中国农业新质生产力与绿色技术创新的耦合研究:测度、时空分布、碳减排效应

王鹏程[1], 廖 升[1], 吉泽男[1], 何 可[2]
(1.塔里木大学 经济与管理学院, 新疆 阿拉尔 843300;
2.华中农业大学 农业绿色低碳发展实验室, 湖北 武汉 430070)

摘　要:[目的]研究农业新质生产力与绿色技术创新耦合协调关系,为保障粮食安全与生态安全,推动农业从“量增”转向“质效双升”提供科学依据。[方法]基于2012—2022年中国30个省份面板数据,通过耦合协调模型和莫兰指数分析其时空分布特征,并通过固定效应和空间杜宾模型分析其碳减排效应。[结果]全国及4大区域(东部、中部、西部、东北地区)的30个省份耦合协调发展总体呈现上升趋势,但近两年略有下降;耦合协调发展具有一定的空间集聚性,东部地区“高-高”集聚区省份稍有增加,西部地区“低-低”集聚区域提升不明显;农业新质生产力与绿色技术创新耦合协调发展能够促进农业碳减排且具有显著的空间溢出效应。[结论]应因地制宜发展农业新质生产力和绿色技术,缩小地区间差异,建立跨区域协同机制以促进碳减排,促进区域间交流与协作。

关键词: 农业新质生产力; 绿色技术创新; 耦合研究; 碳减排

文献标识码: A　　**文章编号:** 1000-288X(2025)06-0269-11　　**中图分类号:** F323, X323

文献参数: 王鹏程, 廖升, 吉泽男, 等.中国农业新质生产力与绿色技术创新的耦合研究:测度、时空分布、碳减排效应[J].水土保持通报,2025,45(6):269-279. Wang Pengcheng, Liao Sheng, Ji Zenan, et al. Coupling study on agricultural new quality productive forces and green technology innovation in China: measurement, spatiotemporal distribution and carbon emission reduction effects [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation,2025,45(6):269-279.

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2025.06.013　　**CSTR:32312.14.stbctb.2025.06.013**

Coupling study on agricultural new quality productive forces and green technology innovation in China: measurement, spatiotemporal distribution and carbon emission reduction effects

Wang Pengcheng[1], Liao Sheng[1], Ji Zenan[1], He Ke[2]
(1.*College of Economics and Management, Tarim University, Alar, Xinjiang* 843300, *China*; 2.*Laboratory of Green and Low-carbon Development in Agriculture, Huazhong Agricultural University, Wuhan, Hubei* 430070, *China*)

Abstract: [Objective] The coupling coordination relationship between agricultural new quality productive forces and green technology innovation were analyzed, in order to provide scientific basis for ensuring food security and ecological security, and for promoting the transition of agriculture from ‘quantity increase’ to ‘dual improvement in quality and efficiency’. [Methods] Based on panel data from 30 provinces in China from 2012 to 2022, the spatiotemporal distribution characteristics were analyzed using a coupling coordination model and Moran’s index, and its carbon emission reduction effects were examined using the fixed effects model and spatial Durbin model. [Results] Temporally, the coupling coordination development of the 30 provinces in China and across the four major regions (eastern, central, western, and northeastern China) showed an overall upward trend but a slight decline in the past two years. Spatially, the coupling coordination development demonstrated a certain degree of spatial clustering. The number of provinces in the ‘high-high’ clustering zone increased slightly in the eastern

收稿日期:2025-05-28　　**修回日期:**2025-07-30　　**采用日期:**2025-07-30
资助项目:新疆生产建设兵团社科基金重点项目“供给侧结构改革背景下兵团农业经济高质量发展实现路径研究”(19ZD03); 2024年铸牢中华民族共同体意识研究课题重点项目(ZL202412);国家自然科学基金面上项目(42371306)
第一作者:王鹏程(1975—),男(汉族),甘肃省天水市人,博士,教授,主要从事干旱区资源环境经济研究。Email:pengchengw@126.com。
通信作者:何可(1989—),男(汉族),湖南省浏阳市人,博士,教授,主要从事粮食系统绿色低碳转型与农业废弃物资源化生态补偿研究。Email:8217376@qq.com。

region, while the improvement in the 'low-low' clustering zone in the western region remained insignificant. In terms of carbon emission reduction, empirical tests using measurement models confirmed that the coupling coordination development of agricultural new quality productive forces and green technology innovation could promote agricultural carbon emission reduction and had a significant spatial spillover effect. [Conclusion] It is recommended to develop agricultural new quality productive forces and green technologies tailored to local conditions, reduce inter-regional disparities, establish cross-regional coordination mechanisms to promote carbon emission reduction, and facilitate inter-regional exchange and collaboration.

Keywords: **agricultural new quality productive forces; green technology innovation; coupling studies; carbon emission reduction**

在全球气候变化与"双碳"目标刚性约束下,农业作为温室气体排放的重要来源,其发展模式亟待向低碳化转型[1]。农业新质生产力核心是通过生物育种、智能装备、数字农业等颠覆性技术重构生产要素组合,破解资源环境硬约束与产业低效锁定的矛盾[2]。然而,农业新质生产力面临着技术转化率低,区域失衡,人才链断层[2]3个瓶颈。绿色技术创新聚焦于资源节约、环境友好和生态可持续的技术进步,是农业新质生产力的"生态底座",推动农业从"高碳排放"到"低碳循环"。研究农业新质生产力与绿色技术创新的耦合协同机制,关键在于通过"技术—制度"融合驱动减排:农业新质生产力为减排提供技术载体,绿色技术创新则向生态规则注入新动力,二者协同正是破解农业生态环境困境的重要路径。

目前,农业新质生产力相关研究多围绕在农业新质生产力的内涵、测度、影响因素等方面展开。首先,在农业新质生产力内涵方面,罗必良等[3]认为农业新质生产力是科技创新为核心驱动力,通过颠覆性技术重构农业生产要素组合,实现农业高效化、绿色化、智能化的先进生产力形态。其次,关于测度方面,多数学者采用熵值法进行测算。

丁宝根等[4]从劳动者、劳动对象、劳动工具水平3个方面建立指标体系,认为2013—2022年中国农业新质生产力呈稳定上升趋势。王丽双等[5]认为中国东、西部地区农业新质生产力发展水平较低。在影响因素方面,陈培彬等[6]认为农业新质生产力能促进农业碳减排,可以通过提高农村劳动生产率和农业土地生产率从而抑制农业碳排放强度。因此,需构建适配区域资源禀赋与发展阶段的农业新质生产力差异化培育路径,实现技术—制度—要素的协同跃迁。

绿色技术创新是一个管理和技术创新的过程,主要是为了减少环境风险[7-8]。目前,关于绿色技术创新主要集中在创新水平测算与影响因素方面。在创新水平测算方面,王锋正等[9]通过研发投入费用与能源消耗总量衡量绿色技术创新水平。邝嫦娥等[10]使用实施绿色信贷政策的情况来衡量绿色技术创新水平。目前,绿色专利获取量[11]和申请量[12]逐渐成为衡量绿色技术创新的重要指标。在影响因素方面,王馨等[13]认为绿色信贷能够更好地促进绿色创新,驱动绿色技术创新水平和体系的提高与完善。成新轩等[14]认为行业数字化转型能够促进绿色技术创新,通过提高市场竞争和减少交易成本,促进绿色技术的创新。基于此,关于"多尺度互动下区域绿色技术创新的动态适配机制是什么,如何构建技术-制度-市场的协同演化路径"的问题尚待研究。

现有关于农业新质生产力与绿色技术创新的研究主要是理论研究[[15]和实证分析[16],都是反映不同要素对农业新质生产力或绿色技术创新的影响研究,而关于农业新质生产力与绿色技术创新的耦合协调关系尚未研究。同时研究二者的耦合协调不仅能够重构农业价值链,揭示科技创新驱动农业绿色转型和效率提升的内在机制,为破解农业发展的资源环境约束、实现高质量发展、保障国家粮食安全和生态安全提供理论支撑和解决方案[17-18]。本研究通过使用耦合协调模型,分析与描述二者的关系与相互影响;基于二者耦合协调度,进一步从省域层面研究耦合协调度的时空分布特征及二者产生的碳减排效应。

1 材料与方法

1.1 数据来源

以2012—2022年中国30个省份(西藏和港澳台地区数据缺失,未包含在内)面板数据为研究对象,分析农业新质生产力与绿色技术创新的耦合协同发展。参考陈振等[19]的研究,其中农业科技活动经费采用R&D经费内部支出乘以农林牧渔业总产值占当地GDP的比重来表示,农业科技活动人员数用R&D人员数乘以农林牧渔业总产值占地区生产总值的比重来衡量,其他数据均来源于《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》《中国科技统计年鉴》及各省历年统计年鉴等,对于缺失数据采用移动平均插值法和线性插值法补充。

1.2　指标选取

关于农业新质生产力的指标体系，本着指标选取科学性原则，继承经典生产力本质规律，对农业新质生产力理论内涵的分析，并通过参考已有研究[20]，将农业新质生产力分为 3 个维度，分别是农业劳动者、农业劳动对象、农业劳动资料，通过熵值法测算综合指数（表 1）。

目前，关于衡量绿色技术创新指标的方式不一。本研究认为，绿色技术创新应注重各阶段能源消耗，以此来消除技术创新对环境的负面影响。考虑到数据的可靠性和可得性，参考已有研究[21]，本研究采用 R&D 经费投入与国家能源消耗总量之比来衡量绿色技术创新，该指标直接量化了单位能源投入所驱动的研发强度，揭示技术创新如何通过资源节约重塑生产方式，同时参考王锋正[9]和钟晓华[22]的方法，确定各地区的 R&D 经费投入。

R&D 投入能及时反映当前创新活动的资源分配方向，经费投入比例直接关联技术创新的资源约束条件（能源消耗）。农业是能源依赖型产业（机械、灌溉、加工等），“农业新质生产力”强调全要素生产率提升，核心在于技术革新对传统要素的替代与优化，该衡量方式直接体现“技术投入”对“传统资源要素（能源）”的替代效率，符合农业新质生产力中“创新驱动资源重组”的内涵。

表 1　农业新质生产力综合评价指标体系

Table 1　Comprehensive evaluation indicator system for agricultural new quality productive forces

目标层	准则层	一级指标	二级指标	衡量方式	属性
农业新质生产力	农业劳动者	劳动者技能	受教育程度	农村劳动力人均受教育年限	正
			农村成人技术培训比例	农村成人文化技术培训学校结业生数量/乡村人口数量	正
		劳动生产率	第一产业人均产值	第一产业产值/第一产业从业人数	正
			农村居民人均收入	农村居民人均可支配收入	正
		劳动者就业理念	农村劳动力流动情况	外出务工劳动力/乡村从业人员	负
	农业劳动对象	生态环境	绿色环保	森林覆盖率	正
				环境保护财政支出/政府公共财政支出	正
			污染治理	农业 COD 污染排放占比/第一产业产值占比	负
				农业氨氮排放占比/第一产业产值占比	负
		新质产业	农业产业	农民专业合作社数量/第一产业从业人员	正
			创新情况	农业专业化国家重点龙头企业数量	正
			农林牧渔服务业情况	农林牧渔服务业增加值	正
	农业劳动资料	物质生产资料	传统基础设施	农村公路里程数/乡村人口	正
			数字基础设施	农村宽带接入用户数/乡村户数	正
				每 1 m^2 光缆线路长度	正
			能源消耗	农林牧渔业能源消费量/农林牧渔业总产值	负
				农村人均用电量	正
		无形生产资料	科技创新	农业科技从业人员数	正
				农业 R&D 投入存量	正
			数字化水平	农村数字普惠金融投资指数	正
				农村数字普惠金融移动支付指数	正

1.3　研究方法

1.3.1　耦合协调模型

为了分析农业新质生产力与绿色技术创新的相互作用强度和同步发展性，本研究采用耦合协调度来表征其耦合协调系统之间各要素相互作用的情况。计算公式[23]如下：

$$C = 2 \times \sqrt{\frac{w(y)e(z)}{w(y)+e(z)}} \tag{1}$$

$$T = \partial w(y) + \beta e(z) \tag{2}$$

$$D = \sqrt{C \times T} \tag{3}$$

式中：C 为农业新质生产力与绿色技术创新系统耦合度；D 为农业新质生产力与绿色技术创新的耦合协调度；T 为农业新质生产力与绿色技术创新 2 个子系统的综合协调指数，反映农业新质生产力与绿色技术创新对协调度的贡献；$w(y)$ 和 $e(z)$ 分别为数字经济指数和农业绿色发展指数；∂ 与 β 分别为 2 个子系统对

社会发展影响程度的权重,设定各个子系统对社会发展影响程度的权重相等。

1.3.2 空间自相关模型

采用莫兰指数分析农业新质生产力与绿色技术创新耦合协调发展的空间集聚情况。莫兰指数分为全局莫兰指数(global Moran's I)和局部莫兰指数(local Moran's I),计算公式[24]如下:

$$\text{global Moran's } I=\frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}W_{ij}(D_i-\overline{D})(D_j-\overline{D})}{S^2\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}W_{ij}} \tag{4}$$

$$\text{local Moran's } I=\frac{(D_i-\overline{D})\sum_{i\neq j}W_{ij}(D_j-\overline{D})}{S^2} \tag{5}$$

式中:n表示研究对象空间的区域数;D_i表示第i个区域内的属性值;D_j表示第j个区域内的属性值;$\overline{D}$表示所有属性值的平均;W_{ij}表示空间权重矩阵;S表示各单元观测值的标准差。全局莫兰指数介于[−1,1]之间;局部莫兰指数描述数据是否具有空间集聚特征,分为4种类型,分别为“高-高”集聚型、“低-高”集聚型、“低-低”集聚型、“高-低”集聚型。

1.3.3 碳排放系数法

参考李波[25]和田云等[26]的研究,采用碳排放系数法测算农业碳排放量。本研究将化肥、农药、农膜、柴油、灌溉和翻耕等作为农业碳排放的六大碳源(表2),将各碳源的使用量与碳排放系数相乘并加总得到农业碳排放量。

表2 农业碳排放来源

Table 2 Sources of agricultural carbon emissions

碳源	量度	碳排放系数	参考来源
化肥	化肥使用量	0.895 6 kg/kg	李波等[25]
农药	农药使用量	4.934 1 kg/kg	田云等[26]
农膜	农膜使用量	5.18 kg/kg	李波等[25]
翻耕	种植面积	312.6 kg/km^2	田云等[26]
灌溉	有效灌溉面积	266.48 kg/hm^2	赵荣钦和秦明周[27]
柴油	柴油使用量	0.592 7 kg/kg	田云等[26]

2 结果与分析

2.1 农业新质生产力与绿色技术创新的耦合协调度变化趋势

2.1.1 各区域耦合协调度变化趋势

由图1可见,2012—2022年东部地区耦合协调水平最高,中部地区次之,西部地区和东北部地区耦合协调水平最低。主要原因是东部地区在农业新型劳动资料(如智能设备)的普及率远高于西部地区,不同地区的数字鸿沟现象明显,资源禀赋差异,西部地区生态修复成本较高,退耕还草政策使农业科技投入所带来的边际效益降低,东北地区的黑土地保护等政策实行所带来的绿色技术短期成本增加。从变化趋势来看,各地区的耦合协调度基本处于比较平缓的发展过程但略有上升,主要是由于绿色技术与当地适配度不够,绿色技术短期成本过高等原因所致。各地区在2020年均出现一定程度的下降,其原因是2020年全球疫情影响对农业产业链甚至各行业造成了一定的冲击,产业链协同不足,生态效益与经济效益的短期矛盾,缺乏针对绿色技术的补贴或税收优惠。

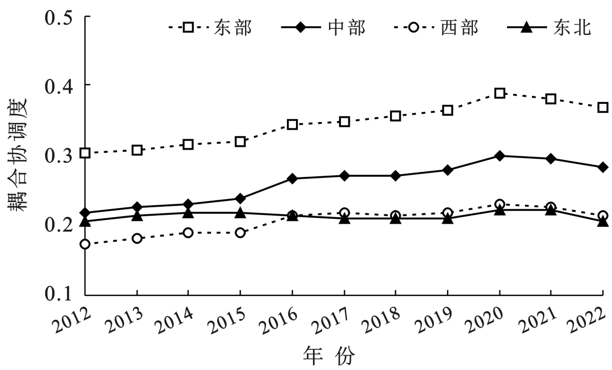

图1 2012—2022年各地区平均耦合协调水平变化趋势

Fig.1 Variation trend of average coupling coordination level in different regions during 2012—2022

2.1.2 各省份耦合协调度演进趋势

2012—2022年各省份耦合协调度存在差异(表3)。北京市、上海市、广东省、浙江省、江苏省等东部地区耦合协调度较高,基本上耦合协调度都在0.3以上,而处于西部地区的新疆维吾尔自治区、甘肃省、青海省地区的耦合协调水平较低,均处于0.2以下,东西部地区间差异较大。西部地区二者协调发展程度较低,农业、绿色技术发展与其他地区之间存在一定差异。中部地区耦合协调度处于中等水平,原因为中部地区以高附加值农业为主导,通过产业链延伸(如农产品深加工+电商)提高绿色技术回报率,西部地区以新疆棉花、青海青稞为主的粗放式生产,地理条件阻滞,技术推广率较低。东部已建立“绿色技术-碳汇-金融”闭环,科创走廊等一系列政策较集中在东部,加速技术扩散,西部缺乏碳定价机制。如青海省光伏农业的绿电收益无法支撑技术研发。因此东部地区农业新质生产力与绿色技术创新耦合协调发展比其他地区好,西部地区二者协调发展较差,东部、中部、西部与东北地区差异体现在财政投入力度、农业科技人才培养、基础设施代际差等方面。

表 3　2012—2022 年各省农业新质生产力与绿色技术创新耦合协调度

Table 3　Coupling coordination degree of agricultural new quality productive forces and green technology innovation in different provinces during 2012—2022

省(区、市)	耦合协调度										
	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年
北京市	0.431	0.409	0.421	0.414	0.424	0.422	0.433	0.436	0.545	0.651	0.616
天津市	0.287	0.304	0.314	0.321	0.343	0.336	0.319	0.328	0.328	0.297	0.274
河北省	0.182	0.191	0.201	0.205	0.231	0.239	0.234	0.237	0.249	0.250	0.243
山西省	0.155	0.160	0.166	0.159	0.163	0.163	0.170	0.176	0.190	0.190	0.178
内蒙古自治区	0.153	0.163	0.163	0.162	0.193	0.178	0.147	0.161	0.160	0.168	0.145
辽宁省	0.216	0.224	0.223	0.214	0.213	0.217	0.216	0.211	0.221	0.218	0.202
吉林省	0.200	0.206	0.210	0.219	0.211	0.197	0.197	0.210	0.222	0.223	0.204
黑龙江省	0.200	0.211	0.220	0.221	0.216	0.209	0.211	0.211	0.220	0.217	0.209
上海市	0.364	0.392	0.412	0.422	0.437	0.451	0.476	0.490	0.505	0.399	0.365
江苏省	0.353	0.336	0.345	0.376	0.410	0.418	0.424	0.426	0.464	0.439	0.483
浙江省	0.308	0.304	0.318	0.325	0.338	0.347	0.393	0.405	0.435	0.404	0.387
安徽省	0.225	0.236	0.238	0.268	0.274	0.286	0.310	0.316	0.331	0.332	0.320
福建省	0.270	0.281	0.286	0.290	0.329	0.341	0.341	0.349	0.361	0.360	0.317
江西省	0.227	0.231	0.235	0.235	0.276	0.289	0.286	0.295	0.311	0.312	0.300
山东省	0.291	0.306	0.303	0.300	0.354	0.341	0.324	0.315	0.330	0.336	0.325
河南省	0.242	0.253	0.247	0.248	0.281	0.294	0.286	0.297	0.310	0.285	0.268
湖北省	0.245	0.257	0.264	0.269	0.317	0.305	0.296	0.311	0.330	0.328	0.312
湖南省	0.211	0.228	0.234	0.238	0.286	0.294	0.280	0.271	0.317	0.319	0.314
广东省	0.359	0.371	0.365	0.366	0.381	0.395	0.417	0.431	0.451	0.439	0.421
广西壮族自治区	0.194	0.195	0.220	0.220	0.240	0.238	0.244	0.250	0.252	0.254	0.247
海南	0.168	0.171	0.176	0.193	0.207	0.207	0.221	0.220	0.234	0.239	0.244
重庆市	0.207	0.216	0.225	0.243	0.254	0.269	0.272	0.279	0.303	0.292	0.281
四川省	0.231	0.238	0.254	0.261	0.296	0.306	0.297	0.301	0.350	0.342	0.323
贵州省	0.153	0.158	0.166	0.170	0.205	0.204	0.227	0.226	0.237	0.236	0.223
云南省	0.166	0.176	0.179	0.192	0.202	0.211	0.227	0.234	0.236	0.207	0.194
陕西省	0.246	0.255	0.283	0.278	0.286	0.295	0.301	0.310	0.320	0.311	0.290
甘肃省	0.148	0.153	0.158	0.164	0.204	0.206	0.167	0.190	0.190	0.193	0.191
青海省	0.133	0.132	0.130	0.124	0.130	0.185	0.144	0.155	0.159	0.156	0.148
宁夏回族自治区	0.126	0.126	0.133	0.132	0.157	0.155	0.148	0.148	0.153	0.157	0.151
新疆维吾尔自治区	0.151	0.150	0.147	0.145	0.167	0.163	0.158	0.150	0.150	0.157	0.136

2.2　耦合协调度空间分布特征

2.2.1　耦合协调度全局自相关性

为了分析农业新质生产力与绿色技术创新耦合协调度的空间集聚程度，本研究分别采用空间邻接矩阵和地理距离矩阵倒数探究耦合协调度的空间集聚程度。

研究结果（表 4）表明，中国农业新质生产力与绿色技术创新耦合协调度空间互动性较高，且莫兰指数呈现少有降低和一定的上升。2012—2022 年均通过了 1% 显著水平检验，表明中国农业新质生产力与绿色技术创新耦合协调度具有一定的空间相关性。在地理距离矩阵倒数下，全局莫兰指数始终低于 0.15，在[0,1]区间中处于较低的位置，从 2012 年的 0.102 下降到 2022 年的 0.060，降幅达到 70%，表明全国 30 个省份空间集聚程度在减弱，空间互动性降低。其中在 2012—2018 年处于增长阶段，在 2019—2022 年处于下降阶段，总体呈现倒“V”型趋势。在邻接矩阵下，全局莫兰指数始终在 0.330～0.525 之间的范围，从 2012 年 0.345 下降到 2022 年的 0.330，降幅仅 4.3%，但莫兰指数远高于地理距离矩阵的莫兰指数，且莫兰指数均通过了 1% 的显著水平检验，表明相邻地理位置情况下农业新质生产力与绿色技术创新耦合协调度更具有空间集聚性，原因是邻接矩阵强化了相邻地区的经济协作，相邻地区属性相似（如高-高集聚区），使得空间滞后项高度相关，地理距离矩阵对于跨省或地理距离较大的地区可能会削弱关联强

度。随着时间发展,相邻地理位置有助于农业科技、数字化人才、农村产业融合发展等农业资源的空间溢出效应,不同要素的快速流动加速了集聚效应和扩散效应的形成,从而有利于地区间的协调发展。

2.2.2 耦合协调度局部自相关性

为了更清晰地分析农业新质生产力与绿色技术创新的耦合协调度的区域间的空间特点与集聚特征,采用局部莫兰指数进行分析(图2)。

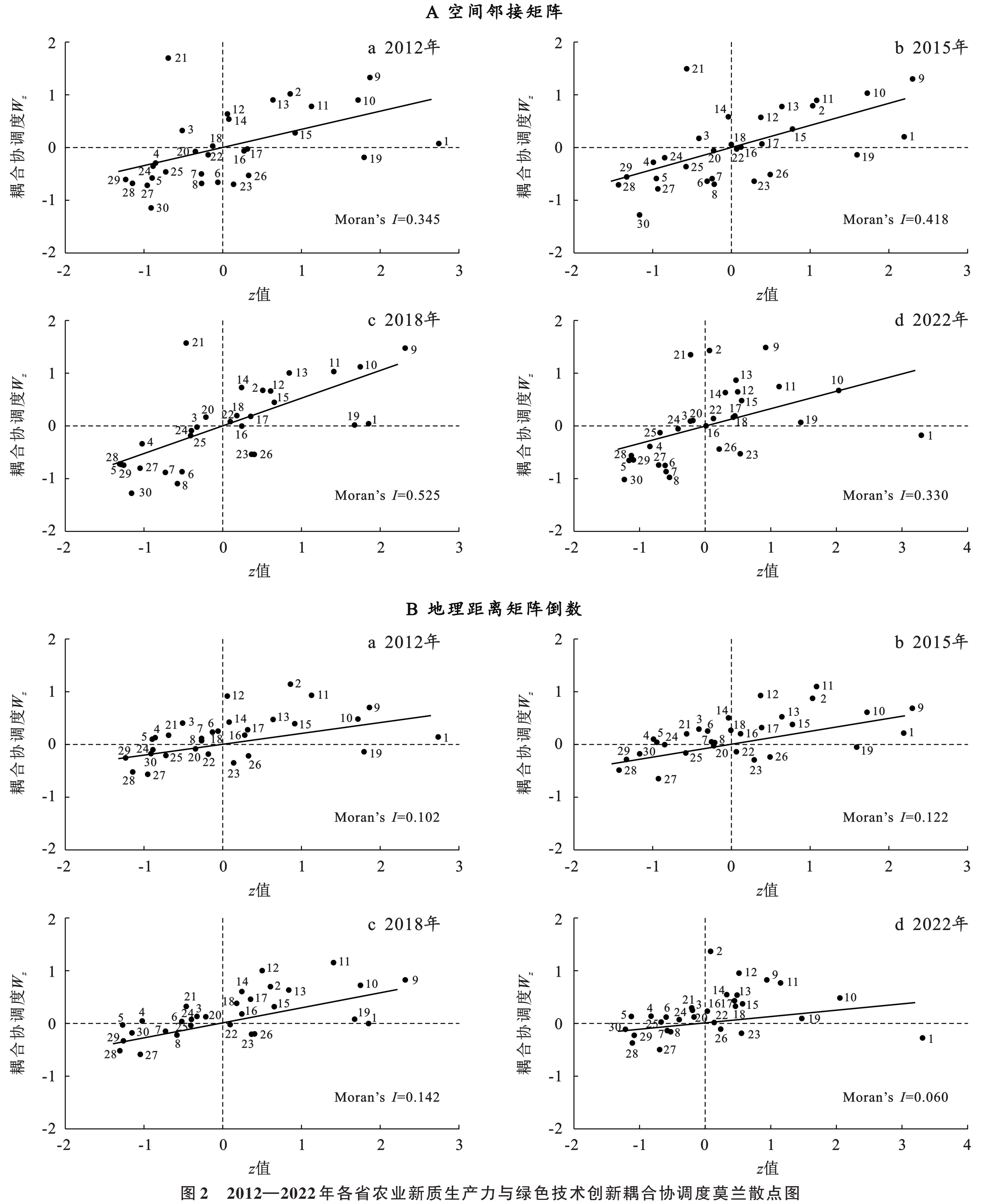

图2 2012—2022年各省农业新质生产力与绿色技术创新耦合协调度莫兰散点图

Fig.2 Moran scatter plots of coupling coordination degree of agricultural new quality productive forces and green technology innovation in different provinces during 2012—2022

表 4　全局空间自相关回归结果

Table 4　Results of global spatial autocorrelation regression

年份	邻接矩阵			地理距离矩阵倒数		
	Moran's	Z值	p值	Moran's	Z值	p值
2012	0.345	3.116	0.001	0.102	1.708	0.000
2013	0.347	3.109	0.001	0.111	1.889	0.000
2014	0.356	3.182	0.001	0.108	2.135	0.000
2015	0.418	3.684	0.000	0.122	2.404	0.000
2016	0.426	3.722	0.000	0.121	2.802	0.000
2017	0.450	3.913	0.000	0.119	2.735	0.000
2018	0.525	4.536	0.000	0.142	2.577	0.000
2019	0.503	4.360	0.000	0.138	2.504	0.000
2020	0.449	3.936	0.000	0.113	2.435	0.000
2021	0.312	2.981	0.001	0.061	2.168	0.005
2022	0.330	3.105	0.001	0.060	2.398	0.006

从区域尺度看，无论是空间邻接矩阵还是地理距离矩阵倒数，大部分省份均处于第一象限（“高-高”集聚区）和第三象限（“低-低”集聚区），说明农业新质生产力与绿色技术创新耦合协调度存在显著的正相关，且比较稳定。同时，不同省份的耦合协调度空间集聚程度不同，江苏、浙江、上海等东部地区始终位于“高-高”集聚区，到2022年，“高-高”集聚区的省份数量有所增加，表明耦合协调度高的省份集聚效应在逐渐增强，如湖北、湖南地区由“高-低”集聚区转变为“高-高”集聚区，说明上海、江苏等地区对周边地区辐射作用明显，空间溢出效应较强；新疆、甘肃、内蒙古等西部地区始终处于“低-低”集聚区，主要是因为西部地区农业科技发展缓慢，经济发展、绿色技术应用、农业生产方式较为落后，彼此之间发展不协调导致二者耦合协调度较低；少部分地区集中在“低-高”集聚区和“高-低”集聚区，基本上属于中部地区，但存在一定变化，如广西2012—2022年由“低-低”集聚区转变为“低-高”集聚区，原因是南宁、贵港等城市依托科创平台和龙头企业，率先突破智慧农业技术，部分地区受限于地貌复杂性和基础设施薄弱，难以自主创新，但通过承接核心区技术转移，形成“低值包围高值”的集聚，陕西和四川始终位于“高-低”集聚区，表明这两个地区的省会或平原地区水平较高，被周边低发展地区所包围，由于地理原因阻断了技术扩散，分为核心区的高技术密集型农业和外围区的传统粗放农业。2012—2022年，河北由“高-低”集聚区向“低-低”集聚区转变，湖北、湖南由“高-低”集聚区向“高-高”集聚区转变，重庆从“低-低”集聚区转变为“高-高”集聚区，这些地区以中部地区和西部地区为主，农业与技术发展水平差异较大，与周边地区的耦合协调度具有一定的差距。总体而言，中国农业新质生产力与绿色技术创新耦合协调度空间集聚状态较为稳定，而耦合协调度空间交互水平较低且稍有下降，表明中国地区间交流合作需要加强，未来如何发挥水平较高地区的“带头示范”作用，进一步稳步加强空间溢出效应，仍需要进一步的探索。

2.3　农业新质生产力与绿色技术创新耦合协调度的碳减排效应

2.3.1　模型与变量选取

为探究耦合协调度的碳减排效应，经Hausman检验，选择固定效应模型分析影响耦合协调度的因素。

参考已有研究[28]，本研究被解释变量选取农业碳排放量；核心解释变量选取农业新质生产力与绿色技术创新耦合协调度；控制变量与具体说明详见表5。对于部分变量取对数，以减少异方差的影响。

表 5　农业碳排放量的控制变量说明

Table 5　Description of control variables of agricultual carbon emission

维度	变量	具体说明
经济	农业发展水平	农林牧渔总产值/第一产业就业人员
	农村人均固定资产投资	农村固定资产/农村总人口
政府	财政支农强度	财政支农支出/公共预算支出
农业生产	农业科技水平	农业科技专利数量
	农业种植结构	粮食作物播种面积/农作物总播种面积

2.3.2　实证分析

农业新质生产力与绿色技术创新耦合协调度碳减排的回归结果（表6）表明，农业新质生产力与绿色技术创新耦合协调度均在1%水平下显著抑制农业碳排放，农业新质生产力与绿色技术创新耦合协调发展具有明显的碳减排效应。

2.3.3　内生性讨论与稳健性检验

首先进行内生性讨论,通过将耦合协调度滞后一期作为工具变量,使用工具变量法进行实证检验,同时应用两种方法进行稳健性检验,一是缩尾处理:为了减去样本中异常值对研究结果的影响,进行缩尾处理;二是删减样本:由于4个直辖市农业新质生产力与绿色技术创新的广泛应用,与其他省份差距过大,采取删去4个直辖市数据,重新进行回归检验,以此来检验前述回归结果的稳健性。检验结果见表7。

表6　基准回归结果

Table 6　Benchmark regression results

变 量	OLS回归	固定效应
耦合协调度	-5.154^{***}(0.858)	-2.955^{***}(0.273)
控制变量	控制	控制
省份固定	否	是
年份固定	否	是
N	330	330
R^2	0.532	0.577

注:***,**,*分别表示在1%,5%,10%水平显著。括号内为标准误,下同。

表7中,内生性讨论和稳健性检验结果均表示农业新质生产力与绿色技术创新耦合协调度具有显著的碳减排效应,与前文回归结果基本一致。

表7　内生性与稳健性检验结果

Table 7　Results of endogenicity and robustness tests

变 量	内生性讨论	稳健性检验	
	滞后一期	缩尾处理	筛选样本
耦合协调度	-1.007^{**} (0.422)	-2.616^{***} (0.276)	-5.288^{***} (1.494)
控制变量	控制	控制	控制
省份固定	是	是	是
年份固定	是	是	是
N	300	330	286
R^2	0.996	0.550	0.632

2.3.4　耦合协调度对农业碳排放的空间效应

对农业碳排放量的空间自相关性检验(表8)表明,农业碳排放均通过了10%显著水平检验,表明农业碳排放具有一定的空间集聚性。同时,在选择空间计量模型时,需要进行LM检验、Wald检验和LR检验等相关检验,结果显示均通过了各检验(表9),Hausman检验结果为503.37,十分显著,选择固定效应空间杜宾模型。

表8　2012—2022年农业碳排放的空间相关性检验

Table 8　Spatial correlation test on agricultural carbon emissions during 2012—2022

年份	邻接矩阵		
	Moran's	Z值	p值
2012	0.191	1.861	0.031
2013	0.189	1.842	0.033
2014	0.173	1.711	0.044
2015	0.167	1.656	0.049
2016	0.156	1.569	0.058
2017	0.153	1.540	0.062
2018	0.151	1.528	0.063
2019	0.145	1.480	0.069
2020	0.149	1.508	0.066
2021	0.147	1.487	0.069
2022	0.139	1.417	0.078

表9　空间计量模型选择检验结果

Table 9　Results of spatial measurement model selection tests

模型	LM检验	Robust检验	Wald检验	LR检验
SEM	20.163^{***} (p=0.000)	8.853^{***} (p=0.003)	44.09^{***} (p=0.000)	43.21^{***} (p=0.000)
SLM	54.009^{***} (p=0.000)	42.698^{***} (p=0.000)	41.40^{***} (p=0.000)	42.03^{***} (p=0.000)

通过邻接矩阵、经济地理矩阵和空间距离矩阵平方倒数分别进行空间杜宾模型回归。从表10可以看出,在邻接矩阵、经济地理矩阵和空间距离矩阵平方倒数下,实证结果均保持稳定,表明空间杜宾模型结果的稳健性。中国农业新质生产力与绿色技术创新耦合协调度对农业碳排放均具有显著的抑制作用且碳减排效应显著为正,即本地区农业新质生产力与绿色技术创新耦合协调发展会促进农业碳减排,而且本地区农业新质生产力与绿色技术创新耦合协调发展也会促进周边地区农业碳减排,农业新质生产力与绿色技术创新耦合协调发展具有空间溢出效应。二者的耦合协调度每提升1%,农业碳排放量下降4.478%,呈现这种变化的主要原因是随着不同地区耦合协调发展,农业新质生产力发展所带来的光伏农业大棚、储能技术的发展和保护性耕作,降低柴油使用和灌溉投入,降低单位面积碳排放量,加强耕地固碳量的提升。经济地理矩阵回归系数较大,原因是邻接矩阵仅能捕捉毗邻地区缓慢扩散,高估地理邻近效应,低估“技术廊道”作用,而经济地理矩阵能够通过引入技术势差和创新网络连通性,技术扩散强度随经济距离(非地理距离)指数衰减,技术扩散依赖人才流动和资本流动等媒介,其路径由

经济关联度主导。在空间杜宾模型回归分析中,邻接矩阵无法识别非相邻地区的产业链分工,距离平方倒数矩阵低估价值链的跨区域传导,而经济地理矩阵能够以产业关联度和市场协同度构建权重,同时捕捉“水平技术扩散”和“垂直产业传导”,精准量化了技术扩散与产业传导的非线性网络效应。

表 10　空间杜宾模型回归结果

Table 10　Results of spatial Durbin model regression

变量	邻接矩阵	经济地理矩阵	空间距离矩阵平方倒数
耦合协调度	−4.478***(0.851)	−5.916***(0.966)	−4.887***(0.822)
溢出系数	−8.320***(2.081)	−15.308**(6.435)	−2.413(2.153)
直接效应	−5.100***(0.871)	−6.358***(1.086)	−5.370***(0.948)
间接效应	−12.062***(2.616)	−26.407**(10.752)	−8.633**(3.944)
控制变量	控制	控制	控制
rho	0.253***(0.073)	0.330**(0.163)	0.481***(0.076)
sigma2_e	0.352***(0.026)	0.379***(0.029)	0.326***(0.026)
N	330	330	330
R^2	0.021	0.158	0.007

3　结 论

(1) 2012—2020年,中国30个省份、东部、中部、西部和东北地区的农业新质生产力与绿色技术创新耦合协调度均处于不断上升的趋势,2020—2022年各地区耦合协调度稍有下降,但总体处于不断上升的趋势。

(2) 中国农业新质生产力与绿色技术创新耦合协调水平发展呈现由东向西逐渐递减的趋势,二者耦合协调发展具有一定的空间集聚性。相比地理距离矩阵倒数,邻接矩阵作用下更为明显。大部分省份集中在“高-高”和“低-低”集聚区,同时该区域的省份数量不断扩大,表明二者耦合协同发展具有显著的局部空间正相关性。

(3) 中国农业新质生产力与绿色技术创新耦合协调发展具有显著的碳减排效应。在进行内生性讨论与稳健性检验后,碳减排效应亦显著存在。

4　建 议

(1) 将农业新质生产力与绿色技术创新协同发展纳入乡村振兴与“双碳”目标等国家战略中,差异化区域指标,统筹整合“高标准农田建设”和“农业绿色技术推广”等政策资源。因地制宜发展农业新质生产力与绿色技术研发,东部地区聚焦前沿技术与模式创新,支持立体农业、生物育种等尖端技术的研发与应用示范,打造国家级农业科技创新高地,推动农业与现代服务业深度融合,形成高附加值产业链;中部地区重点推广秸秆综合利用、粪污资源化利用等绿色生产技术,壮大新型农业经营主体;西部地区重点发展旱作节水农业、生态畜牧业、特色林果业绿色种植等,强化生态保护与修复,建立“东部—中西部”技术转移中心,输出先进技术、管理模式和资本,探索“飞地经济”合作模式;东北地区在黑土地保护与利用、畜禽粪污资源化利用等方面寻求突破性技术和模式,发展生态旅游、康养农业等新业态,探索寒地特色绿色农业,强化补偿机制。

(2) 设立跨省技术扩散中心,打造“邻省协同走廊”,依托长江经济带、哈长城市群,建立省际绿色技术共享平台。优先建设跨省交界处的高标准农田、冷链物流节点,弱化省界阻隔效应,特殊生态区开发模块化轻型技术(如小型光伏灌溉系统),降低复杂地形制约,建立邻省双向补偿基金,成立流域农业污染联防联控中心,鼓励农业龙头企业获取跨省绿色生产特许资质,发行区域性绿色农业债券,最终形成“东部引领—中部传导—西部激活”的协同网络。

(3) 建立农业碳汇省际交易市场,将保护性耕作、有机农田、沼气工程等产生的碳汇纳入交易体系,允许西部生态功能区向东部碳高排放省出售碳汇额度,在京津冀、长三角等城市群推行跨省农业碳账户联管,依据产业关联度分摊减排目标,强化政策工具。培育跨省农业减排联合体,区域“以碳换水”交易机制,构建空间效应监测评估。创新绿色金融工具,发行“农业碳中和债券”和试点“碳减排信用证”。

本研究创新性的将农业新质生产力与绿色技术创新进行耦合研究并说明时空分布特征与耦合协调发展所产生的碳减排效应,但也存在一定的局限性。在借鉴他人研究的基础上对农业新质生产力与绿色技术创新进行一定的测度并耦合研究,但未对二者耦合协调发展进行驱动因素分析。目前,学术界对于二者的衡量缺乏统一的标准,农业新质生产力与

绿色技术创新耦合协调发展研究仍需要进一步探索。此外,在研究尺度方面,可从地级市或县域层面进行细致分析,从而提出更具针对性的建议。在研究方法上,可采取调研访谈、大数据分析与AI等手段,完善研究内容与尺度。

参考文献(References)

[1] 张彩莉,李建豹.长三角地区农业水土资源匹配对农业碳排放的影响[J].农业工程学报,2025,41(12):299-309.
Zhang Caili, Li Jianbao. Impacts of water and soil resource matching on agricultural carbon emissions in the Yangtze River delta region of China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2025,41(12):299-309.

[2] 周玉玺,高瑞敏.中国农业新质生产力发展水平测度与评价[J].中国农业大学学报,2025,30(7):246-263.
Zhou Yuxi, Gao Ruimin. Measurement and evaluation of the development level of new-quality agricultural productivity in China [J]. Journal of China Agricultural University, 2025,30(7):246-263.

[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] 丁宝根,方羽,罗芳.中国农业新质生产力水平的测度、时空特征及影响因素研究[J].江苏农业科学,2024,52(24):282-291.
Ding Baogen, Fang Yu, Luo Fang. Study on measurement, spatio-temporal characteristics and influencing factors of China's agricultural new quality productive forces level [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2024,52(24):282-291.

[5] 王丽双,傅新红,蒋浩,等.农业新质生产力测度、区域差异及耦合协调研究[J].农林经济管理学报,2025,24(1):55-64.
Wang Lishuang, Fu Xinhong, Jiang Hao, et al. Development level measurement, regional differences and coupling coordination of agricultural new quality productivity [J]. Journal of Agro-Forestry Economics and Management, 2025,24(1):55-64.

[6] 陈培彬,黄可权,朱朝枝.农业新质生产力对农业碳排放强度的影响研究[J].管理现代化,2025,45(1):21-31.
Chen Peibin, Huang Kequan, Zhu Chaozhi. Research on the impact of agricultural new quality productivity on agricultural carbon emission intensity [J]. Modernization of Management, 2025,45(1):21-31.

[7] Karimi Takalo S, Sayyadi Tooranloo H, Shahabaldini parizi Z. Green innovation: A systematic literature review [J]. Journal of Cleaner Production, 2021,279:122474.

[8] Castellacci F, Mee L. A taxonomy of green innovators: Empirical evidence from South Korea [J]. Journal of Cleaner Production, 2017,143:1036-1047.

[9] 王锋正,陈方圆.董事会治理、环境规制与绿色技术创新:基于我国重污染行业上市公司的实证检验[J].科学学研究,2018,36(2):361-369.
Wang Fengzheng, Chen Fangyuan. Board governance, environmental regulation and green technology innovation: Empirical test based on listed companies in China's heavy polluting industry [J]. Studies in Science of Science, 2018,36(2):361-369.

[10] 邝嫦娥,路江林.环境规制对绿色技术创新的影响研究:来自湖南省的证据[J].经济经纬,2019,36(2):126-132.
Kuang Chang'e, Lu Jianglin. Research on the influence of environmental regulation on green technology innovation: Evidence from Hunan Province [J]. Economic Survey, 2019,36(2):126-132.

[11] 田红娜,刘思琦.政府补贴对绿色技术创新能力的影响[J].系统工程,2021,39(2):34-43.
Tian Hongna, Liu Siqi. The effect of government subsidies on green technology innovation capability [J]. Systems Engineering, 2021,39(2):34-43.

[12] 徐佳,崔静波.低碳城市和企业绿色技术创新[J].中国工业经济,2020(12):178-196.
Xu Jia, Cui Jingbo. Low-carbon cities and firms' green technological innovation [J]. China Industrial Economics, 2020(12):178-196.

[13] 王馨,王营.绿色信贷政策增进绿色创新研究[J].管理世界,2021,37(6):173-188.
Wang Xin, Wang Ying. Research on the green innovation promoted by green credit policies [J]. Journal of Management World, 2021,37(6):173-188.

[14] 成新轩,丰义,李明峰.制造业数字化转型与绿色技术创新的关系研究[J].工业技术经济,2025,44(1):115-121.
Cheng Xinxuan, Feng Yi, Li Mingfeng. Research on the relationship between digital transformation of manufacturing industry and green technology innovation driven [J]. Journal of Industrial Technology and Economy, 2025,44(1):115-121.

[15] 张琦,鲁煜晨,万君.农业新质生产力促进农业绿色发展的理论逻辑、现实困境与推进路径[J].改革,2025(3):113-123.
Zhang Qi, Lu Yuchen, Wan Jun. Theoretical logic, practical dilemma and path of promoting agricultural green development led by agricultural new quality productive forces [J]. Reform, 2025(3):113-123.

[16] 万君,张琦,鲁煜晨.绿色技术创新促进农业新质生产力形成的机制研究[J].中央民族大学学报(哲学社会科学版),2025,52(1):85-98.
Wan Jun, Zhang Qi, Lu Yuchen. Exploring the promotive mechanism of green technology innovation on the formation of new quality productive forces in agriculture [J]. Journal of Minzu University of China (Philosophy and Social Sciences), 2025,52(1):85-98.

[17] 朱晶,臧星月.新质生产力赋能粮食大面积单产提升:逻辑基础、关键问题与实现路径[J].农业经济与管理,2025(2):1-11.
Zhu Jing, Zang Xingyue. Empowering large-scale grain yield improvement through new-quality productive forces: Logical foundations, key challenges, and strategic pathways [J]. Agricultural Economics and Management, 2025(2):1-11.

[18] 王丹,赵新力,郭翔宇.农业科技现代化背景下县域农业创新生态系统的理论框架与建设思路[J].农业经济问题,2024,45(5):67-78.
Wang Dan, Zhao Xinli, Guo Xiangyu. Theoretical framework and construction strategy of county agricultural innovation ecosystem under the background of agricultural science and technology modernization [J]. Issues in Agricultural Economy, 2024,45(5):67-78.

[19] 陈振,郑锐,李佩华,等.河南省农业科技创新效率评价与分析[J].河南农业大学学报,2018,52(3):464-469.
Chen Zhen, Zheng Rui, Li Peihua, et al. Evaluation and analysis of agricultural science and technology innovation efficiency in Henan Province [J]. Journal of Henan Agricultural University, 2018,52(3):464-469.

[20] 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.

[21] 郭岩峰,张春艳.产业数字化、绿色技术创新与农业产业链韧性[J].技术经济与管理研究,2023(10):117-122.
Guo Yanfeng, Zhang Chunyan. Industrial digitization, green technology innovation and agricultural industry chain resilience [J]. Journal of Technical Economics & Management, 2023(10):117-122.

[22] 钟晓华.乡村产业高质量发展与共同富裕的耦合协调测度与时空特征分析[J].统计与决策,2023,39(7):67-72.
Zhong Xiaohua. Coupling synergy measure and spatial-temporal characteristic analysis of high-quality development of rural industries and common affluence [J]. Statistics & Decision, 2023,39(7):67-72.

[23] 李鸿飞,何颖茹,毕晓莉.黄河流域兰州段生态环境与高质量发展耦合协调关系研究[J].干旱区地理,2022,45(4):1244-1253.
Li Hongfei, He Yingru, Bi Xiaoli. Coupling coordination relationship between ecological environment and high-quality development in Lanzhou section of Yellow River basin [J]. Arid Land Geography, 2022,45(4):1244-1253.

[24] 杨君,刘畅,袁淑君,等.不同空间尺度耕地利用转型碳排放及其影响因素:以湖南省为例[J].水土保持通报,2025,45(1):264-275.
Yang Jun, Liu Chang, Yuan Shujun, et al. Carbon emissions of cultivated land use transformation and influencing factors at different spatial scales: A case study in Hunan Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2025,45(1):264-275.

[25] 李波,张俊飚,李海鹏.中国农业碳排放时空特征及影响因素分解[J].中国人口·资源与环境,2011,21(8):80-86.
Li Bo, Zhang Junbiao, Li Haipeng. Research on spatial-temporal characteristics and affecting factors decomposition of agricultural carbon emission in China [J]. China Population, Resources and Environment, 2011,21(8):80-86.

[26] 田云,蔡艳蓉,张蕙杰.数字经济对农业碳排放效率的影响:基于门槛效应和空间溢出效应的检验[J].农业技术经济,2024(11):89-107.
Tian Yun, Cai Yanrong, Zhang Huijie. The impact of digital economy on agricultural carbon emission efficiency: Based on threshold effect and spatial spillover effect test [J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2024(11):89-107.

[27] 赵荣钦,秦明周.中国沿海地区农田生态系统部分碳源/汇时空差异[J].生态与农村环境学报,2007,23(2):1-6.
Zhao Rongqin, Qin Mingzhou. Temporospatial variation of partial carbon source/sink of farmland ecosystem in coastal China [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2007,23(2):1-6.

[28] 吴昕雨,崔佳.基于动态QCA东北地区耕地利用生态效率测度及影响因素研究[J/OL].农业资源与环境学报,2025:1-17.(2025-01-09)[2025-05-28]. https://link.cnki.net/doi/10.13254/j.jare.2024.0676.
Wu Xinyu, Cui Jia. Measurement of eco-efficiency of cultivated land use and influencing factors in Northeast China based on dynamic QCA [J/OL]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2025:1-17.(2025-01-09))[2025-05-28]. https://link.cnki.net/doi/10.13254/j.jare.2024.0676.