



夏婷婷,刘强,应诗佳. 城乡融合视角下长三角地区农业绿色全要素生产率增长[J]. 中国农业大学学报,2025,30(11):264-281.

XIA Tingting, LIU Qiang, YING Shijia. Agricultural green total factor productivity growth in the Yangtze River Delta region from the perspective of urban-rural integration[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2025, 30(11): 264-281.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2025.11.21

城乡融合视角下长三角地区农业绿色全要素生产率增长

夏婷婷¹ 刘 强^{1,2*} 应诗佳¹

(1. 浙江农林大学 浙江省乡村振兴研究院,杭州 311300;

2. 浙江农林大学 经济管理学院,杭州 311300)

摘 要 为探究低碳城市试点对农业绿色全要素生产率所产生的影响及其内在逻辑,基于城乡融合发展理论,从要素融合、产业融合、技术融合3个维度,构建低碳城市试点对农业绿色全要素生产率影响的理论分析框架,并采用2001—2022年长三角地区41个城市的面板数据,运用多期双重差分模型,对低碳城市试点对农业绿色全要素生产率的影响展开实证检验。结果表明:1)相较于非试点城市,实施低碳城市试点的城市的农业绿色全要素生产率提升幅度达6.6%,且经过稳健性分析后,该结论依然有效;2)机制分析方面,低碳城市试点主要通过城乡要素融合、产业融合和技术融合3条路径来影响农业绿色全要素生产率;3)根据长三角地区地理区位和资源禀赋的异质性分析表明,低碳城市试点对农业绿色全要素生产率的影响在外围城市以及非资源城市更为显著。因此,要加快城乡要素融合,推进低碳城市试点工作,推动农业绿色发展。

关键词 农业绿色全要素生产率;新质生产力;城乡融合;长三角地区

中图分类号 F323.1

文章编号 1007-4333(2025)11-0264-18

文献标志码 A

Agricultural green total factor productivity growth in the Yangtze River Delta region from the perspective of urban-rural integration

XIA Tingting¹, LIU Qiang^{1,2*}, YING Shijia¹

(1. Zhejiang Rural Revitalization Institute, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, China;

2. School of Economics and Management, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, China)

Abstract To investigate the effects and underlying mechanisms of low-carbon city pilot programs on the agricultural green total factor productivity, a theoretical framework was developed based on urban-rural integration development theory. The impacts of low-carbon city pilot policies on agricultural green total factor productivity were analyzed from three perspectives: factor integration, industry integration and technology integration. An panel data from 41 cities in the Yangtze River Delta region, covering the period from 2001 to 2022, were utilized in this study. The multi-phase Difference-in-Differences model was utilized to empirically evaluate the effects of low-carbon city pilot policies on agricultural green total factor productivity. The findings indicate that: 1) Compared to non-pilot cities, the agricultural green total factor productivity of cities designated as low-carbon pilot areas displayed a notable increase of 6.6%. The above

收稿日期: 2025-02-28

基金项目: 国家自然科学基金青年项目(21CGL028)

第一作者: 夏婷婷(ORCID:0009-0001-1634-1737),硕士研究生,E-mail:17763706330@163.com

通讯作者: 刘强(ORCID:0000-0001-5462-9953),副教授,主要从事农业绿色生产研究,E-mail:niumeng119@zju.edu.cn

conclusion remains robust even after conducting a thorough robustness analysis. 2) In the context of mechanism analysis, the low-carbon city pilot projects primarily influence agricultural green total factor productivity through the integration of urban and rural elements, industrial convergence, and technological advancement. 3) Based on the heterogeneity analysis concerning geographical location and resource endowment in the Yangtze River Delta region, the impact of low-carbon city pilot programs on agricultural green total factor productivity is more pronounced in peripheral cities and non-resource-based cities. Therefore, it is essential to expedite the integration of urban and rural elements, advance pilot initiatives for low-carbon cities, and foster the green development of agriculture.

Keywords agricultural green total factor productivity; new quality productivity; integration of urban and rural areas; the Yangtze River Delta region

《2024 中国农业农村低碳发展报告》中指出,农业活动是我国第三大温室气体排放源^①。因此,减少农业碳排放已然成为促进低碳发展的重要途径。2020 年,我国“双碳”目标的提出,将农业低碳发展的紧迫性提到了新的高度。目前我国农业正处于低碳发展的关键转型期,农业碳排放在逐渐下降,但下降速度呈明显减缓趋势^[1]。实现农业绿色低碳发展直接关系到农业强国建设,也关乎“双碳”战略总体目标的达成。党的二十大报告中明确指出,必须加快发展方式向绿色转型的步伐,大力推动绿色低碳产业的发展进程,积极促成并巩固形成绿色低碳的生产和生活方式^②。2024 年 8 月,中共中央、国务院共同发布的《关于加快经济社会发展全面绿色转型的意见》^③进一步指出:应努力开发和改进包括秸秆、农用薄膜、农药包装废弃物以及家畜和家禽粪便等在内的农业废弃物的收集、利用和处理系统,以此为依托,有力推动农业朝着绿色可持续发展方向。

习近平总书记指出,新质生产力其核心标志体现为全要素生产率(Total factor productivity, TFP)呈现显著的增长态势^④。新质生产力本身就是绿色生产力^[2]。传统经济学研究计算 TFP 时只考虑经济维度的投入和产出,忽略了绿色生产力的重要性。在国家提出“双碳”目标和新质生产力的背景下,更有必要以绿色全要素生产率替代传统全要素生产率开展研究。农业绿色低碳转型的关键在于

提升农业绿色全要素生产率,这也是新质生产力的本质要求^[2-4]。相较于传统农业全要素生产率,农业绿色全要素生产率充分考量农业发展过程中所面临的各类环境约束条件,将碳排放、农业面源污染等非期望产出纳入核算体系之中,从而能够测量“考虑资源环境代价的真实生产效率”,反映区域绿色农业发展实际水平,能够更为精准地刻画资源、经济与环境三者之间的关系^[5]。鉴于农业绿色全要素生产率的重要性,已有研究探究农业绿色全要素生产率地区差异和提升路径^[6]。影响农业绿色全要素生产率的因素主要包括农业科技创新^[7]、农作物保险^[8]、气候变化^[9]等。政策层面上,来自政府财政的补贴^[10]、与碳排放相关的环境规制^[11-12]、一个国家的农产品贸易政策^[13]以及绿色贸易壁垒^[14]等也会显著影响农业绿色全要素生产率(Green Total Factor Productivity, GTFP)。此外,研究表明农业绿色全要素生产率也具有明显的区域相关性和空间关联性^[15-16]。

然而,已有研究主要是在农业内部研究农业绿色全要素生产率的影响因素,未能“跳出三农看三农”^[17],忽略了城乡融合背景下农业以外的政策因素可能存在的重要影响。在绿色发展方面,低碳城市是未来发展的一大方向。自 2010 年以来,我国已在杭州、上海等 81 个城市开展了 3 批次低碳城市和区域试点,在积极鼓励绿色技术创新的基础上,不断优化完善低碳产

①2024 年 5 月,2024 中国农业农村低碳发展报告发布,<https://news.sciencenet.cn/htmlnews/2024/5/522454.shtm>

②2022 年 10 月,习近平在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告,http://www.qstheory.cn/yaowen/2022-10/25/content_1129079926.htm

③2024 年 8 月,中共中央 国务院关于加快经济社会发展全面绿色转型的意见,https://www.gov.cn/zhengce/202408/content_6967663.htm

④2024 年 2 月,习近平在中共中央政治局第十一次集体学习时强调加快发展新质生产力扎实推进高质量发展,https://news.cyol.com/gb/articles/2024-02/01/content_4wdw3VUWIN.html

业体系,通过系统性举措,最终达成节能减排的目标^①。以杭州、上海等城市为代表的长三角地区是我国实施低碳城市试点的重点区域之一。同时,低碳城市试点的实施对农业低碳发展影响深远。随着城乡融合发展的加快,现有研究更加注重以城带乡、以工促农对农业绿色全要素生产率的作用^[18]。研究发现,城乡融合能够优化要素配置,减少能源、化肥、农药等碳排放,提高农业生产效率^[19-20]。虽然已有研究关注低碳城市试点政策,然而,关于低碳城市试点政策对农业绿色全要素生产率的影响效应尚未见报道,也没有构建相应的理论分析框架并进行机制检验。在城乡融合背景下,低碳城市试点对我国长三角地区农业绿色全要素生产率的影响程度如何?影响机制是什么?如何促进农业低碳发展?这些都是亟待探索的问题。

在推动我国农业农村现代化的进程中,长三角地区发挥着不可或缺且极为关键的作用。作为我国农业产业体系最完备、城乡融合发展程度最高的区域之一,其在国家农业农村现代化建设的全局中占据着关键战略地位。《乡村全面振兴规划(2024—2027年)》中明确提出东部发达地区率先基本实现农业农村现代化^②,而长三角地区作为东部地区的核心,其农业发展的成效直接影响着这一战略目标的实现。长三角地区农业发展水平不仅关乎区域内的粮食安全与乡村振兴,其成功经验和模式还能为全国其他地区提供示范与借鉴,推动全国农业农村现代化进程。因此,本研究拟以2001—2022年长三角地区41个城市的面板数据为基础,构建多期双重差分模型,实证分析低碳城市试点对农业绿色全要素生产率的影响效果,以期提出有效推动农业朝着绿色、低碳、高质量方向发展的对策建议。

1 长三角地区低碳城市试点政策实施情况

低碳城市试点政策是中国大力发展低碳经济的一项重要战略部署,以加快绿色发展进程为核心目标,通过控制碳排放总量、积极探索多元化的低

碳发展模式、着力打造低碳产业体系以及稳步推动城乡低碳化建设与管理等系列措施,更是我国推动经济绿色转型的一项重大举措。国家发展和改革委员会于2010—2017年分3批开展低碳城市试点工作,其中,长三角地区共有18个城市纳入试点范围(图1),以期通过在不同经济发展水平和不同区域环境水平的城市试点,探索出差异化的绿色发展道路。

低碳城市试点在控制碳排放方面取得了积极成效。根据生态环境部于2023年7月在“全国低碳日”活动中所发布的《国家低碳城市试点进展评估报告》^③中的相关内容,在试点城市经济持续稳定增长的进程中,工业与农业领域的碳排放增长态势均得到了有效管控,低碳城市试点工作在碳排放降低领域取得了具有实质意义的显著进展。2017—2022年,试点城市的国内生产总值年均增长5.8%,二氧化碳排放量年均增长仅为1.3%,实现了经济增长与碳排放的初步脱钩。从碳排放强度指标来看,试点城市中约95%的区域呈现出显著的碳排放强度下降趋势;从碳排放总量来看,38%的试点城市实现了碳排放总量的持续下降,同时25%的试点城市呈现出碳排放总量增速减缓的特征。

在农业领域,试点城市通过制定涉农绿色发展政策,明确农业绿色发展的目标和路径,包括技术创新、减排固碳、资源高效利用等,同时还根据地区资源禀赋和市场需求,优化农业产业结构,发展高效、绿色、多功能的现代农业(表1)。在城乡融合背景下,城乡之间资源要素的流动及城乡产业与技术的融合,为农业绿色发展提供新的动力和机遇。例如,衢州市推广“光伏+”设施农业,推进农业生态技术、增汇技术研发和推广应用;大力推进农业废弃物资源化利用,加强农作物秸秆综合利用技术集成与示范推广;加快节能环保的农机装备设备推广应用,推进农机标准化、规模化作业,从而减少农业碳排放^④。

①2017年1月,国家发展改革委关于开展第三批国家低碳城市试点工作的通知,https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/201701/t20170124_962888.html

②2025年1月,中共中央国务院印发《乡村全面振兴规划(2024—2027年)》,https://www.gov.cn/zhengce/202501/content_7000493.htm

③2023年7月,《国家低碳城市试点工作进展评估报告》在“全国低碳日”主场活动发布,https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202307/content_6892095.htm

④2022年4月,衢州市《全国低碳示范城市创建三年行动方案》,https://www.qz.gov.cn/art/2022/4/8/art_1229615204_38690.html

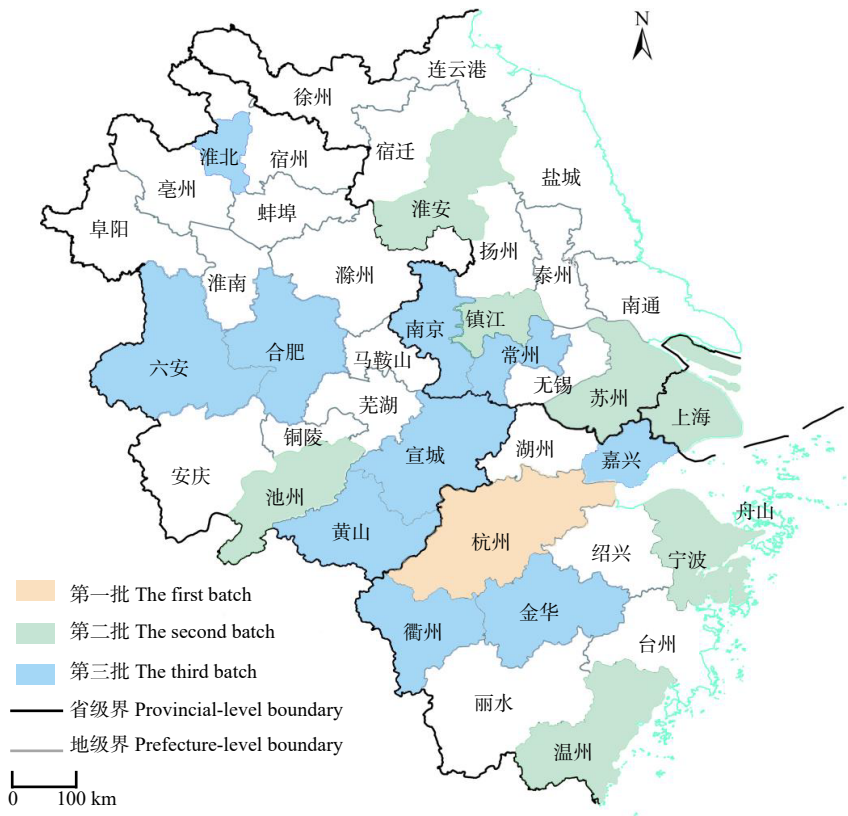


图 1 长三角地区低碳城市试点区域分布

Fig. 1 Regional distribution map of pilot low-carbon cities in Yangtze River Delta

尽管如此,低碳城市试点政策在实践层面仍存在不足。例如,庄贵阳^[21]通过评估前三批试点城市结果,发现试点城市在低碳发展目标设定、转型路径和发展动力等方面与预期仍有差距。在效果评价上,低碳城市试点政策的评价效果缺少时间与空间可比性指标,无法反映低碳建设效果的动态变

化。虽然低碳城市试点能够有效促进碳减排,但试点政策的实施效果在不同地区仍存在明显差异^[22]。此外,现有研究还忽视了城市与农村之间密不可分的联系。事实上,在城乡融合发展框架下,以工补农、以城带乡,低碳城市试点无疑是影响农业绿色生产的重要因素。

表 1 长三角地区低碳城市试点工作涉农相关政策

Table 1 The preliminary initiatives for low-carbon cities in the Yangtze River Delta encompass policies related to agriculture

政策类型 Policy type	重点举措 Key measure	试点城市 Pilot city
要素优化配置 Optimal allocation of factors	推进高标准农田建设,实施化肥农药减量补贴、绿色种养补贴等	常州、淮北、杭州、嘉兴、宁波、苏州
产业转型升级 Industrial transformation and upgrading	推进农业绿色转型、建立碳减排考核机制等	合肥、淮北、黄山、南京、金华、衢州
农业技术创新 Agricultural technology innovation	推进农业低碳关键技术创新、增强农业综合固碳能力等	杭州、合肥、淮北、六安、上海、宣城、镇江

注:资料来源于 2001—2022 年各地政策文件。
Note: The information is derived from policy documents across various regions from 2021 to 2022.

2 理论分析框架

城乡融合是指在社会生产力充分发展的背景下,借助制度革新、技术进步、需求扩张以及文化创新等多元关键要素的协同发力,促使城乡间构建起一种彼此交融、相互增益、有机整合的良性发展格局,其核心目标在于达成城乡资源的合理调配与高效共享^[23]。在城乡融合发展的宏观框架体系下,城乡之间的人口、技术、资本、资源等关键要素发生深度交互与融合。各要素彼此之间形成紧密的联系,互为资源补给源泉,互为市场拓展空间,相互提供服务支持。通过这种动

态的交互融合过程,逐步推动城乡在经济结构优化、社会公共服务均等化、文化交流与传承、生态环境协同保护、空间布局合理规划以及政策体系协同一致等多个维度实现协调发展。低碳城市试点政策作为推动城市可持续发展的重要举措,不仅关注城市层面的低碳转型,还通过一系列的政策措施和机制创新,对农业低碳发展产生影响。具体而言,即在城乡融合发展框架下,城乡间资源、产业和技术的深度融合,为低碳城市试点工作在推动农业绿色全要素生产率提升方面,创造了更为有利的环境基础。本研究构建影响路径机制框架详见图2。具体内容如下:

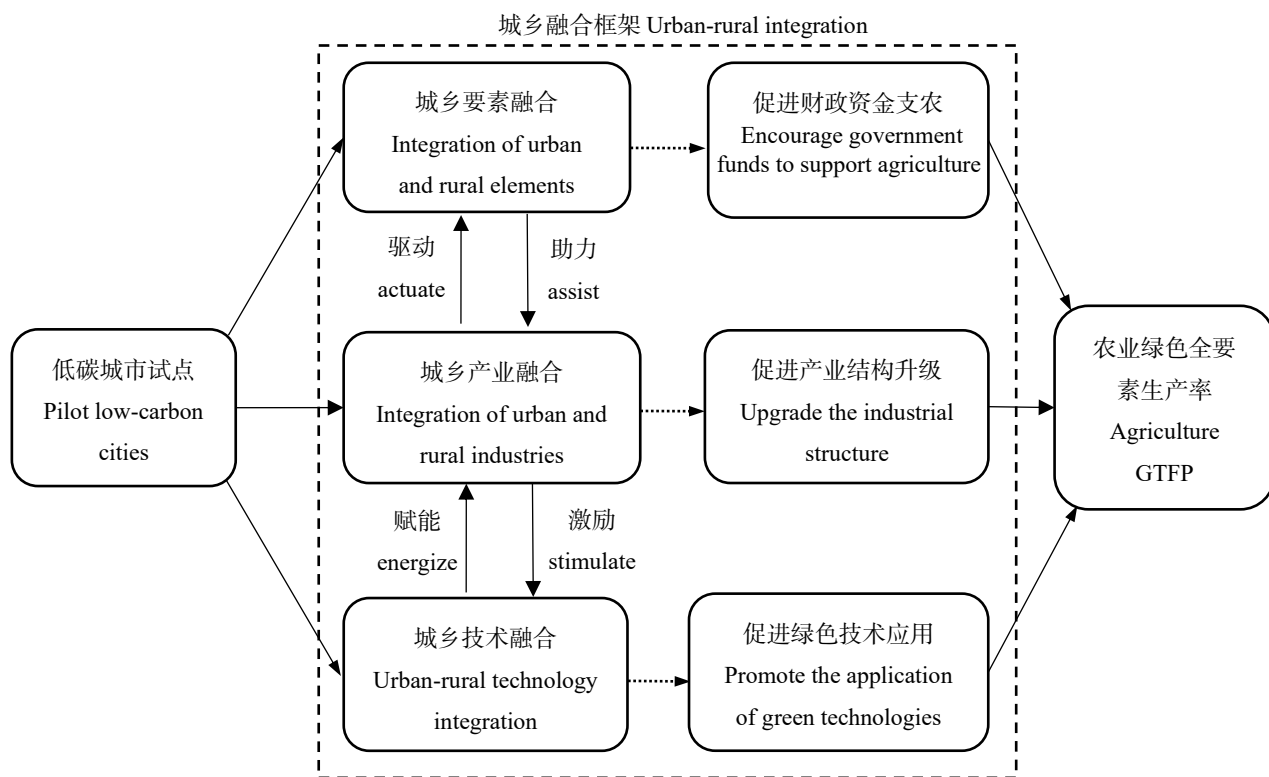


图2 低碳城市试点影响农业绿色全要素生产率的路径

Fig. 2 The influence path of the low-carbon city pilots on the green total factor productivity in agriculture

1)城乡要素融合。在二元经济结构下,城乡要素融合面临诸多瓶颈,推进城乡要素融合就是要着力破除长期存在的城乡二元体制机制壁垒,构建高效顺畅的城乡要素流通渠道,以实现土地、人才、资金等关键要素在城乡之间的优化配置^[8]。城乡要素流动是优化要素配置的前提,特别是在农业农村优先发展的框架下,试点地区通过开展高标准农田建设、完善财政奖补政策等举措,提高了土地要素质量,使要素流动向农村倾斜,如浙江省实施的“两进

两回”政策,促进了资金和人才回流农村。在所有的要素之中,资本是最具流动性的一种,不仅影响着城乡之间的要素资源分配效率,还一定程度上决定了城乡之间的工农产业结构,是区域社会经济系统的关键纽带^[24]。以财政支农为代表的资金流动最为典型,为农业绿色基础设施建设提供必要的资金支持,夯实了城乡要素融合的基础,为提升农业绿色全要素生产率创造了前提条件^[25]。基于此,提出假说H1:

H1:低碳城市试点能够促进城乡要素融合进而提升农业绿色全要素生产率。

2)城乡产业融合。新结构经济学理论强调,一个国家或地区的产业结构应当与其要素禀赋结构相适应,即在某一既定时刻,要素禀赋构成状况决定了与之最为适配的产业结构形态。伴随社会经济持续演进以及要素禀赋构成发生改变,产业结构也需要适时进行升级调整,以此达成更高层次的生产效率以及更为可观的经济效益^[26]。低碳城市试点通过发展绿色低碳产业,在推动产业结构优化升级方面发挥着重要作用。一方面,低碳城市试点有助于推动传统产业与新经济、新业态融合发展,促进城乡产业融合和迭代升级,降低农业生产对环境的负面影响,提高农业碳排放效率。另一方面,低碳城市试点在传统农业向现代农业的转型进程中,也发挥着积极的推动作用,通过促进有机农业、生态农业等新模式的推广,以推动农业绿色全要素生产率的提升。基于此,提出假说H2:

H2:低碳城市试点能够推进城乡产业融合进而提升农业绿色全要素生产率。

3)城乡技术融合。科技对农业发展起着关键支撑作用,粮食安全、农业绿色发展、农业竞争力提升等重大问题,根本上都依赖于农业技术进步^[27]。低碳城市试点通过鼓励和支持低碳技术的研发与应用,推动城乡之间的技术交流与合作,实现城乡之间绿色低碳技术的协同^[28]。一方面,城乡技术融合为农业技术创新提供了内生动力,有助于催生农业绿色技术进步。另一方面,城乡技术融合推动了现代科技向农业的渗透,扩大了农业技术的使用范围,推动了绿色生产技术的运用和普及,从而促进农业绿色全要素生产率的提升。现代信息技术诸如物联网、大数据、人工智能等在农业领域的深度融合,能够有力推动节水灌溉、精准施肥、病虫害绿色防控以及农业废弃物资源化利用等有序开展,实现农业生产进程中资源消耗以及环境污染的双重削减。基于此,提出假说H3:

H3:低碳城市试点能够推进城乡技术融合进而提升农业绿色全要素生产率。

4)影响的异质性。低碳城市试点对农业绿色全要素生产率的促进作用可能会因地理区位和资源禀赋的不同而存在差异^[29]。首先,中心城市和外围城市在低碳发展定位上存在显著差异。由于农

业主要分布在外围城市,要素融合、产业融合和技术融合在外围城市通常更为明显。相较而言,中心城市低碳发展的重心往往集中于非农部门,影响相对有限。其次,资源禀赋是城市发展的重要条件,资源型城市与非资源型城市在资源类别、要素禀赋构成等维度呈现出显著的差异化特征。由于路径依赖,低碳城市试点在资源型城市的实施可能面临更多挑战,如资源型产业的转型困难、环保压力增大等。而非资源型城市在资源利用、环境保护和农业技术创新方面则具有更大的灵活性和潜力。基于此,提出假说H4:

H4:低碳城市试点对农业绿色全要素生产率的影响具有地域差异与资源禀赋差异。

3 研究方法 with 数据来源

3.1 研究方法

3.1.1 农业绿色全要素生产率测算方法

农业绿色全要素生产率的测算方法,借鉴全要素生产率测算传统模型的参数估计方法,针对农业绿色全要素生产率包含资源环境因素的特点进行了改进。参考 Tone^[30] 和 Chen 等^[31] 的研究,采用超效率 DEA-SBM 模型对农业绿色全要素生产率进行测算。该方法能够兼顾资源投入、期望产出以及非期望产出等关键要素,并通过引入松弛变量来克服传统 DEA 模型所固有的径向偏倚难题。假定存在数量为 n 的决策单元,在各决策单元的运行过程中,均使用 m 种不同类型的投入要素,进而生成 s_1 种符合预期目标的期望产出,以及 s_2 种对农业产生负面影响的非期望产出。由 m 种投入要素所形成的向量表示为 $x \in R^m$,期望产出所对应的向量记为 $y \in R^{s_1}$,非期望产出向量表示为 $z \in R^{s_2}$ 。

定义投入产出矩阵 X 、 Y 、 Z 如下:

$$X = [x_1, x_2, \dots, x_n] \in R^{m \times n} \quad (1)$$

$$Y = [y_1, y_2, \dots, y_n] \in R^{s_1 \times n} \quad (2)$$

$$Z = [z_1, z_2, \dots, z_n] \in R^{s_2 \times n} \quad (3)$$

式中: $x_i > 0; y_i > 0; z_i > 0$ 。

定义生产可能性集:

$$M = \{(x_0, y_0, z_0) | x_0 \geq X\lambda, y_0 \leq Y\lambda, z_0 \geq Z\lambda, \lambda \geq 0\} \quad (4)$$

包含非期望产出的 SBM 效率值为:

$$\rho = \min \frac{1 + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{S_i^x}{x_{i0}^t}}{1 - \frac{1}{s_1 + s_2} \left(\sum_{k=1}^{s_1} \frac{S_k^y}{y_{k0}^t} + \sum_{l=1}^{s_2} \frac{S_l^z}{z_{l0}^t} \right)} \quad (5)$$

$$\text{s.t. } \sum_{j=1}^n \lambda_j^t x_{ij}^t - s_i^x \leq x_{i0}^t, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^t y_{kj}^t + s_k^y \leq y_{k0}^t, \quad k = 1, 2, \dots, s_1 \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^t z_{lj}^t - s_l^z \leq z_{l0}^t, \quad l = 1, 2, \dots, s_2 \quad (8)$$

$$1 - \frac{1}{s_1 + s_2} \left(\sum_{k=1}^{s_1} \frac{S_k^y}{y_{k0}^t} + \sum_{l=1}^{s_2} \frac{S_l^z}{z_{l0}^t} \right) > 0 \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^t \geq 1, \lambda_j^t \geq 0, j = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

$$\lambda, s_k^y, s_i^x, s_l^z \geq 0 \quad (11)$$

式中： ρ 为决策单元的效率值，当 $\rho \geq 1$ 时，DMU是技术有效的； x_i^t 为投入方向，用以表征投入要素在特定维度的变化方向， s_k^y 作为产出方向向量，体现期望产出的变动方向； s_l^z 则为非期望产出方向向量，反映非期望产出的变化走向； s_i^x 、 s_k^y 、 s_l^z 为投入与产出的松弛变量，分别对应要素投入冗余、期望产出不足和非期望产出冗余； m 为包含在各决策单元中的投入变量数量； s_1 为期望产出变量个数； s_2 为非期望产出变量个数； λ_j^t 为权重向量，权重之和为1。

在针对面板数据展开的效率研究中，ML 指数

和GML 指数皆被广泛应用。其中，GML 指数在应对线性规划出现无可行解这一复杂状况时适用性优势更为显著。鉴于此，本研究经过综合考虑选定GML 指数作为测度农业绿色全要素生产率指数的方法。参照马国群等^[12]的研究，GML 指数定义如下：

$$\text{GML}^{t,t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, z^{t+1}; x^t, y^t, z^t) = \frac{1 + D_G^T(x^t, y^t, z^t)}{1 + D_G^T(x^{t+1}, y^{t+1}, z^{t+1})} \quad (12)$$

式中：当 $\text{GML}^{t,t+1} > 1$ ，表明农业绿色全要素生产率提高，反之，则降低。

3.1.2 农业碳排放计算方法

农业碳排放量的估算主要是以碳源消耗为基础，再乘以对应的碳排放转化系数。借鉴Chen等^[31]的做法，通过对农业生产环节里化肥、农药、农膜的使用量，以及翻耕作业强度和灌溉用水量等关键投入指标，结合各自对应的碳排放系数进行计算。计算公式如下：

$$T = \sum T_i = \sum C_i \times \delta_i \quad (13)$$

式中， T 为农业碳排放总量，对于第*i*个碳源，其碳排放量表示为 C_i ，相应的碳排放系数为 δ_i 。农业碳排放的测算指标及其对应的碳排放系数见表2。

表2 农业碳排放测算指标、系数及参考来源

Table 2 Measurement index, coefficient, and reference sources for agricultural carbon emissions

碳源 Source of carbon	碳排放系数(以碳计) Carbon emission coefficient (measured in carbon)	数据参考来源 Data reference source
化肥 Chemical fertilizer	0.895 6 kg/kg	West 等 ^[32]
农药 Agrochemical	4.934 1 kg/kg	West 等 ^[32]
农膜 Agricultural film	5.180 0 kg/kg	Cheng 等 ^[33]
翻耕 Plowing	312.600 0 kg/km ²	Wu 等 ^[34]
农业灌溉 Agricultural irrigation	25.000 0 kg/hm ²	Dubey 等 ^[35]

3.2 模型设定

双重差分法(Difference in difference, DID)是研究准自然实验的最为常用方法之一，在政策效果评估类的实证研究领域中的应用广泛。该方法凭借其独特优势，能够精准识别实验组与对照组在政策

执行前后的差异，以此实现对政策效果的科学评估^[22,36]。鉴于不同城市在政策实施时间上存在明显差异，本研究以长三角地区为例采用多期双重差分(DID)模型实证分析低碳城市试点对农业绿色全要素生产率产生的影响及其内在逻辑。多期DID模

型是普通 DID 模型的扩展,允许在多个时间点上观察因果效应的变化,模型构建如下:

$$GTFP_{it} = \alpha + \beta \times DID_{it} + \lambda \times Z_{it} + \eta_i + \mu_t + \epsilon_{it} \tag{14}$$

式中:因变量 $GTFP_{it}$ 为 t 年 i 地区的农业绿色全要素生产率; DID_{it} 作为核心解释变量,用于描述低碳城市试点政策的实施状况,当 i 地区于第 t 年实施了低碳城市试点政策时,则该变量赋值为 1;若未实施,则取值为 0; η_i 和 μ_t 分别为城市个体固定效应和时间固定效应。 β 系数衡量低碳城市试点政策对农业绿色全要素生产率的影响; Z_{it} 为一系列影响农业绿色全要素生产率的控制变量,包括城镇化率、经济发展水平、农业机械密度、工业化程度等; ϵ_{it} 为随机误差项。

3.3 变量选取

3.3.1 被解释变量

农业绿色全要素生产率为被解释变量,在测度该变量时,需要确定投入与产出变量的选取标准及其相应测量方法。基于已有研究成果^[15,37],选取劳动力、土地、农膜、机械等 7 个投入指标。此外,在产出指标层面,将其分为期望产出和非期望产出 2 个类别,详见表 3。由于 3.1.1 中所测算的农业绿色全要素生产率是基于 DEA-SBM 模型结合 GML 指数所获取的环比增长指数,虽然能反映相邻时期农业绿色全要素生产率的变化情况,但是难以直观展现其在较长时间跨度内的累积性变动趋势。因此,本研究将 2000 年设定为基期,并将该年农业绿色全要素生产率赋值为 1,采用累乘法对其后历年数据进行转换。

表 3 农业绿色全要素生产率指标含义与测度

Table 3 Description and measurement of agricultural green total factor productivity indicators

一级指标 Primary index	二级指标 Secondary index	变量及说明 Variable explanation
投入指标 Input indicator	劳动投入	第一产业从业人员数,万人
	土地投入	农作物实际播种面积,10 ³ hm ²
	机械投入	农业机械总动力,万 kW
	化肥投入	农业生产的化肥施用(折纯)量,万 t
	农药投入	农药施用量,万 t
	灌溉投入	有效灌溉面积,10 ³ hm ²
	农膜投入	农用塑料薄膜使用量,万 t
产出指标 Output indicator	期望产出	农业总产值,亿元
	非期望产出	农业碳排放量,万 t

3.3.2 核心解释变量

核心解释变量为低碳城市试点 DID_{it} ,具体计算公式如下:

$$DID_{it} = treat_i \times post_t \tag{15}$$

式中: $treat$ 为分组虚拟变量,若城市被划定为试点城市,即为处理组,此时 $treat$ 赋值为 1,非试点城市为控制组, $treat$ 取值为 0; $post$ 为时间虚拟变量,将 2010 年、2012 年、2017 年这些政策冲击当年及之后的时间段, $post$ 赋值为 1;反之, $post$ 取值为 0。考虑到政策从推行到产生实际效应通常存在一定的时滞,即政策所带来的冲击难以在当年即刻显现政策效果,因此借鉴宋弘等^[38]的做法,将 2011 年、2013 年分别设为第一、二批低碳城市试点政策正式发挥实

际效力的起始年份。鉴于第三批试点于 2017 年 1 月正式发布城市名单,该批次试点政策实施起始时间仍定为 2017 年。依据国家发展和改革委员会所发布的低碳城市试点名单批次,选择长三角地区 18 个试点城市为实验组,其余 23 个非试点城市为控制组。

3.3.3 机制变量

根据上文理论分析,在城乡融合背景下,低碳城市试点通过城乡要素融合、产业融合和技术融合三条路径来影响农业绿色全要素生产率,本研究分别采用财政支农资金、产业结构升级和绿色技术应用作为其代理变量。

财政支农资金。财政支农能够为农业绿色基础

设施建设提供必要的资金支持,改善农业绿色生产条件,从而影响农业绿色全要素生产率。参考Hong等^[39]和Wang等^[40]的做法,以农林水事物支出表示。

产业结构升级。低碳城市试点能够推动城乡产业融合,促进产业结构升级,使农业生产向更加高效、环保的方式转变,减少资源浪费和环境污染。为此,借鉴徐敏等^[41]的研究方法,以产业结构升级系数作为量化指标,来衡量产业结构的优化程度,其计算公式如下:

$$U=\sum_{i=1}^3(k_i\times i)=k_1\times 1+k_2\times 2+k_3\times 3$$

(16)

式中: U 为产业结构升级系数; k_i 为第 i 产业在总产值中所占的比重。

绿色技术应用。低碳城市试点的实施能够推动城乡技术融合,促进绿色、低碳科技在农业领域的普及与应用,由此增进农业绿色全要素生产率提升。参考Huang等^[28]的做法,以农业绿色低碳相关专利申请数量来表示绿色技术应用。

3.3.4 控制变量

为了增加模型的科学性和稳健性,根据影响农

业绿色全要素生产率的相关研究,选取以下控制变量:一是城镇化率,以城镇人口在总人口中所占的比重来表示^[42];二是经济发展水平,以各地人均国内生产总值(GDP)的自然对数表示^[43];三是工业化程度,以第二产业生产总值在国内生产总值中所占的比例表示^[44];四是农业机械密度,以单位面积农业机械总动力表示^[12];五是农业种植结构,以粮食播种面积在农作物播种面积中所占的比例表示^[17];六是农村基础设施水平,以有效灌溉面积占农作物播种面积之比表示^[45]。

3.4 数据来源及描述性统计

本研究将长三角地区41个城市设为研究样本,所使用的数据主要源于2001—2022年《上海统计年鉴》^[46]《浙江统计年鉴》^[47]《江苏统计年鉴》^[48]《安徽统计年鉴》^[49],部分数据获取于中经网统计数据库、EPS数据平台,对于个别缺失数据利用Stata17软件采用插值法求出。此外,低碳城市试点政策相关数据主要取自国家发展和改革委员会发布的《低碳城市试点名单》,在长三角41个城市中,试点城市为18个,详见表4。

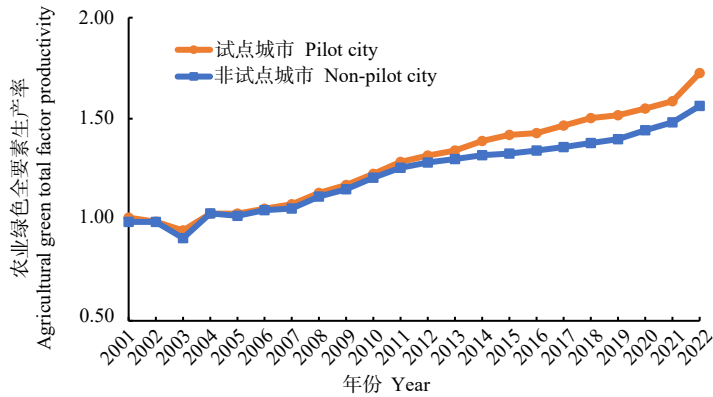
表4 低碳试点城市与非试点城市及年份
Table 4 Low carbon pilot cities and non-pilot cities and year

城市类型 City type	年份 Year	城市 City
试点城市(18个) Low carbon pilot city (18)	2011	杭州
	2013	上海、宁波、温州、苏州、淮安、镇江、池州
	2017	南京、淮北、黄山、常州、金华、六安、衢州、合肥、嘉兴、宣城
非试点城市(23个) Low-carbon non-pilot city (23)		盐城、无锡、芜湖、徐州、马鞍山、南通、扬州、连云港、宿迁、绍兴、湖州、舟山、台州、丽水、铜陵、滁州、蚌埠、淮南、宿州、泰州、安庆、阜阳、亳州

注:资料来源于国家发展改革委发布的三批低碳城市试点名单。
Note: Source: The National Development and Reform Commission released three batches of pilot lists for low-carbon cities.

低碳城市试点政策实施与否的农业绿色全要素生产率差异见图3。可见不论城市是否实施该政策,农业绿色全要素生产率在研究时段内均呈现出持续上升态势。其中:在2010年之前,试点城市与非试点城市的农业绿色全要素生产率水平呈现出较为接近态势,其差距并不显著。但自2010年以来,低碳城市试点政策正式实施起,情况发生明显变化,两类城市间农业绿色全要素生产率的差距呈现出持续扩张的趋势。具体而言:这一差距从2010年的0.02逐步增长至2022年的0.17,试点城

市在农业绿色全要素生产率方面的表现显著优于非试点城市;此外,2013年之后,农业绿色全要素生产率的增长速率开始加快;至2017年后,增长幅度更为显著,此时试点城市与非试点城市之间的农业绿色全要素生产率差异进一步扩大,间接说明低碳城市试点政策在前期所产生的要素集聚效应逐渐凸显,试点城市在农业绿色转型方面取得了一定的成果,资金、产业、技术等关键要素向试点城市的农业领域汇聚,促进了农业生产效率与资源环境效益的协同提升。



根据已发表数据,展示的数值为试点城市与非试点城市年度农业绿色全要素生产率均值。

Based on the data collected from the published articles, values presented are the average annual agricultural green total factor productivities for both pilot cities and non-pilot cities.

图3 试点城市与非试点城市农业绿色全要素生产率对比

Fig. 3 Comparison of total factor productivity of agricultural green practices in pilot and non-pilot cities

各变量的描述性统计结果见表5。可见农业绿色全要素生产率这一关键变量的均值为1.27,标准差为0.39,最小值为0.65,最大值达4.44。这表明

长三角地区的农业绿色全要素生产率总体水平比较高,但在不同样本之间有较大的差别。李捷等^[50]在对我国不同区域农业绿色全要素生产率的研究

表5 变量描述性统计

Table 5 Statistical description analysis of variables

变量类别 Variable type	变量名称 Variable name	单位 Unit	均值 Mean	标准差 SD	最小值 Min	最大值 Max
被解释变量 Dependent variable	农业绿色全要素生产率 Agriculture GTFP		1.27	0.39	0.65	4.44
核心解释变量 Independent variable	低碳城市试点 DID		0.16	0.36	0	1
机制变量 Mechanism variable	城乡要素融合(财政支农资金) Refinement of urban and rural integration (Fiscal funding for agriculture)	亿元	36.25	48.78	0.43	523.10
	城乡产业融合(产业结构升级系数) Urban-rural industrial integration (Coefficient of industrial structure upgrading)		2.31	0.15	1.41	2.74
	城乡技术融合(农业绿色低碳相关专利数) Urban-rural technological integration (Number of patents related to agricultural green technology and low-carbon initiatives)	万个	0.09	0.21	0.01	1.95
控制变量 Control variable	城镇化率 Urbanization rate	%	44.4	18.64	12	91
	经济发展水平 Level of economic development	万元	10.28	1.60	1.16	12.2
	农业机械密度 Agricultural machinery density	10 ⁴ kWh/ (10 ³ hm ²)	0.83	1.22	0.22	12.26
	工业化程度 Degree of industrialization	%	47.65	8.60	22	75
	农业种植结构 Structure of agricultural planting	%	62.91	15.17	14	95
	农村基础设施水平 Level of rural infrastructure	%	50.12	17.69	4	128

中发现,其研究区域在2004—2020年农业绿色全要素生产率均值为1.06,与本研究农业绿色全要素生产率均值有一定重叠,进一步印证了本研究数据在农业生产效率水平方面的合理性。不同地区的资源禀赋、技术应用程度以及政策导向等因素导致了农业绿色全要素生产率的差异,这与本研究中农业绿色全要素生产率的较大标准差所反映出的样本间差异情况相符。蒋团标等^[42]运用SBM超效率模型结合GML指数,对我国农业绿色全要素生产率进行了测算分析,发现2011—2020年我国农业绿色全要素生产率的均值为1.04,总体呈上升趋势,但区域间差别较大。这与本研究中农业绿色全要素生产率的均值体现出的增长态势以及标准差反映的样本间差异情况一致,进一步说明不同地区在农业绿色发展进程中,由于自然条件、经济基础、政策导向等因素不同,导致农业绿色全要素生产率存在显著差异。

4 实证结果与分析

4.1 低碳城市试点对农业绿色全要素生产率的影响回归分析

基于3.2的基准回归模型,低碳城市试点对农业绿色全要素生产率的基准回归结果见表6。可见:模型(1)为尚未纳入控制变量时的初步回归;模型(2)为未考虑城市与年份固定效应的情形;模型(3)是加入城市和年份固定效应后所得到的回归结果。因此,无论模型设定中是否纳入控制变量,以及是否考虑固定效应,低碳城市试点变量的估计系数始终在1%的统计水平上显著为正。结果表明在城乡融合发展的大背景下,城市与农村之间生产要素的流动与融合进程不断加速,为低碳城市试点进一步提升农业绿色全要素生产率营造了更为有利的条件,从而显著提升了长三角地区农业绿色全要素生产率。

表6 不同模型基准回归结果
Table 6 Baseline regression results of different models

变量 Variable	模型(1) Model (1)	模型(2) Model (2)	模型(3) Model (3)
低碳城市试点	0.376***	0.203***	0.072***
DID	(0.033)	(0.035)	(0.018)
城镇化率		0.690***	0.569***
Urbanization rate		(0.063)	(0.100)
经济发展水平		0.067***	−0.016
Level of economic development		(0.008)	(0.036)
农业机械密度		−0.031***	−0.029*
Agricultural machinery density		(0.010)	(0.015)
工业化程度		−0.009***	−0.002*
Degree of industrialization		(0.001)	(0.001)
农业种植结构		0.002***	0.000
Agricultural planting structure		(0.001)	(0.001)
农村基础设施水平		−0.002***	−0.002***
Rural infrastructure level		(0.001)	(0.000)
常数项	1.211***	0.684***	1.383***
Constant	(0.013)	(0.102)	(0.330)
城市固定效应 City FE	未控制	未控制	已控制
年份固定效应 Year FE	未控制	未控制	已控制
样本量 N	902	902	902
R ²	0.123	0.291	0.893

注:*,**,***分别表示在10%、5%、1%的水平上显著,括号内为稳健标准误。下同。
Note: *, **, and *** indicate significance at the 10%, 5%, and 1% levels, respectively.
Standard errors are in brackets. The same applies below.

4.2 低碳城市试点的平行趋势检验

通过平行趋势检验是双重差分法的重要前提,即若未实施低碳城市试点,试点城市与非试点城市的农业绿色全要素生产率应呈现类似的变动趋势。因此,本研究选取事件研究法,对平行趋势进行检验。平行趋势检验结果如图 4 所示。可见在低碳城市试点正式实施之前的 DID 系数皆围绕 0 上下波动,并且在统计意义上均不显著,说明在政策尚未推行的阶段,控制组与处理组在相关变量的变化态势上呈现出高度的一致性,通过了平行趋势检验。

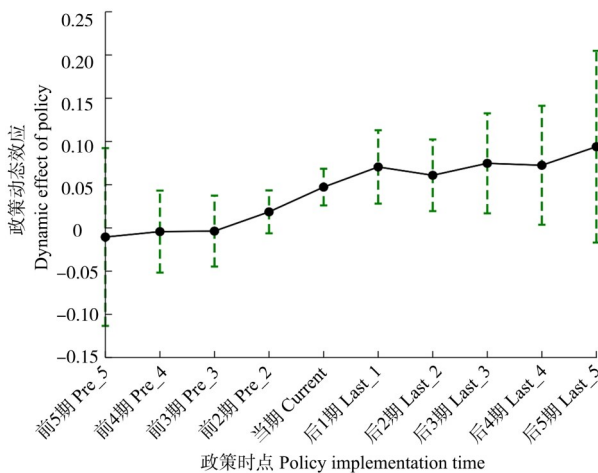


图 4 低碳城市试点平行趋势检验结果

Fig. 4 Results of parallel trend test of low-carbon city pilot

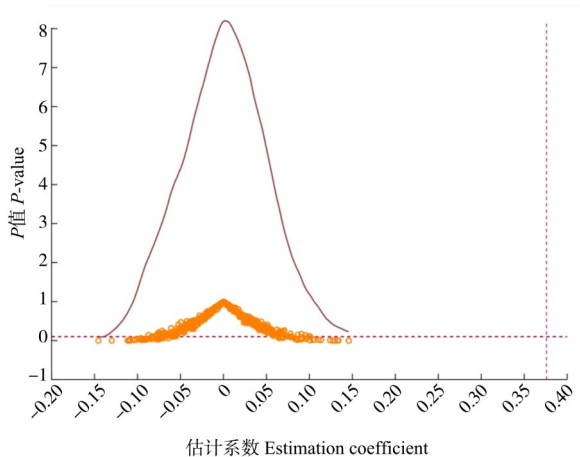
4.3 模型的稳健性检验

4.3.1 低碳城市试点安慰剂检验

为有效缓解遗漏变量可能导致的估计偏误问题,本研究采用安慰剂检验方法进一步增强研究结果的可靠性。低碳城市试点的安慰剂检验结果如图 5 所示。可见:低碳城市试点这一关键变量估计系数主要集中在 0 附近,且其分布形态基本符合正态分布规律,表明基准回归结果能够有效剔除其他不可观测因素的干扰,从而证实低碳城市试点在农业绿色全要素生产率方面所产生的影响效应并非源于其他潜在遗漏因素的影响。

4.3.2 其他稳健性检验

在探讨低碳城市试点对农业绿色全要素生产率影响的研究中,确保结果的稳健性尤为重要。为此,本研究采用多种稳健性检验方法,包括倾向得分匹配-双重差分法(PSM-DID)、对关键解释变量



横、纵轴虚线相交点代表实际回归系数。
The intersection point of the dotted lines on both the horizontal and vertical axes signifies the actual regression coefficient.

图 5 低碳城市试点的安慰剂检验结果

Fig. 5 Results of placebo tests for the low-carbon city pilot

进行滞后一期处理、剔除直辖市样本以及进行缩尾处理等,以增强研究结论的可信度。

1) 低碳城市试点影响农业绿色全要素生产率的 PSM-DID 估计结果

为增强研究结论的稳健性并有效控制选择性偏误所导致的内生性难题,本研究选用倾向得分匹配-双重差分(PSM-DID)模型进行进一步实证检验。以前文所提及的控制变量作为协变量,采用无放回 1:1 近邻匹配算法对样本实施匹配操作,对未成功匹配的样本予以剔除,基于经过匹配筛选后的样本数据进行重新估计,结果见表 7。可见模型(1)和模型(2)的低碳城市试点回归系数显著为正,与基准回归所得结论一致。

2) 将关键解释变量进行滞后一期的处理结果

鉴于低碳城市试点从推行到产生实际效果通常存在一定的时间滞后性,本研究采用滞后一期的方法对核心解释变量进行处理,结果如表 7 模型(3)所示,经过处理后的回归结果与基准结论依然相符。

3) 剔除直辖市后的估计结果

由于直辖市在环境约束和经济发展等方面与一般的地级市可能存在较大的差异,为避免对政策评估结果的影响,本研究将上海市样本数据予以剔除后进行重新估计。回归结果呈现于表 7 模型(4),可以看到低碳城市试点变量的回归系数依旧显著为正,有力地表明研究结果具有稳健性。

4)缩尾处理后的估计结果

为有效规避离群值对回归结果的潜在干扰,本研究对所涉及的指标实施了1%的双边缩尾处理。

回归结果如表7模型(5)所示,缩尾处理后的回归结果未呈现出显著变动,其系数依然在1%的统计水平上显著为正,表明研究的结果较为稳健。

表7 稳健性检验结果
Table 7 Robustness test results

变量 Variable	倾向得分匹配-双重差分模型 PSM-DID		滞后一期 Lag by one period	剔除直辖市 Exclude Central Government	缩尾处理 Tail reduction therapy
	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)
低碳城市试点 DID	0.062*** (0.018)	0.057*** (0.017)	0.072*** (0.018)	0.076*** (0.018)	0.061*** (0.016)
控制变量 Control variable	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制
常数项 Constant	1.272*** (0.006)	2.198*** (0.369)	1.395*** (0.332)	1.393*** (0.343)	1.664*** (0.269)
城市固定效应 City FE	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制
年份固定效应 Year FE	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制
样本量 N	740	740	861	880	902
R ²	0.930	0.941	0.900	0.893	0.903

4.4 低碳城市试点对农业绿色全要素生产率的影响机制分析

上述结果与分析表明,在城乡融合背景下,城乡间产业的深度融合以及生产要素的融合,为低碳城市试点促进农业绿色全要素生产率创造了有利的环境条件,使得低碳城市试点能够通过推动城乡要素融合、产业融合和技术融合3个方面来提升农业绿色全要素生产率。本研究参考江艇^[51]机制分析的建议和做法,主要关注核心自变量对机制变量的影响,以克服原有中介效应模型存在的内生性问题,构建机制检验模型如下:

$$M_{it} = \beta_0 + \beta_1 \times DID_{it} + \beta_2 \times X_{it} + \delta_i + \eta_t + \epsilon_{it} \quad (17)$$

式中: M_{it} 为机制变量,包括财政支农资金、产业结构升级、绿色技术应用;其他变量含义同式(14)。

本研究构建的自变量对机制变量的检验结果如表8所示。由模型(1)的回归结果可见低碳城市试点与财政支农水平之间存在着显著的正向关联,主要原因是低碳城市试点工作通常伴随着一系列的政策目标和发展规划,为了实现低碳发展,政府

可能会更加重视农业领域的低碳转型。通过增加财政支农资金,引导农业生产向绿色、低碳方向发展,假说1得以验证。由模型(2)回归结果表明,低碳城市试点对产业结构升级的估计系数为0.027,并且在5%的水平上显著为正,有力地说明随着低碳城市试点政策的推行与实施,其对产业结构升级进程产生了显著的正向推动作用。低碳城市试点会促使城市积极主动地对产业结构进行调整,重心聚焦于降低高能耗、高污染产业在整体产业布局中的比重,推动产业向低能耗、高附加值的方向发展,假说2得以验证。模型(3)回归结果显示,低碳城市试点对绿色技术应用的估计系数在1%的统计水平上显著为正,有力地揭示出低碳城市试点有效推动了绿色低碳技术在农业领域的推广与应用,为了实现低碳目标,政府和相关部门会加大对农业绿色技术的推广和应用力度,倡导并激励农民以及农业企业踊跃采用绿色种植与养殖技术,减少农业生产过程中的碳排放,从而提升了长三角地区农业绿色全要素生产率,假说3得以验证。

表 8 机制检验结果
Table 8 Results of mechanism test

变量 Variable	模型(1):城乡要素融合 Model (1):Refinement of urban and rural elements integration	模型(2):城乡产业融合 Model (2):Refinement of urban and rural industrial integration	模型(3):城乡技术融合 Model (3):Integration of technology between urban and rural areas
低碳城市试点 DID	0.014*** (0.004)	0.025** (0.011)	0.126*** (0.019)
控制变量 Control variable	已控制	已控制	已控制
常数项 Constant	0.022 (0.067)	2.383*** (0.201)	2.195*** (0.343)
城市固定效应 City FE	已控制	已控制	已控制
年份固定效应 Year FE	已控制	已控制	已控制
样本量 N	902	902	902
R ²	0.722	0.729	0.669

4.5 低碳城市试点对农业绿色全要素生产率影响的异质性分析

长三角地区各区域间异质性特征明显,主要体现在地理位置、资源禀赋以及经济发展水平等方面,不同区域开展低碳城市试点工作的成效将因区域而异。且无论是低碳城市试点力度还是农业绿色全要素生产率水平,于城市层面而言,均可能展现出明显的异质性。参考Liu等^[29]的研究,从地理区位和资源禀赋2个方面展开异质性分析。

4.5.1 中心与外围城市的区域异质性

鉴于长三角地区城市在地理环境、经济发展态势等方面存在显著差异,本研究依据《全国城镇体系规划(2016—2030)》^①,将安徽省的芜湖、安庆、合肥、蚌埠,浙江省的温州、杭州、金华、宁波,江苏省的淮安、南京、南通、苏州、徐州,以及直辖市上海,长三角地区内共计14个城市被划定为中心城市。余下的27个城市则被归类为外围城市,其回归结果见表9模型(1)~(2)。可见:低碳城市试点在外围城市对农业绿色全要素生产率在1%的显著水平上为正,对中心城市农业绿色全要素生产率为正向影响但不显著。可能的原因是,相较于外围城市,虽然中心城市在地理区位和人才资源层面有显著优势,但其工业化水平相较于外围城市更高,可能面临更大的环境压力和资源约束,

导致农业绿色发展受到一定限制。

4.5.2 城市资源禀赋异质性

鉴于资源型城市与非资源型城市在资源构成和要素禀赋方面存在显著差异,低碳城市试点在各类不同特质城市中的推行过程中,其产生的实施效果极有可能呈现出异质性特征。根据国家发展和改革委员会颁布的《全国资源型城市可持续发展规划(2013—2020年)》^②里明确的分类准则,本研究对长三角地区41个城市进行了细致划分。其中,上海、杭州等12个城市被界定为资源型城市,其余29个城市则归类为非资源型城市,回归结果如表9模型(3)~(4)所示。可见在针对非资源型城市的估计中,其系数在5%水平上正向显著,而资源型城市的估计系数未通过显著性检验。这一差异有力证明,相较于资源型城市,在非资源型城市中开展低碳城市试点工作更有利于提升农业绿色全要素生产率。究其原因可能是资源型城市在长期发展历程中过度开采资源,使其产业结构呈现单一化特征,农业绿色转型难度较大。相比之下,非资源型城市在资源利用、环境保护和农业技术创新方面可能具有更大的灵活性和潜力,在低碳城市试点的政策效应驱动下,这些城市更容易实现农业的绿色转型与升级。据此,假说4得以验证。

①2016年6月,国家发展改革委 住房和城乡建设部关于印发长江三角洲城市群发展规划的通知,https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghwb/201606/t20160603_962187.html

②2013年12月,国务院印发全国资源型城市可持续发展规划,https://www.gov.cn/jrzq/2013-12/02/content_2540561.htm

表9 区域异质性与资源禀赋异质性检验结果

Table 9 Test results of regional heterogeneity and resource endowment heterogeneity

变量 Variable	模型(1):外围城市 Model (1):Peripheral city	模型(2):中心城市 Model (2):Central city	模型(3):非资源型城市 Model (3):Non- resource-based city	模型(4):资源型城市 Model (4):Resource- based city
低碳城市试点 DID	0.050** (0.020)	0.043 (0.032)	0.045** (0.021)	0.097 (0.080)
控制变量 Control variable	已控制	已控制	已控制	已控制
常数项 Constant	3.046*** (0.362)	-0.697 (0.577)	1.545*** (0.423)	5.163*** (1.008)
城市固定效应 City FE	已控制	已控制	已控制	已控制
年份固定效应 Year FE	已控制	已控制	已控制	已控制
样本量 <i>N</i>	594	308	638	264
<i>R</i> ²	0.844	0.943	0.909	0.895

5 讨论、结论与建议

5.1 讨论

城乡融合、农业绿色发展、绿色全要素生产率、新质生产力等是当前学术研究的前沿与热点。相比已有研究分别探讨低碳城市试点对工业^[52]、企业^[53]和能源领域^[54]的影响,或者城乡融合对农村土地利用、农业生产效率、农业技术创新、农业低碳转型^[55-56]的影响,本研究的边际贡献在于,在城乡融合视角下,将低碳城市试点政策评估的重点放到农业绿色全要素生产率领域,并从城乡要素融合、产业融合和技术融合3个维度探讨低碳城市试点对农业绿色全要素生产率的影响,证实了低碳城市试点能够提升农业绿色全要素生产率,为培育和发展农业新质生产力提供了路径机制,丰富了农业绿色发展相关研究。

在应用价值方面,本研究对推动长三角地区农业绿色高质量发展具有重要意义,为该区域及其他类似城市群的农业绿色发展提供了可行的路径选择。本研究有力地表明低碳城市试点在不同类型城市的实施表现和影响效果存在显著差异,这为我国低碳城市试点的优化提供了重要依据。在当前政策背景下,2025年中央一号文件明确提出“以科

技创新引领先进生产要素集聚,因地制宜发展农业新质生产力”^①。本研究紧扣时代政策脉搏,对于发展农业新质生产力、促进城乡融合发展具有深刻启示。研究可以进一步扩展至其他区域,通过跨区域比较研究,探讨低碳城市试点政策在多元地理、经济与文化背景下,对农业绿色全要素生产率所产生影响的差异。研究的开展有助于明确未来低碳农业政策的发展方向,为探索城乡融合背景下的农业低碳发展提供新的思路,同时为长三角地区乃至中西部地区、珠三角以及京津冀城市圈等类似区域实现农业低碳转型提供宝贵的经验借鉴。

5.2 研究结论

本研究基于长三角地区41个城市2001—2022年的面板数据,运用多期双重差分(DID)模型实证检验低碳城市试点对农业绿色全要素生产率的影响,揭示其内在机理。主要结论如下:第一,长三角地区开展低碳城市试点工作能有效提升农业绿色全要素生产率,在充分考量内生性问题可能对研究结果造成的干扰后,采取了一系列稳健性检验后,所得基准结论依然稳健;第二,从影响机制来看,低碳城市试点主要通过推动城乡要素融合、产业融合和技术融合等路径提高农业绿色全要素生产率;第三,低碳城市试点对农业绿色全要素生产

① 2025年1月,《中共中央 国务院关于进一步深化农村改革 扎实推进乡村全面振兴的意见》, https://www.gov.cn/zhengce/202502/content_7005158.htm

率的促进效应具有明显的差异性。在区域尺度上,该政策的促进效应主要集中在外围城市;在不同资源禀赋的城市中,非资源型城市开展低碳城市试点工作对于提高农业绿色全要素生产率具有更为明显的作用。

5.3 政策建议

基于上述研究结果,为提高农业绿色全要素生产率,培育和发展农业新质生产力,提出以下3点对策建议:

第一,加快城乡要素融合,推动低碳城市试点与农业绿色发展协同。建立城乡要素融合发展的联动机制,确保低碳城市试点的政策措施能够惠及农村地区,促进农业绿色转型。破除阻碍制约城乡资源要素自由流通的壁垒,合理引导城市中的资金、人才以及土地等关键资源要素向农村地区流动,加速资源在城乡间的优化配置,构建高效的农业绿色发展长效机制。

第二,推动农业与二三产业融合发展,促进农业绿色低碳转型。强化政策引导和市场机制,推动传统农业向现代农业转型,如发展设施农业、生态农业等,提高农业生产效率和资源利用效率,推动农业绿色低碳发展。促进城乡产业间的关联与渗透。通过深度挖掘与拓展农业的多功能性,有效促进农业与文化、教育、旅游等产业部门的深度融合与协同发展。

第三,加强城乡技术交流与合作,大力提升农业绿色技术创新水平。畅通城乡技术交流通道,通过线上线下相结合的方式,搭建农业技术交流平台,促进城乡之间的技术交流与合作。增强对农业科技创新的重视程度,支持农业科研机构和企业开展农业绿色技术研发和成果转化。建立和完善农业科技创新体系,形成产学研用紧密结合的农业科技创新链条,为提升农业绿色全要素生产率提供有力支撑。

参考文献 References

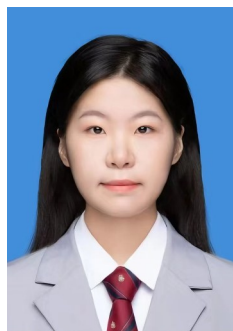
- [1] Zheng J L, Mi Z F, Coffman D, Shan Y L, Guan D B, Wang S Y. The slowdown in China's carbon emissions growth in the new phase of economic development[J]. *One Earth*, 2019, 1(2): 240-253
- [2] 罗必良, 耿鹏鹏. 农业新质生产力: 理论脉络、基本内核与提升路径[J]. 农业经济问题, 2024, 45(4): 13-26
- Luo B L, Geng P P. New quality agricultural productivity: Theoretical framework, core concepts, and enhancement pathways [J]. *Issues in*

- Agricultural Economy*, 2024, 45(4): 13-26 (in Chinese)
- [3] 龚斌磊, 袁菱苒. 新质生产力视角下的农业全要素生产率: 理论、测度与实证[J]. 农业经济问题, 2024, 45(4): 68-80
- Gong B L, Yuan L R. Agricultural total factor productivity from the perspective of new quality productivity: Theory, measurement and empirical research [J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2024, 45(4): 68-80 (in Chinese)
- [4] 中国社会科学院经济研究所课题组, 黄群慧, 杨耀武, 杨虎涛, 楠玉. 结构变迁、效率变革与发展新质生产力[J]. 经济研究, 2024, 59(4): 4-23
- Research Group of the Institute of Economics of CASS, Huang Q H, Yang Y W, Yang H T, Nan Y. Structure changes, efficiency changes and development of new quality productive forces [J]. *Economic Research Journal*, 2024, 59(4): 4-23 (in Chinese)
- [5] 吕娜, 朱立志. 中国农业环境技术效率与绿色全要素生产率增长研究[J]. 农业技术经济, 2019(4): 95-103
- Lv N, Zhu L Z. Study on China's agricultural environmental technical efficiency and green total factor productivity growth [J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2019(4): 95-103 (in Chinese)
- [6] 纪成君, 夏怀明. 我国农业绿色全要素生产率的区域差异与收敛性分析[J]. 中国农业资源与区划, 2020, 41(12): 136-143
- Ji C J, Xia H M. Study on the impact of agricultural science and technology service on agricultural green total factor productivity in China [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2020, 41(12): 136-143 (in Chinese)
- [7] Ruzzante S, Labarta R, Bilton A. Adoption of agricultural technology in the developing world: A meta-analysis of the empirical literature [J]. *World Development*, 2021, 146: 105599
- [8] Fang L, Hu R, Mao H, Chen S J. How crop insurance influences agricultural green total factor productivity: Evidence from Chinese farmers [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 321: 128977
- [9] Song Y G, Zhang B C, Wang J H, Kwek K. The impact of climate change on China's agricultural green total factor productivity [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2022, 185: 122054
- [10] Deng H Y, Zheng W Y, Shen Z Y, Štreimikienė D. Does fiscal expenditure promote green agricultural productivity gains: An investigation on corn production [J]. *Applied Energy*, 2023, 334: 120666
- [11] Zhou X X, Zhang Y W. Administration or marketization: Environmental regulation, marketization and agricultural green total factor productivity [J]. *Journal of Environmental Management*, 2024, 370: 122433
- [12] 马国群, 谭砚文. 环境规制对农业绿色全要素生产率的影响研究: 基于面板门槛模型的分析 [J]. 农业技术经济, 2021(5): 77-92
- Ma G Q, Tan Y W. Impact of environmental regulation on agricultural green total factor productivity: Analysis based on the panel threshold model [J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2021(5): 77-92 (in Chinese)
- [13] Zhang X Y. Does agricultural product trade promote the green development of China's agriculture?: Based on the perspective of agricultural green total factor productivity [J]. *Agricultural & Forestry Economics and Management*, 2024, 7(1): 36-43
- [14] Liu Z, Zhang M L, Li Q M, Zhao X. The impact of green trade barriers on agricultural green total factor productivity: Evidence from China and OECD countries [J]. *Economic Analysis and Policy*, 2023, 78: 319-331
- [15] Huang X Q, Feng C, Qin J H, Wang X, Zhang T. Measuring China's agricultural green total factor productivity and its drivers during 1998-2019 [J]. *Science of The Total Environment*, 2022, 829: 154477
- [16] Li C, Li X. Analysis of spatial unbalance and convergence of agricultural total factor productivity growth in China: Based on provincial spatial panel data

- from 1978 to 2020[J]. *Agricultural & Rural Studies*, 2023, 1(2): 10
- [17] 邓远建, 刘鹏. 农村人口结构对农业绿色全要素生产率的影响[J]. 中国农业科学, 2024, 57(23): 4725-4745
- Deng Y J, Liu P. Study on the influence of rural population structure on agricultural green total factor productivity[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2024, 57(23): 4725-4745 (in Chinese)
- [18] 谢会强, 吴晓迪. 城乡融合对中国农业碳排放效率的影响及其机制[J]. 资源科学, 2023, 45(1): 48-61
- Xie H Q, Wu X D. Impact and its mechanism of urban-rural integration on the efficiency of agricultural carbon emissions in China[J]. *Resources Science*, 2023, 45(1): 48-61 (in Chinese)
- [19] Chen K Q, Long H L, Liao L W, Tu S S, Li T T. Land use transitions and urban-rural integrated development: Theoretical framework and China's evidence[J]. *Land Use Policy*, 2020, 92: 104465
- [20] Chen S, Wang X Y, Yao S B. National water-saving city and its impact on agricultural total factor productivity: A case study of nine provinces along the Yellow River, China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2023, 417: 138019
- [21] 庄贵阳. 中国低碳城市试点的政策设计逻辑[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(3): 19-28
- Zhuang G Y. Policy design logic of low-carbon city pilots in China[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2020, 30(3): 19-28 (in Chinese)
- [22] Liu X, Li Y C, Chen X H, Liu J. Evaluation of low carbon city pilot policy effect on carbon abatement in China: An empirical evidence based on time-varying DID model[J]. *Cities*, 2022, 123: 103582
- [23] 文丰安. 新质生产力推动城乡融合发展的作用机理与实现路径[J]. 中国流通经济, 2025, 39(1): 39-49
- Wen F A. Mechanism and realization path of new quality productive forces promoting the integrated urban-rural development[J]. *China Business and Market*, 2025, 39(1): 39-49 (in Chinese)
- [24] 杨婕, 戈大专, 孙攀, 袁紫怡. 基于“人口-土地-资本”要素流动的城乡融合发展机制:以江西省为例[J]. 资源科学, 2025, 47(1): 110-124
- Yang J, Ge D Z, Sun P, Yuan Z Y. The mechanism of urban-rural integrated development based on the “population-land-capital” factor flow: A case study of Jiangxi Province[J]. *Resources Science*, 2025, 47(1): 110-124 (in Chinese)
- [25] Wu Y, Zhang W. The impact of land transfer on sustainable agricultural development from the perspective of green total factor productivity[J]. *Sustainability*, 2024, 16(16): 7076
- [26] Yang S B, Jahanger A, Hossain M R. How effective has the low-carbon city pilot policy been as an environmental intervention in curbing pollution? Evidence from Chinese industrial enterprises[J]. *Energy Economics*, 2023, 118: 106523
- [27] Romer P M. Endogenous technological change[J]. *Journal of Political Economy*, 1990, 98(5, Part 2): S71-S102
- [28] Huang L H, Ping Y. The impact of technological innovation on agricultural green total factor productivity: The mediating role of environmental regulation in China[J]. *Sustainability*, 2024, 16(10): 4035
- [29] Liu D D, Zhu X Y, Wang Y F. China's agricultural green total factor productivity based on carbon emission: An analysis of evolution trend and influencing factors[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 278: 123692
- [30] Tone K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. *European Journal of Operational Research*, 2001, 130(3): 498-509
- [31] Chen Y F, Miao J F, Zhu Z T. Measuring green total factor productivity of China's agricultural sector: A three-stage SBM-DEA model with non-point source pollution and CO₂ emissions[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 318: 128543
- [32] 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(1-3): 217-232
- [33] Cheng K, Pan G X, Smith P, Luo T, Li L Q, Zheng J W, Zhang X H, Han X J, Yan M. Carbon footprint of China's crop production: An estimation using agro-statistics data over 1993-2007[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2011, 142(3-4): 231-237
- [34] Wu F L, Li L, Zhang H L, Chen F. Effects of conservation tillage on net carbon flux from farmland ecosystems[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(12): 2035-2039
- [35] Dubey A, Lal R. Carbon footprint and sustainability of agricultural production systems in punjab, India, and Ohio, USA[J]. *Journal of Crop Improvement*, 2009, 23(4): 332-350
- [36] Slaughter M J. Trade liberalization and per capita income convergence: A difference-in-differences analysis[J]. *Journal of International Economics*, 2001, 55(1): 203-228
- [37] 徐永慧, 尹朝静. 环境规制下中国农业绿色全要素生产率的测算[J]. 统计与决策, 2021, 37(18): 50-54
- Xu Y H, Yin C J. Measurement on green total factor productivity of China's agriculture under environmental regulation[J]. *Statistics & Decision*, 2021, 37(18): 50-54 (in Chinese)
- [38] 宋弘, 孙雅洁, 陈登科. 政府空气污染治理效应评估:来自中国“低碳城市”建设的经验研究[J]. 管理世界, 2019, 35(6): 95-108, 195
- Song H, Sun Y J, Chen D K. Assessment for the effect of government air pollution control policy: Empirical evidence from “low-carbon city” construction in China[J]. *Journal of Management World*, 2019, 35(6): 95-108, 195 (in Chinese)
- [39] Hong M Y, Tian M J, Wang J. Digital inclusive finance, agricultural industrial structure optimization and agricultural green total factor productivity[J]. *Sustainability*, 2022, 14(18): 11450
- [40] Wang X C, Yang C X, Qiao C X. Agricultural service trade and green development: A perspective based on China's agricultural total factor productivity[J]. *Sustainability*, 2024, 16(18): 7963
- [41] 徐敏, 姜勇. 中国产业结构升级能缩小城乡消费差距吗?[J]. 数量经济技术经济研究, 2015, 32(3): 3-21
- Xu M, Jiang Y. Can China's industrial structure upgrading narrow the gap between urban and rural consumption?[J]. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2015, 32(3): 3-21 (in Chinese)
- [42] 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)
- [43] 杨骞, 王珏, 李超, 刘鑫鹏. 中国农业绿色全要素生产率的空间分异及其驱动因素[J]. 数量经济技术经济研究, 2019, 36(10): 21-37
- Yang Q, Wang J, Li C, Liu X P. The spatial differentiation of agricultural green total factor productivity and its driving factor recognition in China[J]. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2019, 36(10): 21-37 (in Chinese)
- [44] 王宝义, 张卫国. 中国农业生态效率的省际差异和影响因素:基于1996—2015年31个省份的面板数据分析[J]. 中国农村经济, 2018(1): 46-62
- Wang B Y, Zhang W G. Cross-provincial differences in determinants of agricultural eco-efficiency in China: An analysis based on panel data from 31 provinces in 1996-2015[J]. *Chinese Rural Economy*, 2018(1): 46-62 (in Chinese)

- [45] 余志刚, 孙子烨, 金鑫. 秸秆还田与农业绿色全要素生产率: 促进还是抑制? [J]. 干旱区资源与环境, 2023, 37(9): 36-45
Yu Z G, Sun Z Y, Jin X. Straw incorporation and agricultural green total factor productivity: Promotion or inhibition? [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2023, 37(9): 36-45 (in Chinese)
- [46] 上海市统计局. 上海统计年鉴, 2001—2022[M]. 北京: 中国统计出版社, 2001—2022
National Bureau of Statistics of Shanghai. *Shanghai Statistical Yearbook*, 2001-2022[M]. Beijing: China Statistics Press, 2001-2022 (in Chinese)
- [47] 浙江省统计局. 浙江统计年鉴, 2001—2022[M]. 北京: 中国统计出版社, 2001—2022
National Bureau of Statistics of Zhejiang. *Zhejiang Statistical Yearbook*, 2001-2022[M]. Beijing: China Statistics Press, 2001-2022 (in Chinese)
- [48] 江苏省统计局. 江苏统计年鉴, 2001—2022[M]. 北京: 中国统计出版社, 2001—2022
National Bureau of Statistics of Jiangsu. *Jiangsu Statistical Yearbook*, 2001-2022[M]. Beijing: China Statistics Press, 2001-2022 (in Chinese)
- [49] 安徽省统计局. 安徽统计年鉴, 2001—2022[M]. 北京: 中国统计出版社, 2001—2022
National Bureau of Statistics of Anhui. *Anhui Statistical Yearbook*, 2001-2022[M]. Beijing: China Statistics Press, 2001-2022 (in Chinese)
- [50] 李婕, 王玉斌, 程鹏飞. 中国农业全要素生产率的时空演变差异及内源构成 [J]. 中国农业大学学报, 2023, 28(2): 240-252
Li J, Wang Y B, Cheng P F. Spatio-temporal evolution differences and endogenous composition of Chinese agricultural total factor productivity [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2023, 28(2): 240-252 (in Chinese)
- [51] 江艇. 因果推断经验研究中的中介效应与调节效应 [J]. 中国工业经济, 2022 (5): 100-120
Jiang T. Mediating effects and moderating effects in causal inference [J]. *China Industrial Economics*, 2022(5): 100-120 (in Chinese)
- [52] 董梅. 低碳城市试点政策的工业污染物净减排效应: 基于合成控制法 [J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2021, 23(5): 16-30
Dong M. Analysis of the net emission reduction effect of the industrial pollutants in low-carbon pilot cities: Based on synthetic control method [J]. *Journal of Beijing Institute of Technology (Social Sciences Edition)*, 2021, 23(5): 16-30 (in Chinese)
- [53] Yang S B, Jahanger A, Hossain M R. How effective has the low-carbon city pilot policy been as an environmental intervention in curbing pollution? Evidence from Chinese industrial enterprises [J]. *Energy Economics*, 2023, 118: 106523
- [54] Wang L H, Shao J, Ma Y T. Does China's low-carbon city pilot policy improve energy efficiency? [J]. *Energy*, 2023, 283: 129048
- [55] Yang Z H, Shen N N, Qu Y B, Zhang B L. Association between rural land use transition and urban - rural integration development: From 2009 to 2018 based on county-level data in Shandong province, China [J]. *Land*, 2021, 10(11): 1228
- [56] Su D, Cao Y, Fang X Q, Wang J Y, Cao Y. Regional integration, agricultural production, and their heterogeneous interaction in the classic urban agglomeration of China [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2024, 464: 142806

责任编辑: 杨爱东



第一作者简介: 夏婷婷, 浙江农林大学经济管理学院农业管理专业硕士研究生。2023—2024 学年获得学业一等奖学金, 2024—2025 学年获得学业二等奖学金。曾担任 2023—2024 学年浙江农林大学研究生会学术部负责人, 并荣获“优秀个人”称号, 同年担任浙江农林大学“三农”研究生会实践部副部长, 策划多场学术实践活动; 多次参加学术会议与学科竞赛并取得优异成绩, 如曾在 2024 年现代乡村转型发展国际学术研讨会中进行汇报、在第十九届“挑战杯”全国大学生课外学术科技作品竞赛 2024 年度“揭榜挂帅”专项赛中荣获铜奖等。参与导师创新训练项目《低碳城市试点对农业 GTFP 的影响研究: 以长三角地区为例》并成功立项。



通讯作者简介: 刘强, 副教授, 管理学博士, 硕士生导师, 浙江农林大学农林经济管理专业系主任, 浙江省乡村振兴研究院兼职研究员, 林经学会森林生态经济专委会委员, 美国密歇根州立大学农业与自然资源学院高级访问学者。主要研究方向为农村综合改革、农林业生产效率。主持国家社科基金青年等多项课题。在 *Marine Policy*, *China Agricultural Economic Review*, 《中国农村经济》、《农业技术经济》等国内外重要期刊发表论文 40 余篇。出版学术专著 1 部。获梁希林业科技进步奖二等奖 1 项, 获“智享杯”全国高校经管类实验教学案例大赛二等奖 1 项。