

中国农业碳排放时空差异与驱动因素分析

闫佳林

河北地质大学, 河北 石家庄 052160

DOI: 10.61369/SSSD.2026060025

摘 要： 在全球气候危机与“双碳”目标背景下，农业碳排放问题成为国际关注焦点。本研究基于中国31个省份2010—2023年面板数据，综合运用Dagum基尼系数、马尔科夫链、收敛模型及LMDI分解等方法，系统分析农业碳排放强度的时空演化特征、区域收敛机制及影响因素，并构建预测模型。研究发现，中国农业碳排放强度整体呈下降趋势，且区域分异性逐步降低。研究结果为制定差异化农业减排政策提供了科学依据，其中耕地集约规模、创新技术、农业经济发展水平对减排有显著正向作用，而城乡收入差距扩大加剧了碳排放差异。

关 键 词： 农业碳排放；时空分异；收敛性；影响因素

Analysis of Spatiotemporal Differences and Driving Factors of Agricultural Carbon Emissions in China

Yan Jialin

Hebei GEO University, Shijiazhuang, Hebei 052160

Abstract： Against the background of the global climate crisis and the "dual carbon" goal, agricultural carbon emissions have become the focus of international attention. Based on panel data of 31 provinces in China from 2010 to 2023, this study systematically analyzes the spatiotemporal evolution characteristics, regional convergence mechanism and influencing factors of agricultural carbon emission intensity by comprehensively using the Dagum Gini coefficient, Markov chain, convergence model and LMDI decomposition method, and constructs a prediction model. The study finds that China's agricultural carbon emission intensity shows an overall downward trend, and regional differentiation gradually decreases. The results provide a scientific basis for formulating differentiated agricultural emission reduction policies. Among them, cultivated land intensive scale, innovative technologies and agricultural economic development level have a significant positive effect on emission reduction, while the widening urban-rural income gap exacerbates carbon emission differences.

Keywords： agricultural carbon emissions; spatiotemporal differentiation; convergence; influencing factors

引言

在全球气候危机和“双碳”目标驱动下，作为基础性产业的农业碳排放问题已经成为国际上的关注焦点。据联合国政府间气候变化专门委员会第六次评估报告可知：全球近25%的温室气体排放出于农业生产之中，农业减排已成为实现《巴黎协定》目标的关键路径之一^[1]。其中，作为全球粮食安全的重要支柱的中国农产品，用占世界7%的耕地养活了近20%的人口，但由于中国农业生产活动中对化学肥料、农机等高碳投入品具有长期依赖性使得农业碳排放总量总是居高不下，尽管当前中国农产品的单位产值碳排放强度高于发达国家32%个百分点但农业领域的低碳转型迫在眉睫。农业碳排放强度即每单位农业产值所产生的碳排放量，是衡量农业可持续发展能力和环境责任的关键指标之一。农业碳排放强度的预测为制定科学合理的减排策略提供坚实的数据支撑，是优化资源配置、引导技术创新、调整产业结构的“指南针”。

一、研究方法数据来源

本文的核心议题是中国农业碳排放强度，构建整合性多元方法分析体系。综合使用Dagum基尼系数、空间马尔科夫链与收敛模型等方法，旨在通过三个维度实现研究突破深化农业低碳转型的理论框架，为全球发展中国家的经济增长与碳减排目标提供经验借鉴。农业碳排放强度采用农业碳排放量与农业总产值之比计

算。其中农业碳排放量是根据根据柴油、化肥、农药、农膜、灌溉、翻耕等碳源与其对应的碳排放系数计算加总得到^{[7][9][10]}。

二、结果分析

（一）基尼系数

本文利用基尼系数测度了2010—2023年全国农业碳排放强度

的组内、组间基尼系数和超变密度。其中，我国整体农业碳排放的分异程度是逐渐增大的，2013–2017年间的增幅最大，年均增幅达13.5%。从四大区域内部的分异程度可以看出，东部和东北部的差异最大，且两者的变化趋势相近，均在16–17年间出现大幅跃升。而西部和中部的分异程度较小，且两者的变化幅度也较小，均为先上升后下降，在波动中逐渐升高。

中国农业碳排放不同区域间的基尼系数是东–东北间的分异程度最大为0.2，且有不断上升的趋势；中–西部间分异程度最小为0.12，在0.1–0.15范围内波动。从多个组间变化趋势观察可看出，出中–西部在小范围波动，其余组间分异程度均有不断扩大的趋势。

（二）马尔科夫链

本文采用马尔可夫链来进一步分析中国农业碳排放的动态转移和流动方向^{[4][5]}。在传统马尔科夫矩阵中，其对角线上数值均大于非对角线数值。低、中低、中高和高水平排放地区在滞后一年，仍维持在原水平的概率为98.84%、76.24%、70.64%、75.70%，这表明不同地区的碳排放水平维持现状的概率很高，有“俱乐部聚集”效应产生。在对角线上方，低、中低、中高水平排放区域出现向上跳级概率为1.16%、0.99%、1.83%，而右上角概率均为0，这说明农业方面的碳减排工作是循序渐进的，不会在现有基础上出现大幅跃升；在对角线下方，中低、中高和高水平排放地区在一年后出现降级概率是22.77%、26.61%、23.36%，这表明在现有基础上出现等级下滑概率更大，需依据农业特有耕种特点并结合先进减排理念和技术。

为进一步验证农业碳排放的空间相关性，本文建立空间马尔科夫矩阵来加以分析，具体结果。首先，在不同空间滞后类型下，同等级矩阵转移概率各不相同，如在空间滞后类型Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ下，等级Ⅳ下滑为Ⅲ的概率分别为0、50%、17.78%、25%。这说明在临近省份农业碳排放存在差异前提下，该省份农业碳排放是否发生转移的概率不同。其次，“等级锁定”以及“等级下滑”概率上升。尤其在空间滞后类型Ⅰ的情形下，各等级处于原等级或者下降等级的概率明显高于其他空间滞后类型；且在各空间滞后类型下，等级Ⅰ处于原等级概率值高达98%以上，在周围Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ碳排放的影响下，等级Ⅰ仍为Ⅰ的概率值均为1，这说明中国农业碳排放有着低水平排放趋同倾向；在空间滞后类型Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ中，可以明显观测出对角线的概率值大于非对角线值，这也再次验证传统空间链中的等级固化的“俱乐部聚集”效应；且在对角线下方均有概率值，这说明即使在空间周围是高等级排放水平的影响下，出现等级下滑仍有一定概率，这需要各省份在稳固原有减排基础上，创新减排机制，向上突破升级。最后，“阶级上升”概率很低。在对角线上方的概率值基本为0，这与传统空间矩阵验证相像，即农业碳排放不会出现越级大幅度提升。

（三）核密度估计

本文利用 MATLAB 等相关软件刻画我国2010–2023年期间农业碳排放的动态演进趋势，并从分布位置、主峰形态及拖尾延伸性上着重分析。分布位置上，全国及四大主要区域的核密度

曲线虽部分出现短暂右移，但整体表现左偏移趋势，即核密度曲线分布为先上升后下降的“Λ”型分布，由此可知我国农业碳排放强度表现整体下降，这与我国的农业减排方向趋同。分区域来看，东中西部与全国的核密度趋势相近，均在17年下降至最低点，后出现大幅左偏，农业减排效果明显。东北地区虽逐渐呈多极化排放趋势，但整体碳排放向左偏移，碳排放逐步下降。主峰形态上，全国及东中西的峰值体现为“上升–下降–上升”的“N”形分布，主峰宽度均有“拓宽–收窄”的演进趋势，预计未来将进一步收窄，这表明我国大部分区域的农业控排减排效果好；且全国及东中西的波峰数目向单峰演进，这表明我国碳减排路径基本趋向一致。但东北地区的波峰数目表现出“双峰–三峰–多峰”的趋势，这与东北是多种粮食农产品种植基地，其多采用不同种植方式和减排手段相关。拖尾延伸性上，全国核密度图在17年后出现明显的右拖尾现象，且拖尾逐渐左移，这表明我国农业碳排放的差异性由多变少，多极化分布在未来向单极化演进。分区域来看，我国东中西部无明显的拖尾现象，这也表明我国的右拖尾现象主要由东北地区的多极化碳排放差异造成。

（四）σ收敛检验与结果分析

2010–2023年全国及东部、中部、西部地区农业碳排放强度的变异系数变化，反映各地区农业碳排放的内部差异程度。在2010–2023年这个研究期全国与三大地区的期末变异系数均高于期初值，表明不存在σ收敛现象。如图所示，全国农业碳排放强度变异系数总体呈现上升趋势，这表明我国地区间农业碳排放的离散程度不断扩大，区域差异现象持续加剧；东部地区农业碳排放变异系数波动相对平稳且数值较低，反映了东部地区农业水平较高且内部结构相对稳定，区域内部农业碳排放差异较小，碳减排模式趋于成熟，区域均衡性较好；中部地区农业碳排放强度前期波动上升，在2017年达到较高水平后实现高位波动，反映出其内部发展的不均衡性会在特定阶段加剧并持续；西部地区农业碳排放强度呈现显著的上升趋势，尤其是2015年后增速加快，这体现了西部地区内部农业碳排放的离散程度快速扩大。相比于2010年，2023年年末全国及三大地区的农业碳排放强度变异系数分别增长至0.37、0.21、0.36、0.46，波动幅度为53%、48%、60%、56%。这一现象揭示了空间关联对收敛进程的强化作用。

（五）碳排放因素分解模型——LMDI模型

基于 LMDI 模型将2010–2023年间中国农业碳排放量分解为五个影响因素，即农业生产效率效应、农业水资源效应、农业水土匹配度效应、农业劳动密集度效应和劳动力规模效应，如表7，其抑制碳排放效应作用大小排序为：农业生产效率效应 > 劳动力规模效应 > 农业水土匹配度效应 > 农业水资源效应 > 农业劳动密集度效应。我国2010–2023年期间农业碳排放共减少787.303万吨，其中农业生产效率效应、农业水土匹配度效应和劳动力规模效应起抑制作用，分别减少碳排放为7741.328万吨、645.781万吨和4741.777万吨，其中农业生产效率是最主要的抑制效应。农业水资源效应和农业劳动密集度效应起拉动作用，分别促进碳排放增加7237.278万吨、5104.305万吨。在抑制作用上，农业生产效率对农业碳排放的抑制作用最强，在2010–2023年间其碳减排

7741.328万吨, 年均碳减排595.49万吨。其中, 2010–2016年, 其减排效应不断减弱, 在2016–2023年间其减排效应先增强后减弱, 预计其未来会在波动中促进碳减排效应。

劳动力规模是另一主要的碳减排效应, 在样本期间其碳减排4741.777万吨, 年均碳减排364.75万吨。在2010–2018年间, 其减排效应在波动中小幅上升, 在2019–2021年间其减排效应减弱, 预计其未来会继续促进碳减排。劳动力规模主要通过促进劳动力素质, 进行现代规模化农业生产, 提高农业生产效率进而促进碳减排。农业水土匹配度效应也是促进碳减排的主要效应。在2010–2023其累计减排645.781万吨, 年均减排49.68万吨。在此期间, 农业水土匹配效应与前两项减排效应不同, 并没有大幅增长和降低, 是在小幅上下波动中促进碳减排效应。国家在近几年愈发重视水电站的修建, 注重水源涵养和水土资源修复, 提高水土匹配度, 提高资源可再生和循环能力, 促进碳减排效率提升。提升整体农业劳动力效率, 降低劳动密集度效应引起的高排放问题。

三、结论

本文在探究我国农业碳排放动态演进趋势后, 基于“水–土–人”关联角度利用 LMDI 模型将我国碳排放量影响因素分解为五个效应。在分析其贡献值及变化趋势后, 得到如下结论: 马尔科夫链验证了排放水平的“俱乐部聚集”效应和等级固化现象, 即我国农业碳排放水平处于原等级或者降级概率很大, 出现“低水平聚集效应”。农业生产效率效应、农业水土匹配度效应及劳动力规模效应均抑制碳排放量。而农业水土匹配度效应和劳动力规模效应均间接影响农业生产效率效应来减少碳排放。根据以上结论, 特提出如下建议: 降低农业碳排放应着重考虑提高农业生产效率。一方面, 政府可通过提高水土匹配度, 提升水土资源承载水平, 增强水土保持能力; 另一方面, 构建现代化农业人才培养体系, 提升整体农业劳动力素质, 向“创新型”“技能型”双型人才培养靠拢, 提升整体农业劳动力效率。

参考文献

- [1] 侯娜, 王琛, 薛海峰, 等. 内蒙古呼包鄂经济圈农业碳排放量及其影响因素 [J/OL]. 中国生态农业学报 (中英文), 1–13.
- [2] 马雯琪, 郭金金, 孙宇颖, 等. 新疆生产建设兵团农业碳排放变化趋势及影响因素分析 [J]. 环境监测管理和技术, 2025, 37(02): 88–92+98.
- [3] 黄进, 常昊, 田野, 等. 劳动力转移对农业碳排放的影响机制及减排潜力分析 [J/OL]. 中国农业资源与区划, 1–15[2025–04–23].
- [4] 汤慧敏, 刘辉. 农业技术进步对农业碳排放的影响研究——基于空间溢出效应与衰减边界的视角 [J/OL]. 中国农机化学报, 1–13[2025–04–23].
- [5] 袁世一, 杨森. 中国农业碳排放强度的时空交互与跃迁机制 [J]. 中国农业大学学报, 2025, 30(06): 236–247.
- [6] 李国柱, 康冬蕾. 河北省农业碳排放的时空分布、脱钩特征及驱动因素研究 [J/OL]. 北方园艺, 1–15[2025–04–23].
- [7] 王家晨, 王璇, 袁萧, 等. 新疆农业碳排放效率时空演变及影响因素研究 [J]. 环境污染与防治, 2025, 47(03): 47–53.
- [8] 黄书苑, 章语嫣, 张冰冰, 等. 中国农业生产性服务与农业碳排放的非线性分析 [J/OL]. 中国农业资源与区划, 1–16[2025–04–23].
- [9] 张小蓉, 杨燕. 山西省农业碳排放演化趋势及影响因素研究 [J/OL]. 中国农业资源与区划, 1–15[2025–04–23].
- [10] 刘艺, 李谷成, 李练军. 农业社会化服务对农业碳全要素生产率增长的影响 [J]. 华中农业大学学报 (社会科学版), 2025, (02): 42–55.