



付舒斐, 吕添贵, 朱丽萌, 赵巧, 陈安莹. 农业绿色发展对耕地利用碳排放强度的影响机制和空间效应[J]. 中国农业大学学报, 2025, 30(04): 286-299.
FU Shufei, LYU Tianguai, ZHU Limeng, ZHAO Qiao, CHEN Anying. Impact mechanism and spatial effects of agricultural green development on carbon emission intensity of cultivated land use[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2025, 30(04): 286-299.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2025.04.23

农业绿色发展对耕地利用碳排放强度的影响机制和空间效应

付舒斐¹ 吕添贵^{1,2*} 朱丽萌³ 赵巧² 陈安莹²

(1. 江西财经大学 应用经济学院(数字经济学院), 南昌 330013;

2. 江西财经大学 财税与公共管理学院, 南昌 330013;

3. 江西财经大学 经济与社会发展研究院, 南昌 330013)

摘 要 为探究农业绿色发展对耕地利用的减碳效应,本研究通过构建农业绿色发展影响耕地利用碳排放强度的理论分析框架,采用基准回归模型、中介效应模型与空间杜宾模型等,基于中国2001—2022年31个省份的面板数据(统计数据未含港澳台地区,下同),分析农业绿色发展对耕地利用碳排放强度的影响机制和空间效应。结果表明:1)农业绿色发展整体水平由2001年0.154增长至2022年0.397,区域间粮食主销区、产销平衡区和粮食主产区呈依次递减格局;2)耕地利用碳排放强度由2001年3.264 t/万元下降至2022年0.717 t/万元,区域间粮食主产区、粮食主销区和产销平衡区呈依次递减趋势;3)农业绿色发展能直接降低耕地利用碳排放强度,并通过促进农业绿色生产技术应用间接抑制耕地利用碳排放强度;4)农业绿色发展对耕地利用碳排放强度的抑制作用存在空间溢出效应。据此提出,未来应加强区域间农业绿色合作、优化耕地精准降碳实践和推动低碳生产技术应用,以形成空间联合控碳格局。

关键词 农业绿色发展; 耕地利用碳排放强度; 农业绿色生产技术; 空间效应; MOA模型

中图分类号 F323.211

文章编号 1007-4333(2025)04-0286-14

文献标志码 A

Impact mechanism and spatial effects of agricultural green development on carbon emission intensity of cultivated land use

FU Shufei¹, LYU Tianguai^{1,2*}, ZHU Limeng³, ZHAO Qiao², CHEN Anying²

(1. School of Applied Economics (School of Digital Economics), Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang 330013, China;

2. School of Public Finance & Public Administration, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang 330013, China;

3. Academy of Economic and Social Development, Jiangxi University of Economics and Finance, Nanchang 330013, China)

Abstract To explore the carbon reduction effect of agricultural green development on cultivated land use, this study constructs a theoretical analysis framework to analyze the impact of agricultural green development on the carbon emission intensity of cultivated land use. Using the benchmark regression models, mediation effect models, and spatial Durbin models, and based on panel data from 31 provinces from 2001 to 2022 (Data do not include those of Hong Kong, Macau and Taiwan. The same below) this

收稿日期: 2024-04-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(42261049);江西省自然科学基金项目(20232BAB203061);江西财经大学第十八届学生科研课题(20231019154104944)

第一作者: 付舒斐(ORCID:0009-0007-2774-3735),博士研究生,E-mail: fshufei@163.com

通讯作者: 吕添贵(ORCID:0009-0005-1504-7332),教授,主要从事资源环境保护研究,E-mail: lvtianguai@163.com

study analyzes the impact mechanism and spatial effects of agricultural green development on the carbon emission intensity of cultivated land use. The results indicate that: 1) The overall level of agricultural green development increased from 0.154 in 2001 to 0.397 in 2022. There was a decreasing pattern among regions including the main grain sales area, the production and sales balance area, and the main grain production area; 2) The carbon emission intensity of cultivated land use decreased from 3.264 t/10 000 yuan in 2001 to 0.717 t/10 000 yuan in 2022. There was a decreasing trend among regions in the main grain production areas, main grain sales areas, and production sales balance areas; 3) Green development in agriculture reduced the carbon emission intensity of cultivated land use significantly. Green development in agriculture suppressed the carbon emission intensity of cultivated land use by promoting the application of green production technologies in agriculture; 4) There was a spatial spillover effect of the inhibitory effect of green agricultural development on the carbon emission intensity of cultivated land use. Based on the above findings, this study proposes that it is necessary to strengthen inter-regional agricultural green cooperation, optimize precise carbon reduction practices on cultivated land, and promote the application of low-carbon production technologies to form a spatial joint carbon control pattern in the future.

Keywords green development of agriculture; carbon emission intensity of cultivated land use; agricultural green production technology; spatial effects; MOA model

农业部门占全球温室气体排放的23.0%^[1],耕地作为农业生产的主要载体,农业物资高投入且超负荷的耕作方式产生的碳排放不容忽视^[2]。事实上,推进农业绿色发展实现耕地低碳利用,是协调粮食安全与生态保护的关键^[3]。中央政府积极出台农业绿色发展政策,强调推进农业绿色技术应用助推耕地生产减污降碳^[4]。当前中国农业碳排放占全国总量6.1%^[5],反映农业绿色发展已成为耕地降碳的新质生产力。为此,探究农业绿色发展对耕地利用碳排放强度的影响机制,是实现粮食安全和“双碳”目标的核心议题之一。

国内外学者围绕农业绿色发展与耕地利用碳排放强度之间的相互关系进行了诸多探讨^[6]。在内涵方面,农业绿色发展凸显调整农业生产模式向绿色低碳转型,实现农业经济、社会和生态效益协调发展^[7]。在指标构建方面,基于农业绿色发展目标考虑资源节约、环境友好、生态保育和绿色供给等^[8],农业绿色发展的降碳效应日益显现^[9]。在耕地利用碳排放强度核算内容方面,主要从致碳农资投入、农业废弃物处理等特定碳源向基于耕地生产过程碳源转变^[10]。其中,核算方法可归纳为田块观测法、模型模拟法和直接系数法^[11],尤其是直接系数法因技术成熟被广泛应用。在影响机制方面,剖析了耕地利用碳排放时空演进特征^[12],并考察耕地

细碎化、经营规模等因素对其影响作用^[13]。综上,已有研究为理解农业绿色发展与耕地利用碳排放强度相互作用关系奠定了良好理论基础。然而,目前缺乏剖析农业绿色转型影响耕地利用碳排放强度机制,无法客观刻画耕地低碳生产的微观逻辑。此外,粮食生产消费空间异质性尤为明显^[14],鲜有文献将农业绿色发展的降碳效应细化至粮食主产区、主销区和产销平衡^①研究区域,致使难以响应耕地低碳利用模式差别化调控的现实需求。鉴于此,本研究基于农业绿色生产技术应用中介视角,尝试构建农业绿色发展影响耕地利用碳排放强度的理论分析框架,运用基准回归模型、中介效应模型和空间杜宾模型等,探究2001—2022年中国三大粮食功能区农业绿色发展对耕地利用碳排放强度的影响机制和空间效应,以期为推动耕地低碳利用差别化调控提供理论支撑。

1 理论分析框架

1.1 直接影响机理

MOA模型强调主体行为受动机(Motivation)、机会(Opportunity)和能力(Ability)3方面影响^[15],即目标实现的驱动力、外在基础和内在条件。本研究基于MOA模型从耕地利用主体切入阐释农业绿色发展对耕地利用碳排放强度影响机理(图1)。

^①粮食主产区粮食产量占全国的78%以上,包括黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古、河北、河南、山东、江苏、安徽、江西、湖北、湖南和四川13个省份;主销区包括北京、天津、上海、浙江、福建、广东和海南7个省份;产销平衡区包括山西、宁夏、青海、甘肃、西藏、云南、贵州、重庆、广西、陕西和新疆11个省份。

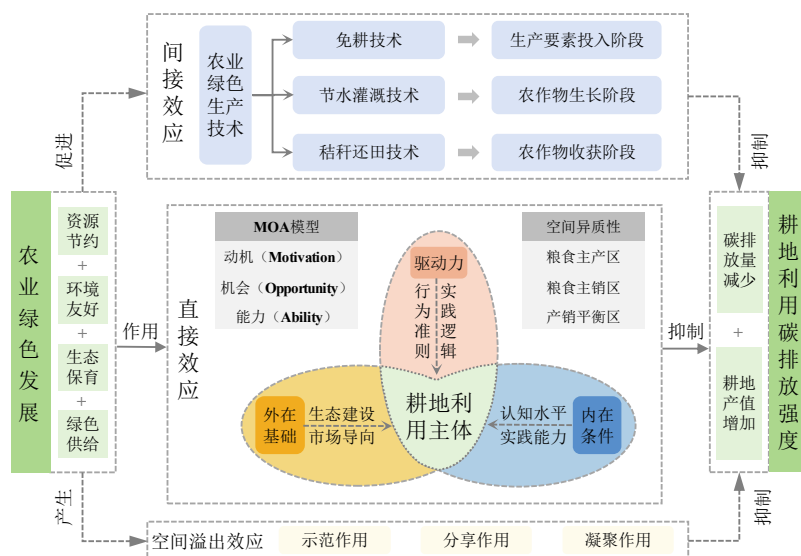


图1 农业绿色发展对耕地利用碳排放强度的影响机理

Fig.1 Impact mechanism of agricultural green development on the carbon emission intensity of cultivated land use

1)驱动力:农业绿色发展驱动耕地利用主体遵循资源节约和环境友好的行为准则和实践逻辑^[16]。为提升资源使用效益,不同粮食功能区耕地利用主体倾向采用节能农机、精准施肥等资源节约措施。同时,低碳生产补贴和污染惩罚等环境友好规制塑造群体绿色价值,约束致碳要素使用,促使主体主动参与绿色培训,降低耕地利用碳排放强度。

2)外在基础:农业绿色发展为耕地利用主体创造生态保育建设和绿色市场导向等外在基础。一是自然保护区、轮作休耕等项目推进下,粮食主产区和产销平衡区激励主体构建健康耕层保障生态系统稳定,实现土壤减碳增汇^[17];二是绿色农产品和休闲农业市场需求增加,特别是粮食主销区激发主体增加绿色农产品供给并拓展休闲农业空间,增加耕地生产附加值^[18]。

3)内在条件:农业绿色发展深化耕地利用主体低碳认知和实践能力等内在条件^[19]。主体绿色认知水平是耕地低碳利用的基础判断,通过权衡农业绿色生产要素制定最佳低碳生产策略。此外,主体低碳生产经验和绿色技术掌握助力其践行低碳生产决策^[20]。如产销平衡区主体结合绿色市场需求灵活践行低碳生产,有效平衡了耕地低碳供给与需求,降低耕地利用碳排放。

1.2 间接影响机理

农业绿色发展激励耕地利用主体应用免耕、节水灌溉和秸秆还田等农业绿色生产技术^[21],通过致

碳要素减量增效、工程节水和秸秆综合利用,实现增产增收的同时抑制耕地温室气体排放^[22]。具体而言,免耕技术能降低耕作频率并节约化肥、农机等投入,保护土壤结构,提高耕地生产力;节水灌溉技术通过精准水分管理减少水肥消耗及稻田甲烷、 N_2O 排放;秸秆还田能替代化肥使用补充土壤有机质,避免秸秆燃烧引起的碳排放。

1.3 空间溢出效应

农业绿色发展中耕地利用主体因存在示范、分享和凝聚作用,对耕地利用碳排放强度的影响产生空间溢出效应^[12]。首先,绿色技能培训和低碳补贴等鼓励措施激发邻近地区耕地利用主体的效仿。其次,农业基础设施和绿色市场完善加剧节能农机等绿色生产要素空间分享,推动粮食功能区低碳生产合作。最后,农业绿色发展理念能凝聚邻近地区主体低碳生产共识,形成低碳利用协调格局。

2 研究设计

2.1 模型设定

2.1.1 基准回归模型

构建农业绿色发展对耕地利用碳排放强度的直接传导效应基本模型^[23]:

$$\ln CI_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln Del_{it} + \alpha_n \ln control_{it} + \mu_i + \delta_t + \epsilon_{it} \quad (1)$$

式中: i 为样本省份; t 为年份; CI_{it} 为耕地利用碳排放强度; Del_{it} 为农业绿色发展水平; $control$ 为控制变

量; μ_i 和 δ_i 分别为省份和时间固定效应; ε_{it} 为随机误差项。

2.1.2 中介效应模型

为探索农业绿色生产技术是否在农业绿色发展与耕地利用碳排放强度之间发挥间接传导效应,设置如下中介效应模型^[24]:

$$\ln M_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln \text{Del}_{it} + \beta_n \ln \text{control}_{it} + \mu_i + \delta_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$\ln \text{CI}_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 \ln \text{Del}_{it} + \gamma_2 \ln M_{it} + \gamma_n \ln \text{control}_{it} + \mu_i + \delta_i + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

式(2)和(3)中: M 为中介变量;式(2)为农业绿色发展水平对农业绿色生产技术应用的影响;式(3)为农业绿色发展水平和农业绿色生产技术应用对耕地利用碳排放强度产生的共同影响。

2.1.3 空间杜宾模型

为进一步讨论农业绿色发展对耕地控碳作用的空间溢出效应,将式(1)拓展为空间面板计量模型^[25]:

$$\ln \text{CI}_{it} = \alpha_0 + \rho W \ln \text{CI}_{it} + \varphi_1 W \ln \text{Del}_{it} + \alpha_1 \ln \text{Del}_{it} + \varphi_n W \ln \text{control}_{it} + \alpha_n \ln \text{control}_{it} + \mu_i + \delta_i + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

式中: ρ 为空间自回归系数; W 为空间权重矩阵; φ_i 和 φ_n 为核心解释变量以及控制变量空间交互项的弹性系数。本研究采用邻接矩阵和地理距离矩阵进行回归对比分析。

2.2 变量定义

2.2.1 被解释变量:耕地利用碳排放强度

依据《IPCC国家温室气体清单指南》并借鉴已有研究^[26],考虑耕地生产要素投入、农作物生长和农作物收获3个阶段产生的碳排放(表1),具体测度如下:

1)投入阶段碳排放 E_1 ,主要包括农资投入引起的碳排放^[11];生长阶段碳排放 E_2 ,主要涉及农田土壤利用产生的 N_2O 和稻田甲烷,依据增温潜势系数折算分析^[10],测算公式如下:

$$E_1 = \sum E_{1n} = \sum h_n \times \delta_n \quad (5)$$

式中: E_{1n} 为碳源 n 的碳排放量; h_n 为该碳源的总量; δ_n 为对应碳排放系数。

2)收获阶段碳排放 E_3 ,主要来源秸秆燃烧^[27]:

$$E_3 = \sum E_{3i} = \sum_{k=1}^K (Y_{ik} \times S_k \times C_{ik} \times P_k \times F_k) \quad (6)$$

式中: E_{3i} 为省份 i 的秸秆燃烧碳排放量; K 为农作物种类数; Y_{ik} 为农作物经济产量; S_k 为农作物草谷比; C_{ik} 为农作物秸秆露天焚烧比例; P_k 为农作物燃烧效率; F_k 为农作物秸秆露天焚烧排放系数。

3)耕地利用碳排放总量 E 和碳排放强度 CI 。计算公式分别为:

$$E = E_1 + E_2 + E_3 \quad (7)$$

$$\text{CI} = \frac{E}{V} \quad (8)$$

式中: V 为农业总产值。

表1 耕地利用碳排放核算体系

Table 1 Carbon emission accounting index system for cultivated land

阶段 Stage	碳源 Carbon source	单位 Unit	碳排放机理 Carbon emission mechanism
耕地生产要素投入阶段 Input stage	农药、化肥、农膜	万 t	化肥、农药、农膜化学制品使用分解导致的碳排放
	农用能源	万 t	农业机械消耗柴油引发的碳排放
	农业灌溉	hm ²	灌溉过程中利用电能间接耗费化石燃料造成的碳释放
耕地农作物生长阶段 Growth stage	农田土壤利用	hm ²	水稻、小麦、玉米、豆类、棉花和蔬菜等农作物种植中破坏土壤表层导致有机碳流失造成的 N_2O 溢出
	稻田甲烷	hm ²	稻田中甲烷菌利用水稻植株根部有机物转化形成甲烷
耕地农作物收获阶段 Harvest stage	秸秆燃烧	万 t	水稻、小麦、玉米、豆类、薯类、油料和棉花等农作物秸秆燃烧产生的碳排放

注:各类计算系数参考田云等^[28]和彭立群等^[29]的研究成果。

Note: Various calculation coefficients refer to the research results of Tian et al^[28] and Peng et al^[29].

2.2.2 核心解释变量:农业绿色发展水平

农业绿色发展内涵以绿色低碳发展理念为引领、尊重资源环境为前提和绿色生产技术为支撑不断调整农业生产经营模式,建立农业经济、社会和生态效益协调可持续的生产体系,强调资源节约、环境友好、生态保育和绿色供给多重目标实现^[7]。依据政策文件^①及相关研究^[7-10,30],构建农业绿色发展评价指标体系(表2)。

表2 农业绿色发展水平评价指标体系

Table 2 Evaluation index system for agricultural green development level

目标层 Target layer	指标层 Indicator layer	衡量方式 Measurement method	单位 Unit	方向 Direction
资源节约 Resource conservation	耕地复种指数	农作物播种面积/耕地面积	hm ² /hm ²	—
	单位农业产值耗水量	农业用水量/农业总产值	万 t/万元	—
	有效灌溉水平	有效灌溉面积/农作物播种面积	hm ² /hm ²	+
	农业劳动生产率	农业总产值/农业从业人员	万元/万人	+
	农机使用效率	农业机械总动力/农作物播种面积	kW/hm ²	+
环境友好 Environmentally friendly	农药使用强度	农药施用量/农作物播种面积	t/hm ²	—
	化肥使用强度	化肥施用量/农作物播种面积	t/hm ²	—
	农膜使用强度	农膜施用量/农作物播种面积	t/hm ²	—
生态保育 Ecological conservation	自然保护区面积占比	自然保护区面积/土地总面积	%	+
	湿地面积占比	湿地面积/土地总面积	%	+
	森林覆盖率	森林面积/土地总面积	%	+
	轮作休耕率	轮作休耕面积/农作物播种面积	%	+
	水土流失治理率	水土流失治理面积/土地总面积	%	+
绿色供给 Green supply	地均绿色食品标识产品数量	认证绿色食品标志产品数/农作物播种面积	个/hm ²	+
	地均绿色食品标识认证企业数量	认证绿色食品标志企业数/农作物播种面积	个/hm ²	+
	休闲农业产值占农业总产值比重	休闲农业产值/农业总产值	%	+
	农村居民人均收入	农村居民人均可支配收入	元	+

2.2.3 中介变量:农业绿色生产技术

本研究从生产要素投入、农作物生长和收获3个阶段分别选取免耕率、节水灌溉率和秸秆还田率作为农业绿色生产技术的衡量指标^[21],并运用熵值法测得农业绿色生产技术综合指数。

2.2.4 控制变量

控制变量选取如下^[4,12,31]:经济发展水平(GDPP),用人均GDP的表示;农业产业结构(Ind),用农业总产值占农林牧渔业总产值比重衡量;财政支农力度(Fin),用农林水事物支出占财政总支出比重测度;农业自然灾害率(Dis),用农作物受灾面积占农作物播种面积比重表征;城镇化水平(Urb),用年末城市人口占总人口比重度量。

2.3 数据来源与说明

本研究样本为中国31省份(统计数据未含港澳台地区,下同),原始数据源于2001—2022年《中国农村统计年鉴》^[32]《中国环境统计年鉴》^[33]《中国农业机械工业年鉴》^[34]《中国休闲农业年鉴》^[35]和《绿色食品统计年报》^[36]等年鉴资料和各省域统计年鉴。部分缺失数据采用插值法处理补齐。

①《绿色发展指标体系》《生态文明建设考核目标体系》《国家农业可持续发展试验示范区建设方案》《关于创新体制机制推进农业绿色发展的意见》《“十四五”全国农业绿色发展规划》等文件是深入理解农业绿色发展概念内涵和发展目标的基础依据。

3 结果与分析

3.1 时空演变特征

2001—2022年研究区农业绿色发展水平与耕地利用碳排放量和碳排放强度时间演变如图2和3。选取2001、2021和2022代表年份,利用ArcGIS中自然断点法将农业绿色发展水平与耕地利用碳排放强度空间演变对比可视化处理(图4)。

3.1.1 农业绿色发展水平时空演变特征分析

1)整体看,图2(a)显示全国农业绿色发展水平由2001年0.154逐步增至2022年0.397,年均增幅7.514%。省域间呈“周高中低”的空间态势,水平高值区主要分布在西藏、青海、浙江和北京等地区,

低值区主要分布在河南、湖南、贵州和新疆等地区(图4)。然而,随时间演进低值区数量增加,反映高值区带动农业绿色发展水平提升尤为明显。

2)分区域看,从图2(b)可知,2001—2022年粮食主产区、主销区和产销平衡区农业绿色发展水平均呈现上升趋势,年均增幅分别达到6.614%、10.352%和6.327%,区域差距不断扩大。对应的是,水平均值由粮食主销区(0.332)、产销平衡区(0.239)、粮食主产区(0.237)依次递减,反映浙江、上海和北京等经济较发达的粮食主销区耕地利用主体绿色素养内在条件较优异,以及在农业绿色发展先行政策资金等驱动下,农业绿色发展水平提升迅速。

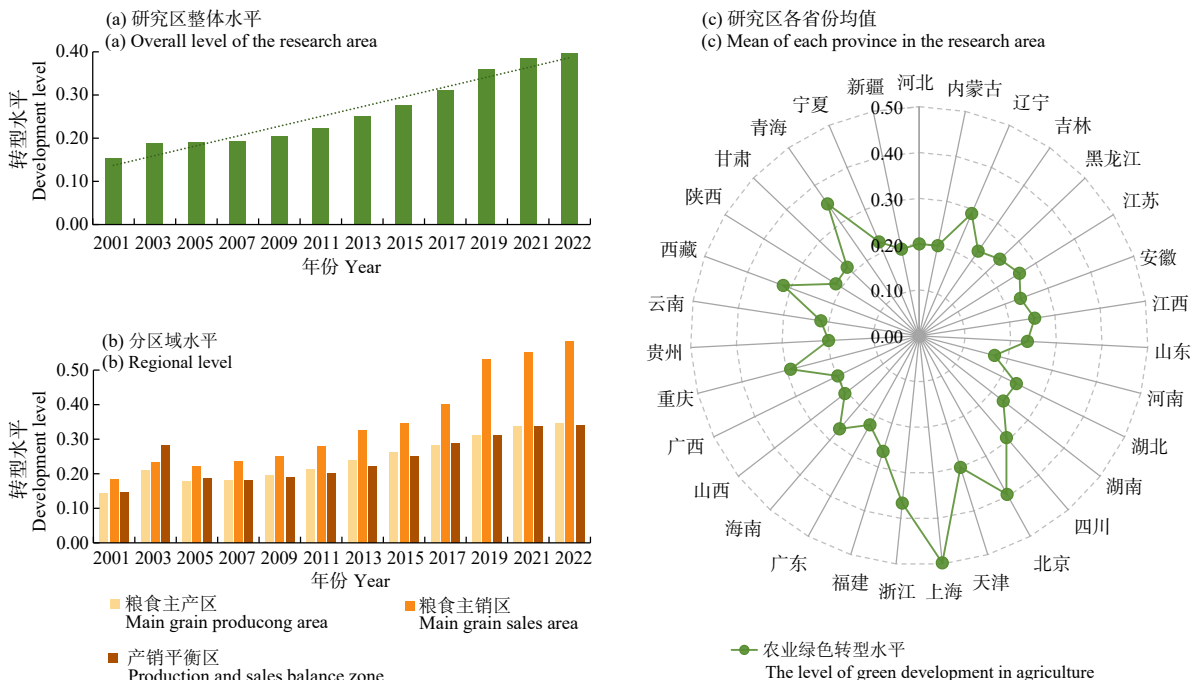


图2 2001—2022年农业绿色发展水平时间演变趋势

Fig. 2 Temporal evolution trend of agricultural green development level from 2001 to 2022

3.1.2 耕地利用碳排放时空演变特征分析

1)从耕地利用碳排放总量上看,全国由2001年5.236亿t增至2022年6.418亿t,年均增幅1.075%,呈现“先升后缓”的变化特征(图3)。分区域看,粮食主产区耕地利用碳排放占全国比重最高,达73.496%,年均增幅1.610%;粮食主销区呈现“波动下降”变化趋势,年均降幅1.224%;产销平衡区显现“倒U”变化特征,年均增幅0.887%,体现耕地利用碳排放得到有效抑制。

2)细分阶段看,耕地利用各阶段碳排放量占比呈生长阶段(51.228%)>收获阶段(33.756%)>投入阶段(15.016%)递减。区域上,生长阶段是各功能区碳排放的主要来源,图4显示,贡献率较大的省份在投入阶段为广西、海南和广东等;在生长阶段为湖北、江西、河南等;在收获阶段为新疆、内蒙古、黑龙江等,该分布与农业生产的地域性密切相关,如生长阶段高贡献地区多为粮食主产区,农作物种植广且熟制高,因而土壤 NO_2 和甲烷释放大。

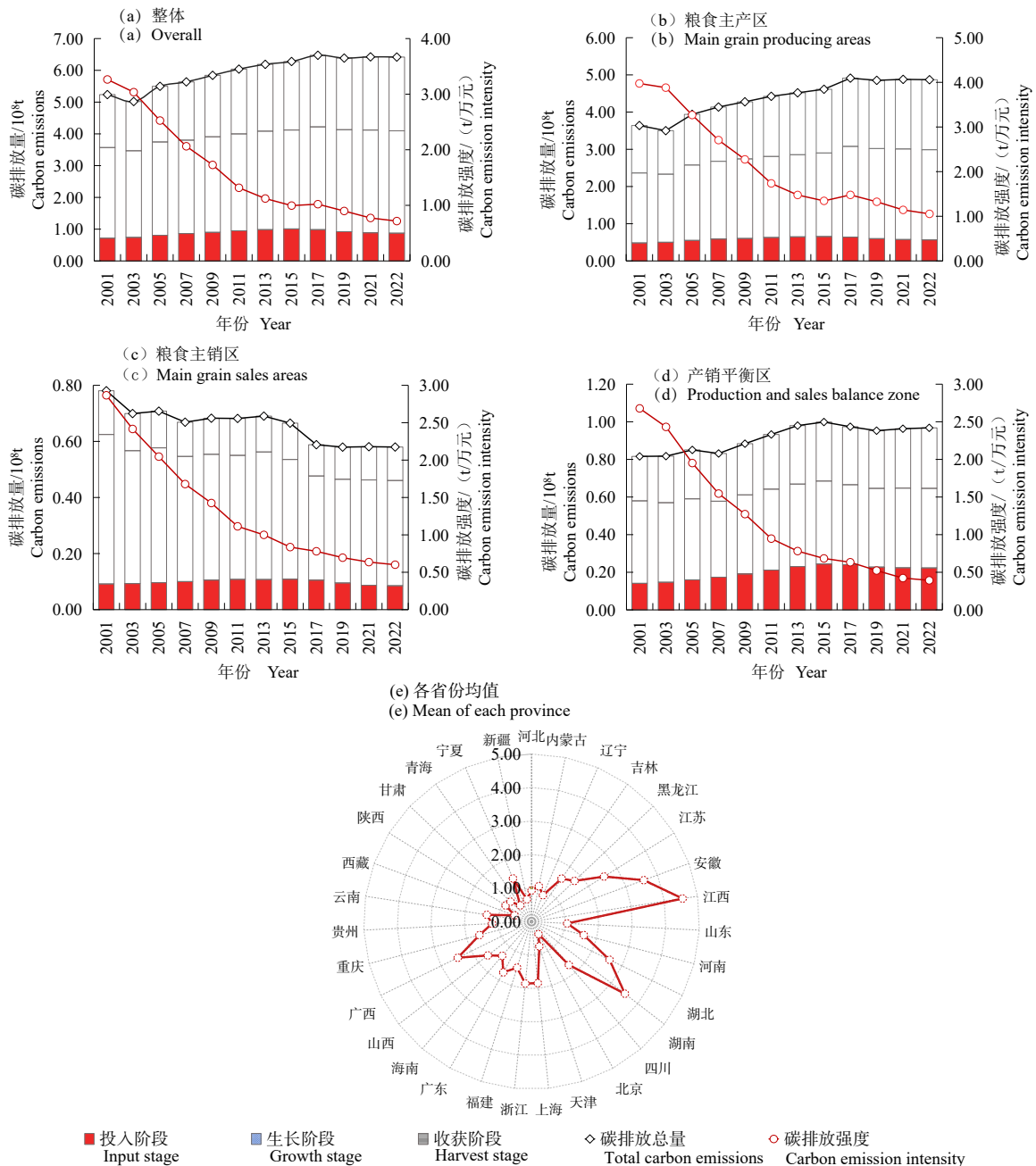


图3 2001—2022年耕地利用碳排放量和碳排放强度时间演变趋势

Fig. 3 Temporal evolution trend of carbon emissions and carbon emission intensity from cultivated land use from 2001 to 2022

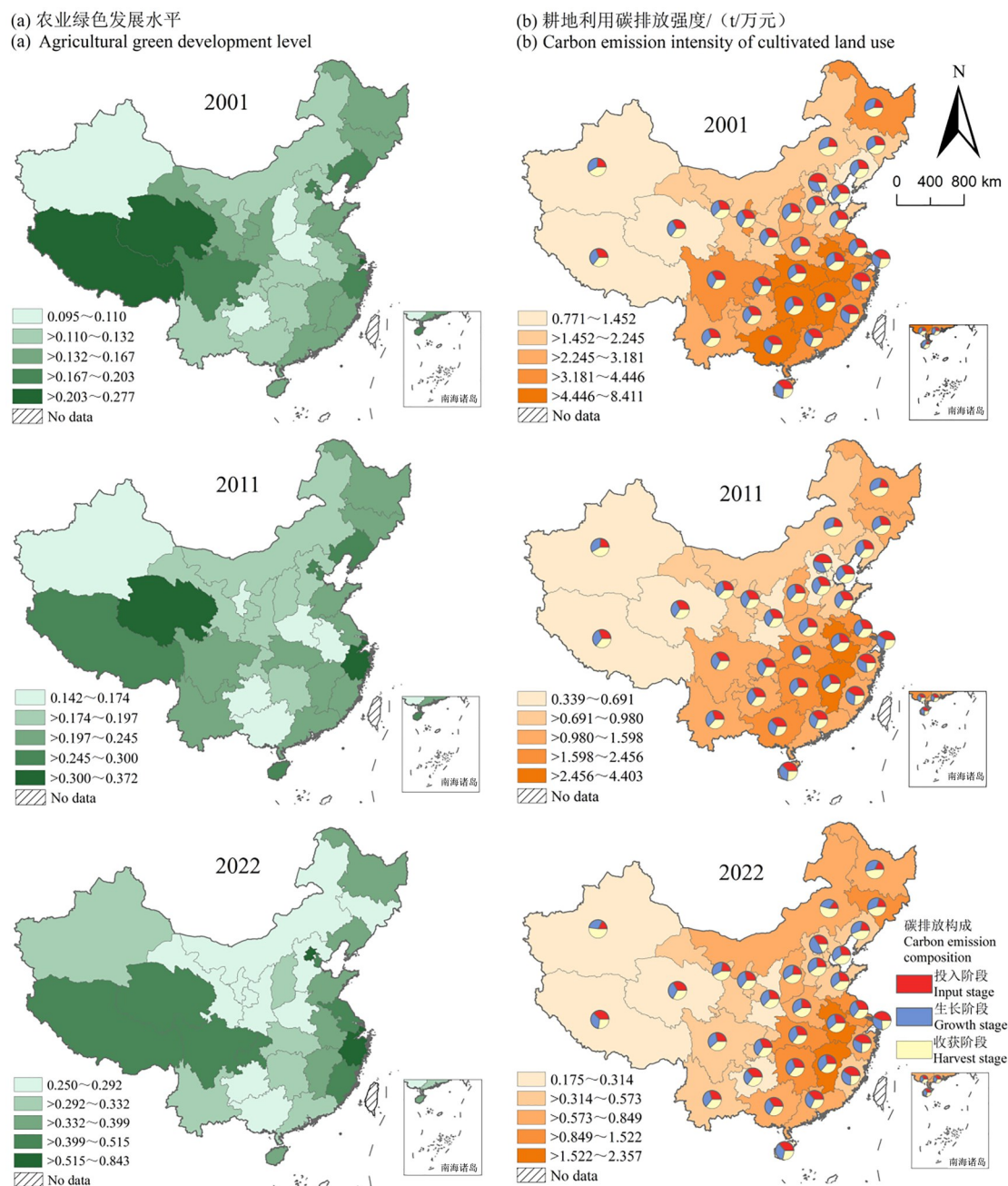
3)从耕地利用碳排放强度上看,全国由2001年的3.264 t/万元下降至2022年的0.717 t/万元,年均降幅3.716%,呈现“持续下降”的变化趋势,省份间呈现“中高周低”的空间态势。三大粮食功能区碳排放强度均下降,强度均值由粮食主产区(2.147 t/万元)、粮食主销区(1.345 t/万元)、产销平衡区(1.201 t/万元)依次递减,特别是产销平衡区中西藏、新疆和青海相对较低,其原因在于该地区作为

我国重要牧区和生态屏障区,耕作强度小且生态保护力度强,有助于降低耕地利用碳排放。

3.2 基准回归

3.2.1 基准回归结果分析

表3模型(1)和(2)显示农业绿色发展水平对耕地利用碳排放强度的回归系数分别为-1.325和-0.543,均通过1%的显著性检验,表明农业绿色发展能有效降低耕地利用碳排放强度。对于控制



基于自然资源部标准地图服务网站GS(2023)2763号的标准地图制作,底图边界无修改。

Based on the standard map service website GS (2023) No. 2763 of the Ministry of Natural Resources, the boundary of the base map has not been modified.

图4 农业绿色发展水平与耕地利用碳排放强度空间演变对比(2001—2022年)

Fig.4 Comparison of spatial evolution between agricultural green development level and carbon emission intensity of cultivated land use from 2001 to 2022

变量:1)人均GDP和城镇化率回归系数显著为正,反映随着经济发展和城镇人口增加,农业绿色市场需求提升有助于降低耕地利用碳排放强度。2)农业产业结构和财政支农力度回归系数显著为负,表明农业产业占比较大和财政较倾斜农业的地区对

耕地低碳生产较为重视;3)农业自然灾害率回归系数显著为正,由于农业自然灾害发生易造成后期减产,然而前期已投入的生产要素不变,导致耕地利用碳排放强度增加。

模型(3)~(5)显示三大粮食功能区的农业绿色

发展对耕地利用均存在1%显著水平的控碳效应。其中,1)粮食主产区和产销平衡区回归系数分别为-0.318和-0.245,低于整体水平,粮食主产区因稳增保产压力与资源密集型耕作方式尚未脱钩,而产销平衡区多经济欠发达地区,耕地利用主体低碳生产理念较弱导致减碳效果受限。2)粮食主销区回归系数为-0.898,高于整体水平,北京、上海等正形成都市型现代农业区,农业绿色市场需求旺盛,且耕地利用主体具备较高绿色素养内在条件,加之作为农业绿色政策试点区,促进了低碳生产管理实施。

表3 基准回归结果
Table 3 Benchmark regression results

变量 Variable	整体 Overall		模型(3): 粮食主产区 Model (3): Main grain producing areas	模型(4): 粮食主销区 Model (4): Main grain sales areas	模型(5): 产销平衡区 Model (5): Production and sales balance zone
	模型(1) Model (1)	模型(2) Model (2)			
lnDel	-1.325*** (0.048)	-0.543*** (0.046)	-0.318*** (0.058)	-0.898*** (0.086)	-0.245*** (0.074)
lnGDPP		-0.417*** (0.083)	-0.445*** (0.030)	-0.976*** (0.041)	-0.679*** (0.025)
lnInd		-0.897*** (0.146)	-0.892*** (0.112)	-0.876** (0.361)	-1.526*** (0.257)
lnFin		-0.542*** (0.043)	-0.441*** (0.044)	-0.156 (0.114)	-0.626*** (0.061)
lnDis		0.052*** (0.009)	0.049*** (0.015)	0.029** (0.011)	0.117*** (0.030)
lnUrb		-0.737*** (0.056)	-1.087*** (0.085)	-0.301*** (0.088)	-1.406*** (0.103)
省份/年份固定 Province/Year fixed	YES	YES	YES	YES	YES
N	682	682	286	154	242
R ²	0.786	0.896	0.960	0.858	0.906

注:括号为稳健标准误,* $P<0.10$,** $P<0.05$,*** $P<0.01$ 。下同。模型(1)和(2)为检验在未加入和加入控制变量情况下,研究区整体农业绿色发展水平对耕地利用碳排放强度的影响效应,模型(3)~(5)为检验粮食主产区、粮食主销区和产销平衡区的农业绿色发展对耕地利用碳排放强度的影响效应。
Note: The robust standard error is indicated in parentheses, * $P<0.10$, ** $P<0.05$, *** $P<0.01$. The same below. Models(1) and (2) aim to examine the impact of the overall level of agricultural green development on the carbon emission intensity of cultivated land use in the study area without or with control variables. Models(3)~(5)aim to examine the impact of agricultural green development on the carbon emission intensity of cultivated land use in major grain producing areas, major grain sales areas, and production sales balance areas.

3.2.2 稳健性和内生性检验

本研究采取以下方法验证稳健性:1)剔除经济、政策资源等差异较大的直辖市样本再次估计;2)考虑模型内生性问题,将农业绿色发展水平滞后一期进行回归;3)为减少极端值影响对样本数据进行1%的双侧缩尾后进行回归。3种稳健性检验结果的作用方向与基准回归结果一致,验证了结论的稳健性。此外,为避免潜在的内生性问题,参考韩宝国等^[37],使用将农业绿色发展水平的一期和二期滞后项作为工具

变量,以两段最小二乘法进行分析,结果显示农业绿色发展对耕地利用碳排放强度的负向影响依然显著,进一步佐证了基准回归的结论。

3.3 中介效应检验

表4模型(1)显示农业绿色发展水平对绿色生产技术应用的影响在1%水平下显著为正,模型(2)中农业绿色发展水平和绿色生产技术应用对耕地利用碳排放强度的影响均在1%水平下显著为负,反映农业绿色发展能提高绿色生产技术应用程度,进而

抑制耕地利用碳排放强度。模型(3)~(8)三大粮食功能区的检验结果与整体作用方向一致。然而,粮食主产区农业绿色生产技术抑制作用低于整体水平,仅在 10% 水平下显著。究其缘由,粮食主产区耕地生产强度大,免耕、节水灌溉和秸秆还田等技术的应用依赖于传统农机,农用柴油消耗大且转化率偏低造成大量碳排放,致使农业绿色技术应用未取得良好效果。

表 4 中介效应检验
Table 4 Mediation effect test

变量 Variable	整体 Overall		粮食主产区 Main grain producing areas		粮食主销区 Main grain sales areas		产销平衡区 Production and sales balance zone	
	模型(1) Model (1)	模型(2) Model (2)	模型(3) Model (3)	模型(4) Model (4)	模型(5) Model (5)	模型(6) Model (6)	模型(7) Model (7)	模型(8) Model (8)
lnDel	0.898*** (0.116)	-0.669*** (0.048)	0.809*** (0.260)	-0.373*** (0.064)	0.955*** (0.149)	-0.936*** (0.095)	0.434** (0.209)	-0.430*** (0.073)
lnM		-0.106** (0.015)		-0.027* (0.014)		-0.258*** (0.043)		-0.135** (0.023)
控制变量 Control variable	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
省份/年份固定 Province/Year fixed	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
N	682	682	286	286	154	154	242	242
R ²	0.666	0.875	0.675	0.945	0.814	0.852	0.545	0.874

注:模型(1)、(3)、(5)和(7)为检验农业绿色发展水平对绿色生产技术应用的影响效应,模型(2)、(4)、(6)和(8)为检验农业绿色发展水平和绿色生产技术对耕地利用碳排放强度的影响效应。
Note: Model (1), (3), (5) and (7) examine the impact of agricultural green development level on the application of green production technology, while models (2), (4), (6) and (8) examine the impact of agricultural green development level and green production technology on the carbon emission intensity of cultivated land use.

3.4 空间溢出效应分析

全局 Moran's *I* 指数检验显示研究期间农业绿色发展水平和耕地碳排放强度均呈现显著空间正相关性,比较相关检验结果,确定时空双重固定效应的 SDM 模型为最优选择。表 5 结果显示,SDM 模型中耕地利用碳排放强度的空间自回归系数 ρ 在 1% 水平下显著为正,农业绿色发展水平的空间估计系数在 1% 水平下显著为负,表明两者均存在空间溢出效应。此外,农业绿色发展抑制耕地利用碳排放的直接和间接溢出效应均较强。由此可见,深入推进农业绿色发展能够有效地抑制本省及邻近省份的耕地利用碳排放强度。对比 SAR 模型结果,在两种空间权重矩阵下的回归结果一致,进一步表明 SDM 模型回归结果呈现强稳健性。

4 结论与讨论

4.1 结论

本研究基于农业绿色生产技术应用中介视角,构建农业绿色发展影响耕地利用碳排放强度的理论分析框架,探究 2001—2022 年中国粮食主产区、主销区和产销平衡区农业绿色发展对耕地利用碳排放强度的影响机制和空间效应,结论如下:

1) 农业绿色发展水平由 2001 年 0.154 增至 2022 年 0.397,年均增幅达到 7.514%,整体呈现上升趋势;区域间表现为粮食主销区(0.332)、产销平衡区(0.239)和粮食主产区(0.237)依次递减的空间格局,随时间演进发展差距扩大。

2) 耕地利用碳排放强度由 2001 年 3.264 t/万元

表5 农业绿色发展影响耕地利用碳排放强度的空间溢出效应检验

Table 5 Spatial spillover effects test of agricultural green development on carbon emission intensity of cultivated land use

变量 Variable	SDM模型 SDM model		SAR模型 SAR model	
	邻接矩阵 Adjacency matrix	距离矩阵 Distance matrix	邻接矩阵 Adjacency matrix	距离矩阵 Distance matrix
lnDel	−0.430*** (0.085)	−0.399*** (0.090)	−0.307*** (0.078)	−0.442*** (0.090)
wlnDel	−0.581*** (0.153)	−0.610*** (0.136)		
ρ	0.674*** (0.031)	0.734*** (0.053)	0.664*** (0.031)	0.793*** (0.041)
直接效应 Direct effect	−0.355*** (0.096)	−0.241** (0.109)	−0.352*** (0.093)	−0.494*** (0.104)
间接效应 Indirect effect	−0.560*** (0.161)	−0.485** (0.132)	−0.463*** (0.063)	−1.827*** (0.700)
总效应 Total effect	−0.915*** (0.248)	−0.726*** (0.205)	−0.815*** (0.109)	−2.321*** (0.773)
控制变量 Control variable	YES	YES	YES	YES
省份/年份固定 Province/Year fixed	YES	YES	YES	YES
R^2	0.896	0.511	0.771	0.688
Log-likelihood	441.376	463.999	418.374	517.437

降至2022年0.717 t/万元,年均降幅达到3.716%,整体呈现下降趋势;空间上呈现粮食主产区(2.147 t/万元)、粮食主销区(1.345 t/万元)和产销平衡区(1.201 t/万元)依次递减格局。

3)农业绿色发展水平在1%显著水平下抑制耕地利用碳排放强度,粮食主产区和产销平衡区抑制作用低于整体水平,粮食主销区反之;农业绿色发展存在通过促进农业绿色生产技术应用,进而抑制耕地利用碳排放强度的中介路径,粮食主产区农业绿色生产技术抑制作用低于整体水平。

4)农业绿色发展水平和耕地利用碳排放强度均存在显著的空间正相关性,农业绿色发展水平对耕地利用碳排放强度的抑制作用存在显著空间溢出效应。

4.2 讨论

科学勾勒农业绿色发展及耕地利用碳排放强度的时空画像、解构耕地低碳生产的微观逻辑是释放农业绿色发展降碳效应的前提。一方面,本研究从普适性层面评价农业绿色发展水平,但各地农业生产性质差异显著,若结合青海等牧区农业、上海

等大都市农业及南方地区立体农业特色,细分差异化的农业绿色发展评价体系,能以更精细的结果支撑耕地低碳生产。另一方面,耕地具有碳源-碳汇双重属性,囿于碳生态补偿缺位导致地区减排增汇动力匮乏,将碳源汇有效衔接考量水田、水浇地和旱地系统的碳循环过程,洞察各地区耕地利用碳排放公平性,有助于推动减排固碳政策的有效实施。根据结论提出如下政策建议:

1)缩小区域间农业绿色发展外在基础差距,实现耕地低碳生产空间协调发展。首先,加强湖南、江西和安徽等粮食主产区低碳奖惩、生态保育等政策资金扶持,约束化肥农药使用量,保障耕地系统稳定性;其次,加快培育北京、浙江和广东等粮食主销区绿色市场,建立农产品企业、品牌和休闲农业等低碳供应链,激发耕地利用主体低碳生产积极性。

2)优化耕地生产各阶段精准减碳实践,降低区域间耕地整体碳排放强度。一是湖北、江西和河南等粮食主产区应积极推广精准施肥和轮作休耕等低碳耕种模式,改善土壤微生物活性,减少稻田甲

烷和 N_2O 的排放;二是引导宁夏、新疆和青海等产销平衡区耕地利用主体将秸秆用于堆肥还田和生物质炭制作等,提高土壤有机质,增加耕地碳封存能力。

3)提高耕地利用主体技术水平等内在条件,推动农业低碳生产技术更新与应用。一方面,更新粮食主产区和产销平衡区绿色节能农机,引入低碳智慧农田技术,减少传统机械化免耕、节水灌溉和秸秆还田过程农业柴油消耗造成的碳反弹。另一方面,各区域要建立农业绿色生产技术信息平台,拓展低碳知识和技术传播渠道,提高绿色生产技术普及率。

4)加强区域间农业绿色发展合作,形成空间联合控碳格局。一是打造跨区域农业绿色发展合作机制,北京、天津和上海等粮食主销区要发挥资金、技术优势的示范和凝聚效应,促使低碳耕作的资源经验共享。二是探索区域横向耕地利用碳补偿制度,如北京、浙江和广东等粮食主销区为黑龙江、河南和湖北等粮食主产区的耕地生产碳承担支付碳补偿资金。

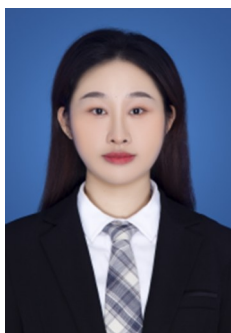
参考文献 References

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC sixth assessment report, climate change 2022 [R]. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022
- [2] 田云,林子娟. 长江经济带农业碳排放与经济增长的时空耦合关系[J]. 中国农业大学学报, 2021, 26(1): 208-218
Tian Y, Lin Z J. Spatio-temporal coupling relationship between agricultural carbon emissions and economic growth in the Yangtze River Economic Belt [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2021, 26(1): 208-218 (in Chinese)
- [3] 于法稳. 习近平绿色发展新思想与农业的绿色转型发展[J]. 中国农村观察, 2016(5): 2-9, 94
Yu F W. New ideas of green development of Xi Jinping and green transformation of agriculture [J]. *China Rural Survey*, 2016(5): 2-9, 94 (in Chinese)
- [4] 吕添贵,付舒斐,胡晗,汪立. 农业绿色转型约束下耕地绿色利用效率动态演进及其收敛特征研究:以长江中游粮食主产区为例[J]. 中国土地科学, 2023, 37(4): 107-118
Lv T G, Fu S F, Hu H, Wang L. Dynamic evolution and convergence characteristics of cultivated land green use efficiency based on the constraint of agricultural green transition: Taking the main grain producing areas in the Middle Reaches of the Yangtze River as an example [J]. *China Land Science*, 2023, 37(4): 107-118 (in Chinese)
- [5] 中华人民共和国生态环境部. 《中华人民共和国气候变化第三次两年更新报告》[EB/OL]. [2023-12-30]. <https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202312/P020231230296808873994.pdf>
Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. The Third Biennial Update Report on Climate Change in the People's Republic of China [EB/OL]. [2023-12-30]. <https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202312/P020231230296808873994.pdf> (in Chinese)
- [6] 李周. 中国农业绿色发展:创新与演化[J]. 中国农村经济, 2023(2): 2-16
Li Z. The green development of agriculture in China: Innovation and evolution [J]. *Chinese Rural Economy*, 2023(2): 2-16 (in Chinese)
- [7] 孙炜琳,王瑞波,姜茜,黄圣男. 农业绿色发展的内涵与评价研究[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(4): 14-21
Sun W L, Wang R B, Jiang Q, Huang S N. Research on the connotation and evaluation of agricultural green development [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2019, 40(4): 14-21 (in Chinese)
- [8] 魏琦,张斌,金书秦. 中国农业绿色发展指数构建及区域比较研究[J]. 农业经济问题, 2018(11): 11-20
Wei Q, Zhang B, Jin S Q. A study on construction and regional comparison of agricultural green development index in China [J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2018(11): 11-20 (in Chinese)
- [9] 廖洪凯. 农业生态系统非共生固氮研究进展[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2022, 40(1): 17-23
Liao H K. Research progress of non-symbiotic nitrogen fixation in agroecosystem [J]. *Journal of Guizhou Normal University: Natural Sciences*, 2022, 40(1): 17-23 (in Chinese)
- [10] Wu H Y, Huang H J, Chen W K, Meng Y. Estimation and spatiotemporal analysis of the carbon-emission efficiency of crop production in China [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2022, 371: 133516, DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.133516
- [11] 李强,高威,魏建飞,姜志法,张杨,吕军晓. 中国耕地利用净碳汇时空演进及综合分区[J]. 农业工程学报, 2022, 38(11): 239-249
Li Q, Gao W, Wei J F, Jiang Z F, Zhang Y, Lv J X. Spatiotemporal evolution and comprehensive zoning of net carbon sink in cultivated land use in China [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2022, 38(11): 239-249 (in Chinese)
- [12] 王梦成,董又铭,林娜娜,漆信贤,黄贤金. 双碳背景下耕地利用转型对耕地利用碳排放的影响及其空间溢出效应:以黄淮海平原为例[J]. 自然资源学报, 2024, 39(2): 352-371
Wang M C, Dong Y M, Lin N N, Qi X X, Huang X J. Impact of farmland use transition on farmland use carbon emissions and its spatial spillover effects under the double carbon background: A case study of Huang-Huai-Hai Plain [J]. *Journal of Natural Resources*, 2024, 39(2): 352-371 (in Chinese)
- [13] 王如如,张郁,房艳刚,于永强,刘建志. 农业生产转型视角的东北三省农业碳排放格局特征与作用机制[J]. 地理研究, 2023, 42(8): 2264-2282
Wang R R, Zhang Y, Fang Y G, Yu Y Q, Liu J Z. The pattern characteristics and mechanisms of agriculture carbon emissions from the perspective of agricultural production transition in Northeast China [J]. *Geographical Research*, 2023, 42(8): 2264-2282 (in Chinese)
- [14] 齐蕾,吴玲. 我国粮食主产区粮食生产与收入水平的协调度分析[J]. 经济地理, 2017, 37(6): 156-163
Qi H, Wu L. Analysis on coordination degree of grain production pattern and income level in main producing areas of China [J]. *Economic*

- Geography*, 2017, 37(6):156-163 (in Chinese)
- [15] 王永贵, 马双, 杨宏恩. 服务外包中创新能力的测量、提升与绩效影响研究: 基于发包与承包双方知识转移视角的分析[J]. 管理世界, 2015(6):85-98
Wang Y G, Ma S, Yang H E. Measurement, improvement, and performance impact of innovation capability in service outsourcing: Analysis from the perspective of knowledge transfer between outsourcing and contracting parties[J]. *Journal of Management World*, 2015(6):85-98 (in Chinese)
- [16] 黄晓慧, 聂凤英. 数字化驱动农户农业绿色低碳转型的机制研究[J]. 西北农林科技大学学报: 社会科学版, 2023, 23(1):30-37
Huang X H, Nie F Y. Research on the mechanism of digitalization driving farmers' agriculture green and low-carbon transformation[J]. *Journal of Northwest A&F University: Social Science Edition*, 2023, 23(1):30-37 (in Chinese)
- [17] 吕添贵, 谢花林, 李洪义, 卢华, 吴次芳. 休耕政策实施的偏离风险、形成路径与防范体系研究[J]. 中国土地科学, 2019, 33(4):51-58
Lv T G, Xie H L, Li H Y, Lu H, Wu C F. Deviation risk of policy implementation of cultivated land fallow and its prevention system[J]. *China Land Science*, 2019, 33(4):51-58 (in Chinese)
- [18] 郭海红, 刘新民. 中国农业绿色全要素生产率的时空分异及收敛性[J]. 数量经济技术经济研究, 2021, 38(10):65-84
Guo H H, Liu X M. Spatial and temporal differentiation and convergence of China's agricultural green total factor productivity [J]. *Journal of Quantitative & Technological Economics*, 2021, 38 (10) : 65-84 (in Chinese)
- [19] 陈转青. 政策导向、市场导向对农户绿色生产的影响: 基于河南 865 个农户的实证分析[J]. 管理学报, 2021, 34(5):109-125
Chen Z Q. The influence of policy-orientation and market-orientation on farmers green production-based on the empirical analysis of 865 farmers in Henan[J]. *Journal of Management*, 2021, 34(5):109-125 (in Chinese)
- [20] 赵晓颖, 郑军, 张明月. 乡村振兴战略下新型农业经营主体绿色生产行为研究: 基于资本禀赋的水平、结构和互补性视角[J]. 农村经济, 2022(1): 89-97
Zhao X Y, Zheng J, Zhang M Y. Research on green production behavior of new agricultural business entities under rural revitalization strategy: Based on the perspective of capital endowment's level, structure, and complementarity[J]. *Rural Economy*, 2022(1):89-97 (in Chinese)
- [21] Guo Z D, Zhang X N. Carbon reduction effect of agricultural green production technology: A new evidence from China[J]. *Science of The Total Environment*, 2023, 874: 162483, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.162483
- [22] 蒋团标, 钟敏, 马国群. 数字经济对农业绿色全要素生产率的影响: 基于土地经营效率的中介作用分析[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(4):27-39
Jiang T B, Zhong M, Ma G Q. Impact of digital economy on agricultural green total factor productivity: A mediation analysis based on land operation efficiency[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(4):27-39 (in Chinese)
- [23] 张伟, 朱启贵, 高辉. 产业结构升级、能源结构优化与产业体系低碳化发展[J]. 经济研究, 2016, 51(12):62-75
Zhang W, Zhu Q G, Gao H. Upgrading of industrial structure, optimizing of energy structure, and low carbon development of industrial system[J]. *Economic Research Journal*, 2016, 51(12):62-75 (in Chinese)
- [24] 许佳彬, 王洋, 李翠霞. 环境规制政策情境下农户认知对农业绿色生产意愿的影响: 来自黑龙江省 698 个种植户数据的验证[J]. 中国农业大学学报, 2021, 26(2):164-176
Xu J B, Wang Y, Li C X. Impact of farmers' cognition on the willingness of green production in the context of environmental regulation policy: Data verification from 698 growers in Heilongjiang Province[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2021, 26(2):164-176 (in Chinese)
- [25] 刘海猛, 方创琳, 黄解军, 朱向东, 周艺, 王振波, 张蕾. 京津冀城市群大气污染的时空特征与影响因素解析[J]. 地理学报, 2018, 73(1):177-191
Liu H M, Fang C L, Huang J J, Zhu X D, Zhou Y, Wang Z B, Zhang Q. The spatial-temporal characteristics and influencing factors of air pollution in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(1):177-191 (in Chinese)
- [26] Tubiello F N, Salvatore M, Rossi S, Ferrara A, Fitton N, Smith P. The FAOSTAT database of greenhouse gas emissions from agriculture [J]. *Environmental Research Letters*, 2013, 8(1), DOI: 10.1088/1748-9326/8/1/015009
- [27] 吴昊玥, 何宇, 黄瀚蛟, 陈文宽. 中国种植业碳补偿率测算及空间收敛性[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(6):113-123
Wu H Y, He Y, Huang H J, Chen W K. Estimation and spatial convergence of carbon compensating rate of planting industry in China [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2021, 31(6):113-123 (in Chinese)
- [28] 田云, 尹志昊. 中国农业碳排放再测算: 基本现状、动态演进及空间溢出效应[J]. 中国农村经济, 2022(3):104-127
Tian Y, Yin M H. Re-evaluation of China's agriculture carbon emissions: Basic status, dynamic evolution and spatial spillover effects [J]. *Chinese Rural Economy*, 2022(3):104-127 (in Chinese)
- [29] 彭立群, 张强, 贺克斌. 基于调查的中国秸秆露天焚烧污染物排放清单[J]. 环境科学研究, 2016, 29(8):1109-1118
Peng L Q, Zhang Q, He K B. Emissions inventory of atmospheric pollutants from open burning of crop residues in China based on a national questionnaire [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2016, 29 (8) : 1109-1118 (in Chinese)
- [30] 赵会杰, 于法稳. 基于熵值法的粮食主产区农业绿色发展水平评价[J]. 改革, 2019(11):136-146
Zhao H J, Yu F W. Evaluation of agricultural green development level in main grain producing areas based on entropy method[J]. *Reform*, 2019 (11):136-146 (in Chinese)
- [31] 苏强俊, 安健吉, 员学锋. 黄河中下游城市土地绿色利用效率时空格局及其影响因素分析[J]. 贵州师范大学学报: 自然科学版, 2024, 42(3):58-67
Su Q J, An J J, Yuan X F. Spatio-temporal pattern and attribution analysis of urban land green use efficiency in the Middle and Lower Reaches of the Yellow River[J]. *Journal of Guizhou Normal University: Natural Sciences*, 2024, 42(3):58-67 (in Chinese)
- [32] 国家统计局农村社会经济调查司. 中国农村统计年鉴 2023[M]. 北京: 中国统计出版社, 2023
Rural Social and Economic Survey Department of the National Bureau of Statistics. *China Rural Statistical Yearbook 2023* [M]. Beijing: China Statistics Press, 2023 (in Chinese)
- [33] 国家统计局生态环境部. 中国环境统计年鉴 2023[M]. 北京: 中国统计出版社, 2023

- Ministry of Ecology and Environment of the National Bureau of Statistics. *China Environmental Statistical Yearbook 2023* [M]. Beijing: China Statistics Press, 2023 (in Chinese)
- [34] 中国机械工业年鉴编辑委员会、中国农业机械工业协会. 中国农业机械工业年鉴 2023 [M]. 北京: 中国农业机械工业年鉴编辑部, 2023
- China Machinery Industry Yearbook Editorial Committee and China Agricultural Machinery Industry Association. *China Agricultural Machinery Industry Yearbook 2023* [M]. Beijing: Editorial Board of China Agricultural Machinery Industry Yearbook, 2023 (in Chinese)
- [35] 农业农村部乡村产业发展司. 中国休闲农业年鉴 2020 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2020
- Rural Industry Development Department of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs. *China Leisure Agriculture Yearbook 2020* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2020 (in Chinese)
- [36] 中国绿色食品发展中心. 《绿色食品统计年报 2022》[M]. 北京: 中国绿色食品发展中心, 2022
- China Green Food Development Center. *Green Food Statistical Annual Report 2022* [M]. Beijing: China Green Food Development Center, 2022 (in Chinese)
- [37] 韩宝国, 朱平芳. 宽带对中国经济增长影响的实证分析 [J]. 统计研究, 2014, 31(10): 49-54
- Han B G, Zhu P F. Empirical analysis on effect of broadband on economic growth in China [J]. *Statistical Research*, 2014, 31(10): 49-54 (in Chinese)

责任编辑: 王岩



第一作者简介: 付舒斐, 博士研究生, 就读于江西财经大学国土资源与生态经济专业, 曾获得过中国土地学会青年优秀论文一、二等奖、第十届土地资源管理博士生论坛优秀论文三等奖、江西省土地学会年会优秀论文一等奖、江西财经大学优秀毕业生、江西省政府奖学金等。主要专业方向为耕地绿色利用转型。参与国家自然科学基金项目(42261049)、江西省自然科学基金项目(20232BAB203061)、江西省研究生创新课题(YC2022-s453)等, 个人主持江西省研究生创新课题(YC2024-B189)、江西财经大学科研课题2项(20231019154104944; 20210913221051660)。围绕耕地绿色利用与保护转型领域在《中国土地科学》、《水土保持研究》、《生态学报》、*Land*、*Physics and Chemistry of the Earth*等期刊发表学术论文多篇。



通讯作者简介: 吕添贵, 管理学博士, 江西财经大学财税与公共管理学院教授, 硕士生导师, 入选“赣鄱俊才支持计划·高校领军人才培养项目”青年领军人才。担任《中国土地科学》青年编委、《湖南农业大学学报(社会科学版)》青年编委、《贵州师范大学学报(自然科学版)》青年编委、河北大学学报(哲学社会科学版)青年编委。主要从事耕地保护、流域公共治理等研究。先后主持国家自然科学基金2项(42261049, 71864016)、教育部人文社科基金1项(17YJC630100)、中国博士后面上基金(2017M622098)等省部级课题12项, 参与国家社科重大课题2项。在《中国土地科学》、《地理科学》、《自然资源学报》、《农业工程学报》、《生态学报》、*Habitat International*、*Environmental Impact Assessment Review*、*Ecological Informatics*、*Journal for Nature Conservation*、*Environment, Development and Sustainability*、*Land Use Policy*等国内外学术期刊发表论文80余篇, 出版著作1部。荣获江西财经大学十大优秀研究生导师、青年科研五强、五四青年奖章等荣誉称号。