

“双碳”背景下农业新质生产力对中国 农业碳减排的影响

王兴中^{1,2,3}, 江小芳¹, 尹彤¹

(1. 桂林理工大学 商学院, 广西 桂林 541004; 2. 广西资源环境科技创新与绿色低碳
发展研究智库, 广西 桂林 541004; 3. 广西碳管理与绿色发展研究院, 广西 桂林 541004)

摘要: [目的] 分析农业新质生产力对中国农业碳排放的影响, 为制定农业绿色发展政策、优化农业资源配置、促进区域农业协同减排提供数据支持和理论依据。[方法] 基于中国 30 个省区(不含西藏自治区、台湾省、香港和澳门特别行政区)2012—2022 年的省级面板数据, 通过核密度估计模型、空间杜宾模型和空间衰减模型等计量模型系统分析农业新质生产力对农业碳排放的影响。[结果] ① 农业新质生产力能够显著降低农业碳排放, 即在加入所有控制变量的情况下, 农业新质生产力的发展水平每提高 1%, 农业碳排放就会下降 1.601%。② 从空间视角来看, 农业新质生产力的提高具有显著的空间溢出效应。③ 城镇化水平和政府支持对农业新质生产力抑制农业碳排放具有不同的调节作用。④ 农业新质生产力的减碳作用存在显著的空间异质性。西部地区、粮食主产区和胡焕庸线西北部地区的农业新质生产力对农业碳排放的减碳作用更为显著。[结论] 农业新质生产力对农业碳减排有显著的促进作用, 存在空间溢出效应和异质性特征, 在构建区域协同减排机制和精准化政策设计时应予以充分考虑。

关键词: 农业新质生产力; 农业碳排放; 空间杜宾模型; 空间衰减模型

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2025)03-0295-12

中图分类号: S181, X511, F303.2

文献参数: 王兴中, 江小芳, 尹彤. “双碳”背景下农业新质生产力对中国农业碳减排的影响[J]. 水土保持通报, 2025, 45(3): 295-306. Wang Xingzhong, Jiang Xiaofang, Yin Tong. Impact of China's agricultural new-quality productivity on agricultural carbon emission reduction under background of 'dual carbon' [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2025, 45(3): 295-306. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2025.03.036; CSTR: 32312.14.stbctb.2025.03.036.

Impact of China's agricultural new-quality productivity on agricultural carbon emission reduction under background of 'dual carbon'

Wang Xingzhong^{1,2,3}, Jiang Xiaofang¹, Yin Tong¹

(1. Business School of Guilin University of Technology, Guilin, Guangxi 541004, China; 2. Guangxi Research Think Tank on Science and Technology Innovation of Resources and Environment, and Green Low-carbon Development, Guilin, Guangxi 541004, China; 3. Guangxi Carbon Management and Green Development Research Institute, Guilin, Guangxi 541004, China)

Abstract: [Objective] The impact of agricultural new quality productivity on China's agricultural carbon emissions was analyzed in order to provide robust data support and theoretical foundations for formulating green agricultural policies, optimizing agricultural resource allocation, and promoting regional collaborative emission reduction in agriculture. [Methods] The impact of agricultural new quality productivity on agricultural carbon emissions was systematically analyzed using econometric models, such as the kernel density estimation, spatial Durbin, and spatial attenuation models, and provincial panel data (2012—2022) from 30 provinces (regions) (excluding Xizang Autonomous Region, Taiwan Province, Hong Kong SAR and Macao SAR) in China. [Results] ① Agricultural new quality productivity significantly reduced carbon emissions. Specifically, when all control variables were included, for every 1% increase in the development level of agricultural new quality productivity, agricultural carbon emissions decreased by 1.601%. ② From a spatial perspective, improving agricultural new quality

收稿日期: 2024-12-11

修回日期: 2025-03-07

采用日期: 2025-03-10

资助项目: 广西科技智库建设课题“桂林市国家可持续发展议程创新示范区建设方案(2021—2025)中期评估研究”(桂科 Y23042002)

第一作者: 王兴中(1974—), 男(汉族), 湖南省新宁县人, 硕士, 正高级实验师, 主要从事创新管理方面的工作。Email: wangxzhong@glut.edu.cn.

通讯作者: 江小芳(2000—), 女(汉族), 湖南省益阳市人, 硕士研究生, 研究方向为绿色创新、可持续发展。Email: theone11211@glut.edu.cn.

productivity had a significant spatial spillover effect. ③ Urbanization level and government support had different moderating effects on the ability of agricultural new quality productivity to inhibit agricultural carbon emissions. ④ The carbon reduction effect of agricultural new quality productivity exhibited significant spatial heterogeneity, with more pronounced effects in the western regions, major grain-producing areas, and areas northwest of the Hu Huanyong line. [Conclusion] Agricultural new quality productivity has a significant promotional effect on agricultural carbon emission reduction. Additionally, there are spatial spillover effects and heterogeneity characteristics that should be fully considered in the construction of regional collaborative emission reduction mechanisms and precise policy design.

Keywords: agricultural new quality productivity; agricultural carbon emissions; spatial Durbin model; spatial attenuation model

在全球气候变暖趋势明显加快的大背景下,中国作为主要温室气体排放国家,在第75届联合国大会上提出力争在2030年中国二氧化碳排放实现碳达峰,2060年前实现碳中和。数据显示,自1993年以来,中国农业碳排放总量和碳排放强度均持续上升,其年平均增速分别为4.08%和2.38%^[1]。2014年中国碳排放量占全球碳排放的28%,已经超过美国和欧洲排放量的总和。若不采取有效的减排措施,预计到2050年农业碳排放将增加30%。面对日益严峻的减排形势,中国早在2007年就提出农业减排的重要任务,在2009年提出2020年的单位产值所产生的二氧化碳量要比2005年下降40%~45%;2016年政府工作报告也进一步明确了“十三五”时期单位国内生产总值二氧化碳排放量下降18%的碳减排目标,2021年《中共中央、国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》将农业确立为“双碳”工作先行先试的五大领域之一,这为农业生产低碳发展提供了政策依据。

2023年9月,中国国家领导人在黑龙江考察期间首次提出了“新质生产力”概念^[2]。而农业新质生产力是指在农业领域,以科技创新为驱动^[3],通过整合农业资源、优化生产要素配置、提高农业生产效率和质量,形成的一种新型农业生产力^[4]。它强调农业科技化、数字化、网络化和智能化的发展,旨在实现农业的高质量发展和可持续发展^[5]。目前,学界对于农业新质生产力的研究尚处于初步探索阶段,现有文献大多从农业新质生产力的理论内涵^[6-7]、培育逻辑^[8-9]、实践进路^[10-11]、障碍诊断^[12-14]和区域差异等^[15]方面展开讨论。此外,有部分学者针对农业新质生产力的测度进行了开创性的探索,王琴梅等^[16]提出,数字农业生产力包括数字农业劳动者、数字农业劳动资料和数字农业劳动对象。朱迪等^[17]从农业劳动者、农业劳动对象和农业劳动资料等3个方面构建了农业新质生产力综合评价指标体系。

关于农业碳减排的问题,现有文献大多从农业

技术进步^[18]、农业政策^[19]、环境规制^[20]、绿色全要素生产率^[21]、数字经济等^[22-23]方面对农业碳减排的影响因素进行了探索。现有研究仅聚焦于单一因素对农业碳排放的影响,但将农业新质生产力具体到农业碳排放领域的研究尚少,部分研究仅关注直接效应,忽视了空间溢出效应和区域协同减排的复杂性。鉴于此,本研究基于中国30个省(区)(不包括西藏及港澳台地区)2012—2022年的省级面板数据,使用核密度估计模型、空间杜宾模型和空间衰减模型等计量方法,深入实证分析农业新质生产力对农业碳减排的具体赋能路径与效果,以期为制定农业绿色发展政策、优化农业资源配置、促进区域农业协同减排提供有力的数据支持和理论依据。

1 研究设计

1.1 模型设定

1.1.1 基准回归模型 为探究农业新质生产力发展对农业碳排放的影响,构建如下基准模型:

$$\text{LNAC}_{it} = \alpha + \beta \text{AN}_{it} + \text{Control}_{it} + \sigma_i + \tau_t + \epsilon_{it} \quad (1)$$

式中: i, t 分别表示省份和年份; LNAC_{it} 表示省份 i 在 t 年的农业碳排放水平; AN_{it} 代表 i 省在 t 年的农业新质生产力的综合得分; Control_{it} 表示可能影响农业碳排放的省级层面随时间变化的控制变量; σ_i 为省份固定效应; τ_t 为时间固定效应; ϵ_{it} 为随机扰动项; β 为本研究所关注的核心系数,反映了农业新质生产力对农业碳排放的平均处理效应。

1.1.2 空间计量模型 在测度农业碳排放的基础上,由于城市相邻区域之间存在空间共性,且农业碳排放表现出较强的空间集聚性,为能全面地考察不同维度对农业碳排放的影响,故本文构建如下空间计量模型:

$$\text{LNAC}_{it} = \rho \cdot W \cdot \text{LNAC}_{it} + \gamma_1 \cdot \text{AN}_{it} + \gamma_1 \cdot \text{Control}_{it} + \tau \cdot \text{AN}_{it} + \mu \cdot W \cdot \text{Control}_{it} + \epsilon_i + \delta_t + \omega_{it} \quad (2)$$

$$\omega_{it} = \rho \cdot W \cdot \text{LNAC}_{it} + \vartheta_{it} \quad (3)$$

式中: ϵ_i, δ_t 分别表示为空间固定和时间固定; ρ 为空间

间相关系数； W 为空间权重矩阵； $\gamma_1, \gamma_2, \tau, \mu$ 为方程的待估计参数； ϑ_{it} 为随机扰动项。

1.2 变量选择与数据说明

1.2.1 被解释变量 相较于工业碳排放的单一性，农业碳排放的来源展现出多元化的特点^[24]。首先，源自农田利用的各种活动，诸如农业生产资料的应用、农业能源的消耗以及农业废弃物的处理方式，均会产生温室气体排放。其次，水稻生长的自然过程中会释放甲烷等温室气体。再者，畜牧业，特别是反刍动物的饲养，也是农业碳排放的一个重要来源。基于这些多样化的排放源头，本研究从4个方面（即农业能源利用、农用物资投入、种植消耗、养殖消耗）确定具体碳源因子及其所对应的碳排放系数。各碳源的碳排放因子详见表1。

表1 主要碳源碳排放系数

Table 1 Carbon emission coefficient of main carbon sources

碳源分类	碳源	碳排放单位	碳排放系数	数据来源
农业能源利用	柴油	t/t	0.593	IPCC
	电力	t/t	1.772 9	IPCC
农用物资投入	化肥	kg/kg	0.895 6	ORNL
	农药	kg/kg	4.934 1	ORNL
	农膜	kg/kg	5.18	IREEA
种植消耗	灌溉	kg/hm ²	266.48	West ^[24]
	翻耕	kg/hm ²	312.6	IABCAU
养殖消耗	猪	kg/(头·a)	8.135 4	IPCC
	马	kg/(头·a)	146.437 2	IPCC
	驴/骡	kg/(头·a)	81.354	IPCC
	山羊	kg/(头·a)	72.405	IPCC
	绵羊	kg/(头·a)	66.710 3	IPCC

注：①依据IPCC第六次评估报告(2023年)内容，1 t CO₂含0.273 t C，1 t CH₄所引发的温室效应相当于29.8 t CO₂(约合8.135 4 t C)所产生的温室效应。②山羊和绵羊的排放系数使用的是规模化饲养模式下动物肠道发酵产生甲烷的排放系数，分别为8.9和8.2 kg/(头·a)。

据此，本文构建农业碳排放测算公式为：

$$AC = \sum AC_i = \sum c_{oi} \cdot \epsilon_i \quad (4)$$

式中：AC为农业碳排放总量； i 为碳源种类； c_{oi} 为各碳排放源的量； ϵ 为各碳源排放系数。为了便于加总并与其他碳排放类研究保持一致，本文在实际计算中将依据温室效应强度将甲烷、二氧化碳、氧化亚氮统一转换成标准碳当量。为了消除异方差的影响，对文章中的农业碳排放水平(AC)均进行取对数处理。

1.2.2 解释变量 结合国内外学者对新质生产力和优质农业的相关观点，基于对农业新质生产力理论内涵的分析以及已有研究成果，从劳动者、劳动对象和劳动资料3个方面设定准基层，构建农业新质生产力综合评价指标体系。本文采用熵权TOPSIS法对

农业新质生产力3个层面的28个指标进行计算，从而得到各省的农业新质生产力发展水平综合得分(表2)。

1.2.3 控制变量 借鉴已有研究，选取以下控制变量：①灌溉状况(IRRI)。用有效灌溉面积(10³ hm²)与农作物总播种面积(10³ hm²)之比表示；②基础设施质量(INFRAST)。用等级公路里程(10⁴ km)取对数表示；③耕地规模(PLOW)，用农村居民家庭经营耕地面积(hm²/人)取对数表示；④工业化水平(INDS)。用第二产业增加值(亿元)与地区生产总值(亿元)之比表示；⑤农业受灾率(DAST)。用农作物受灾面积(10³ hm²)与农作物总播种面积(10³ hm²)之比表示。

1.3 数据来源

考虑到数据的可获得性和缺失性，选取2012—2022年中国30个省级层面的数据(不含西藏自治区、台湾省、香港和澳门特别行政区)，数据来源于国家统计局官网、《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》《中国环境统计年鉴》、北京大学数字普惠金融指数以及各省份的统计年鉴和统计公报，对部分缺失数据采用线性插值法和ARIMA预测法进行补充，数据具体的描述统计结果详见表3。

2 研究区概况

2.1 农业碳排放分布形态及其演进趋势

为了探究中国分省农业碳排放的分布形态及其演进趋势，本研究基于Matlab软件绘制农业碳排放三维核密度图(图1)。由图1可以看出，2012—2022年中国的农业碳排放存在明显的两极分化特征。从形状上来看，双峰现象一直存在，并且主峰一直保持尖峰型，高度一直保持着上升的态势，且分布曲线逐渐出现左拖尾现象，说明许多省份的农业碳排放水平有明显下降的趋势。侧峰高度在2012—2018年平稳的保持着较高的高度，2018年以后出现下降的趋势。这说明农业碳排放的省(区)际差异一直存在，且随着经济的迅速发展，在2018—2022年省(区)际差异迅速扩大，高值越来越高，低值越来越低。从整体上来看，中国多数省份的农业碳排放水平集中在6—7月，且波峰向右偏移的趋势明显，这进一步证实了多数省份长期面临较高农业碳排放水平的状况。

2.2 农业新质生产力分布形态及其演进趋势

农业新质生产力分布形态及其演进趋势如图2所示。在样本期内，农业新质生产力呈现出一种向右移动的趋势，表明整体的生产力水平在逐渐提升。然而，这种提升并不显著，整体变化相对平稳，说明

农业新质生产力的发展虽然有所进步,但增速并不快。同时,农业新质生产力的分布形态存在明显的单峰现象,表明在大多数地区,农业新质生产力的发展水平相对集中。此外,极化趋势也是农业新质生产力分布的一个重要特征,这意味着在整体稳定的基础上,不同地区之间的农业新质生产力发展水平存在显

著的差异。一些地区的发展水平较高,而另一些地区则相对较低,形成了明显的两极分化。波峰在 2013—2015 年和 2018—2020 年之间呈 U 形分布,其他时间段均表现出增长的态势,地区间发展水平极化情况有所增强。这说明在整体增长的大背景下,不同地区之间的农业新质生产力发展差异在逐渐扩大。

表 2 中国农业新质生产力评价指标体系

Table 2 Evaluation index system of China's agricultural new quality productivity

目标层	准基层	一级指标	二级指标	指标类型
农业新质生产力	劳动者	劳动力素质	农村劳动力人均受教育年限/a	+
			农村成人文化技术培训学校毕业生数量/乡村人口/%	+
		劳动力结构	信息业从业人员占城镇单位就业人员比例/%	+
			农林牧渔业从业人员数量/万人	+
			农业科技从业人员数/人	+
	劳动力流动	外出务工劳动力/乡村就业人口/%	-	
	劳动资料	传统基础设施	公路里程/乡村人口/(km/人)	+
		数字基础设施	农村宽带接入用户/乡村户数/%	+
		光缆线路长度	光缆线路长度/ 10^4 km	+
		技术创新	国内发明专利申请授权数/项	+
			软件产品收入/亿元	+
	金融数字化	农村数字普惠金融投资指数	+	
		农村数字普惠金融移动支付指数	+	
	劳动对象	生产效率	农林牧渔业人均产值/(元/人)	+
			粮食总产量/粮食播种面积/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	+
		居民收入	农村居民人均可支配收入/元	+
			产业规模	农林牧渔业增加值/亿元
		农业总产值/亿元		+
		资源利用效率	农业用电效率/($\text{kW} \cdot \text{h}/\text{元}$)	-
			农用柴油使用效率/($\text{t}/\text{亿元}$)	-
农业用水强度/($\text{hm}^3/\text{元}$)			-	
化肥使用强度/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)			-	
环境影响		农药使用强度/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	-	
	农村人均用电量/($\text{kW} \cdot \text{h}/\text{人}$)	-		
	农膜使用强度/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	-		
	生态保护	森林覆盖率/%	+	
环保支出比例/%		+		

注: +, - 分别表示正向、负向指标。

3 实证分析

3.1 双向固定效应模型分析

由表 4 回归结果可以看出,随着各个控制变量的持续加入,模型的拟合优度不断提升,同时农业新质生产力的系数一直保持在 1% 的显著性水平显著且数字变化较小。农业新质生产力对农业碳排放存在

明显的削减作用,具体表现为,农业新质生产力发展水平每提高 1%,农业碳排放就会下降 1.601%,表明农业新质生产力的提升对降低农业碳排放具有积极的促进作用。主要原因在于农业新质生产力强调科技创新、资源整合和生产要素优化,这些因素能够提高农业生产效率,减少对能源和资源的过度依赖,从而降低碳排放。对控制变量而言,基础设施质量在

1%的水平上显著增加了农业碳排放,主要的原因在于基础设施建设的初期阶段往往伴随高能耗和高排放,而节能减排技术的应用存在滞后效应,故对碳排放具有显著的促进作用。工业化水平在10%的水平上显著增加了农业碳排放,主要原因在于工业化会使农业用地转为工业用地,增加单位面积的能源和资源消耗,且在推动农业现代化的过程中,对农药、农膜等化学品的依赖会增强,这些投入品的生产和使用均会增加碳排放。

3.2 空间杜宾模型估计

在进行农业碳排放影响因素分析前,本研究先对农业碳排放进行全局空间自相关检验,结果详见表5。农业碳排放的莫兰指数在大部分年份通过了显著性检验,极个别年份出现异常,但整体是显著的。在考察期内,农业碳排放水平(LNAC)在空间上呈现负相关,且这种负相关性在2020—2022年期间相对较强且在1%的显著性水平上显著,这表明在此期间,相似的LNAC观测值在空间上是分散的,而不是聚集在一起。由此揭示,在空间分布上,农业碳排

放水平较高和较低的地区是相对聚集的,形成了空间异质性,高排放地区与低排放地区在空间上形成了明显的分隔,即高值区域与低值区域不相邻,而是各自聚集在一起。

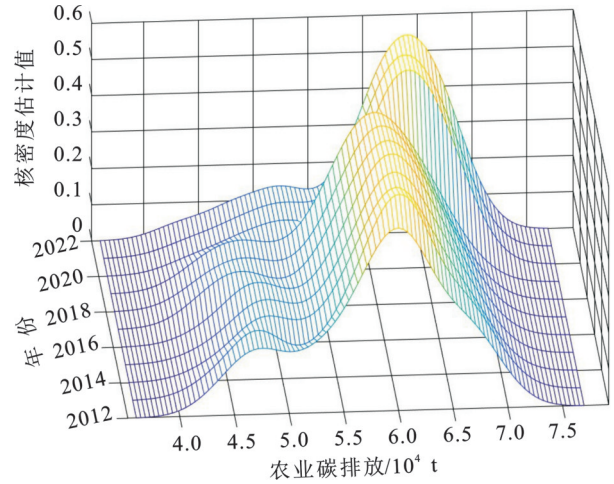


图1 农业碳排放的分布形态及演进趋势
Fig.1 Distribution pattern and evolution trend of agricultural carbon emissions

表3 实证研究的所有变量的描述性统计

Table 3 Descriptive statistics of all variables in an empirical study

类型	变量	符号	样本数	平均值	标准差	最小值	最大值
解释变量	农业新质生产力	AN	330	0.188	0.101	0.053 0	0.624
被解释变量	农业碳排放	LNAC	330	6.199	0.879	3.602 0	7.695
	灌溉状况	IRRI	330	0.442	0.180	0.172 0	1.234
控制变量	基础设施质量	INFRAST	330	2.419	0.830	0.223 0	3.672
	耕地规模	PLOW	330	0.536	0.892	-1.427 0	2.880
	工业化水平	INDS	330	0.400	0.078 9	0.160 0	0.587
	农业受灾率	DAST	330	0.133	0.110	0.004 2	0.696
调节变量	城镇化水平	urban	330	0.607	0.117	0.363 0	0.896
	政府支持	govern	330	6.097	0.776	3.955 0	7.789

在全局空间自相关检验的基础上绘制莫兰散点图,检验不同省份农业碳排放的空间差异程度和空间集聚性。由图3可知,2012年各省份的农业碳排放空间差异明显,呈现出分散的特征,但随着时间推移,到了2022年这种分散态势逐渐减弱,各省份呈现出集聚的状态。2012—2022年,大部分省份集聚在第二、四象限,呈现出高一低、低一高的态势集聚。

为了验证农业新质生产力与农业碳排放之间是否存在某些关联,文章进行了一系列的空间计量模型检验。如表6所示,综合LM(error)检验、LM(lag)检验、LR(sdmsar)检验、LR(sdm sem)检验、Hausman检验与Wald检验的结果,最终确定采用固定效应下的空间杜宾模型作为研究工具。即利用经济地理空

间权重矩阵,将其代入到既定的公式(2)模型中,运用固定效应空间杜宾模型进行回归分析。

由表7可知,农业新质生产力对农业碳排放的影响系数,在个体固定空间杜宾模型和时空双固定空间杜宾模型下均显著为负,表明在控制其他因素的情况下,一个地区农业新质生产力的提高能够显著降低该地区的农业碳排放水平。但在时间固定空间杜宾模型下,农业新质生产力对农业碳排放的回归系数显著为正,似乎与前面两个模型的结果相矛盾,但实际上反映了在不同时间阶段下,农业新质生产力对碳排放影响的差异性。这可能是在时间固定效应下,某些特定时期的技术进步或政策调整导致了农业新质生产力与碳排放之间的正相关关系。在考

考虑时间效应时,农业新质生产力的空间溢出效应显著为负,表明一个地区的农业新质生产力提高会对其相邻地区的农业碳排放产生负向影响,即减少相邻地区的碳排放,反映了农业新质生产力在空间上的正向溢出效应。即一个地区的技术进步或效率提

升可以带动相邻地区的环境改善。综上所述,农业新质生产力对碳排放的影响具有时间异质性和空间溢出性;短期来看,技术进步和政策调整会带来碳排放波动;长期来看,农业新质生产力的累积效应将主导碳减排趋势。

表 4 农业新质生产力对农业碳排放的双向固定效应模型回归结果
Table 4 Regression results of bidirectional fixed effects model of agricultural new quality productivity on agricultural carbon emissions

指标变量	农业碳排放	农业碳排放	农业碳排放	农业碳排放	农业碳排放	农业碳排放
农业新质生产力	-2.594***(0.675)	-2.648***(0.672)	-1.904***(0.538)	-1.659***(0.490)	-1.567***(0.462)	-1.601***(0.473)
灌溉状况		0.564(0.360)	0.601*(0.354)	0.557(0.371)	0.460(0.392)	0.456(0.395)
基础设施质量			0.840*** (0.232)	0.849*** (0.236)	0.824*** (0.225)	0.827*** (0.226)
耕地规模				0.934(0.733)	1.162(0.845)	1.228(0.868)
工业化水平					1.400*(0.784)	1.305*(0.748)
农业受灾率						-0.226(0.158)
Constant	6.688***(0.120)	6.449***(0.212)	4.259***(0.498)	3.710***(0.849)	3.114***(1.124)	3.149***(1.105)
Observations	330	330	330	330	330	330
R ²	0.916	0.917	0.921	0.922	0.923	0.923
年份固定	YES	YES	YES	YES	YES	YES
个体固定	YES	YES	YES	YES	YES	YES

注:①括号内数据为稳健标准误;②*** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$;③Constant为常数项;Observations为样本数; R^2 为模型拟合优度。

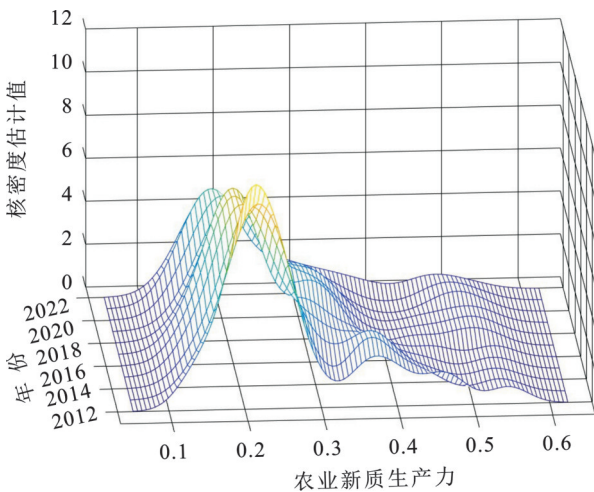


图 2 中国农业新质生产力的分布形态及演进趋势

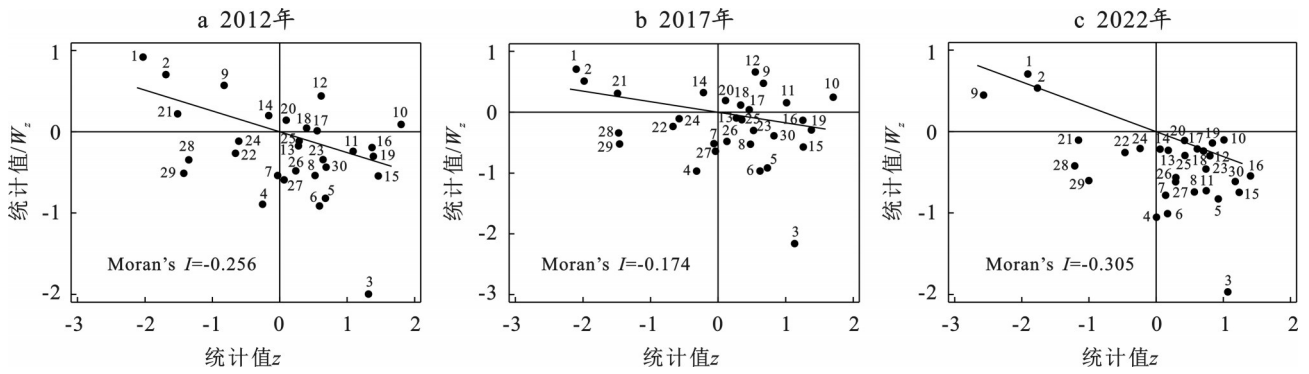
Fig.2 Distribution pattern and evolution trend of China's agricultural new quality productivity

为了更为准确地呈现各因素对农业碳排放的作用机理与实际影响程度,本文利用偏微分法对表7回归部分估计结果进行无偏处理,进而将其分解为直接效应、间接效应与总效应,具体分析结果详见表8。由表8可知,在个体固定空间杜宾模型和时空双固定空间杜宾模型中,农业新质生产力对农业碳排放的直接效应回归系数均为负数,且至少在10%的显著性水平上显著,表明一个地区农业新质生产力的提高会直接导致该地区的农业碳排放减少。这体现出本地的碳减排机制,即农业新质生产力(如精准施

肥技术、生态农业模式)通过提升资源利用效率和减少高碳投入品的使用,会直接降低本地农业碳排放。尽管间接效应回归系数也为负数,但并未通过显著性检验,意味着农业新质生产力的提高会对相邻地区的农业碳排放产生负向影响,但这种影响在统计上并不显著。可能的原因在于相邻地区在经济发展水平、政策支持力度或资源禀赋上存在差异,导致技术扩散受阻,从而影响了碳减排的效果。总的来说,农业新质生产力的本地直接碳减排效应显著,但空间溢出效应受制于各区域经济发展水平的高低,存在着一定程度的阻碍作用。

表 5 2012—2022年中国农业碳排放的全局莫兰指数值
Table 5 Global Moran index values of China's agricultural carbon emissions from 2012 to 2022

年份	Moran's I	Z值	p值
2012	-0.256**	-2.775	0.006
2013	-0.185*	-1.884	0.060
2014	-0.182*	-1.857	0.063
2015	-0.182*	-1.856	0.063
2016	-0.169	-1.687	0.920
2017	-0.174*	-1.751	0.080
2018	-0.150	-1.460	0.144
2019	-0.138	-1.302	0.193
2020	-0.299***	-3.329	0.001
2021	-0.298***	-3.316	0.001
2022	-0.301***	-3.349	0.001



注：1—30 分别代表北京、天津、河北、山西、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、上海、江苏、浙江、安徽、福建、江西、山东、河南、湖北、湖南、广东、广西、海南、重庆、四川、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆等省(区)直辖市。

图3 中国农业碳排放莫兰散点图

Fig. 3 Moran scatter plots of China's agricultural carbon emissions

表6 中国农业碳排放的空间计量模型检验结果

Table 6 Verification results of spatial econometric model for China's agricultural carbon emissions

检验方法	经济地理矩阵(LNAC)	
	统计值	p值
拉格朗日乘数误差检验(LM-error)	11.896	0.001
稳健拉格朗日乘数误差检验(Robust LM-error)	9.829	0.002
拉格朗日乘数滞后检验(LM-lag)	6.566	0.010
稳健拉格朗日乘数滞后检验(Robust LM-lag)	4.498	0.034
豪斯曼检验(Hausman)	11.88	0.064
似然比检验(空间杜宾模型 vs 空间自回归模型)(LR-SDM-SAR)	11.08	0.085
似然比检验(空间杜宾模型 vs 空间误差模型)(LR-SDM-SEM)	10.13	0.119
沃尔德滞后检验(Wald-lag)	17.67	0.007
沃尔德误差检验(Wald-error)	14.35	0.026

表7 中国农业碳排放的空间杜宾模型回归结果

Table 7 Regression results of spatial Durbin model for China's agricultural carbon emissions

变量	个体固定		时间固定		双固定	
	Main	W_x	Main	W_x	Main	W_x
农业新质生产力	-1.625**(-2.89)	-0.863(-1.34)	3.489***(-8.73)	6.799***(-4.94)	-1.295*(-2.13)	-1.044(-0.65)
控制变量	YES	YES	YES	YES	YES	YES
年份固定	NO	NO	YES	YES	YES	YES
个体固定	YES	YES	NO	NO	YES	YES
rho	0.005 97(-0.07)		-0.316**(-2.75)		-0.191(-1.76)	
R^2	0.006 57		0.624		0.001 81	
样本数	330		330		330	

注：①括号内数值为T统计量。②rho为空间滞后系数。③Main为空间自相关效应； W_x 为空间滞后效应。④***表示 $p < 0.01$ ，**表示 $p < 0.05$ ，*表示 $p < 0.1$ 。下同。

表8 中国农业碳排放的空间效应分解结果

Table 8 Decomposition results of spatial effects for China's agricultural carbon emissions

变量	个体固定			双固定		
	直接效应	间接效应	总效应	直接效应	间接效应	总效应
农业新质生产力	-1.620**(-2.88)	-0.869(-1.35)	-2.489***(-4.20)	-1.275*(-2.08)	-0.704(-0.51)	-1.979(-1.37)
控制变量	YES	YES	YES	YES	YES	YES
年份固定	NO	NO	NO	YES	YES	YES
个体固定	YES	YES	YES	YES	YES	YES

3.3 外溢效应的空间边界分析

为揭示农业新质生产力对农业碳排放的溢出效应随距离衰减的变化情况,文章基于引力模型空间权重矩阵,每隔100 km对公式(2)进行一次空间杜宾模型(SDM)回归,直到1 000 km,从而得到不同空间距离范围内农业新质生产力对碳排放的外溢效应,如表9所示。由于各控制变量估计结果与表7基本一致,故表9仅列出农业新质生产力对农业碳排放的直接效应和外溢效应的估计结果。就直接效应来看,农业新质生产力的直接效应在所有空间距离范围内均为负值且绝大部分都是显著的,这又一次证明了农业新质生产力的提升对本地农业碳排放具有显著的减少作用,验证了上述模型的稳健性。就空间溢出效应来看,在双固定模型下,外溢效应在正负值之间波动,表明农业新质生产力的提升在某些距离范围内会促进周边地区的农业碳排放,而在其他距离范围内则会抑制周边地区的农业碳排放。可能的原因在于,农业新质生产力的提升能够促进周边地区的低碳农业发展;而在某些区域,由于政策支持不足或技术扩散缓慢,农业新质生产力的提升反而导致周边地区的碳排放增加。在个体固定模型下,农业新质生产力的对农业碳排放的外溢效应的参数

估计在0~100 km,100~200 km的区间内,外溢效应的绝对值相对较小,且未通过显著性检验。在200~1 000 km的范围内,外溢效应的参数绝对值显著增大,且都通过了显著性检验,说明在这个空间距离范围内,农业新质生产力对农业碳排放的外溢抑制作用较为显著。在400~500 km,600~700 km,700~800 km,800~900 km,900~1 000 km等区间内,农业新质生产力的外溢效应系数较高,分别为-3.276,-4.473,-3.750,-4.299和-4.287,说明在这些区域内,农业新质生产力对周边地区农业碳排放具有较强的外溢抑制作用。然而,在500~600 km内,农业新质生产力的外溢效应降为-2.765,表明农业新质生产力对周边地区农业碳排放的外溢效应具有明显的空间衰减特征。综上所述,农业新质生产力的直接效应表明,其在本地实现低碳发展具有显著的政策价值。同时,外溢效应的复杂性表明,农业新质生产力的影响并非局限于本地,对周边地区也会产生溢出效应,但在较远距离范围内,农业新质生产力的外溢效应较弱。因此,为了确保农业新质生产力的推广能够在更大范围内发挥减碳作用,在制定农业减排政策时,需要充分考虑区域间的经济联系和政策差异,采取差异化的政策措施。

表9 不同空间距离范围内农业新质生产力对农业碳排放的影响空间杜宾模型(SDM)估计结果
Table 9 SDM estimation results of effects on agricultural carbon emissions from agricultural new quality productivity within different spatial distance ranges

空间距离/km	直接效应		外溢效应	
	双固定	个体固定	双固定	个体固定
0~100	-1.239*(-2.25)	-0.823(-1.67)	-3.582*(-2.42)	-1.300(-1.87)
100~200	-1.199*(-2.25)	-0.895(-1.74)	-3.251(-1.53)	-1.227(-1.45)
200~300	-1.472**(-2.82)	-1.890***(-3.55)	2.363(-1.09)	-1.953*(-2.02)
300~400	-1.360**(-2.60)	-1.964***(-3.60)	3.526(-1.79)	-1.806*(-1.98)
400~500	-1.140*(-1.99)	-2.020***(-3.84)	-0.551(-0.28)	-3.276***(-3.33)
500~600	-1.416**(-2.69)	-1.996***(-3.78)	1.123(-0.35)	-2.765*(-2.26)
600~700	-1.816***(-3.58)	-2.050***(-4.01)	-0.871(-0.26)	-4.473***(-3.98)
700~800	-1.681***(-3.46)	-1.711***(-3.32)	1.611(-0.44)	-3.750***(-3.40)
800~900	-1.786***(-3.44)	-1.834***(-3.51)	0.644(-0.24)	-4.299***(-3.74)
900~1 000	-1.949***(-3.93)	-1.294*(-2.48)	-21.310***(-6.16)	-4.287***(-3.46)

3.4 稳健性检验

替换被解释变量为农业碳排放强度(LNAE),以及采用01距离矩阵和反距离平方矩阵来替换经济地理矩阵来验证上述结果的稳定性。具体结果详见表10。可以看出核心解释变量农业新质生产力的估计结果与上文的研究结论基本一致,表明本研究实证结果是较为稳健的。

4 结果讨论

4.1 调节效应检验

表11中列(1)为未加入调节变量,列(2)~(4)为加入调节变量城镇化水平和政府支持,列(3)~(5)分别是在列(2)~(4)的基础上对变量进行中心化处理后,进行调节效应检验。表11的列(2)~(3)显示,

城镇化水平与农业新质生产力交互项系数均为负，且通过了1%的显著性水平检验，但与农业新质生产力的系数符号相反。由此可见，城镇化水平存在着明显的抑制调节作用，即城镇化水平的提升会显著削弱农业新质生产力对农业碳排放的抑制作用。可能的原因在于城镇化水平的增加会导致农业要素（如劳动力、技术和资源）的流失，削弱农业新质生产力的发展，进而降低了其对农业碳排放的抑制作用。

表 11 的列(4)一(5)显示，政府支持与农业新质生产力对农业碳排放的交互项在中心化前未通过显著性检验，但中心化后交互项通过了显著性检验，并且与农业新质生产力的系数符号相同。这表明政府支持能够加强农业新质生产力对农业碳排放的抑制作用，即政府的政策支持、资金投入和技术引导能够促进农业新质生产力的发展，从而进一步降低农业碳排放。

表 10 更换被解释变量、更换空间权重矩阵检验结果

Table 10 Testing results for changing dependent variable and changing spatial weight matrix

变量	更换被解释变量		01 矩阵		反距离平方矩阵	
	农业碳排放强度		Main	W_x	Main	W_x
农业新质生产力	-3.143***(-7.31)		-1.051**(-2.62)	-1.199*(-2.29)	-1.180*(-2.42)	-3.557**(-2.64)
rho			0.392*** (5.32)		0.285** (2.75)	
控制变量	YES		YES		YES	
Observations	330		330		330	
R^2	0.432		0.015 2		0.000 223	
年份固定	YES		YES		YES	
个体固定	YES		YES		YES	

表 11 调节效应检验回归结果

Table 11 Regression results of moderation effect test

变量	农业碳排放	农业碳排放	农业碳排放	农业碳排放	农业碳排放
农业新质生产力	-1.601*** (0.473)	10.204*** (2.804)	2.265** (1.016)	0.989 (2.293)	-1.044* (0.581)
农业新质生产力×城镇化水平		-14.028*** (3.504)			
农业新质生产力×城镇化水平_中心化			-18.621*** (4.463)		
农业新质生产力×政府支持				-0.361 (0.317)	
农业新质生产力×政府支持_中心化					-0.457* (0.268)
常数项	3.149*** (1.105)	1.286 (1.967)	3.728** (1.649)	3.018*** (1.089)	3.487*** (1.053)
样本数	330	330	330	330	330
模型拟合优度	0.923	0.949	0.950	0.941	0.941
控制变量	YES	YES	YES	YES	YES
年份固定	YES	YES	YES	YES	YES
个体固定	YES	YES	YES	YES	YES

注：①括号内数据为标准误。②***表示 $p < 0.01$ ；**表示 $p < 0.05$ ；*表示 $p < 0.1$ 。下同。

4.2 异质性分析

从地理区位、功能分区和人口经济分区等方面入手分析农业新质生产力对农业碳排放影响的异质性，结果如表 12 所示。从地理区位来看，根据表 12 可知，农业新质生产力对农业碳排放的影响在东中西部均呈现出负向影响，但仅在西部地区通过了显著性检验，这可能是由于西部地区农业相对更为传统，因此当新的生产力方式引入时，改变更为剧烈，从而更容易观察到对碳排放的显著影响。从功能分区来看，农业新质生产力对农业碳排放的影响系数在粮食主产区和非粮食主产区样本中分别为-2.371

和-1.272，但只有粮食主产区的影响系数通过了1%的显著性水平。由此可知，农业新质生产力对农业碳排放的抑制效果在粮食主产区更为明显，其中的原因在于：粮食主产区拥有更为集中和规模化的农业生产，这使得农业新质生产力的引入和应用能够更快速地产生显著效果，相比之下，非粮食主产区的农业生产更加复杂，使得农业新质生产力的引入和应用面临更多挑战，从而难以观察到显著的碳排放减少效果。从人口经济分区来看，农业新质生产力对农业碳排放的负向影响在胡焕庸线的西北方向地区通过了1%的显著性水平检验，在胡焕庸线的东南

方向地区通过了5%的显著性水平检验。仅从系数大小来看,胡焕庸线的西北方向地区的农业新质生产力相较于胡焕庸线的东南方向地区更加明显。主要是因为胡焕庸线西北方向地区相对较为落后,农业在

其经济结构中占据较大比重,且农业生产方式相对传统,因此,当新的农业生产力引入时,对碳排放的减少作用也更为显著。

表12 中国农业新质生产力对农业碳排放影响的异质性分析结果

Table 12 Heterogeneity analysis results of agricultural new quality productivity on China's agricultural carbon emissions

项目	地理分区			功能分区		人口经济分区	
	东部	中部	西部	主产区	非主产区	西北方向	东南方向
变量	LNAC	LNAC	LNAC	LNAC	LNAC	LNAC	LNAC
农业新质生产力	-0.274(1.005)	-0.230(0.521)	-1.092 ^{**} (0.437)	-2.371 ^{***} (0.605)	-1.272(0.821)	-2.416 ^{***} (0.855)	-1.465 ^{**} (0.671)
常数项	2.313(1.490)	6.668 ^{***} (1.360)	6.120 ^{***} (0.476)	5.665 ^{***} (1.044)	2.741 ^{***} (0.893)	7.272 ^{***} (0.817)	3.342 ^{***} (0.848)
控制变量	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
年份固定	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
个体固定	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
样本数	143	66	121	143	187	77	253
模型拟合优度	0.907	0.996	0.996	0.948	0.888	0.997	0.907

5 结论与建议

5.1 结论

(1) 农业新质生产力能够显著降低农业碳排放。研究表明在加入所有控制变量的情况下,农业新质生产力的发展水平每提高1%,农业碳排放就会下降1.601%。

(2) 存在显著的空间溢出效应。农业新质生产力的提升不仅对本地的农业碳排放削减作用具有积极的影响,还能对周边地区的农业碳排放产生抑制作用,即促进相邻区域碳排放的减少。

(3) 农业新质生产力对农业碳排放的外溢效应具有明显的空间衰减特征。外溢效应在正负之间波动,且在不同距离范围内显著性有所不同,但总体上在较远的距离范围内(200~1 000 km)对农业碳排放的外溢抑制作用较为显著。

(4) 城镇化水平和政府支持存在着不同的调节作用。城镇化水平的提升会削弱农业新质生产力对农业碳排放的抑制作用,而政府支持则能够加强农业新质生产力对农业碳排放的影响,即政府支持强度越大,农业新质生产力对农业碳排放的抑制作用越强。

(5) 农业新质生产力对农业碳排放的影响在不同地区呈现出显著的异质性。综合从地理区位、功能分区和人口经济分区等方面来看,西部地区、粮食主产区和胡焕庸线西北方向地区的农业新质生产力对农业碳排放的抑制作用更为显著。

5.2 政策建议

(1) 加强农业科技创新与推广。鼓励农业技术

的研发与推广,特别是绿色农业技术的创新与应用,以提高农业生产效率和减少碳排放。

(2) 加强区域合作与协同减排。加强地区间的合作与交流,推动农业新质生产力的空间溢出效应,实现区域协同减排。通过建立区域协同减排机制,共同应对农业碳排放问题。

(3) 优化城镇化进程中的农业发展。在城镇化进程中,应注重保护农业资源,优化农业发展布局,减少农业发展要素的流失,以促进农业可持续发展和碳减排。

(4) 强化政府支持与政策引导。政府加大对农业碳减排的政策支持力度,制定和完善相关政策法规,引导农业向绿色化、低碳化方向发展。同时,加强政策执行力度,确保政策效果得到充分发挥。

(5) 加强农业碳排放监测与评估。建立农业碳排放监测体系,定期评估农业碳排放状况,为制定精准的农业碳减排策略提供数据支持。

参考文献(References)

- [1] 伍国勇,刘金丹,杨丽莎.中国农业碳排放强度动态演进及碳补偿潜力[J].中国人口·资源与环境,2021,31(10):69-78.
Wu Guoyong, Liu Jindan, Yang Lisha. Dynamic evolution of China's agricultural carbon emission intensity and carbon offset potential [J]. China Population, Resources and Environment, 2021, 31(10):69-78.
- [2] 周文,许凌云.论新质生产力:内涵特征与重要着力点[J].改革,2023(10):1-13.
Zhou Wen, Xu Lingyun. On new quality Productivity: Connotative characteristics and important focus [J].

- Reform, 2023(10):1-13.
- [3] 罗必良, 耿鹏鹏. 农业新质生产力: 理论脉络、基本内核与提升路径[J]. 农业经济问题, 2024, 45(4):13-26.
Luo Biliang, Geng Pengpeng. New quality agricultural productivity: Theoretical framework, core concepts, and enhancement pathways [J]. Issues in Agricultural Economy, 2024, 45(4):13-26.
- [4] 王亚红, 韦月莉. 农业新质生产力对农民增收的影响[J]. 农林经济管理学报, 2024, 23(4):446-455.
Wang Yahong, Wei Yueli. Impact of new quality agricultural productive forces on farmers' income growth [J]. Journal of Agro-Forestry Economics and Management, 2024, 23(4):446-455.
- [5] 高强, 程长明. 农业新质生产力与新型生产关系: 逻辑思路与改革路径[J]. 中国农业大学学报(社会科学版), 2024, 41(4):41-54.
Gao Qiang, Cheng Changming. New quality agricultural productive forces and new-type production relations: Logical thinking and reform paths [J]. Journal of China Agricultural University (Social Sciences), 2024, 41(4):41-54.
- [6] 张海鹏, 王智晨. 农业新质生产力: 理论内涵、现实基础及提升路径[J]. 南京农业大学学报(社会科学版), 2024, 24(3):28-38.
Zhang Haipeng, Wang Zhichen. The agricultural new quality productive forces: Content characteristics, practical basis and path of enhancement [J]. Journal of Nanjing Agricultural University (Social Sciences), 2024, 24(3):28-38.
- [7] 姜长云. 农业新质生产力: 内涵特征、发展重点、面临制约和政策建议[J]. 南京农业大学学报(社会科学版), 2024, 24(3):1-17.
Jiang Changyun. The agricultural new quality productive forces: Connotations, development priorities, constraints and policy recommendations for the development [J]. Journal of Nanjing Agricultural University (Social Sciences), 2024, 24(3):1-17.
- [8] 尤亮, 田祥宇. 农业新质生产力: 现实逻辑、内涵解析与生成机理[J]. 经济问题, 2024(6):27-35.
You Liang, Tian Xiangyu. New quality agricultural productive force: Realistic logic, connotation analysis and generation mechanism [J]. On Economic Problems, 2024 (6):27-35.
- [9] 孔祥智, 谢东东. 农业新质生产力的理论内涵、主要特征与培育路径[J]. 中国农业大学学报(社会科学版), 2024, 41(4):29-40.
Kong Xiangzhi, Xie Dongdong. The theoretical connotation, main characteristics and development path of the new quality agricultural productive forces [J]. Journal of China Agricultural University (Social Sciences), 2024, 41(4):29-40.
- [10] 陈卫强. 农业新质生产力形成的逻辑框架、现实挑战及推进路径[J]. 经济学家, 2024(8):109-118.
Chen Weiqiang. The logical framework, real challenges, and promotion path of forming new quality agricultural productivity [J]. Economist, 2024(8):109-118.
- [11] 常璇. 加快形成农业新质生产力: 理论框架、现实困境与实践进路[J]. 经济问题, 2024(7):20-28.
Chang Xuan. Accelerating the formation of agricultural new quality productive forces: Theoretical framework, realistic dilemma and practical approach [J]. On Economic Problems, 2024(7):20-28.
- [12] 周振. 数字技术赋能农业新质生产力: 作用机理、问题障碍与应对策略[J]. 中国农业大学学报(社会科学版), 2024, 41(4):55-70.
Zhou Zhen. Digital technology empowering new quality productive forces in agriculture: Mechanisms, challenges, and strategies [J]. Journal of China Agricultural University (Social Sciences), 2024, 41(4):55-70.
- [13] 王世泰, 宋成乾. 促成农业新质生产力: “数字下乡”的场景构建及障碍性因素克服探究[J]. 内蒙古农业大学学报(哲学社会科学版), 2024, 26(4):12-18.
Wang Shitai, Song Chengqian. Constructing “digitally down to the countryside” scenarios and overcoming its obstacles to promote new quality productivity in agriculture [J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University (Philosophy and Social Science), 2024, 26(4):12-18.
- [14] 申云, 刘彦君, 李京蓉. 数字普惠金融赋能农业新质生产力提升的逻辑、障碍及路径[J]. 南京农业大学学报(社会科学版), 2024, 24(5):158-171.
Shen Yun, Liu Yanjun, Li Jingrong. The logic, obstacles, and paths for digital inclusive finance to empower the enhancement of new-quality agricultural productivity [J]. Journal of Nanjing Agricultural University (Social Sciences), 2024, 24(5):158-171.
- [15] 姜彦坤. 粮食主产区农业新质生产力: 水平测度、区域差异及障碍诊断[J]. 湖北社会科学, 2024(5):97-106.
Jiang Yankun. Agricultural new quality productivity in main grain producing areas: Level measurement, regional difference and obstacle diagnosis [J]. Hubei Social Sciences, 2024(5):97-106.
- [16] 王琴梅, 杨军鸽. 数字新质生产力与我国农业的高质量发展研究[J]. 陕西师范大学学报(哲学社会科学版), 2023, 52(6):61-72.
Wang Qinmei, Yang Junge. Research on digital new quality productivity and high-quality development of Chinese agriculture [J]. Journal of Shaanxi Normal University (Philosophy and Social Sciences), 2023, 52(6):61-72.

- [17] 朱迪,叶林祥. 中国农业新质生产力: 水平测度与动态演变[J]. 统计与决策, 2024, 40(9): 24-30.
Zhu Di, Ye Linxiang. Agricultural new quality productive force in China: Level measurement and dynamic evolution [J]. Statistics & Decision, 2024, 40(9): 24-30.
- [18] 田云,尹恣昊. 技术进步促进了农业能源减排吗?: 基于回弹效应与空间溢出效应的检验[J]. 改革, 2021(12): 45-58.
Tian Yun, Yin Minhao. Does technological progress promote carbon emission reduction of agricultural energy?: Test based on rebound effect and spatial spillover effect [J]. Reform, 2021(12): 45-58.
- [19] 胡川,韦院英,胡威. 农业政策、技术创新与农业碳排放的关系研究[J]. 农业经济问题, 2018, 39(9): 66-75.
Hu Chuan, Wei Yuanying, Hu Wei. Research on the relationship between agricultural policy, technological innovation and agricultural carbon emissions [J]. Issues in Agricultural Economy, 2018, 39(9): 66-75.
- [20] 张金鑫,王红玲. 环境规制、农业技术创新与农业碳排放[J]. 湖北大学学报(哲学社会科学版), 2020, 47(4): 147-156.
Zhang Jinxin, Wang Hongling. Analysis on environmental planning, agricultural technological innovation and agricultural carbon emission [J]. Journal of Hubei University (Philosophy and Social Science), 2020, 47(4): 147-156.
- [21] 王留鑫,姚慧琴,韩先锋. 碳排放、绿色全要素生产率与农业经济增长[J]. 经济问题探索, 2019(2): 142-149.
Wang Liuxin, Yao Huiqin, Han Xianfeng. Carbon emission, green total factor productivity and agricultural economic growth [J]. Inquiry into Economic Issues, 2019(2): 142-149.
- [22] 刘震,张晓星,魏威岗. 农村数字经济发展对农业碳排放的影响: 基于29个省份的面板数据分析[J]. 江苏大学学报(社会科学版), 2023, 25(3): 20-32.
Liu Zhen, Zhang Xiaoxing, Wei Weigang. The impact of rural digital economic development on agricultural carbon emissions: Based on the panel data of 29 provinces in China [J]. Journal of Jiangsu University (Social Science), 2023, 25(3): 20-32.
- [23] 陈中伟,汤灿. 数字经济发展对农业碳排放的影响及其时空效应[J]. 科技管理研究, 2023, 43(12): 137-146.
Chen Zhongwei, Tang Can. Impact of digital economy development on agricultural carbon emissions and its temporal and spatial effects [J]. Science and Technology Management Research, 2023, 43(12): 137-146.
- [24] West T O, Marland G. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: Comparing tillage practices in the United States [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2002, 91(1/2/3): 217-232.

(上接第285页)

- [31] 张雪莲,赵永志,廖洪,等. 植物篱及过滤带防治水土流失与面源污染的研究进展[J]. 草业科学, 2019, 36(3): 677-691.
Zhang Xuelian, Zhao Yongzhi, Liao Hong, et al. Research advances in using plant hedges and filter strips to reduce soil and water erosion and non-point pollution [J]. Pratacultural Science, 2019, 36(3): 677-691.
- [32] 钟吉祥. 新型生态袋边坡治理技术在某矿区滑坡体的应用[J]. 黄金, 2015, 36(1): 67-69.
Zhong Jixiang. Application of slope treatment technique with innovative eco bags in sliding mass in one mining area [J]. Gold, 2015, 36(1): 67-69.
- [33] 赵满,严桥,冯金根,等. 高寒地区矿山边坡生态修复技术研究[J]. 中国水土保持, 2024(2): 48-52.
Zhao Man, Yan Qiao, Feng Jingen, et al. Ecological restoration technology of slopes in mining areas in alpine regions [J]. Soil and Water Conservation in China, 2024(2): 48-52.

(上接第294页)

- [31] 林彤,杨木壮,吴大放,等. 基于InVEST-PLUS模型的碳储量空间关联性及预测: 以广东省为例[J]. 中国环境科学, 2022, 42(10): 4827-4839.
Lin Tong, Yang Muzhuang, Wu Dafang, et al. Spatial correlation and prediction of land use carbon storage based on the InVEST-PLUS model: A case study in Guangdong Province [J]. China Environmental Science, 2022, 42(10): 4827-4839.
- [32] 董春,杜林丹,张禹森. 小兴安岭地区碳储量时空格局演化及驱动力分析[J/OL]. 地质通报, 1-14[2025-03-31]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4648.P.20241029.1050.004.html>.
- [33] Zhou Junju, Zhao Yaru, Huang Peng, et al. Impacts of ecological restoration projects on the ecosystem carbon storage of inland river basin in arid area, China [J]. Ecological Indicators, 2020, 118: 106803.
- [34] Sun Jianfeng, Zhang Ying, Qin Weishan, et al. Estimation and simulation of forest carbon stock in northeast China forestry based on future climate change and LUCC [J]. Remote Sensing, 2022, 14(15): 3653.