农业资源与环境学报 CSCD核心期刊 中文核心期刊 中国科技核心期刊
JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT
欢迎投稿 http://www.aed.org.cn

农业社会化服务对农地碳排放强度的影响——基于规模经营和技术进步的作用效应

贾文茜, 何利杰, 胡银根

引用本文:
贾文茜, 何利杰, 胡银根. 农业社会化服务对农地碳排放强度的影响——基于规模经营和技术进步的作用效应[J]. 农业资源与环境学报, 2025, 42(6): 1581-1592.

在线阅读 View online: https://doi.org/10.13254/j.jare.2025.0257

农业资源与环境学报 2025, 42(6): 1581-1592 *Journal of Agricultural Resources and Environment*

贾文茜, 何利杰, 胡银根. 农业社会化服务对农地碳排放强度的影响：基于规模经营和技术进步的作用效应[J]. 农业资源与环境学报, 2025, 42(6): 1581-1592.

JIA W X, HE L J, HU Y G. Impacts of agricultural socialization services on carbon emission intensity of farmland：effects based on scale management and technological progress[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2025, 42(6): 1581-1592.

开放科学 OSID

农业社会化服务对农地碳排放强度的影响
——基于规模经营和技术进步的作用效应

贾文茜，何利杰，胡银根*

（华中农业大学公共管理学院，武汉 430070）

摘　要：为探讨农业社会化服务对农地碳排放强度的影响效应及作用机理，本研究从规模经营和技术进步的视角，基于2011—2020年我国24个省份的面板数据，采用双向固定效应模型、中介效应模型和门槛效应模型，探讨农业社会化服务和农地碳排放强度之间的关系。结果表明：2011—2020年我国农业社会化服务总体呈上升趋势，农业社会化服务的示范效应进一步增强，2011—2020年农地碳排放强度总体呈下降趋势，区域差异逐渐扩大；农业社会化服务显著降低农地碳排放强度，并通过稳健性检验；异质性分析表明，该负向影响在不同服务类型、作物种类、产区分布和经营规模下具有显著异质性；农业社会化服务通过农业规模经营降低农地碳排放强度；农业技术进步具有双重门槛效应，当农业机械化水平低于门槛值1.929时，农业社会化服务会显著提升农地碳排放强度；位于门槛值1.929~2.205之间时，则转变为显著的负向影响；高于门槛值2.205时，该负向影响被削弱。因此，建议积极推动农业规模化经营和适度农业机械化技术应用，增强农业社会化服务，有效减少碳排放。

关键词：农业社会化服务；农地碳排放强度；双向固定效应模型；中介效应；门槛效应

中图分类号：F326.6；F321.1；X322　**文献标志码**：A　**文章编号**：2095-6819(2025)06-1581-12　**doi**: 10.13254/j.jare.2025.0257

Impacts of agricultural socialization services on carbon emission intensity of farmland：effects based on scale management and technological progress

JIA Wenxi, HE Lijie, HU Yingen*

(School of Public Administration, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract：To explore the impact of agricultural socialized services on carbon emission intensity from farmland, this study investigated the underlying mechanisms and effects from the perspectives of scale management and technological progress. Based on panel data from 24 provinces in China from 2011 to 2020, a two-way fixed effects model, a mediation effect model, and a threshold effect model were employed. The results indicated that from 2011 to 2020, the level of agricultural socialized services in China exhibited an overall upward trend, with a progressively enhanced demonstration effect. In contrast, farmland carbon emission intensity generally declined, though regional disparities gradually widened. Agricultural socialized services were found to significantly reduce carbon emission intensity of farmland, which was confirmed by robustness tests. Heterogeneity analysis revealed that this negative effect varied significantly across different types of services, crop varieties, regional distributions, and operational scales. Agricultural socialized services mitigated farmland carbon emission intensity by promoting agricultural scale management. Furthermore, agricultural technological progress exhibited a dual-threshold effect: when the level of agricultural mechanization was below the first threshold of 1.929, agricultural socialized services significantly increased carbon emission intensity; when the level fell between 1.929 and 2.205, a significant negative impact was observed; and when it exceeded the upper threshold of 2.205, the negative effect was attenuated. Therefore, it is recommended to actively promote

收稿日期：2025-03-27　**录用日期**：2025-09-16

作者简介：贾文茜(2002—)，女，河北定州人，硕士研究生，研究方向为土地利用管理与土地信息。E-mail：jiawenxi@webmail.hzau.edu.cn

***通信作者**：胡银根　E-mail：hyg@mail.hzau.edu.cn

基金项目：国家自然科学基金项目(42171263)；农业农村部种植业管理司项目(072510008)；2022年百山祖国家公园“揭榜挂帅”项目(2022JBGS07)

Project supported：National Natural Science Foundation of China(42171263); Department of Crop Production Management of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs(072510008); Baishanzu National Park “Open Bidding for Selecting the Best Candidates” in 2022(2022JBGS07)

agricultural scale management and moderate mechanization technology application, enhance agricultural socialized services, and effectively reduce carbon emissions.

Keywords: agricultural socialized service; carbon emission intensity; two-way fixed effects model; mediating effect; threshold effect

随着经济社会的发展,全球气候变暖问题日益严重,农业是对气候变化最敏感的产业,也是世界碳排放的第二大来源。我国作为一个农业大国,截至2020年末农业碳排放量已达8.2亿t,农业领域成为我国的重点碳源之一[1]。在此背景下,我国明确提出了2030年“碳达峰”和2060年“碳中和”目标,实现农业绿色发展刻不容缓。作为农业活动的载体,农地低碳利用不仅关系到我国“双碳”目标的实现,还对我国农业可持续发展与世界环境保护具有重要意义。“大国小农”是我国的基本国情,第三次全国农业普查数据显示,小农户数量占我国农业经营主体的98%以上,在此基础上,农业生产逐渐形成依赖化肥、农药、农膜等生产要素大量投入的粗放式土地利用模式,导致我国农地利用呈现高面源污染和高碳排放的特征。当前,积极转变农业生产方式,降低农地利用碳排放,实现集约节约生产成为我国农业发展转变的重中之重。农业社会化服务是实现农业现代化发展的重要支撑,可以将先进适用的现代生产要素有效导入小农户生产,从而在降低农业碳排放和绿色发展方面发挥重要作用。

国内外学者对农地利用碳排放问题和农业社会化服务及其相互关系进行了深入研究。首先,对于农地碳排放的来源,有关学者认为主要来自于农药、化肥、农膜的使用,农地翻耕、农用柴油以及农业灌溉等方面[2],这6个方面的来源界定已经形成一定共识。相关研究分别运用投入产出法(I-O)[3]、生命周期评价模型(LCA)[4]和排放因子法(IPCC)[5]等对农地利用碳排放规模进行了测算。其次,农业社会化服务是围绕农业产前、产中、产后所形成的现代化分工形式[6]。随着经济社会的发展,农村人口老龄化、劳动力流失等现状正在倒逼农业社会化服务的发展[7]。现有研究中,有学者以农林牧渔服务业总产值与对应行业从业人数的比值来衡量农业社会化服务水平[8]。为了进一步反映信息技术、金融等现代服务业在农业中的使用情况,有关研究基于投入产出比,采用农业农村部门对各类生产性服务业的完全消耗系数,对农业社会化服务进行测度[9]。最后,农业社会化服务对于实现农业绿色发展具有显著作用,已有更多学者关注农业社会化服务的碳减排效应与作用机制。张甜等[10]以粮食主产区为研究区域,得出农业社会化服务对农业碳排放强度具有显著负向影响,农业规模经营在其中间接实现了“减碳效应”的结论。朱美荣等[11]的研究表明农业规模经营是农业社会化服务降低农业碳排放的重要路径,进一步验证了该作用机制。周发明等[12]研究发现农业社会化服务还可以通过降低化肥施用强度的途径降低农业碳排放。蔡祖梅等[13]则认为农业机械化水平与农业碳排放强度呈非线性关系,随着机械化水平提高,农业碳排放强度增长的速度逐渐放缓。

综上所述,现有研究为农业社会化服务影响农地碳减排提供了一定的理论基础,但对于农业社会化服务和农地碳排放强度的影响机制尚不清晰。基于此,本研究提出以下问题:农业社会化服务能否降低农地碳排放强度?二者的作用机制是什么?农业社会化服务对农地碳排放强度的影响是否存在异质性?通过深入探讨这些问题,全面分析农业社会化服务的多维影响机制,为降低农地碳排放强度提供理论支持和实践依据。

基于上述背景,本研究运用2011—2020年我国24个省份的面板数据,在明晰我国农业社会化服务与农地碳排放强度的时空演变格局的基础上,从规模经营和技术进步两个维度分析农业社会化服务对农地碳排放强度的影响机理与成效。本研究的主要贡献在于:一是从规模经营和技术进步的角度出发,厘清了农业社会化服务降低农地碳排放强度的作用机制,分别验证了农业规模经营和技术进步的中介效应和双重门槛效应;二是通过异质性分析,考察了不同服务、作物、产区和经营规模条件下,农业社会化服务对农地碳排放强度的影响,为确定合理的碳减排路径提供依据。

1 材料与方法

1.1 理论分析与研究假说

1.1.1 农业社会化服务对农地碳排放强度的直接影响

由于小农户在产中环节对农业社会化服务的需求最高[14],本研究中农业社会化服务特指在农业生产的耕、种、管、收等产中环节内,农业社会化服务组织向农户提供的专业化生产服务。本研究关注的农地

利用碳排放强度,是研究区域内农户进行农业生产过程中直接或间接产生的农业碳排放总量与农业生产总值的比值。

基于低碳农业理论所提出的“低消耗、低排放、高效益”的核心范式,要求农业生产经营者走可持续发展道路,实现农业生产技术改进、减少能源损耗以及增加农业产出等发展目标。农业社会化服务作为现代农业发展的重要支撑,成为破解农业高碳困境的关键实践路径,通过解决“谁来种地、如何种地”的问题,为加快农业发展方式转变注入新动能[15]。首先,农业社会化服务通过专业化技术推广体系推动绿色生产技术扩散,有效克服小农户技术认知壁垒,提高农户采纳意愿,为实现农业绿色发展奠定技术基础[16]。其次,通过服务体系实现精准施肥、测土配方等,在一定程度上扭转了传统小农生产时盲目投入化肥农药的粗放管理模式,实现农业生产资料的科学化管控。最后,在农业社会化服务发展的过程中还伴随着生产经营规模的扩大[17],使新型经营主体得以更加广泛地应用先进技术和管理模式[18],既有助于实现资源优化配置,又有助于通过技术替代和标准化管理抑制碳排放。据此,提出如下假设H1:

H1:农业社会化服务对农地碳排放强度具有负向影响。

农业社会化服务对碳排放的影响具有明显的异质性[19]。首先,农业社会化服务通过专业化分工实现生产要素优化配置,不同服务类型具有差异化的技术特征和要素替代效应,其碳减排路径存在较大差异。农户种植不同类型作物会进一步影响服务需求结构,如粮食作物的标准化生产更适配机械化操作,经济作物的劳动密集型特征更适宜雇工服务等。其次,由于各地区在地理区位、资源禀赋和政策制定方面的不同,显著影响服务供给成本和技术适配性,导致农业社会化服务的碳减排效应存在空间异质性。最后,根据《2008年世界发展报告》,可以将经营耕地面积≥30亩和<30亩(1亩=667 m^2)的农户分别划分为规模户和小农户[20],农户经营规模差异塑造了不同的经营方式和技术采纳逻辑,进而影响农业社会化服务的碳减排效应发挥。为此,提出假设H2:

H2:农业社会化服务对农地碳排放强度的影响视服务类型、作物种类、地域差异和经营规模的不同存在异质性。

1.1.2 农业社会化服务对农地碳排放强度的间接影响

(1)农业规模经营的中介效应

基于社会分工理论,传统小农生产模式下主要由单个农户或单个农户家庭完成全过程农业生产。小农生产经营规模小且难以承担额外的生产服务成本,形成了依靠资源消耗的粗放型经营模式,使其成为限制我国农业绿色发展的重要因素。随着农业科技进步,农业领域不断产生新的分工合作,推动农业生产向专业化发展,逐步形成农业社会化服务,催生农业生产实现规模经营,推动农业生产关系从分散走向集中[21]。农业社会化服务通过投入服务要素可以有效缓解农户资源禀赋的限制,实现土地“化零为整”,提高土地集中度,为破解当前农业绿色生产难题提供有效路径。同时,相关研究表明户均土地规模小且土地细碎化程度高是导致我国农业化肥施用量高于世界平均水平的重要原因[22],而农药、化肥的使用是农业碳排放的重要来源,土地规模化经营可以促进资源优化配置和农业生产标准化,推动农户科学合理决策要素投入,实现农药化肥的集约节约利用,从而推动农业生产由高投入高污染向集约节约化转变,降低农地碳排放强度[23]。因此,提出假设H3:

H3:农业社会化服务通过推动农业规模经营,降低农地碳排放强度。

(2)农业技术进步的门槛效应

基于诱致性技术变迁理论,生产要素价格的相对变化会诱导技术变革方向,当某种要素价格上涨时,生产者倾向于选择节省该要素,并选择其他要素加以代替,从而引发技术路径转型[24]。小农在劳动力成本上升、资源约束的情况下,通过购买农业社会化服务进行要素代替,进而改变技术路径和碳排放强度。农业机械化作为农业现代化的基本内涵与技术支撑,不仅是农业技术进步的重要载体,也是农业社会化服务的重要指标[25]。因此,通过促使先进机械技术和设备的应用,逐渐替代传统农具和人工劳作,是农业技术进步提升农业社会化服务的重要体现。在农业社会化服务发展的前期,机械对人力的诱导作用会促使生产者不断扩大能源消费,加之农户多采用能耗高、效率低的农业机械,这意味着柴油、汽油等化石能源的消耗增加,导致碳排放等环境污染加剧,要素替代未优化效能,仅实现粗放型的技术变迁[26]。但随着农业社会化服务的发展,绿色农机和绿色机械化技术不断推广,将有效减少化石能源的消耗,农户更多采纳大马力和高性能的复式机械,提高农机利用率和作业效率,降低单位面积内的能源消耗和碳排放,实现农业生产节能减排[27]。因此,农业机械化水平在农业社会

化服务和农地碳排放强度之间存在一定的门槛效应。据此,提出假设H4:

H4:农业社会化服务对农地碳排放强度存在非线性影响。

综合上述分析,本研究理论框架如图1所示。

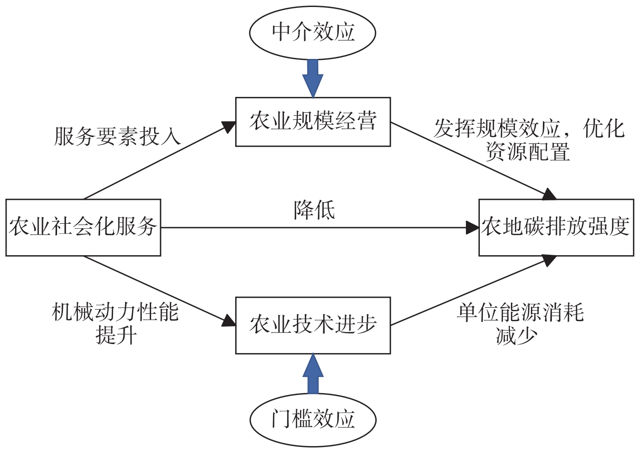

图1 理论框架图

Figure 1 Theoretical framework diagram

1.2 研究设计与数据

1.2.1 数据来源

本研究采用的样本数据为2011—2020年我国24个省份的面板数据,由于部分地区样本数量过少且主要位于非农业产区,因此,研究区域不包括北京、内蒙古、海南、青海、西藏、宁夏、新疆等省份,也不包括港澳台地区。农业社会化服务主要来源于中国家庭追踪调查数据库(以下简称CFPS),以核心变量的一致性表达为遴选依据,剔除遗漏关键信息及存在严重异常值的样本,选取2012、2014、2016、2018、2020年从事农业生产工作的农户家庭6 279户。主要选定依据为:在家庭经济问卷的"家户农业收入与支出"部分中,对"是否从事农业工作"的选项为"1(有)"的农户,整理其对"雇工费(元·a^{-1})"及"机器租赁费(元·a^{-1})"问题的回答获取农户家庭年雇工服务支出和机械租赁服务支出,并通过熵值法测算农业社会化服务水平。针对CFPS数据部分年份缺失问题,采用相邻年份替代法,将上述5个年份的数据分别替代2011、2013、2015、2017、2019年,减少时间序列断裂对分析的影响。农业碳排放数据来源于中国碳核算数据库(以下简称CEADs)发布的省级分部门二氧化碳排放清单,获取各省份农业碳排放总量。其他变量数据来源于《中国环境统计年鉴》《中国统计年鉴》等,对少量缺失数据采用线性插值法填充,以确保数据完整性。

1.2.2 变量选取

(1)被解释变量:农地碳排放强度

基于CEADs数据库提供的碳排放清单,以研究区域内每单位农业产值产生的碳排放表征农地利用碳排放强度。测算公式如下:

$$ACI_{it}=\frac{CI_{it}}{API_{it}}=\sum_{y}^{n}\frac{C_{yit}}{API_{it}} \tag{1}$$

式中:ACI_{it}表示农地碳排放强度,t·万元$^{-1}$;CI_{it}表示农业碳排放总量,t;API_{it}表示农业生产总值,万元;C_{yit}表示y种能源碳排放量,t,包括原煤、清洁煤、其他洗煤、煤球、焦炭、焦炉煤气、其他气体、其他焦化品、原油、汽油、煤油、柴油、燃油、液化石油气、炼油厂气体、其他石油产品和天然气等能源碳排放。

(2)解释变量:农业社会化服务

基于相关文献,本研究将农业社会化服务设定为农户生产雇工费和机械租赁费2项服务内容[28],并通过熵值法求取权重,测算农业社会化服务水平。一方面,有学者在分析农机社会化服务时指出,机械作用费用是衡量机械化服务采纳强度的有效指标[20];农户采纳生产雇工这一社会化服务行为,可充分反映专业化劳动分工对农业生产管理水平的提升作用[29]。两类服务通过差异化路径实现碳减排,机械租赁服务替代部分小农户低效劳作,通过规模化连片作业降低单位能耗,雇工服务通过优化劳动配置,依托专业化团队精准把控要素投入并实施精准绿色技术,减少碳排放。另一方面,在农业生产过程中,种植粮食作物的农户主要采用机械租赁服务,种植经济作物的农户主要采用雇工服务,服务类型和作物生产特征深度适配,二者结合可基本覆盖不同农业生产场景。此外,结合CFPS数据的可得性,雇工费和机械租赁费是唯一连续且可量化的农业社会化服务支出指标,数据来源更加可信。

(3)控制变量

本研究从经济因素、环境因素和农户自身因素等3个方面出发,选取农业产业结构、农业生产效率、环境规制、农户平均受教育水平等作为控制变量加入计量模型[30]。其中,农业产业结构由农业总产值与第一产业总产值的比值表示,农业生产效率由第一产业增加值与第一产业从业人员数的比值表示,环境规制由环境污染投资治理总额与地区生产总值的比值表示[31]。通过CFPS数据库将农户的8种学历依次赋值为1~8,表征农户受教育程度。

(4)中介变量:农业规模经营

相关研究已验证农业社会化服务能够通过农业经营规模扩大间接降低农业碳排放强度[10]，鉴于此，本研究以农业规模经营为中介变量，参考周娟[32]的做法，以农户耕地流转面积与承包经营耕地面积的比值表征农业规模经营，探究农业社会化服务对农地碳排放强度影响的中介效应。

（5）门槛变量：农业机械化

参考蔡祖梅等[13]的相关研究，农业机械化水平与农业碳排放强度呈非线性关系。据此，本研究以农业机械化水平为门槛变量，以农业机械总动力与经营耕地总面积的比值进行表征，检验农业社会化服务与农地碳排放强度之间的非线性关系。变量描述性统计如表1所示。

1.2.3 计量模型设定

为检验农业社会化服务对农地碳排放强度的影响效应，以农业社会化服务作为解释变量，农地碳排放强度作为被解释变量，构建以下双向固定效应模型，并通过Stata 18.0软件对双向固定效应进行检验：

$$ACI_{it}=\alpha_0+\alpha_1 ass_{it}+\alpha_2 controls_{it}+\mu_i+\mu_t+\varepsilon_{it} \tag{2}$$

式中：ACI_{it}表示农地碳排放强度，$t\cdot$万元$^{-1}$；ass_{it}表示农业社会化服务水平；α_0、α_1、α_2表示待估参数；$controls_{it}$表示控制变量；μ_i和μ_t分别表示地区和年份的固定效应；ε_{it}为随机误差项。

为检验农业社会化服务对农地碳排放强度的影响机制，借鉴温忠麟等[33]的相关研究，将农业规模经营作为中介变量，构建如下中介效应模型：

$$ACI_{it}=\alpha_0+\theta_1 ass_{it}+\alpha_2 controls_{it}+\mu_i+\mu_t+\varepsilon_{it} \tag{3}$$

$$asm_{it}=\alpha_0+\theta_2 ass_{it}+\alpha_2 controls_{it}+\mu_i+\mu_t+\varepsilon_{it} \tag{4}$$

$$ACI_{it}=\alpha_0+\theta_3 ass_{it}+\theta_4 asm_{it}+\alpha_2 controls_{it}+\mu_i+\mu_t+\varepsilon_{it} \tag{5}$$

式中：asm表示中介变量农业规模经营；θ_1、θ_2、θ_3、θ_4表示回归系数，当回归系数θ_1、θ_2、θ_4三者都具有明显的影响力时，说明存在中介作用，若$\theta_2\theta_4$与θ_3符号相同，说明存在部分中介作用。

为进一步检验农业社会化服务对农地碳排放强度的非线性影响，本研究借鉴Hansen[34]的面板门槛回归模型，将农业机械化作为门槛变量，构建模型如下：

$$ACI_{it}=\alpha_0+\beta_1 ass_{it}\times I(ACI_{it}\leqslant\eta_1)+\cdots+\beta_n ass_{it}\times I(\eta_{n-1}<ACI_{it}\leqslant\eta_{1+n})\alpha_2 controls_{it}+\mu_i+\mu_t+\varepsilon_{it} \tag{6}$$

式中：η表示门槛值；$I(\cdot)$为指示函数，满足时括号内条件取1，不满足时取0；通过β回归系数的显著性，可判断不同条件下是否存在线性关系。

2 结果与分析

2.1 农业社会化服务与农地碳排放强度的时空特征分析

2.1.1 农业社会化服务时空特征

2011—2020年我国24个省份的农业社会化服务水平总体呈上升趋势，2020年农业社会化服务水平比2011年上涨7.1%。从不同区域来看，我国中部粮食主产区保持平稳上升的态势，近年来随着我国对农业社会化服务发展的重视与支持，该地区作为我国主要的粮食产区之一，在政府政策倾斜和资金支持的条件下，农业社会化服务水平保持不断增长的趋势。东北黑土区粮食产量约占全国的1/5，是我国最重要的粮食主产区，具备良好的发展条件和推广基础，该地区农业社会化服务水平较高，保持基本稳定的发展趋势。东部非粮食主产区则具有较强的经济优势和技术优势，且第一产业占比较低，农业社会化服务水平较高。由空间自相关分析可得，与2016年和2018年相比，2020年农业社会化服务呈低-高集聚型和高-低集聚型的省份相对减少，表明农业社会化服务空间正相关性特征逐渐明显且集聚性增强，农业社会化服

表1 变量描述性统计

Table 1 Descriptive statistics of variables

变量类型 Variable type	变量名称 Variable name	变量含义 Meaning of variable	变量表征 Characterization of variable	平均值 Average value	标准差 Standard deviation
被解释变量	*ACI*	农地碳排放强度	农业碳排放总量/农业生产总值	0.259 $t\cdot$万元$^{-1}$	0.194 $t\cdot$万元$^{-1}$
解释变量	*ass*	农业社会化服务	熵值法测度，取对数	6.321	0.664
控制变量	*str*	农业产业结构	农业总产值/第一产业总产值	0.957	0.184
	edu	农户受教育程度	1-小学以下，2-小学，3-初中，4-高中，5-大专，6-大学本科，7-硕士，8-博士	2.194	0.191
	en	环境规制	环境污染投资治理总额/地区生产总值	1.220	0.736
	ape	农业生产效率	第一产业增加值/第一产业从业人员数	0.739 万元$\cdot$人$^{-1}$	0.155 万元$\cdot$人$^{-1}$
中介变量	*asm*	农业规模经营	农户耕地流转面积/承包经营耕地面积	0.671	0.159
门槛变量	*aml*	农业机械化	农业机械总动力/经营耕地总面积，取对数	2.765	0.813

务的示范效应进一步增强。

2.1.2 农地碳排放强度时空特征

2011—2020年全国农地碳排放强度总体呈下降趋势，2020年农地碳排放强度比2011年下降29.8%。西南地区农地碳排放强度下降趋势明显，近年来为促进区域农业的可持续发展，该地区逐渐探索并形成了适合区域发展特征的生态农业发展模式，使该地区的农业生态环境不断改善，在提高农业产值的同时明显降低了农地碳排放强度。东北地区作为粮食主产区，农业发展水平较高，随着第一产业产值不断增长以及农业集约节约化发展，该地区农地碳排放强度呈波动下降的趋势。农地碳排放强度的空间关联类型包括高-低集聚型、低-高集聚型、低-低集聚型3种类型，从总体来看，以高-低集聚和低-高集聚的省份为主，农地碳排放强度的空间负相关性特征明显，在不同地区之间表现出显著差异。

2.2 基准回归分析

本研究使用Stata 18.0软件对农业社会化服务和农地碳排放强度进行双向固定效应分析，表2列（1）、（2）分别是加入控制变量前后的回归结果，农业社会化服务始终对农地碳排放强度具有显著的负向影响，农业社会化服务水平每提高1%，农地碳排放强度则降低2.6%。假说H1得到验证。

在控制变量中，农业产业结构对农地碳排放强度的影响系数在5%水平下显著为正，说明农业生产总值占第一产业生产总值的比例越大，农地碳排放强度越高。农户平均受教育水平的影响系数在1%水平下显著为负，说明不断提高农户受教育水平可以增强农户的绿色可持续发展理念，降低农户在农业生产过程中的能源消耗和碳排放。农业生产效率的影响系数在1%水平下显著为负。环境规制的影响系数在10%水平下显著为正，环境污染治理总额的增长在一定程度上表明环境污染的加剧，我国各地区环境污染投资治理总额和地区生产总值的比值普遍保持在1.5%左右，导致环境规制对于环境污染的控制和改善作用较小。

表2 基准回归结果

Table 2 Benchmark regression results

变量 Variable	*ACI*	
	（1）	（2）
ass	−0.031***	−0.026***
	（−2.92）	（−2.63）
str		0.211**
		（2.38）
edu		−0.545***
		（−3.99）
en		0.013*
		（1.92）
ape		−0.161***
		（−3.59）
地区效应	固定	固定
时间效应	固定	固定
常数项	0.505***	1.582***
	（7.70）	（4.92）
观测值	240	240
R^2	0.268	0.393

注：括号内为t值；*、**和***分别表示在10%、5%和1%的统计水平上显著。下同。

Note: t-valves are in parentheses; *, **, and *** represent significance levels of 10%, 5%, and 1%. The same below.

2.3 稳健性检验

（1）更换估计方法。通过参考相关研究，考虑到基准模型设置可能存在偏差，本研究将估计方法变更为最大似然估计法进行对比分析，由表3列（1）可知，农业社会化服务对农地碳排放强度的影响系数为−0.024，且通过1%的显著性水平，与基准回归模型的结论一致，即农业社会化服务能够显著降低农地碳排放强度。

（2）控制变量滞后一期。随着经济社会的发展以及人们对农地碳排放强度的重视，部分地区可能会由于农地碳排放量较高，而有意识地推动农业社会化服务的发展，导致农业社会化服务对农地碳排放强度产

表3 稳健性检验

Table 3 Robustness test

变量 Variable	*ACI*	
	（1）	（2）
ass	−0.024***	−0.022**
	（−2.66）	（−2.31）
L.str	0.292***	0.186*
	（3.35）	（1.94）
L.edu	−0.118	−0.337**
	（−1.04）	（−2.50）
L.en	0.011*	0.010*
	（1.73）	（1.66）
L.ape	−0.130***	−0.127***
	（−3.01）	（−2.85）
地区效应	固定	固定
时间效应	固定	固定
观测值	216	216
R^2		0.344

生负向影响，使二者呈现反向因果关系。因此，本研究将控制变量滞后一期检验以弱化内生性。由表3列（2）可知，农业社会化服务对农地碳排放强度的影响系数为-0.022，且通过5%的显著性水平，进一步支持了基准回归结果的稳健性，即农业社会化服务仍对农地碳排放强度具有显著的负向影响。

2.4 异质性分析

前文已经证实，农业社会化服务对农地碳排放强度具有显著的负向影响，且受到多重因素的制约而呈现异质性，不同条件下的农业社会化服务的碳减排效应需要进一步探究。因此，参考杨青等[20]的相关研究，本研究分别从服务内在差异、生产对象特征、宏观区域条件、微观主体特征4个方面出发，选取服务、作物、产区、规模等4个维度进行异质性检验。

2.4.1 服务异质性

本研究探讨不同类型农业社会化服务对农地碳排放强度的影响。表4列（1）表明雇工服务对农地碳排放强度的影响系数为-0.015，在5%水平上显著；列（2）表明机械租赁服务的影响系数为-0.012，在10%水平上显著。总体而言，雇工服务的碳减排效应比机械租赁服务更显著。这主要在于两类服务的运作模式和技术特征存在显著差异，雇工团队可以根据作物生长周期进行田间管理动态调整，实现劳动力精准配置，避免机械粗放作业带来的能源消耗，减少过量农资投入。专业化组织提供的雇工服务，通过标准化操作程序还有助于带动测土配方、精准施肥等绿色技术应用，降低单位面积碳排放。机械租赁服务通过连片作业降低单位能耗，但受制于技术效率和能源结构，目前中小型机械仍以柴油动力为主，小农户地块细碎化提高机械空转率，反而增加化石能源消耗。在规模化程度高的地区，大马力复式农机的普及通过提升作业效率，有助于抵消部分能源消耗增加的碳排放。因此，在推广雇工服务和机械租赁服务时，一方面要着重推广雇工服务的绿色田间管理规范，补贴雇工组织技术培训成本等；另一方面要加快绿色农机应用，通过“地块整合+托管服务”的模式提高机械作业效率。

2.4.2 作物异质性

通过参考相关研究[35]，将样本划分为经济作物和粮食作物，其中，粮食作物包括稻谷、豆类、薯类、小麦、玉米等，经济作物包括菜籽、花生、林产品、棉花、水果等。本研究共提取4 869户有效信息，其中种植粮食作物农户4 485户，种植经济作物农户384户。表4列（3）表明在种植粮食作物的条件下，农业社会化服务对农地碳排放强度的影响系数为-0.024，在10%水平上显著；列（4）表明在种植经济作物的条件下，影响系数为-0.028，在5%水平上显著；雇工服务在经济作物中的碳减排效果显著高于粮食作物，雇工服务每提高1%，种植经济作物农地碳排放强度降低3.3%。这一差异主要源于作物生产模式、技术需求和服务供给的深度耦合，经济作物具有高附加值、劳动密集、精细化管理等生产特征，需要更高的管理水平和耕作技巧，雇工服务在专业化分工的基础上实现农资投入的动态优化，通过有机代替（如生物肥料、物理防虫等）有效实现碳减排。粮食作物的生产标准化程度高，更适配机械化作业，然而机械租赁服务在部分粮食产区面临着农机动力不足和技术适配性低的

表4 异质性分析结果

Table 4 Results of heterogeneity analysis

变量 Variable	服务类型 Service type		作物类型 Crop type		产区类型 Production area type			经营规模 Scale of operation	
	（1）	（2）	（3）	（4）	（5）	（6）	（7）	（8）	（9）
ass			-0.024*	-0.028**	-0.040**	-0.030*	-0.008	-0.027**	0.023
			（-1.93）	（-2.14）	（-2.02）	（-1.95）	（-0.68）	（-2.32）	（0.38）
ass_hs	-0.015**		-0.029*	-0.033**	-0.026	-0.022**	-0.012	-0.015*	0.084***
	（-2.46）		（-1.80）	（-2.18）	（-1.55）	（-2.30）	（-1.17）	（-2.08）	（3.41）
ass_mrs		-0.012*	0.008	-0.010	-0.037***	0.018	-0.025	-0.013**	0.017
		（-1.81）	（0.61）	（-0.88）	（-3.06）	（1.55）	（-1.34）	（-1.76）	（0.38）
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是	是
地区效应	固定	固定	固定	固定	固定	固定	固定	固定	固定
时间效应	固定	固定	固定	固定	固定	固定	固定	固定	固定
观测值	240	240	240	220	100	80	60	200	40

注：*ass_hs*表示雇工服务，*ass_mrs*表示机械租赁服务。

Note：*ass_hs* for hire services，*ass_mrs* for machinery rental services.

矛盾，其碳减排潜力未完全释放。因此，需进一步在经济作物产区强化雇工服务的绿色技术集成，在粮食产区加快农机技术结构升级。

2.4.3 产区异质性

表4的(5)~(7)列分别检验了农业社会化服务在粮食产销平衡区、粮食主产区、粮食主销区对农地碳排放强度的影响。结果表明，粮食产销平衡区和粮食主产区的回归系数分别为-0.040和-0.030，其中，机械租赁服务每提高1%，粮食产销平衡区农地碳排放强度降低3.7%；雇工服务每提高1%，粮食主产区农地碳排放强度降低2.2%；粮食主销区的回归系数为负且不显著。不同区域由于"资源禀赋-技术需求-政策适配"条件的不同，在农业社会化服务碳减排路径上形成显著差异。粮食主销区以东部沿海经济发达地区为主，其农业自然资源禀赋与产业结构和主要粮食产区有所不同，耕地碎片化严重导致农业社会化服务难以形成规模效应，非农产业资源倾斜进一步弱化农业减排的政策优先级，农业产业占比较低导致农业社会化服务的碳减排效应不显著。在粮食主产区，大规模生产对田间管理的精细化要求更高，雇工服务通过人力与技术协同共进，依托统一管理实现生产要素的集约化配置，如动态调整施肥和病虫害防治策略等，并以规模化土地托管进一步推动绿色技术的系统性应用，降低单位面积能源和化学品消耗，从而显著抑制碳排放，符合主产区高产和低碳的双重发展目标。粮食产销平衡区耕地分布兼具规模性和分散性，适配机械租赁服务的跨区域整合模式，通过农机联合作业优化零散地块作业路径，减少机械空转消耗。部分区域依托光伏充电等再生能源代替化石能源，逐步普及电动农机，政府对节能农机租赁给予额外补贴。

2.4.4 规模异质性

由于CFPS数据库仅在2014年提供社区层面数据，本研究基于该数据对样本进行分组，其中河南、贵州、辽宁、黑龙江等省份的农户平均经营耕地面积在30亩以上。表4列(8)和列(9)表明，小农户采纳农业社会化服务的影响系数为-0.027，并在5%水平上显著，其中，机械租赁服务每提高1%，小农户农地碳排放强度降低1.3%；规模户采纳农业社会化服务未产生显著的碳减排效应。主要根源在于规模户和小农户的技术采纳逻辑存在差异，小农户因劳动力成本提高，倾向于采纳机械租赁服务替代低效人工劳作，且小农户本身具有精细化耕作的特点，可缓解机械过度使用带来的碳排放问题。规模户因土地集中度高，更依赖大型农机连续作业，但当前农机技术仍以"增产导向"为主，在能耗优化方面发展不足，导致碳排放随种植规模扩大边际递增。因此，在政策引导方面要避免"规模至上"的政策倾向，需针对小农户大力推广轻简型农机，提高其采纳机械租赁服务进行农业生产的意识，逐渐替代低效人工劳作；对规模户实施"绿色农机配额"制度，提高规模户采用复式农机进行农业生产的比率，逐渐摆脱高耗能低效率的传统农机。假说H2得到验证。

2.5 机制检验

2.5.1 中介效应分析

结合机理分析，农业社会化服务能够通过农业规模经营降低农地碳排放强度。由表5可知，农业社会化服务对农业规模经营的回归系数为0.013，农业规模经营对农地碳排放强度的回归系数为-0.425，农业社会化服务对农地碳排放强度的间接效应则为-0.026，与直接效应-0.020的作用方向相同，表明农业规模经营在农业社会化服务和农地碳排放强度之间存在"部分中介效应"，所占比例为21.3%，即农业社会化服务对农地碳排放强度的影响约有21.3%是通过农业规模经营实现的。可能的原因在于农业社会化服务通过投入服务要素，缓解土地细碎化经营现状，提高土地集中度，实现农业生产提质增效，有效减少了农业生产碳排放。随着农村人口老龄化发展，服务组织部分替代小农户，在土地规模经营的基础上加强新型农业技术的应用，有效降低碳排放强度。假说H3得到验证。

2.5.2 门槛效应分析

本研究进一步分析农业社会化服务和农地碳排放强度的非线性关系，结果(表6)表明，单一门槛和双重门槛模型的P值均小于0.1，通过显著性检验，即

表5 中介效应回归结果

Table 5 Regression results of mediating effects

变量 Variable	*ACI* (1)	*asm* (2)	*ACI* (3)
ass	-0.026***	0.013**	-0.020**
	(-2.60)	(1.77)	(-2.08)
asm			-0.425***
			(-5.10)
常数项	0.779***	0.116	0.787***
	(3.02)	(0.57)	(3.31)
地区效应	固定	固定	固定
时间效应	固定	固定	固定
控制变量	是	是	是
观测值	240	240	240

表6 面板门槛模型检验结果

Table 6 Panel threshold model inspection results

门槛变量 Threshold variable	门槛类型 Threshold type	*P*值 *P* value	*F*值 *F* value	*BS*次数 *BS* time	临界值 Critical value		
					1%	5%	10%
aml	单一门槛	<0.001	271.65	300	59.410	45.326	35.613
	双重门槛	0.080	22.66	300	34.693	25.619	21.223
	三重门槛	0.463	16.59	300	64.495	49.972	38.943

农业机械化对农地碳排放强度的影响存在双重门槛效应。由表7可知，单一门槛估计值为1.929，双重门槛估计值为2.205。

由表8可知，农业社会化服务对农地碳排放强度的抑制作用存在三个阶段：当农业机械化水平≤1.929时，影响系数为0.052，在1%显著水平下促进农地碳排放强度提升；当农业机械化水平>1.929且<2.205时，影响系数为-0.030，在1%显著水平下降低农地碳排放强度；当农业机械化水平≥2.205时，影响系数为-0.016，在10%显著水平下降低农地碳排放强度，其抑制效果有所减弱。可能的原因如下：农业社会化服务的发展前期促使农业生产者购买农业机械的意愿增强，但由于机械动力性能较弱的技术限制，会增加农业能源的投入使用，导致农地碳排放强度提高；随着绿色农机技术不断发展，农业能源利用效率得到显著增强，农业生产经营方式更加趋向低碳化，

表7 门槛估计值和置信区间分布

Table 7 Threshold estimates and confidence interval distributions

门槛变量 Threshold variable	门槛类型 Threshold type	估计值 Estimate	95%置信区间 95% confidence interval	
aml	单一门槛	1.929	1.913	1.956
	双重门槛	2.205	2.161	2.285

表8 面板门槛模型回归结果

Table 8 Panel threshold model regression results

变量 Variable	*ACI*
ass（*aml*≤1.929）	0.052***
	（3.62）
ass（1.929<*aml*<2.205）	-0.030***
	（-3.33）
ass（*aml*≥2.205）	-0.016*
	（-1.69）
控制变量	是
地区效应	固定
时间效应	固定
观测值	240
R^2	0.54
F test	35.45

促使农地碳排放强度显著降低。在此基础上，过度提高农业机械化水平可能导致能源浪费和生产效率降低，从而使碳排放抑制作用被削弱。假说H4得到验证。

3 讨论

本研究揭示了农业社会化服务对农地碳排放强度的影响效应，并对其作用机制与异质性进行了系统检验。与已有研究相比，本研究进一步从规模经营的中介效应和技术进步的门槛效应验证了农业社会化服务的碳减排路径。究其原因，农业社会化服务可以通过规模经营优化资源配置，并依托标准化生产管理降低单位碳排放，与朱美荣等[11]的路径机制研究结果保持一致；农业机械化则呈现典型门槛特征，中低水平阶段因机械化水平提高和绿色农机发展带来显著碳减排效益，但初期高耗能机械普及加剧了碳排放，后期过度机械化导致了碳减排边际效益递减，表明以农业机械化为代表的技术进步需与能效提升和结构优化协同推进。据此，应进一步推动规模经营与农业社会化服务的协同发展，加强绿色技术集成与应用，并制定差异化的区域服务推进策略。

本研究囿于研究范围、数据来源和研究方法等方面的限制，还存在以下不足：首先，仅聚焦于农业生产环节的耕、种、保、育等产中农业社会化服务，未涵盖产前（如技术培训、农资采购）与产后（如加工、仓储）环节农业社会化服务；其次，未考虑农业社会化服务与其他关键因素的交互作用对农地碳排放强度的影响，如碳减排导向的环境政策或农业补贴政策、气候变化带来的极端天气影响、能源价格变化的市场因素等；最后，农业社会化服务的碳减排效应和政策引导与市场激励密切相关，本研究未深入探讨政策组合优化与市场机制创新对碳排放的调节作用。

4 结论与建议

本研究得出以下结论：

（1）2011—2020年，我国农业社会化服务总体呈上升趋势，服务示范效应进一步增强；农地碳排放强度总体呈下降趋势，但区域差异显著，呈现“高排放区减排加速、低排放区减排逐渐趋稳”的空间分异格局。

（2）农业社会化服务对农地碳排放强度具有明显的抑制效果，服务水平每提高1%，农地碳排放强度降低2.6%，在更换估计方法、控制变量滞后一期检验后，结论依然显著。

（3）农业社会化服务对农地碳排放强度的影响在服务、作物、产区和规模等方面具有显著异质性。具体而言，雇工服务每提高1%，种植经济作物农地碳排放强度和粮食主产区农地碳排放强度将分别降低3.3%和2.2%；机械租赁服务每提高1%，粮食产销平衡区和小农户农地碳排放强度将分别降低3.7%和1.3%。这表明，农业社会化服务供给和农业生产特征的适配性是提升农业社会化服务碳减排效能的关键因素。

（4）农业规模经营在农业社会化服务降低农地碳排放强度中发挥部分中介作用，达到总效应的21.3%，验证了“服务整合土地-规模优化投入-农业减排增效”的碳减排路径。

（5）农业技术进步发挥双重门槛效应，低水平机械化阶段（≤1.929）因高耗能机械的普遍应用增加碳排放；中高机械化阶段（1.929~2.205）因绿色技术扩散显著降低碳排放；过度机械化阶段（≥2.205）因边际效益递减而削弱碳减排效应。这进一步揭示了技术进步和碳排放的非线性关系及阶段化调控重点。

基于上述结论，提出以下对策建议：

（1）构建多层次农业社会化服务体系，转变传统农业生产方式。因地制宜构建包括政府主导的公益性和准公益性服务体系、涉农企业主导的经营性服务体系、农民合作社主导的互助型服务体系、农村集体经济组织的服务体系以及服务专业户体系等在内的多层次服务体系。通过整合不同层次的服务主体，形成协同效应，转变传统农业生产方式，推动农业现代化发展。其中，政府主要通过政策引导与支持发挥引领作用，同时推进基础设施建设与技术推广培训等，为农业社会化服务发展提供基础和保障。市场的作用主要在于促进服务供给与创新、推动资源整合与协同等方面，提高服务质量和效率，降低服务成本。

（2）精准施策，强化农业社会化服务的差异化碳减排导向。各地区应优化农业社会化服务模式以精准匹配不同区域的资源禀赋与服务需求。具体而言，对于经济作物集中产区，相关政策应侧重于支持和优化雇工服务体系，加强资金补助和政策倾斜，以发挥其在精细化管理和精准投入方面的碳减排优势。在粮食产销平衡区及以小农户为主的区域，着力优化机械租赁服务的组织和供给体系，通过加强技术支撑和资金支持，如推广绿色农机应用、提供节能农机租赁补贴等，充分发挥机械租赁服务的碳减排效应。

（3）从农业社会化服务碳减排路径出发，农业规模经营和农业社会化服务的协同发展对农村生态环境保护和农业集约节约发展具有长远影响。相关部门要进一步强化农业社会化服务作为整合碎片化土地、推动农业适度规模经营的关键抓手，一方面要完善土地流转市场，促进农户与服务组织签订长期托管协议，实现规模经营有序发展；另一方面，完善绿色农机购置补贴，降低规模主体技术采纳成本；推动建立完善的农业社会化服务平台，整合技术服务需求和供给，实现供需精准匹配。

（4）合理促进农业机械化发展。我国农业机械化整体还处于较低水平，具有很大的发展潜力，机械化发展初期可能会增加碳排放，需要充分考虑发展农业机械化的长远效应，积极推进农业机械化由粗放型发展向集约型发展和精细化方向转变。一是要加快推动低碳型农机研发与应用，持续优化农机技术结构，淘汰高排放旧式机械设备，降低单位作业能耗，减少碳排放；二是要加快农机技术和信息化系统的结合，加强数字技术赋能，优化农机作业路径，减少农机空转和冗余作业，提高单位能源和农资的利用效率；三是要结合不同区域特征实现适地化农机推广，在东北平原等规模化粮食产区大力推广大型复合智能机械，在南方丘陵地区推广中小型电力农机，强化区域农业机械增产减碳作用。

参考文献：

[1] 宋常迎，郑少锋，于重阳．中国农业碳排放调控的实践困境与政策创新[J]．经济体制改革，2023（2）：95-102. SONG C Y, ZHENG S F, YU C Y. Practical dilemma and policy innovation on the China's agricultural carbon emission regulation and control[J]. *Reform of Economic System*, 2023（2）：95-102.

[2] 李波，刘雪琪，王昆．中国农地利用结构变化的碳效应及时空演进趋势研究[J]．中国土地科学，2018，32（3）：43-51. LI B, LIU X Q, WANG K. Study on carbon effects and spatial-temporal evolution trend based on the changes of agricultural land use in China[J]. *China Land Science*, 2018, 32（3）：43-51.

[3] SU B, ANG B W, LI Y Z. Input-output and structural decomposition analysis of Singapore's carbon emissions[J]. *Energy Policy*, 2017, 105：

484-492.
[4] 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.
[5] 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 Y, CAI Y R, ZHANG H J. 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.
[6] 李俏，王建华. 现代化进程中的"农业社会化"：概念、类型与主体辨析[J]. 安徽大学学报(哲学社会科学版), 2013, 37(3): 122-128. LI Q, WANG J H. "Agricultural socialization" in modernization: concepts, categories and subject analysis[J]. *Journal of Anhui University (Philosophy and Social Sciences)*, 2013, 37(3): 122-128.
[7] 孙中义，王力，李兴锋. 人口老龄化、农业社会化服务与农业高质量发展[J]. 贵州财经大学学报, 2022(3): 37-47. SUN Z Y, WANG L, LI X F. Population aging, socialized agricultural services and agricultural high quality development[J]. *Journal of Guizhou University of Finance and Economics*, 2022(3): 37-47.
[8] 曾妍雯，田云，郑家喜. 农业生产性服务对农业碳排放效率的影响：基于中介效应和门槛效应的检验[J/OL]. 中国农业资源与区划, 2024: 1-16. (2024-11-28). https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3513.S.20241128.1105.010.html. ZENG Y W, TIAN Y, ZHENG J X. The impact of agricultural productive services on agricultural carbon emission efficiency: an empirical analysis of mediating and threshold effects[J/OL]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2024: 1-16. (2024-11-28). https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3513.S.20241128.1105.010.html.
[9] 陈凯，刘煜寒. 中外农业生产服务业发展状况的比较分析：基于投入产出表的实证研究[J]. 经济问题, 2014(5): 92-97. CHEN K, LIU Y H. A comparative analysis on the development status of producer services of agriculture between China and 7 toreign countries: empirical analysis based on input-output tables[J]. *On Economic Problems*, 2014(5): 92-97.
[10] 张甜，张艳荣. 粮食主产区农业社会化服务对农业碳排放强度的影响及空间溢出效应[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2024, 32(12): 2008-2021. ZHANG T, ZHANG Y R. Impact of agricultural social service on the intensity of agricultural carbon emissions in major grain-producing areas and its spatial spillover effect[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2024, 32(12): 2008-2021.
[11] 朱美荣，王淦秋，向文凯，等. 农业社会化服务对农业碳排放的影响及其空间特征[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2024, 32(8): 1288-1301. ZHU M R, WANG G Q, XIANG W K, et al. Effects and its spatial characteristics of socialized agriculture services on agricultural carbon emissions[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2024, 32(8): 1288-1301.
[12] 周发明，唐望，彭柳林. 农业社会化服务试点政策的碳减排效果评估：来自准自然实验的证据[J]. 长江流域资源与环境, 2024, 33(9): 1918-1928. ZHOU F M, TANG W, PENG L L. Evaluation of carbon reduction effectiveness of pilot policies for agricultural socialization services: evidence from quasi natural experiments[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2024, 33(9): 1918-1928.
[13] 蔡祖梅，黄森慰，李学渊，等. 农业机械化水平对农业碳排放强度的空间溢出效应和门槛效应分析[J]. 福建农林大学学报(哲学社会科学版), 2023, 26(5): 21-29. CAI Z M, HUANG S W, LI X Y, et al. Analysis of spatial spillover effects and threshold effects of agricultural mechanization level on agricultural carbon emission intensity[J]. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Philosophy and Social Sciences)*, 2023, 26(5): 21-29.
[14] 陈翔宇，李燕凌. 小农户农业社会化服务需求研究：基于湖南省衡阳县的典型调研[J]. 农村经济, 2021(2): 137-144. CHEN X Y, LI Y L. Study on the demand of small farmers' agricultural socialization service: based on the typical investigation in Hengyang County, Hunan Province[J]. *Rural Economy*, 2021(2): 137-144.
[15] 姜长云. 关于发展农业生产性服务业的思考[J]. 农业经济问题, 2016, 37(5): 8-15. JIANG C Y. Thoughts on developing agricultural productive service industry[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2016, 37(5): 8-15.
[16] 姚佳妤，刘蕾，范晓鑫，等. 技术认知与推广对农户低碳农业技术采纳行为的影响研究[J]. 干旱区资源与环境, 2023, 37(12): 21-30. YAO J Y, LIU L, FAN X X, et al. Influence of technological cognition and promotion on farmers' adoption of low-carbon agricultural techniques[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2023, 37(12): 21-30.
[17] 童伟伟，李玉霖，张董敏. 农业服务化能降低中国农业碳排放强度吗?[J/OL]. 中国农业资源与区划, 2023: 1-13. (2023-08-04). https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3513.S.20230803.1339.002.html. TONG W W, LI Y L, ZHANG D M. Can servitization of agriculture reduce China's agricultural carbon emissions intensity?[J/OL]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2023: 1-13. (2023-08-04). https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3513.S.20230803.1339.002.html.
[18] 孔祥智，李愿. 新型农业经营体系建设：实践成效、现实问题与政策取向[J]. 华南师范大学学报(社会科学版), 2024(4): 5-16. KONG X Z, LI Y. Construction of new agricultural management system: effectiveness in practice, practical problems and policy orientation[J]. *Journal of South China Normal University (Social Science Edition)*, 2024(4): 5-16.
[19] 颜华，齐悦，张梅. 农业生产性服务促进粮食绿色生产的效应及作用机制研究[J]. 中国农业资源与区划, 2023, 44(2): 54-67. YAN H, QI Y, ZHANG M. Research on the effect and mechanism of agricultural producer services promoting green grain production[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2023, 44(2): 54-67.
[20] 杨青，贾杰斐，刘进，等. 农机购置补贴何以影响粮食综合生产能力?：基于农机社会化服务的视角[J]. 管理世界, 2023, 39(12): 106-123. YANG Q, JIA J F, LIU J, et al. How does the subsidy to the purchase of agricultural machinery and tools affect the overall grain production capacity? Based on the perspective of socialization

services of agricultural machinery[J]. *Journal of Management World*, 2023, 39(12):106-123.

[21] 陈昭玖, 胡雯. 农业规模经营的要素匹配:雇工经营抑或服务外包:基于赣粤两省农户问卷的实证分析[J]. 学术研究, 2016(8):93-100. CHEN Z J, HU W. The matching elements in agricultural-scale management: a study based on empirical analysis of peasant household questionnaire in Jiangxi and Guangdong[J]. *Academic Research*, 2016(8):93-100.

[22] 杨子, 饶芳萍, 诸培新. 农业社会化服务对土地规模经营的影响:基于农户土地转入视角的实证分析[J]. 中国农村经济, 2019(3):82-95. YANG Z, RAO F P, ZHU P X. The impact of specialized agricultural services on land scale management: an empirical analysis from the perspective of farmers′ land transfer-in[J]. *Chinese Rural Economy*, 2019(3):82-95.

[23] 罗明忠, 魏滨辉. 农业生产性服务的碳减排作用:效应与机制[J]. 经济经纬, 2023, 40(4):58-68. LUO M Z, WEI B H. The role of productive agricultural services in carbon reduction: effects and mechanisms[J]. *Economic Survey*, 2023, 40(4):58-68.

[24] HAYAMI Y, RUTTAN V M. Agricultural development: an international perspective[M]. Baltimore: John Hopkins University Press, 1985:187-205.

[25] 田云, 夏锐. 农业社会化服务高质量发展的现实基础与政策路径[J]. 农业经济与管理, 2024(6):37-47. TIAN Y, XIA R. Realistic foundation and policy path for high-quality development of agricultural socialization services[J]. *Agricultural Economics and Management*, 2024(6):37-47.

[26] 王翌秋, 徐丽, 曹蕾. "双碳"目标下农业机械化与农业绿色发展:基于绿色全要素生产率的视角[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2023(6):56-69. WANG Y Q, XU L, CAO L. Agricultural mechanization and agricultural green development under the "dual carbon" goal: a perspective based on green total factor productivity[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University* (*Social Sciences Edition*), 2023(6):56-69.

[27] 曾琳琳, 李晓云, 张安录, 等. 高标准农田建设政策对化肥减量的影响[J]. 农业工程学报, 2022, 38(20):229-238. ZENG L L, LI X Y, ZHANG A L, et al. Effect of high-standard farmland construction policy on chemical fertilizer reduction[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2022, 38(20):229-238.

[28] 程永生, 张德元, 汪侠. 农业社会化服务何以推动绿色发展?:基于农户要素禀赋的调节作用[J/OL]. 中国农业资源与区划, 2023:1-14. (2023-08-10). https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3513.S.20230810.1126.002.html. CHENG Y S, ZHANG D Y, WANG X. How can agricultural socialized services promote green development: the moderating role of factor endowments based on farm households[J/OL]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2023:1-14. (2023-08-10). https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3513.S.20230810.1126.002.html.

[29] 程永生, 张德元, 汪侠. 农业社会化服务的绿色发展效应:基于农户视角[J]. 资源科学, 2022, 44(9):1848-1864. CHENG Y S, ZHANG D Y, WANG X. Green development effect of agricultural socialized services: an analysis based on farming households′ perspective[J]. *Resources Science*, 2022, 44(9):1848-1864.

[30] 李佳佳, 王鹏鑫, 张瑞. 中国设施农业的减碳增汇效应分析:基于1 828个县域面板数据的实证研究[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2024, 32(8):1275-1287. LI J J, WANG P X, ZHANG R. Effects of protected agriculture on carbon reduction and carbon sink increase in China: an empirical study based on 1 828 county panel data[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2024, 32(8):1275-1287.

[31] 张红凤, 丁相江, 于法稳, 等. 农业产业集聚对农业碳排放的影响:基于环境规制的调节效应研究[J]. 生态经济, 2024, 40(3):112-120. ZHANG H F, DING X J, YU F W, et al. The impact of agricultural industry agglomeration on agricultural carbon emissions: research on the moderating effect based on environmental regulation[J]. *Ecological Economy*, 2024, 40(3):112-120.

[32] 周娟. 土地流转背景下农业社会化服务体系的重构与小农的困境[J]. 南京农业大学学报(社会科学版), 2017, 17(6):141-151. ZHOU J. The dual division of agricultural socialization service and its consequences under the background of land circulation[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University* (*Social Sciences Edition*), 2017, 17(6):141-151.

[33] 温忠麟, 叶宝娟. 中介效应分析:方法和模型发展[J]. 心理科学进展, 2014, 22(5):731-745. WEN Z L, YE B J. Analyses of mediating effects: the development of methods and models[J]. *Advances in Psychological Science*, 2014, 22(5):731-745.

[34] HANSEN B E. Threshold effects in non-dynamic panels: estimation, testing, and inference[J]. *Journal of Econometrics*, 1999, 93(2):345-368.

[35] 刘进, 贾杰斐, 许庆. 农机购置补贴如何影响小农户农机社会化服务获得:基于全国农村固定观察点数据的分析[J]. 中国农村经济, 2023(2):85-108. LIU J, JIA J F, XU Q. How does agricultural machinery purchase subsidies affect the acquisition of mechanization services for smallholders: an analysis based on the data of the national fixed observation points of the ministry of agriculture and rural affairs in China[J]. *Chinese Rural Economy*, 2023(2):85-108.