基础 DEA 模型如 CCR 和 BCC 等不再适用,因此,本文选择 Tone 于 2003 年提出的超效率 SBM-DEA 模型测度农业碳排放效率,该模型具有包含非期望产出指标、无须统一计量单位等优势,具体设定如下:假定共有 n 个 DMU,每个 DMU 均包含投入和产出两种要素,其中产出包括期望产出和非期望产出,分别表示为向量 $x \in \mathbf{I}^m, y^i \in \mathbf{I}^{T1}, y^j \in \mathbf{I}^{T2}$,令矩阵 $\mathbf{X} = [x_1, x_2, \dots, x_n] \in \mathbf{I}^{m \times n}, y^i = [y_1^i, y_1^{i+1}, \dots, y_1^n] \in \mathbf{I}^{T1 \times n}, y^j = [y_1^j, y_1^{j+1}, \dots, y_1^n] \in \mathbf{I}^{T2 \times n}$,同时假定 $x > 0, y^i > 0, y^j > 0$,则可将所有生产可能性集合表示为 $P = \{(x, y^i, y^j) | x \geq \mathbf{X}\delta, y^i \leq y^i\delta, y^j \geq y^j\delta, \delta \geq 0\}$,其中 $\delta \in \mathbf{I}^n$,则 SBM 模型所评估各决策单元 $DMU(x_0, y_0^i, y_0^j)$ 的效率值

$$\rho^* = \min \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{t=1}^m \frac{T_t^-}{x_{i0}}}{1 + \frac{1}{T1 + T2} \left(\sum_{r=1}^{T1} \frac{T_r^i}{y_{r0}^i} + \sum_{r=1}^{T2} \frac{T_r^j}{y_{r0}^j} \right)}, \quad (1)$$

$$\begin{aligned} s. t. \quad & x_0 = \mathbf{X}\delta + T^- \\ & y_0^i = y^i\delta - T^- \\ & y_0^j = y^j\delta + T^- \\ & T^- \geq 0, T^i \geq 0, T^j \geq 0, \delta \geq 0, \forall t, r \end{aligned} \quad (2)$$

其中,向量 $T^- \in \mathbf{I}^m$ 表示投入冗余, $T^i \in \mathbf{I}^{T2}$ 表示非期望产出的冗余, $T^j \in \mathbf{I}^{T1}$ 表示期望产出的不足,投入、期望产出和非期望产出的变量个数分别表示为 $m, T1, T2$ 。上述公式未加约束条件,则假定为规模报酬不变。效率值 ρ^* 取值范围为 $(0, 1]$,当 $\rho^* = 1$ 时, $T^{-*} = 0, T^{i*} = 0, T^{j*} = 0$,则该 DMU 有效率,当

$\rho^* < 1$ 时,则该 DMU 无效率,仍需进一步改善。

Malmquist 指数由 Malmquist 于 1953 年提出,之后经费尔等人进一步延伸发展。该指数模型实际上是一种利用距离函数来描述多个输入、输出变量的技术方法。Malmquist 指数记为 $M(x_{t+1}, y_{t+1}, x_t, y_t)$,即通过数理方法构造 t 期到 $t+1$ 期的一种变动关系,以此阐明技术、技术效率和全要素生产率之间的内在关系。本文在对安徽省农业碳排放效率的研究过程中,将 Malmquist 指数变化进一步分解,由技术变化(techch)以及技术效率变化(effch)共同构成,将其中技术效率的变化(techch)再次分解,因其不仅包含纯技术效率(pech)变化,也包含规模效率(sech)的变化。相关公式如式(3)所示:

$$M(x_{t+1}, y_{t+1}, x_t, y_t) = \text{pech} \times \text{sech} \times \text{techch} \quad (3)$$

式(3)表示,若生产率指数即 $M(x_{t+1}, y_{t+1}, x_t, y_t) > 1$,则表明生产率水平逐步提高。技术效率变化(techch)是一个相对值,即技术效率变动指数,若 $\text{techch} > 1$,则意味着该 DMU 在 $t+1$ 期与第 t 期相对于第 t 期与其前沿面的距离更近,相较而言技术效率提高;纯技术效率变化(pech) > 1 ,表明管理水平的提高是效率提高的重要促进因素;规模效率变化(sech) > 1 ,表明该决策单位向最优规模逐渐趋近,技术变化(techch) > 1 意味着技术水平进步。

为弥补 CCR 模型只能对同一时间段决策单元进行水平式分析的缺陷,进一步求出安徽省农业碳排放效率跨期动态效率变化的 Malmquist 生产率指数,以分析其 2011—2020 年农业碳排放效率动态变化情况及其变化来源。

2. σ 收敛

本文采用 σ 收敛模型中的变异系数方法测算安徽省 16 个地级市低碳农业生产碳排放效率的绝对差距发展趋势,测算公式如式(4)所示:

$$CV = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}}{n} / \bar{X} \quad (4)$$

其中,假定某年变异系数为 CV ,当年农业碳排放效率值记为 X_i ,计算所得的当年碳排放效率平均值记为 \bar{X} 。农业碳排放效率变异系数 CV 即可由式(4)中当年碳排放效率标准差/当年碳排放效率均值得到。若计算所得变异系数呈逐年递减变动趋势,则可认定在该时期内,农业碳排放效率呈 σ 收敛态势,反之则为发散趋势。

(三)数据来源

1. 指标选取

以安徽省为例研究农业碳排放效率时空分异问题,文章选取农业碳排放量与农业产值为产出指标,其中,农业碳排放量为非期望产出指标,农业产值为期望产出指标。选取农业化肥、农药、农膜、柴油、翻耕五类农业生产能源消耗量作为初始投入指标,对初始投入指标进行处理计算得到农业碳排放总量,由此测算农业生产过程中资源投入与产生效益的相对比率,即农业碳排放效率。

2. 数据选择

选取的 5 个初始投入指标以及农业产值指标的具体数据通过查阅 2012—2021 年《安徽统计年鉴》以及《中国农村统计年鉴》归纳整理得到。因当前国内还未对农业碳排放量进行系统监测和统计,学界大多利用农业生产各类能源消费量和相应碳排放系数对农业碳排放量进行估计测算,因此,本文碳排放量运用此方法进行测算。借鉴 2007 年联合国政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)发布的评估报告和众多知名学者对农业碳排放测算的典型方法,本文采用 5 种农业生产所需能源量测算相应农业碳排放量并进行加总,5 种生产能源为农业化肥、农药、农膜、柴油、翻耕,此 5 类能源投入均为农业碳排放主要来源。具体计算时,用以上 5 种农业能源的消耗量分别乘以相应碳排放系数即可得到农业碳排放量,农业生产资源碳排放系数选取如表 1 所示。

表 1 农业生产资源碳排放系数

碳源	碳排放系数(kg/kg)	参考来源
化肥	0.895 6	West 等,美国橡树岭国家实验室的研究
农药	4.934 1	美国橡树岭国家实验室的研究
农膜	5.180 0	南京农业大学农业资源与生态环境研究所的研究
柴油	0.592 7	IPCC
翻耕	312.600 0	中国农业大学生物与技术学院的研究

农业碳排放的估算公式为:

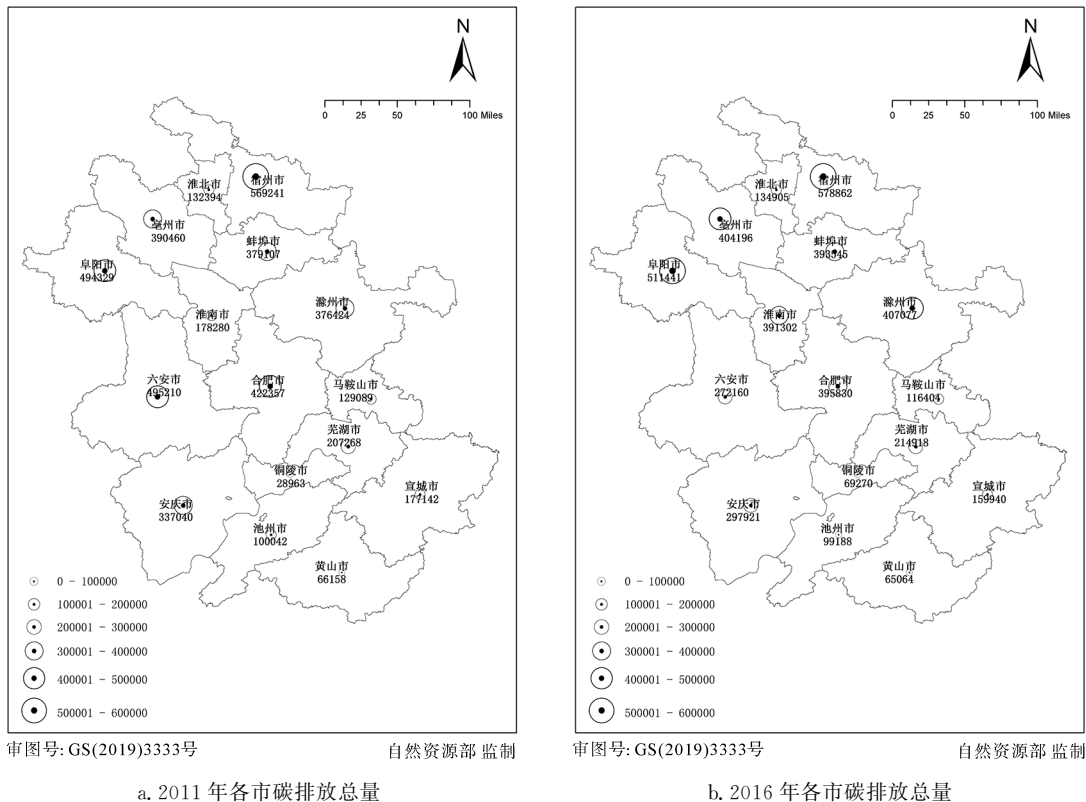
$$E = \sum E_i = \sum T_i \times \delta_i \quad (5)$$

式(5)中,各农业碳源排碳总量记作 E ,不同种类农业生产资源产生的排碳量记作 E_i ,各类农业生产能源使用量记作 T_i ^①,对应的碳排放系数记作 δ_i 。如式(5)所示,利用当年化肥等生产资源使用量乘以相应碳排放系数后进行加总,计算可得 2011—2020 年安徽省 16 个地级市的农业碳排放量,再通过查阅、整理以及计算可得上述各指标的原始数据。

三、安徽省现代农业碳排放效率时空分异

(一)安徽省 16 市农业碳排放总量时空分异分析

通过利用各农业碳源的碳排放系数和相应资源消耗量进行计算,并选取 2011、2016、2020 年度以及各市十年均值碳排放总量,利用 Arcgis 软件绘图描述时空分异现象,结果如图 1 所示。



① 化肥、农药、农膜、柴油使用量均可在《安徽统计年鉴》《中国农村统计年鉴》直接获得,翻耕指标引致的碳排放采用当年农作物总播种面积进行测算。

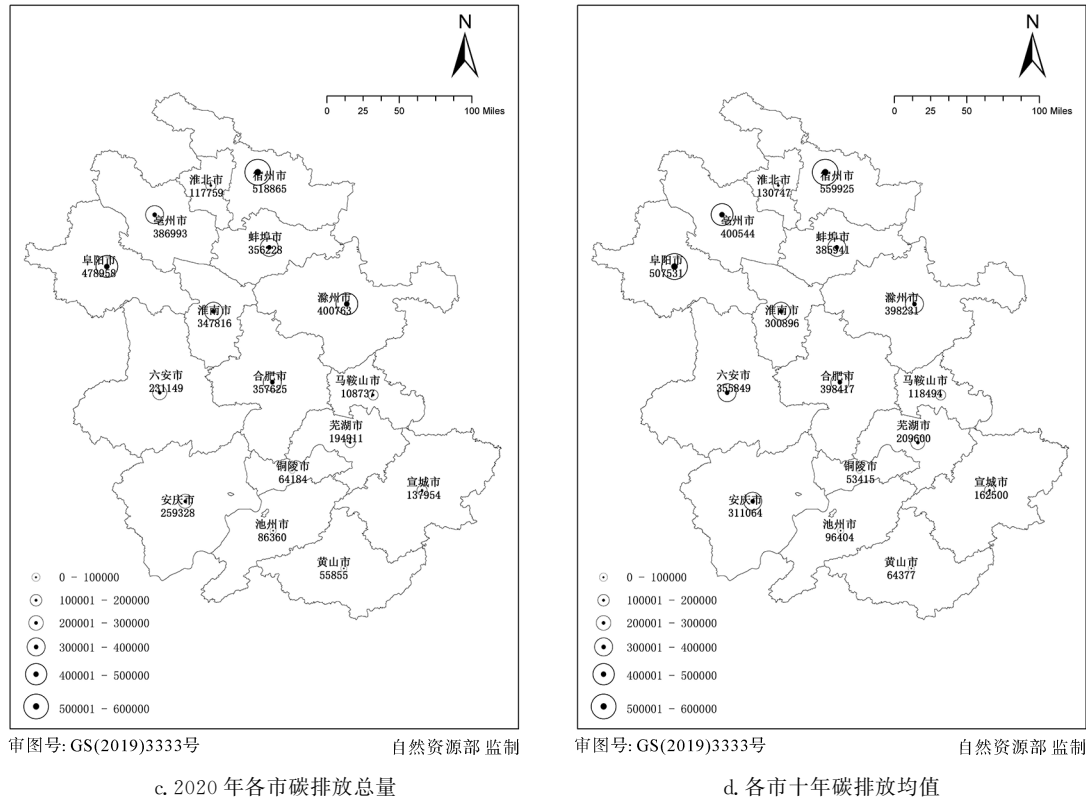


图1 安徽省各市相关碳排放总量①

从各市农业碳排放总量来看,安徽省16市表现出明显差异,宿州市年均碳排放量最高,达到近60万吨,最少的为铜陵市,仅为5.34万吨,导致各市差异明显的根源在于彼此在占地面积、人口数量、农业发展水平、经济产业结构等方面均不尽相同。宿州、阜阳、亳州、蚌埠均为皖北城市,为安徽省粮食主产区,农业发展水平高,第一产业占比较高,同时人口基数大,因此农业碳排放量位于全省前列。从时间维度来看,大部分城市呈现先增后减的倒U型规律。从全省角度看,自2016年后,全省16市碳排放量均呈递减态势,全省农业碳排放量不断下降。

(二)农业碳排放效率时空分异分析

1. 安徽省农业碳排放效率变动趋势

对安徽全省2011—2020年农业碳排放效率变动趋势进行测算得到历年均值,如图2所示。

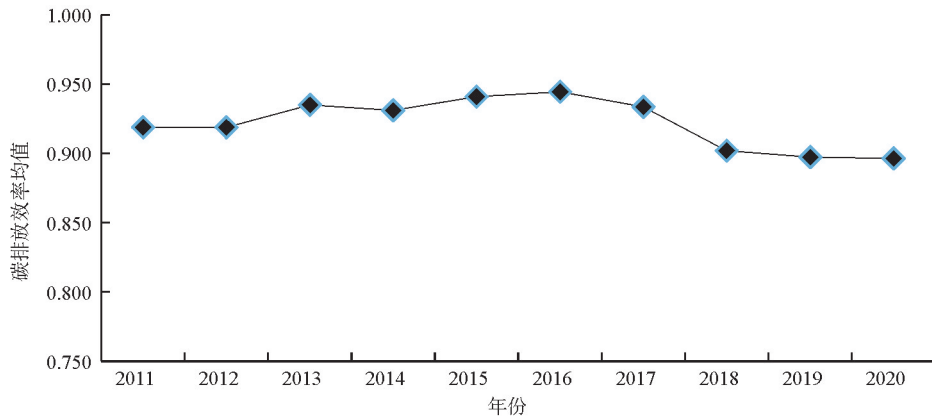


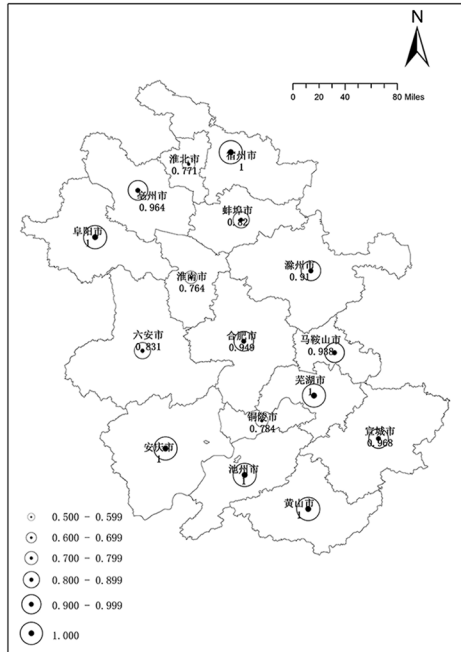
图2 安徽省农业碳排放效率均值变动趋势

① 基于标准地图服务系统GS(2019)3333号标准地图制作,底图无修改,下同。

从整体层面看,安徽全省的农业碳排放效率已达较高水平,历年均值均在 0.85 以上,2016 年后略有下降,但仍保持在较高水平,标志着安徽省农业碳排放控制较稳定,低碳农业发展水平较高,这与安徽省扎实推进低碳农业发展、保护农用耕地、治理农业生产环境等一系列举措密不可分。

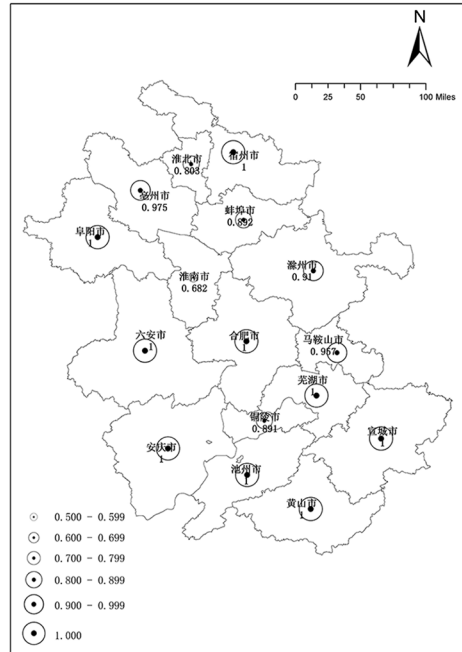
2. 市域尺度的现代农业碳排放效率时空分异

基于效率评价方法中的 SBM-DEA 模型,运用 MaxDEA 8.0 软件对各市十年面板数据进行农业碳排放效率测算,并选取 2011、2016、2020 年度以及各市十年均值碳排放效率,利用 Arcgis 软件绘图表现时空分异现象,结果如图 3 所示。



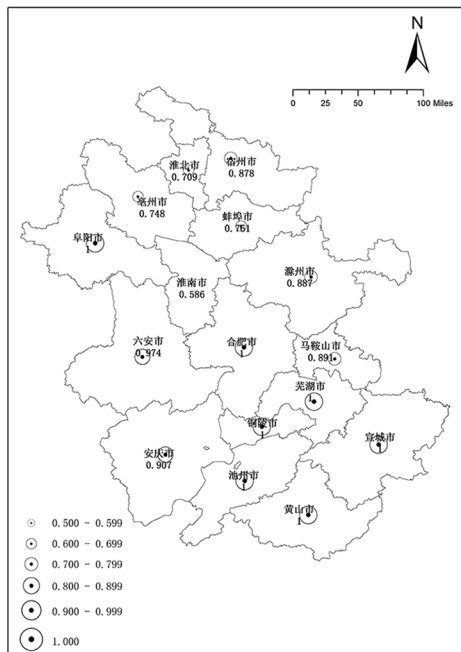
审图号:GS(2019)3333号 自然资源部 监制

a. 2011 年各市碳排放效率



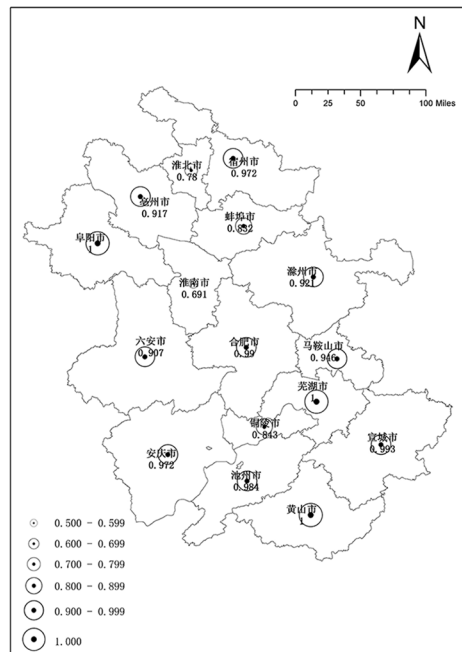
审图号:GS(2019)3333号 自然资源部 监制

b. 2016 年各市碳排放效率



审图号:GS(2019)3333号 自然资源部 监制

c. 2020 年各市碳排放效率



审图号:GS(2019)3333号 自然资源部 监制

d. 各市十年碳排放效率均值

图 3 安徽省各市相关碳排放效率

着眼于具体城市,农业碳排放效率常年达到 1 的城市主要包括阜阳、芜湖和黄山,表明这三个城市长期位于生产前沿,农业投入产出效率一直处于全省最优水平;合肥、宿州、池州、安庆仅有一年或两年效率未达到 1,总体效率一直保持在较高水平;铜陵、亳州、滁州、马鞍山、宣城 5 市处于全省中等水平,十年内相对波动较大,但总体效率仍在中上水平;而淮北、蚌埠、淮南、六安历年农业碳排放效率排名均处在较低位置,距离省内其他城市仍有一定差距。除淮南、蚌埠外,各市农业碳排放效率均在 0.75 以上,表明安徽省各市农业碳排放效率较高、平均差异较小。

(三) Malmquist 指数测算

上文所提及的效率测度模型不能直接观测到安徽省各市农业碳排放效率的动态变化情况,仅针对组内决策单元 DMU 之间的相对效率值进行比较。因此,利用 Malmquist 指数模型进行进一步测算,结果如表 2 所示。

表 2 2011—2020 年安徽省农业碳排放 Malmquist 指数

年份	effch	techch	pech	sech	tfpch
2011—2012	1.018	0.845	0.995	1.023	0.86
2012—2013	1.02	0.996	1.006	1.013	1.015
2013—2014	0.994	0.953	0.997	0.997	0.948
2014—2015	0.983	0.882	0.994	0.989	0.867
2015—2016	1.024	0.977	1.007	1.016	1
2016—2017	1.005	1.011	0.997	1.008	1.016
2017—2018	0.899	1.19	0.963	0.933	1.07
2018—2019	0.99	1.187	1.003	0.987	1.176
2019—2020	0.988	1.17	1.017	0.972	1.156

注: effch 代表技术效率; techch 代表技术进步; pech 代表纯技术效率; sech 代表规模效率; tfpch 代表全要素生产率指数。tfpch=effch×techch; effch=pech×sech。因铜陵市 2020 年固定资产投资数据缺失,故利用插值法进行数据补全后进行测算。

通过 Malmquist 指数进行动态测算分析可知,大部分碳排放效率指数大于 1,安徽省 2011—2020 年低碳农业排放效率整体呈现上升趋势。从动态角度看,TFP 指数从 2011 年的 0.86 增至 2020 年的 1.156,表明安徽省碳排放整体效率增速逐步加快。技术进步指数 techch 变化趋势与 TFP 指数变化趋势基本一致,技术进步指数的增长直接影响 TFP 指数的增长,这表明依靠技术进步能够有效提高低碳农业碳排放水平。

(四) σ 收敛测算

通过 Excel 进行变异系数测算及趋势预测,农业碳排放效率的 σ 收敛结果如图 4 所示。

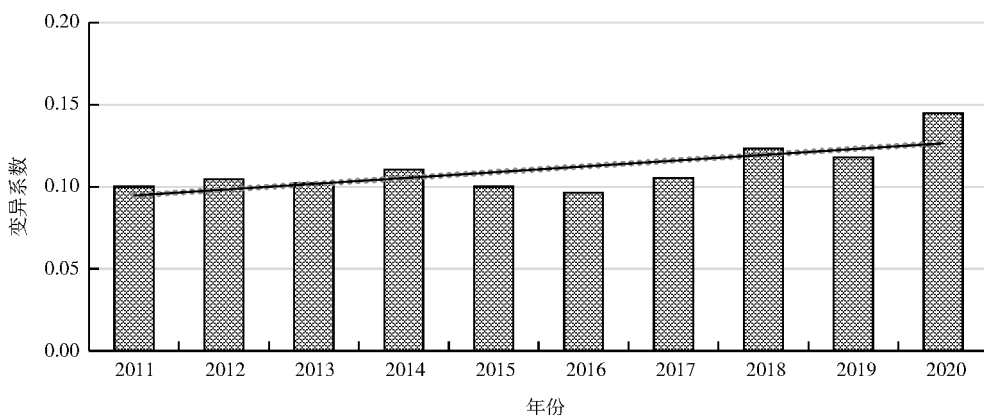


图 4 安徽省 16 市农业碳排放效率变异系数

图4反映出2011—2020年安徽省低碳农业碳排放效率的标准差呈上升趋势,说明安徽省16个地级市的绝对差距在逐步拉大,这种差距扩大的趋势并不意味着安徽省碳排放量绝对增大,而是说明省内各市的低碳农业发展水平参差不齐,部分相对落后城市的低碳农业碳排放效率仍存在较大提升空间。

四、研究结论与政策建议

本文在构建低碳农业发展效率评价模型的基础上,应用SBM-DEA以及Malmquist指数模型对安徽省16市的农业碳排放效率进行了评价分析。最后通过测算变异系数对安徽省低碳农业发展趋势进行了判断,研究结论如下。一方面,安徽省16市农业碳排放量自2016年后整体呈现下降趋势,另一方面,农业产值不断提高,低碳农业发展水平显著提升;安徽省农业碳排放效率整体水平较高,低碳农业发展态势良好。从区域角度来看,碳排放效率水平具有明显区域特征,皖中、皖南地区低碳农业发展水平较高,皖北地区除阜阳外均处于全省较后位置。着眼于具体城市,阜阳、芜湖和黄山3市的低碳农业发展长期为DEA有效,而淮北、蚌埠、淮南、六安4市DEA效率评价指数长期处于较低状态,低碳农业在安徽全省范围内的发展水平仍有待提高。变异系数测算结果显示,安徽省内各市农业碳排放效率水平差异逐年增大,呈离散态势。

发展低碳农业不仅是推进农业绿色发展的内在需求,也是保护和发展生产力的必然选择,符合农业高质量发展的要求,对推进生态文明建设具有重要的战略意义。当前中国农业技术水平与创新能力较美国、日本等发达国家仍有一定差距,而大多数发达国家控制农业碳排放的主要措施为控制农业规模,同时利用大量进口发展中国家的初级农产品等方式转移碳排放压力。中国作为最大的发展中国家,已在联合国气候大会上做出了“碳中和、碳达峰”的承诺,为此一定要贯彻落实习近平生态文明思想,牢固树立“绿水青山就是金山银山”理念,大力发展低碳农业,提高现代农业碳排放效率。从安徽省农业碳排放效率结果来看,农业碳减排水平稳步提高,以小见大,中国低碳农业发展处于稳步推进之中。为进一步提高低碳农业发展水平,提升农业碳排放效率提出以下建议。

(一)明确政策导向,鼓励发展低碳农业

2021年阜阳市颍上县入选全国农业绿色发展典型案例,农业碳排放效率也一直走在全省前列,这与阜阳市大力推进农业绿色发展战略、制定农业减排政策等息息相关。由此可见,中央以及地方政府相关部门应鼓励低碳农业发展,综合考虑低碳促进和阻碍农业发展效率的相关因素,在制定相关政策时应与当地实际情况相结合,在符合相关政策标准的前提下可放宽部分权限,以便地方政府依据当地农业发展现状精准定策。一方面,建立健全农业生产生态补偿机制,完善农业环境保护相关法律法规,同时完善低碳农业生态补偿技术体系。另一方面,推动低碳农业生产制度深化改革,制定并完善农业能源效率相关标准,进一步建立农业碳排放管理考核制度,明晰以农产品生产消费为标准的碳减排相关责任认定。在保障农民农业生产主体利益的同时,引导农民参与所在区县务农生态环境保护项目,并确保一定比例农户农民参与项目设计与监督评价。同时各级政府应探索发展低碳农业、生态农业新模式,学习推广以安徽省阜南县“三全”模式等为代表的现代生态农业产业化模式,以新思路新方法带动农业减碳。

(二)增强创新驱动,科技助力农业减碳

加速推动农业碳减排技术进步,通过技术应用弱化农业生产排碳影响。以合肥市为例,近年来合肥加大科研创新投入,支持农业技术创新、农业产业体系创新,全方位多层次巩固科技创新在农业减碳工作中的关键地位,取得了良好成效。其先进经验包括:通过提高农业投入要素使用效率来减少碳排放量和资源使用量,如进一步提高生物技术、灌溉技术、采集收割技术效率;通过完善相关制度提高农业全要素生产率,如明晰土地产权、农田规范化管理、搭建土地公共服务平台、建立农机化肥规范使用站点等,促进专业化、规模化经营。与此同时,通过推进节能技术进步提高能源利用效率,发展高效能低排放农业生产技术,降低碳排放量。具体而言,推进农业科技研发体制机制革命,政府部门可通过招标、竞争遴选等方

式提供资金支持,对各类农业科研机构予以针对性政策扶持;对连接政府、科研机构与农户间的中介机构,可选派高层次管理人员帮助其发展完善现代管理模式、企业制度,明确产权关系,打造突出自身优势的激励机制。财政部门需增加农业科研及推广投资以及转移支付力度,根据项目的科研性、应用性进行评价并投资,加大补贴力度与规模,确保技术研发资金充足,激发研究主体对低碳技术的研发推广热情。除此之外还应引进先进农业技术,通过协商合作和专利购买等多种方式,引进国际先进技术并与国内现实状况相结合,达到“他山之石,可以攻玉”的效果。

(三)提升主体意识,加大对农宣教力度

加强低碳农业生产的宣传和教,提高农户发展绿色农业、保护生态环境的意识,建立多方位培训体系,耕种前开展低碳科技培训活动,提高农户低碳生产意识,推广节能减碳的生产方式。增大农业低碳科技的研发推广力度,普及“一膜两作”等技术,逐渐降低化肥施用量,提高农业生产过程中减碳技术使用率,加大对低碳农业技术试用农户补贴力度。一方面,以低碳宣传片、新闻报道、实地示范、一线教学等方式增强农民对低碳农业的认知,通过培训帮助农户掌握低碳农业生产技术,让低碳贯穿农民日常生产和生活。另一方面,加强低碳农业应用型人才培养,除每年农业院校专业毕业生外,可在乡镇一级机构设立农业技术学校,与农业院校成立合作基地,鼓励当地适龄农业从业人员进修相关技术,提高务农人员整体素质水平。

(四)建立协作机制,实现跨域帮扶互助

低碳农业发展水平在安徽省域范围内差异较大,为解决低碳农业发展不充分不平衡问题,区域合作显得尤为重要。近年来安徽省委省政府提出了皖北地区“四化同步”等一系列发展理念,以此为契机划定发展合作区域,助力农业低碳区域一体化发展。农业碳排放效率较低的地区应加强同低碳农业发展水平较高地区的合作,注重向全国先进城市学习,在引进和吸纳的基础上做到发展创新。

参考文献:

- [1] BALSALOBRE-LORENTE D, DRIHA O M, BEKUN F V, et al. Do agricultural activities induce carbon emissions? The BRICS experience[J]. Environmental science and pollution research, 2019(24): 25218-25234.
- [2] 夏四友,赵媛,许昕,等.近20年来中国农业碳排放强度区域差异、时空格局及动态演化[J].长江流域资源与环境, 2020, 29(3): 596-608.
- [3] 张丹,张卫峰.低碳农业与农作物碳足迹核算研究述评[J].资源科学, 2016, 38(7): 1395-1405.
- [4] MARGENOT A J, PULLEMAN M M, SOMMER R, et al. Biochemical proxies indicate differences in soil C cycling induced by long-term tillage and residue management in a tropical agroecosystem[J]. Plant and soil, 2017(1-2): 315-329.
- [5] 邓悦,崔瑜,卢玮楠,等.市域尺度下中国农业低碳发展水平空间异质性及影响因素——来自种植业的检验[J].长江流域资源与环境, 2021, 30(1): 147-159.
- [6] 赵敏娟,石锐,姚柳杨.中国农业碳中和目标分析与实现路径[J].农业经济问题, 2022(9): 24-34.
- [7] SHARMA S, THIND H S, SINGH Y, et al. Effects of crop residue retention on soil carbon pools after 6 years of rice-wheat cropping system[J]. Environmental earth sciences, 2019(10): 1-14.
- [8] 崔许锋,王雨菲,张光宏.面向低碳发展的农业生态效率测度与时空演变分析——基于SBM-ESDA模型[J].农业经济问题, 2022(9): 47-61.
- [9] 张颂心,王辉,徐如浓.科技进步、绿色全要素生产率与农业碳排放关系分析——基于泛长三角26个城市面板数据[J].科技管理研究, 2021, 41(2): 211-218.
- [10] 程琳琳,张俊飏,何可.多尺度城镇化对农业碳生产率的影响及其区域分异特征研究——基于SFA、E指数与SDM的实证[J].中南大学学报(社会科学版), 2018, 24(5): 107-116.
- [11] 杨小娟,陈耀,高瑞宏.甘肃省农业环境效率及碳排放约束下农业全要素生产率测算研究[J].中国农业资源与区划, 2021, 42(8): 13-20.
- [12] 陈儒,姜志德,姚顺波.低碳农业联合生产的绩效评估及其影响因素分析[J].华中农业大学学报(社会科学版), 2018

- (3):44-55+154-155.
- [13] 田云,尹恣昊. 技术进步促进了农业能源碳减排吗?——基于回弹效应与空间溢出效应的检验[J]. 改革,2021(12):45-58.
- [14] 马九杰,崔恒瑜. 农业保险发展的碳减排作用:效应与机制[J]. 中国人口·资源与环境,2021,31(10):79-89.
- [15] 王勃,朱朝枝. 农业碳排放的影响因素分解与脱钩效应的国际比较[J]. 统计与决策,2018,34(11):104-108.
- [16] 徐婵娟,陈儒,姜志德. 外部冲击、风险偏好与农户低碳农业技术采用研究[J]. 科技管理研究,2018,38(14):248-257.
- [17] 徐婵娟,陈儒,邓悦,等. 农民低碳农业胜任素质及其影响因素分析[J]. 湖南农业大学学报(社会科学版),2018,19(3):38-45.
- [18] 田云,吴海涛. 产业结构视角下的中国粮食主产区农业碳排放公平性研究[J]. 农业技术经济,2020(1):45-55.
- [19] 胡中应. 技术进步、技术效率与中国农业碳排放[J]. 华东经济管理,2018,32(6):100-105.
- [20] 张哲晰,穆月英. 产业集聚能提高农业碳生产率吗? [J]. 中国人口·资源与环境,2019,29(7):57-65.
- [21] ASYNADY-SARJIDIE S, OWUSU P A. The relationship between carbon dioxide and agriculture in Ghana: A comparison of VECM and ARDL model[J]. Environmental science and pollution research,2016(11):10968-10982.
- [22] 田云,尹恣昊. 产业集聚对中国农业净碳效应的影响研究[J]. 华中农业大学学报(社会科学版),2021(3):107-117+188.
- [23] 贺青,张虎,张俊飏. 农业产业聚集对农业碳排放的非线性影响[J]. 统计与决策,2021,37(9):75-78.
- [24] QIU L F, ZHU J X, ZHU Y H, et al. Land use changes induced soil organic carbon variations in agricultural soils of Fuyang County, China[J]. Journal of soils and sediments,2013(6):981-988.
- [25] HADDAWAY N R, HEDLUND K, JACKSON L E, et al. What are the effects of agricultural management on soil organic carbon in boreo-temperate systems?[J]. Environmental evidence,2015,4:23-52.
- [26] 柯楠,卢新海,匡兵,等. 碳中和目标下中国耕地绿色低碳利用的区域差异与影响因素[J]. 中国土地科学,2021,35(8):67-76.
- [27] MACURA B, PINIEWSKI M, KSIEZNIAK-MACHANE M, et al. Effectiveness of ecotechnologies in agriculture for the recovery and reuse of carbon and nutrients in the Baltic and boreo-temperate regions: A systematic map[J]. Environmental evidence,2019(1):39-57.
- [28] 周璞,侯华丽,张惠,等. 碳中和背景下提升土壤碳汇能力的前景与实施建议[J]. 环境保护,2021,49(16):63-67.
- [29] 张俊飏,何可. “双碳”目标下的农业低碳发展研究:现状、误区与前瞻[J]. 农业经济问题,2022(9):35-46.
- [30] 黄贤金,张秀英,卢学鹤,等. 面向碳中和的中国低碳国土开发利用[J]. 自然资源学报,2021,36(12):2995-3006.

Spatial-Temporal Variation of Agricultural Carbon Emission Efficiency and Low-Carbon Agricultural Development: A Case Study of 16 Cities in Anhui Province

ZHU Daocai^{1,2}, LIANG Juntai¹

(1. School of Economics, Anhui University of Finance and Economics, Bengbu, Anhui 233030, China;

2. School of Geography and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui 241000, China)

Abstract: Agriculture is an important emission source of greenhouse gases such as carbon dioxide. Developing low-carbon agriculture and reducing agricultural carbon emissions is an important path to achieve the goal of carbon peak and carbon neutrality in China. Therefore, the study on agricultural carbon emission efficiency is of important practical value and strategic significance. This paper selects panel data of 16 cities in Anhui Province from 2011 to 2020, uses SBM-DEA and Malmquist model to measure agricultural carbon emission efficiency of each city in Anhui Province, and adopts σ -convergence to measure variation coefficient to analyze the changing trend of agricultural carbon emission efficiency in Anhui Province. The results show that: overall agricultural carbon emissions in Anhui Province show an inverted U-shaped trend of first increasing and then decreasing, and low-carbon agricultural development has improved significantly since 2016. The overall agricultural carbon emission efficiency in Anhui Province is high, but the regional development is unbalanced and there is large difference in regional development. Agricultural carbon emission efficiency in various cities differs increasingly year by year, presenting a discrete trend. It is suggested to provide policy support, develop low-carbon agricultural technologies, strengthen publicity and education on agricultural carbon emission reduction as well as build regional cooperation platforms to develop low-carbon agriculture and improve carbon emission efficiency.

Key words: carbon emission efficiency; spatial-temporal variation; low carbon agriculture

(责任编辑:魏 霄)