

基于随机森林的安徽省农业碳排放驱动因素与脱钩效应

邓宇婷

安徽理工大学数学与大数据学院

DOI:10.12238/as.v8i4.2881

[摘要] 在“双碳”背景下,农业碳排放成为生态环境与可持续发展的关键问题。本文基于2000—2021年安徽省数据,采用IPCC碳排放系数法测算碳排放量与结构,利用随机森林识别驱动因素,并用Tapio模型分析其与经济增长的关系。结果表明:农业碳排放总体下降,主要来源为畜牧业、农业投入与能源消耗;农业总产量、机械动力和播种面积是核心驱动因素;碳排放与经济增长逐步脱钩。建议推进低碳农业、优化结构、推广绿色技术。

[关键词] 农业碳排放; 脱钩效应; 随机森林; 驱动因素

中图分类号: F413.1 文献标识码: A

Driving Factors and Decoupling Effect of Agricultural Carbon Emissions in Anhui Province Based on Random Forest

Yuting Deng

School of Mathematics and Big Data, Anhui University of Science and Technology

[Abstract] Under the “dual carbon” goals, agricultural carbon emissions have become a critical issue for ecological sustainability. Based on data from Anhui Province from 2000 to 2021, this study calculates agricultural carbon emissions and their structure using the IPCC emission coefficient method, identifies key driving factors through the random forest model, and analyzes the decoupling relationship with economic growth via the Tapio model. Results show that total emissions are declining, with livestock, material inputs, and energy consumption being the main sources. Agricultural output, mechanization, and sown area are the primary drivers. It is recommended to promote low-carbon agriculture, optimize industrial structure, and expand green technologies.

[Key words] Agricultural carbon emissions; Decoupling effect; Random forest; Driving factors

引言

气候变化加剧使农业碳排放对生态环境和粮食安全的影响日益严重。安徽作为我国重要粮食主产区,农业投入如化肥、农药、机械造成的碳排放尤为突出^[1]。推动低碳农业转型是实现生态与经济协调发展的关键。

目前国内农业碳排放研究主要集中于四方面:排放源识别与测算,以IPCC碳排放系数法为主^[2-3];驱动因素分析,常用KAYA、STIRPAT等模型^[4];碳排放与经济增长的关系,多地呈现强脱钩特征^[5];趋势预测,采用灰色预测和情景模拟法。

本文以2000—2021年安徽省数据为基础,测算农业碳排放,结合随机森林模型识别驱动因素,并利用Tapio模型评估其与农业经济增长的脱钩关系,为低碳农业发展提供科学依据。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

数据来源于《安徽统计年鉴》,涵盖化肥、农药、农膜、柴

油、电力等农地利用碳源,以及畜牧养殖数据^[6]。碳排放计算采用IPCC推荐系数,按以下公式估算:

$$E = \sum E_i = \sum T_i \cdot \delta_i \quad (1)$$

其中,CH₄和N₂O分别按27倍和273倍CO₂当量折算。在梳理相关研究成果的基础上,各类农业碳源及其对应的碳排放系数如下:

表1 农地利用排放源系数表

碳源	碳排放系数	参考源
化肥	0.8956kgC/kg	美国橡树岭国家实验室
农药	4.9341kgC/kg	美国橡树岭国家实验室
农膜	5.1800kgC/kg	南京农业大学农业资源与生态研究所
柴油	0.5927kgC/kg	IPCC(联合国政府间气候变化专门委员会)
灌溉	266.48kgC/hm ²	南京农业大学农业资源与生态研究所

畜牧养殖碳排放：反刍动物(如猪、牛、羊等)肠道发酵产生的CH₄，以及粪污分解过程中释放的CH₄和N₂O。具体碳排放系数详见表2。

表2 畜牧业碳排放系数表单位kg/(头·a)

碳源	肠道发酵 CH ₄ 碳排放系数	粪便管理 CH ₄ 碳排放系数	粪便管理 N ₂ O 碳排放系数	来源
牛	76	5.74	1.262	IPCC2019
猪	1	5.08	0.175	省级温室气体清单编制指南
羊	8.3	0.27	0.113	省级温室气体清单编制指南

1.2随机森林方法分析

利用随机森林模型识别主要碳排放驱动因素，结合Bagging与Boosting算法提升模型稳定性。输入变量包括农业产值、播种面积、农机动力、农村人口等。模型通过多轮建树，输出变量重要性排序。算法流程如图1所示。

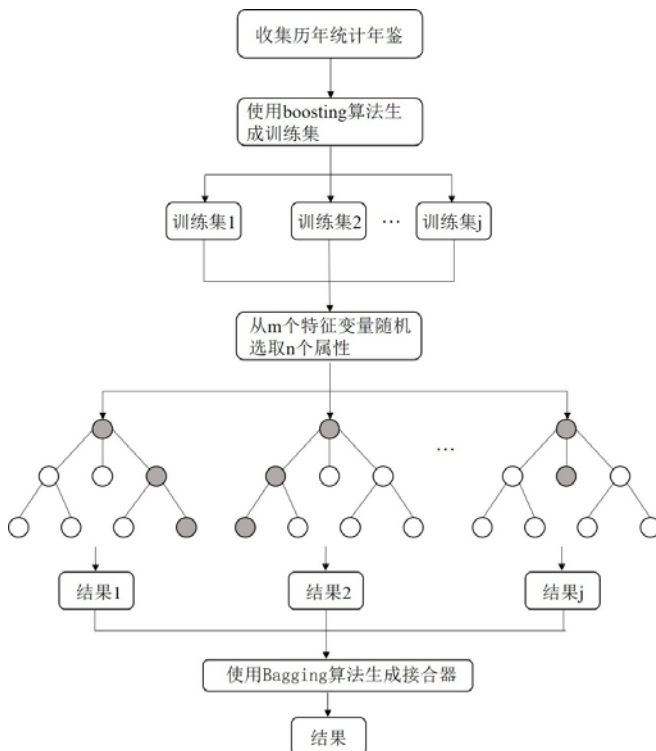


图1 随机森林方法流程图

1.3农业碳排放脱钩模型

采用Tapio脱钩模型分析农业碳排放与经济增长关系，其弹性公式为：

$$e = \frac{\Delta C / C}{\Delta GDP / GDP} \quad (2)$$

其中e<0为强脱钩，e>1.2为扩张负脱钩，其余值落入弱脱钩、增长连接等状态范围。

2 结果与分析

2.1安徽农业碳排放测算

2000—2021年间安徽农业碳排放呈“倒W型”波动。2002年达峰值2604.42万吨，2021年降至1213.02万吨累计下降52.03%，年均降幅3.6%。

碳排放来源结构稳定：畜牧业占比最高(70.14%)，农业投入占23.80%，能源消耗6.06%。

发展历程可分三阶段：

第一阶段(2000—2002)：碳排放处于高位，农业结构变化不大。

第二阶段(2003—2013)：前期碳排放下降，后期因投入增加而回升。

第三阶段(2014—2021)：碳排放稳步下降，绿色农业政策初显成效。

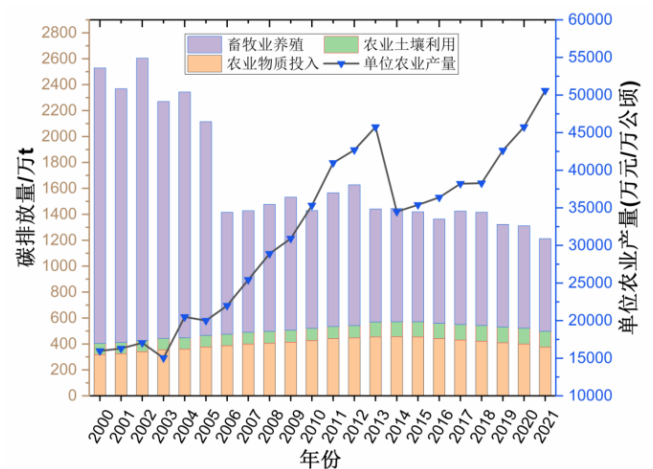


图2 安徽省农业碳排放结构变化

2.2安徽省农业碳排放效率影响因素

v1-v6分别表示农业总产量、农业机械总动力、播种面积、化肥和农药使用量、翻耕面积、劳动力数量，计算结果如图3所示。

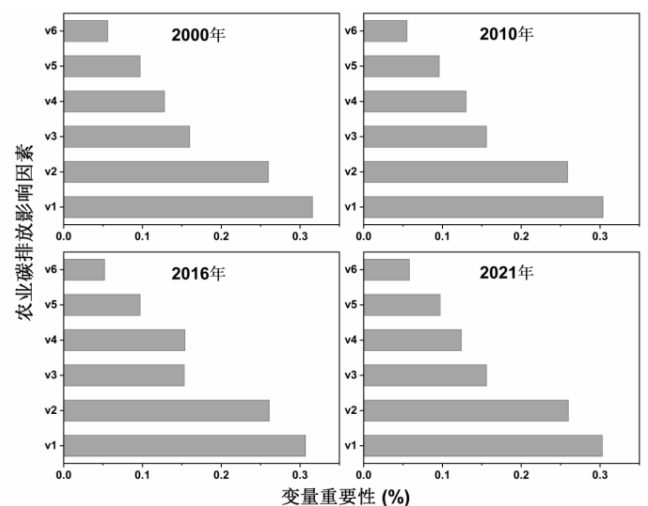


图3 2000—2021年安徽省农业碳排放驱动因素的相对重要性

随机森林结果显示农业总产量、机械总动力、播种面积为主要驱动因素，化肥和农药使用影响次之。

农业总产量: 直接反映农业活动规模, 碳排放与其正相关^[7]; 农机总动力: 提高效率但增加能源消耗, 尤其在皖北依赖度高; 播种面积: 扩大播种面积提高了农资投入和土地扰动, 进而影响碳排放; 化肥与农药使用: 自2015年后呈下降趋势, 政策效应显现, 占比由13%降至12%^[8]。

2.3 安徽省农业碳排放脱钩效应分析

2000—2021年, 安徽农业碳排放与经济增长整体呈现向好脱钩趋势, 分为两阶段:

第一阶段(2000—2013年): 脱钩状态波动大, 多为扩张负脱钩。碳排放随经济增长快速上升, 仅部分年份实现强脱钩(如2003、2005)。

表3 安徽省2000—2021年农业碳排放脱钩弹性

年份	$\Delta C/C$	$\Delta G/G$	$e(C, G)$	脱钩状态
2000	-	-	-	-
2001	0.011407306	0.034068239	0.334836956	弱脱钩
2002	0.105867296	0.030286619	3.4955138	扩张负脱钩
2003	-0.198987342	0.04107022	-4.845051773	强脱钩
2004	0.238468485	-0.010865133	-21.94804943	强负脱钩
2005	-0.050183014	0.031914711	-1.572410084	强脱钩
2006	0.09534374	0.029408775	3.242016699	扩张负脱钩
2007	0.042138129	0.036533588	1.153407903	增长连接
2008	0.056123821	0.011399359	4.923419244	扩张负脱钩
2009	0.008921095	0.016670853	0.535131302	弱脱钩
2010	0.012250346	0.023469104	0.521977586	弱脱钩
2011	0.033132671	0.030142111	1.099215329	增长连接
2012	0.06907987	0.011071408	6.239483964	扩张负脱钩
2013	-0.000581441	0.014426419	-0.040303923	强脱钩
2014	0.081810634	0.00745331	10.97641673	扩张负脱钩
2015	0.064400842	-0.008503642	-7.573324309	强负脱钩
2016	-0.028320698	-0.034906658	0.811326535	衰退连接
2017	0.014627337	-0.026423366	-0.553575845	强负脱钩
2018	-0.003099726	-0.022789509	0.136015485	弱负脱钩
2019	0.011666355	-0.044586979	-0.261653851	强负脱钩
2020	-0.008579181	-0.028091902	0.30539695	弱负脱钩
2021	0.017003299	-0.014970604	-1.135779134	强负脱钩

第二阶段(2014—2021年): 脱钩趋势稳定, 强脱钩和强负脱钩占主导, 表明农业结构调整和低碳政策效果初显。但2016、2018、2020等年份仍表现出衰退连接或弱负脱钩, 显示脱钩过程仍受经济波动影响。

总体看, 安徽农业碳排放脱钩效应增强, 但仍存在波动。未来需持续推动绿色生产方式, 提升农业碳减排能力, 实现经济与生态双赢。

3 结论与建议

3.1 结论

本文基于2000—2021年安徽省农业数据, 采用IPCC系数法测算碳排放, 结合随机森林识别驱动因素, 并利用Tapio模型分析脱钩关系。研究表明: 农业碳排放呈波动下降趋势, 畜牧业是主要排放源; 农业总产量、机械总动力、播种面积为核心驱动因素, 化肥农药影响减弱; 碳排放与经济增长逐步脱钩, 2014年后以强脱钩为主, 但仍存在波动。

3.2 建议

针对安徽省农业碳排放的驱动因素及脱钩效应特点, 提出以下建议, 以促进农业绿色可持续发展: 推动绿色转型, 推广节能农机、有机替代和精准施肥等低碳技术; 优化产业结构, 控制畜牧规模, 提升农田碳汇能力; 健全碳排放监测与激励机制, 完善政策引导; 推进清洁能源利用, 增强农户低碳意识, 实现农业与生态协同发展。

[参考文献]

- [1]贺青, 张俊飏. 粮食主产区农业碳排放的动态演进及驱动因素研究[J]. 生态经济, 2023, 39(06): 123-128+162.
- [2]胡永浩, 张昆扬, 胡南燕, 等. 中国农业碳排放测算研究综述[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2023, 31(02): 163-176.
- [3]何艳秋, 戴小文. 中国农业碳排放驱动因素的时空特征研究[J]. 资源科学, 2016, 38(09): 1780-1790.
- [4]田云, 蔡艳蓉. 长江经济带农业碳排放EKC检验及其驱动因素分析[J]. 长江流域资源与环境, 2023, 32(11): 2403-2417.
- [5]方苗, 贺义雄, 余晓洋. 农业碳排放研究: 空间格局、脱钩效应及驱动因素——以浙江省为例[J]. 资源开发与市场, 2022, 38(12): 1461-1467+1528.
- [6]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.
- [7]徐清华, 张广胜. 农业机械化对农业碳排放强度影响的空间溢出效应——基于282个城市面板数据的实证[J]. 人口·资源与环境, 2022, 32(04): 23-33.
- [8]李华, 李秀英, 王磊, 等. “双碳”目标下肥料行业发展对策——基于2011—2020年碳减排与存在问题的分析[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2023, 31(02): 206-213.

作者简介:

邓宇婷(2001—), 女, 汉族, 安徽亳州人, 硕士研究生。研究方向: 农业碳排放效率研究。