

环境规制、社会资本对农户低碳农业技术采纳行为的影响

任重¹, 郭焱²

(1. 山东师范大学商学院, 济南 250358; 2. 中国农业大学经济管理学院, 北京 100083)

摘要: 促进农户采纳低碳农业技术是应对气候变化和实现“双碳”目标的重要路径。但目前从环境规制和社会资本视角探讨农户低碳农业技术采纳行为的研究还比较缺乏。基于山东省569份农户调研数据,运用有序Probit模型分析了环境规制、社会资本对农户低碳农业技术采纳行为的影响,并揭示了不同代际农户低碳农业技术采纳行为的差异。结果发现:(1)环境规制和社会资本均对农户低碳农业技术采纳行为有显著的正向影响。其中,激励型规制和脱嵌型社会资本的影响更加显著。(2)社会资本在环境规制对农户低碳农业技术采纳行为的影响中发挥增强性调节作用。(3)约束型规制和激励型规制对老一代影响更大,引导型规制对新一代影响更大。脱嵌型社会资本对新一代影响更大,嵌入型社会资本对中生代影响更大。因此,应强化环境规制体系的建设和完善,加大社会资本培育力度,针对农户代际差异实施差异化政策。

关键词: 环境规制;社会资本;低碳农业技术采纳行为;代际差异;有序Probit模型

碳排放导致的气候变化给人类生存和发展带来了诸多风险,已成为全球共同面临的挑战^[1]。作为当今世界最大的碳排放国,中国以高度的责任感,主动承担碳减排国际义务,并向世界承诺实现2030年“碳达峰”和2060年“碳中和”的目标。尽管第二产业是碳减排的重点,但也不能忽视农业领域在碳排放中的体量和影响。相关研究表明,农业生产中的碳排放约占全球碳排放总量的13%,中国农业生产的碳排放约占全国碳排放总量的17%^[2]。因此,推动发展低碳农业是实现“双碳”目标的重要抓手。低碳农业的发展依托于低碳农业技术的广泛应用^[3]。低碳农业技术可以减少农业碳排放、提高土壤保水能力、改善空气质量,被认为是农业减排固碳的有效方法^[4]。在中国“大国小农”的基本国情下,农户作为低碳农业技术的采纳主体,其低碳农业技术采纳行为决定了低碳农业技术的推广成效。

低碳农业技术的外部性属性使得农户低碳农业技术采纳行为无法完全脱离环境规制的情境。为此,中国政府先后实施了一系列环境规制以促进低碳农业技术的推广和应用。例如,2018年颁布的《中华人民共和国土壤污染防治法》明确提出,由地方人民政府农业农村主管部门对未按照规定及时回收肥料等农业投入品的包装废弃物或者农用薄膜的行为处以罚款。2021年农业农村部、财政部印发的《2021—2023年农机购置补贴实施指导意见》强调,重点补贴支持免耕播种、高效施肥、残膜回收等农业绿色低碳转型的机具。2022年农业农村部、国家发展改革委员会印发的《农业农村减排固碳实施方案

收稿日期: 2023-03-20; 修订日期: 2023-08-02

基金项目: 国家社会科学基金项目 (22&ZD087)

作者简介: 任重 (1989-), 男, 山东烟台人, 博士, 讲师, 硕士生导师, 研究方向为农业经济学、资源与环境经济。

E-mail: 254158775@qq.com

案》强调,各级人民政府应充分利用各类传统媒体和新媒体,宣传和引导保护性耕作、有机肥使用等绿色低碳农业技术的应用。在各项环境规制的激励下,低碳农业技术的推广取得了一定成效。根据《中国农业绿色发展报告2021》显示,2020年全国化肥使用量较2015年减少约12%,地膜回收率增长约20%,秸秆还田覆盖率增长约8%。然而,由于中国环境规制政策体系的建设和发展尚不完善,加之各村庄分散性和异质性的特征,环境规制的完全实施和落地有一定困难,实施效果与预期目标还存在一定差距^[5]。

新制度经济学理论认为,具有传染延续性特点的非正式制度,对个体的约束作用可能比正式制度更加明显^[6]。中国农村是一个以血缘、亲缘和地缘为基础的“关系型”社会,作为非正式制度代表的社会资本,不仅是环境规制等正式制度的重要补充,也是其有效执行的基石。一方面,社会资本在信息获取、技术交流和帮扶支持等方面具有重要作用,能够有效弥补政府在技术推广中的不足,降低农户学习和使用技术的交易成本,从而改变其在新技术采纳和不采纳之间的边界^[7,8]。另一方面,环境规制的落实与执行总是嵌入在一定的社会环境中,社会资本必然对其执行效率产生重要影响^[9]。然而,受自然生态和历史文化等因素的影响,不同地区农村内部的社会资本存在差异^[10],进而导致环境规制对农户低碳农业技术采纳行为的影响也存在差异。

基于此,本文利用山东省粮食种植户调查数据,运用有序Probit模型分析环境规制和社会资本对农户低碳农业技术采纳行为的影响,并进一步考察社会资本在环境规制对农户低碳农业技术采纳行为影响中的调节作用,以期丰富和深化相关研究,为构建环境规制与社会资本相互支撑、相互融合的协同治理体系提供实证依据。

1 文献综述

围绕环境规制、社会资本对农户低碳农业技术采纳行为的影响,学术界进行了诸多探讨。在环境规制方面,有学者认为环境规制主要通过影响生产成本对农户低碳农业技术采纳行为产生影响。如Huang等^[11]发现政府补贴可以降低农户采纳秸秆还田所造成的小麦收割成本和后茬作物生产成本的增加,进而提升其采纳意愿;王太祥等^[12]指出约束型规制通过经济惩罚,变相增加了农户不回收地膜的行为成本,从而使其倾向于回收地膜。也有学者认为环境规制可以通过改变心理认知对农户低碳农业技术采纳行为产生影响。如Harpe等^[13]认为政府宣传可以提高农户耕地保护意识,使他们自愿实施耕地保护技术;于艳丽等^[14]研究发现政府组织的绿色防控技术培训能显著提升农户绿色生产知识素养,从而减少其过量施药行为。此外,还有学者关注环境规制的调节效应。如王建华等^[15]发现约束型规制、激励型规制可以分别显著调节产出市场化、生产服务市场化对农户畜禽养殖废弃物资源化利用行为的影响。

在社会资本方面,有学者认为社会资本通过增强农户认知水平进而提高低碳农业技术采纳概率。如刘丽等^[16]研究发现社会资本提高了农户技术便利性认知、效果认知和风险认知,从而促进其采纳保护性耕作技术;赵佩佩等^[17]发现社会网络关系嵌入通过强化农户技术认知广度和深度进而提高其绿色防控技术采纳率。也有学者认为社会资本可以通过改善人际环境进而影响农户低碳农业技术采纳行为。如Tran-nam等^[18]指出良好的社会规范有助于农户学习周边农户有机耕作,并对农户生产行为产生约束;赵连杰等^[19]发现良好的社会信任有利于增强乡邻包容性,增进彼此的互惠合作,促进农户低碳生产行

为的一致性。此外,还有学者关注社会资本的交互效应。如任重等^[20]发现价值感知和社会资本在影响农户秸秆还田技术采纳行为的路径中存在显著交互效应。

与此同时,学者们对影响农户低碳农业技术采纳行为的其他因素进行了大量探讨。在个体特征层面,农户性别、年龄、文化程度、健康情况会对低碳农业技术采纳行为有重要影响^[2,3]。在家庭特征层面,家庭收入、劳动力数量、经营规模、农业收入占比等均影响低碳农业技术采纳^[7,21]。在心理认知层面,随着农户政策认知、技术认知、价值感知等程度的深入,低碳农业技术的采纳率越高^[7,14]。在外部环境层面,气象灾害、市场风险、互联网使用等对农户低碳农业技术采纳行为的影响近年来受到越来越多的关注^[8,22]。

上述研究为本文奠定了良好的基础,但仍存在进一步拓展的空间:(1)以往研究多聚焦于环境规制或社会资本对农户低碳农业技术采纳行为的影响,忽略了社会资本在环境规制对农户低碳农业技术采纳行为影响中的调节作用。(2)随着城镇化、信息化和农业现代化的发展,农村社会结构的变迁促使农户社会资本出现分化,传统社会资本逐渐萎缩,新型社会资本逐渐扩张^[23],两类社会资本对农户低碳农业技术采纳行为影响的异质性尚未引起重视。(3)在城镇化背景下,农户代际分化程度正不断加深,不同代际农户的生产决策可能有所不同,而关于农户低碳农业技术采纳行为代际差异的文献则较为匮乏。

2 理论基础与研究假设

2.1 环境规制对农户低碳农业技术采纳行为的影响

环境规制是政府为治理环境污染的负外部性而制定的一系列调节个体行为活动的政策和措施^[6]。外部性理论是环境规制影响农户低碳农业技术采纳行为的主要理论基础。农村生态环境是一种典型的公共物品,采纳低碳农业技术具有明显的环境外部性特征。农户在进行低碳农业技术采纳决策时,会面临个体边际收益和社会边际收益失衡的情况。外部性的内在化包括政府干预和市场机制两种途径。由于农村生态环境缺乏明确的产权界定,致使市场机制的调节难以实现资源的最优配置。因此,依靠政府实施环境规制使得农户个体边际收益和社会边际收益趋于平衡是促使农户采纳低碳农业技术的主要途径。

研究发现,依据规制措施性质,环境规制可分为约束型、激励型和引导型三类。具体而言:(1)约束型规制是指政府为约束农户环境污染行为而施行的监管、处罚等措施。低碳农业技术采纳行为大多属于农户的自觉行为,一般情况下,农户未采纳低碳农业技术并不会违反相关法律法规。但如果农户未采纳低碳农业技术,其可能存在的不良生产行为会污染环境。环境执法人员通过巡逻、抽查等方式对农户生产行为进行动态监管,对农户随意丢弃地膜、露天焚烧秸秆等行为进行罚款,对化肥使用不当等行为进行通报批评。农户在损失厌恶和心理压力的驱动下会顺应规制目标^[24],提高采纳低碳农业技术的积极性。(2)激励型规制是指政府为激励农户采纳低碳农业技术而施行的一系列经济补偿。农户作为理性“经济人”,是否采用低碳农业技术是权衡采用新技术的成本和预期收益后做出的决策^[25]。保护性耕作、地膜回收等低碳农业技术大都需要通过购买农机具来实现,政府发放的农机购置补贴会降低农户的作业成本,有机肥补贴、地膜回收补贴则能增加农户的预期收益,进而提高采纳低碳农业技术的概率。(3)引导型规制是指政府为引导农户采纳低碳农业技术而施行的宣传、示范和培训等措施。引导型规制可

以加快低碳农业技术相关信息的传播,从源头上提高农户对低碳农业技术的认知,加深对农业低碳生产的全面理解^[26],从而提高采纳低碳农业技术的可能性。基于此,提出如下假设:

H₁: 环境规制对农户低碳农业技术采纳行为有显著的正向影响。

2.2 社会资本对农户低碳农业技术采纳行为的影响

对于社会资本的概念主要围绕以下两种观点展开:一种是侧重微观层次的基于Bourdieu^[27]的观点(个人资本和社会网络的结合);另一种是侧重中观或宏观层次的基于Coleman^[28]的定义(个人拥有的社会结构)和Krom^[29]的观点(社会组织特性:信任、网络和规范)。本文在借鉴已有研究的基础上,将社会资本定义为以社会网络为基础,以基于社会网络衍生出的信任和规范为特征的社会资源。

中国传统农村是典型的“熟人”社会。农户社会资本是基于亲缘、血缘和地缘而形成同质性社会资源,具有明显的“嵌入性”^[7]。嵌入型社会资本是农户社会资本的原始状态,但人地关系的改变、信息科技的发展与农村人口的流动促使农户的社会关系逐渐脱离了本地的互动环境,并且随着时间的推移,在不同的空间中被重构,农户社会交往的方式和范围变得越来越“脱嵌”^[23]。社会关系的脱嵌属性削弱了嵌入型社会资本在农村中的传统作用,脱嵌型社会资本成为农村社会资本的主要形态^[30]。所谓脱嵌型社会资本是指以新的职业关系和广阔的交流空间为基础、以间接交流方式为主的异质性社会资源^[23]。因此,脱嵌型社会资本包括业缘关系、空间流动和职业转换三个方面。其中,与基于亲缘、血缘和地缘的社会信任相比,建立在业缘关系上的社会信任提高了理性化倾向;农户流动性的增强弱化了空间束缚,拓宽了农户社会网络广度;农户职业从纯农型向非农化的转换,促进了市场规范向伦理规范的渗透。可见,从嵌入型社会资本到脱嵌型社会资本,体现出中国农村社会正从“熟人社会”向“契约社会”转变,从“差序格局”向“理性倾向”迈进。

研究发现,社会资本可以通过三种机制影响农户的低碳农业技术采纳行为:(1)信息获取机制。农户之间的社会互动依托于社会资本而变得更加频繁,从而加快了信息传递速度,降低了信息搜寻成本^[31]。因此,借助社会资本,农户可以获取更多关于低碳农业技术的信息,减少信息不对称,提高采纳低碳农业技术的可能性。(2)技术交流机制。社会资本的增加能有效促进农户之间的技术交流,不仅帮助他们在低碳农业技术采纳过程中获得及时有效的技术援助,而且对其积累技术知识、实现“做中学”有重要影响^[8]。(3)帮扶支持机制。低碳农业技术采纳行为与资金、劳动力等生产要素密切相关,高水平的社会资本可以使农户从社会关系中获得更多的信贷、帮工等支持,缓解采纳低碳农业技术时可能面临的困难,从而促进低碳农业技术的采纳^[10]。从不同形态的社会资本的作用来看,脱嵌型社会资本通过提供更广泛的社会网络和更理性的社会信任,使农户能够更快速、更准确地获取信息,更高效地交流技术和更便捷地融资。与之相比,嵌入型社会资本资源重复、含金量低,且在农村“空心化”和农户“候鸟式”流动的趋势下,农村内部的人情往来逐渐减少,留守农户的能力、资源等方面存有不足,学习互动机制难以常态化发挥作用^[32],从而弱化了嵌入型社会资本对农户低碳农业技术采纳行为的影响。基于此,提出如下假设:

H₂: 社会资本对农户低碳农业技术采纳行为有显著的正向影响,脱嵌型社会资本的影响更大。

2.3 社会资本在环境规制对农户低碳农业技术采纳行为影响中的调节作用

理论上,环境规制对低碳农业技术采纳行为的影响会因农户社会资本的不同而有所差异。一方面,社会资本对环境规制的执行效率可能存在积极作用。拥有较高社会资本存量的农户能够更多、更快、更准确地获得关于低碳农业技术培训、补贴和监管等方面的政策信息,这有利于加深农户对环境规制的认知度和理解度,改变其对采纳低碳农业技术收益和成本的预期,提高采纳低碳农业技术的可能性^[33]。同时,高存量的社会资本能够增进农户彼此之间的互惠和信任,抑制农户在农业生产中的“搭便车”行为,利于内部监督其他农户的生产行为,营造低碳生产风气,降低环境规制的执行成本^[34]。另一方面,社会资本对环境规制的执行效率可能存在消极作用。如果依靠家族宗族来维持的社会资本整合度较高,过度团结凝聚、封闭,在为同质成员带来强大利益的同时,也排斥了圈外人和“不利于社会公众的共谋”^[9]。尤其是当环境规制与农户利益、传统观念不一致时,社会资本会软化环境规制的刚性,削弱理性权威力量的地位,进而提高环境规制的执行成本。基于此,提出如下假设:

H₃: 社会资本能够增强环境规制对农户低碳农业技术采纳行为的影响。

H₄: 社会资本能够弱化环境规制对农户低碳农业技术采纳行为的影响。

2.4 环境规制和社会资本对农户低碳农业技术采纳行为的代际差异

代际差异理论认为出生在不同时代、成长在不同背景下的群体,在价值观念、资源禀赋和行为倾向上均存在一定差异^[35]。而同一世代的群体经历了相似的社会环境和历史进程,对同一事物的思维模式和行为方式趋于相同。随着中国城镇化的推进,大量青壮年农户进城务工,农村务农老龄化已成为普遍现象。年龄较大的农户文化程度和技能水平有限,价值取向更为保守,生产行为更为固化,而年龄较小的农户文化程度普遍更高,对新事物接受能力更强。因此,对于不同代际的农户,环境规制和社会资本对其低碳农业技术采纳行为的影响可能存在显著差异。本文参照通行的代际划分方法^[35],并结合世界卫生组织对年龄的分段标准,将1980年及以后出生的农户定义为新一代组,1965—1979年间出生的定义为中生代组,1965年之前出生的定义为老一代组。基于此,提出如下假设:

H₅: 环境规制和社会资本对不同代际农户低碳农业技术采纳行为的影响存在显著差异。

综上分析,构建环境规制、社会资本对农户低碳农业技术采纳行为影响的理论模型(图1)。

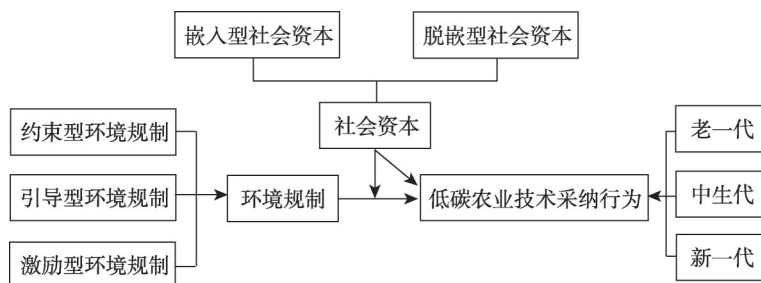


图1 理论模型

Fig. 1 Theoretical model

3 研究方法与数据来源

3.1 数据来源与样本特征

本文所用数据来源于对山东省粮食种植户开展的微观调查。选取山东省作为样本区域是因为：(1) 山东省是中国的农业大省，粮食产量常年位居全国前列，但同时也面临着严重的农村生态环境污染问题；(2) 山东省是中国绿色低碳高质量发展先行区，环境规制较为丰富；(3) 山东省是中国儒家思想发源地，“关系文化”浓厚，社会资本的作用更加显著。调研共分为两个阶段：第一阶段于2022年8月在济南市开展预调研，随机抽取20个农户进行访谈，并根据访谈情况进一步完善问卷设计。第二阶段于2022年9-10月采用随机抽样和分层抽样相结合的方法开展正式调研。首先选取国家低碳试点城市（济南、青岛、烟台、潍坊）作为调研地点；然后结合国家现代农业示范区、山东省农业绿色发展先行区和绿色种养循环农业试点县的划定，从每个市抽取3个县，再根据经济发展水平、交通便捷程度等因素从每个县随机抽选2~3个乡镇；最后从每个乡镇随机抽取20个农户进行问卷调查。采用面对面访谈的方式深入了解调查农户及其家庭情况、环境规制情况、社会资本情况和低碳农业技术采纳情况等内容。共计发放问卷600份，剔除无效问卷后，得到有效问卷569份，有效率94.83%。

样本农户中，性别以男性为主，占比92.67%；年龄普遍偏大，50岁及以上农户占比62.44%，平均年龄为51岁；文化学历整体偏低，初中及以下学历占比71.29%；家庭劳动力数量大多为2人，占比74.36%；种植规模以小户为主，77.02%的农户种植规模在10亩以下，平均种植规模8.42亩；种植年限普遍较长，平均种植年限22年；家庭年收入大多在5万元以下，占比68.35%，农业收入占家庭年收入比例一半以上的农户占83.44%。以上特征与《山东省统计年鉴2022》数据相一致，表明本文研究样本基本符合山东省农村现实情况，具有较好的代表性。

3.2 变量定义

(1) 被解释变量。本文被解释变量是农户低碳农业技术采纳行为。低碳农业技术是一系列旨在降低碳排放量或增加碳吸收量的农业技术^[36]。本文在构建低碳农业技术代理变量时，一方面考虑低碳农业的减排和固碳双重作用，另一方面关注农业生产各个环节的碳效应，以提高指标的全面性和代表性。在山东省农业碳排放结构中，化肥和地膜分别为第一和第二大碳源^[37]。而有机肥替代化肥、地膜回收利用等技术则可以大幅度减少甲烷和一氧化二氮等温室气体的排放量^[21]。此外，相较于常规耕作方式，少耕、免耕、秸秆还田等保护性耕作可以增强土壤表层的固碳能力^[38]。因此，依次选取产前环节的保护性耕作技术、产中环节的有机肥替代化肥技术以及产后环节的地膜回收利用技术作为低碳农业技术的表征。由于农户在实际生产中可能会同时采纳多种低碳农业技术，因此以农户采纳上述三种低碳农业技术的数量作为衡量农户低碳农业技术采纳行为的指标，0表示未采纳，1~3分别表示“采纳1~3种技术”。样本中，保护性耕作、有机肥替代化肥、地膜回收利用的政府推广度分别为91.92%、72.93%、84.89%，对应的农户采纳比例分别为72.06%、43.76%、64.68%。可见保护性耕作的推广和采纳情况最好，其次为地膜回收利用和有机肥替代化肥（表1）。

(2) 核心解释变量。本文的核心解释变量有两个，分别是环境规制和社会资本，其测定方法如下：对于环境规制，首先，农户在技术采纳过程中是否积极响应政府的环境

表1 低碳农业技术政府推广与农户采纳情况

Table 1 Government promotion and farmers' adoption of low-carbon agricultural technology

低碳农业技术	存在政府推广的样本量/份	推广比例/%	采纳该技术的样本量/份	采纳比例/%
保护性耕作	523	91.92	410	72.06
有机肥替代化肥	415	72.93	249	43.76
地膜回收利用	483	84.89	368	64.68

规制, 不仅取决于政府的干预, 还取决于农户的价值判断和目标取向, 因而从政府行为的客观角度测量难以真实地反映农户采纳行为与环境规制之间的关系。相对而言, 从农户感知的主观角度能够更加科学地反映环境规制对农户自身和环境的影响。农户可以结合环境规制的相关信息和自身的农业生产经验, 在政策反应方面形成不同的态度, 进而形成差异化的采纳行为。因此, 本文从农户感知角度设计环境规制测量题项。其次, 从约束型规制、引导型规制与激励型规制三个维度进行考察。其中, 约束型规制包括对随意丢弃地膜或露天焚烧秸秆行为进行罚款、对化肥使用不当行为进行通报批评等, 用“政府对农业环境污染行为的监管和惩罚力度”来衡量^[24]。引导型规制包括开展农村环境保护宣传教育活动、举办低碳农业技术示范和培训项目等, 用“低碳农业技术相关宣传的影响度”来衡量^[6]。激励型规制包括相关农机具购置补贴、有机肥补贴或物化补助、地膜回收补贴等, 用“采纳低碳农业技术所获奖励的满意度”来衡量^[15]。所有变量均用李克特五级量表测量。

对于社会资本, 从嵌入型社会资本和脱嵌型社会资本两个维度进行考察。其中, 嵌入型社会资本从社会资本的内涵出发, 考察社会信任、社会网络和社会规范三个方面。具体而言, 社会信任是网络成员在交往互动中产生的对他人的信任程度。“从熟悉中得到信任”是农户社会信任生成与演化的内在逻辑^[39]。借钱给身边的人能够真实地反映农户与亲戚、邻居或朋友的关系紧密与信任情况^[40], 他们更有可能在信任的基础上分享低碳农业技术信息, 所以用“过去三年有没有借钱给亲戚、邻居或朋友”来衡量。社会网络是个体因互动而形成的关系体系。社会网络规模越大, 个体获取社会资本的机会越多。与亲戚、邻居或朋友的日常互动是获取、传递和共享低碳农业技术信息的重要渠道^[7], 所以用“经常走动的亲戚、邻居或朋友数量”来衡量。社会规范是网络成员在交往互动中所形成的共同行为准则, 良好的社会规范能够有效促进集体行动, 所以用“村民对采纳低碳农业技术的态度”来衡量^[20]。脱嵌型社会资本, 借鉴相关研究的定义^[23], 考察业缘关系、空间流动和职业转换三个方面。具体而言, 对应社会信任转换, 业缘关系提高了农户社会信任的理性化倾向, 用“对其他粮食种植户的信任程度”来衡量^[40]; 对应社会网络转换, 空间流动拓宽了农户社会网络的广度, 用“是否在城市购房”来衡量^[41]; 对应社会规范转换, 职业转换有助于农户树立商业信用意识, 遵守隐性市场规范, 用“是否从事过非农工作”来衡量^[42]。社会网络变量用实际数值测量, 社会规范、业缘关系变量用李克特五级量表测量, 其余变量用二分类法测量(表2)。然后对所有指标进行标准化处理, 并运用熵权法计算各指标权重, 最后得出嵌入型社会资本和脱嵌型社会资本的综合指数。

(3) 控制变量。借鉴已有研究^[3,7,21], 本文从个体特征层面选取性别、年龄、文化程度、健康状况、政治身份, 家庭特征层面选取种植规模、劳动力数量、家庭年收入、是

表2 社会资本各维度测量结果

Table 2 Measurement results of various dimensions of social capital

变量	维度	定义与赋值	均值	标准差
嵌入型社会资本	社会信任	过去三年有没有借钱给亲戚、邻居或朋友：否=0；是=1	0.31	0.40
	社会网络	经常走动的亲戚、邻居或朋友数量/人	49.77	28.06
	社会规范	村民对采纳低碳农业技术的态度：非常不支持=1；不支持=2；一般=3；支持=4；非常支持=5	3.64	0.86
脱嵌型社会资本	业缘关系	对其他粮食种植户的信任程度：非常不信任=1；不信任=2；一般=3；信任=4；非常信任=5	3.14	1.12
	空间流动	是否在城市购房：否=0；是=1	0.23	0.45
	职业转换	是否从事过非农工作：否=0；是=1	0.54	0.42

否加入合作社，村庄特征层面选取与村委会距离、村庄区位、村庄地形，总计12个变量作为控制变量。

变量含义与赋值如表3所示。

表3 变量含义与赋值

Table 3 Variable meaning and assignment

变量	变量含义与赋值	均值	标准差
低碳农业技术采纳行为	农户采纳低碳农业技术的数量/种	1.43	0.97
约束型环境规制	政府对农业环境污染行为的监管和惩罚力度：非常不严格=1；不严格=2；一般=3；严格=4；非常严格=5	3.41	1.25
激励型环境规制	采纳低碳农业技术所获奖励的满意度：非常不满意=1；不满意=2；一般=3；满意=4；非常满意=5	3.22	1.19
引导型环境规制	低碳农业技术相关宣传的影响度：没影响=1；较小影响=2；一般=3；较大影响=4；非常大影响=5	3.05	1.29
嵌入型社会资本	社会信任、社会网络和社会规范的熵权法得分计算结果	0.39	0.36
脱嵌型社会资本	业缘关系、空间流动和职业转换的熵权法得分计算结果	0.47	0.48
性别	女=0；男=1	0.93	0.41
年龄	实际年龄/岁	51.21	10.77
文化程度	小学及以下=1；初中=2；高中=3；大专=4；本科及以上=5	2.01	0.92
政治身份	是否为党员或村干部：否=0；是=1	0.17	0.34
身体健康情况	很差=1；较差=2；一般=3；较好=4；很好=5	3.66	0.82
种植规模	2021年种植总面积/亩(1亩≈667 m ²)	8.42	9.86
劳动力数量	2021年家庭实际劳动力数量/人	2.33	1.17
家庭年收入	2021年家庭年收入/万元	6.23	4.07
与村委会距离	住处到村委会的距离/km	0.96	0.75
合作组织	是否加入合作社：否=0；是=1	0.58	0.47
村庄区位	是否为城镇近郊村：否=0；是=1	0.40	0.53
村庄地形	山地=1；丘陵=2；平原=3	2.02	0.74

3.3 模型构建

本文因变量为农户采纳低碳农业技术的数量，取值为0、1、2、3，呈现明显的递进关系。因此选择有序Probit模型，其表达式如下：

$$Y_i^* = \alpha_0 + \alpha_1 ER_i + \alpha_2 SC_i + \sum \alpha_i control_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

式中： Y_i^* 为不可观测变量； ER_i 为环境规制变量，包括约束型规制、激励型规制和引导型规制； SC_i 为社会资本变量，包括嵌入型社会资本和脱嵌型社会资本； $control_i$ 为控制变量，包括个体特征、家庭特征和村庄特征； α_0 、 α_1 、 α_2 、 α_i 为待估系数； ε_i 为服从标准正态分布的随机扰动项。可观测的低碳农业技术采纳数量 Y_i 和不可观测的潜变量 Y_i^* 之间存在以下关系：

$$Y_i = \begin{cases} 0, & Y_i^* \leq r_1 \\ 1, & r_1 < Y_i^* \leq r_2 \\ 2, & r_2 < Y_i^* \leq r_3 \\ 3, & Y_i^* > r_3 \end{cases} \quad (2)$$

式中： r_1 、 r_2 、 r_3 分别为 Y_i^* 位置切点，且 $r_1 < r_2 < r_3$ 。

为考察社会资本在环境规制对农户低碳农业技术采纳行为影响中的调节作用。本文借鉴相关研究结果^[43]，将环境规制和社会资本交互项引入模型进行调节效应检验，其表达式如下：

$$Y_i^* = \alpha_0 + \alpha_1 ER_i + \alpha_2 SC_i + \alpha_3 (ER_i \times SC_i) + \sum \alpha_i control_i + \varepsilon_i \quad (3)$$

4 结果分析

首先，为确保回归结果有效，采用方差膨胀因子法（VIF）对数据进行多重共线性检验。检验结果显示，最大VIF值为1.59，平均VIF值为1.07，都远小于10，不存在显著共线性。然后，将环境规制、社会资本逐步纳入模型，得到模型1、模型2。最后，将环境规制、社会资本同时纳入模型，得到模型3。由表4可以看出，三个模型均通过了1%的显著性检验，说明各模型的拟合优度较好。模型3的Pseudo R^2 为0.305，在三个模型中最高，解释力最强，因此，本文主要针对模型3的估计结果进行讨论。

4.1 基准回归结果分析

（1）环境规制的影响。约束型规制、激励型规制、引导型规制分别在5%、1%、5%的显著性水平上对农户低碳农业技术采纳行为有正向影响，边际效应分别为0.061、0.070、0.042（表4），说明环境规制越强，农户采纳低碳农业技术的概率越高，且不同规制对促进农户低碳农业技术采纳行为的作用机理和影响效果具有差异，研究假设1得到验证。约束型规制能够增加农户不采纳低碳农业技术所可能承担的潜在风险，激励型规制可以弥补农户采纳低碳农业技术产生的额外费用，引导型规制有助于加深农户对低碳农业技术采纳行为的理解。值得注意的是，相比约束型规制和引导型规制，激励型规制对促进农户低碳农业技术采纳行为的作用更大。这符合农户“理性人”的特征，即农户绿色可持续实践主要受利益最大化因素的影响。因此，未来促进农户持续采纳低碳农业技术可能更多地依赖于激励型规制。

（2）社会资本的影响。嵌入型社会资本、脱嵌型社会资本均在1%的显著性水平上对农户低碳农业技术采纳行为有正向影响，边际效应分别为0.047、0.053（表4），说明社会资本存量越高，农户采纳低碳农业技术的概率越高，且脱嵌型社会资本的影响更大，研究假设2得到验证。伴随农村社会结构的变迁，农户社会流动性显著提高，脱嵌型社

表4 基准回归结果

Table 4 Benchmark regression results

变量	模型1	模型2	模型3
约束型规制	0.069*** (0.011)	—	0.061** (0.009)
激励型规制	0.083*** (0.011)	—	0.070*** (0.012)
引导型规制	0.050*** (0.009)	—	0.042** (0.009)
嵌入型社会资本	—	0.054*** (0.010)	0.047*** (0.008)
脱嵌型社会资本	—	0.059*** (0.013)	0.053*** (0.014)
性别	0.003 (0.008)	0.004 (0.008)	0.004 (0.007)
年龄	-0.002 (0.002)	-0.002 (0.002)	-0.002 (0.002)
文化程度	0.043** (0.004)	0.044** (0.004)	0.043** (0.003)
政治身份	0.007 (0.009)	0.009 (0.009)	0.007 (0.010)
身体健康情况	0.001 (0.004)	0.001 (0.005)	0.001 (0.005)
种植规模	0.053 (0.048)	0.054 (0.048)	0.054 (0.046)
劳动力数量	0.017 (0.022)	0.016 (0.021)	0.017 (0.023)
家庭年收入	0.031* (0.005)	0.030* (0.005)	0.031* (0.006)
与村委会距离	-0.025** (0.006)	-0.025** (0.005)	-0.025** (0.005)
合作组织	0.037 (0.019)	0.037 (0.018)	0.037 (0.019)
村庄区位	0.010 (0.017)	0.009 (0.017)	0.010 (0.016)
村庄地形	0.011 (0.024)	0.011 (0.025)	0.012 (0.024)
村庄虚拟变量	已控制	已控制	已控制
Pseudo R ²	0.277	0.291	0.305

注：*、**、***分别代表在10%、5%、1%的水平上显著；模型结果为边际效应估计结果；括号内数值为稳健标准误。下同。

会资本逐渐成为农户社会资本的主要构成维度，而嵌入型社会资本则逐渐式微，但仍衰而未亡，故两种社会资本均对农户低碳农业技术采纳行为产生影响。同时，脱嵌型社会资本通过网络范围的扩大、交往工具的丰富和关系质量的提升，使其在促进农户低碳农业技术采纳行为中的作用比嵌入型社会资本更具有优势。因此，未来应更加注重脱嵌型社会资本的培育。

（3）控制变量的影响。文化程度在5%的显著性水平上对农户低碳农业技术采纳行为有正向影响（表4）。文化程度越高的农户更能意识到保护环境的重要性，对低碳农业技术的认知更全面，因此更有可能采纳。家庭年收入在10%的显著性水平上对农户低碳农业技术采纳行为有正向影响（表4）。家庭年收入越多的农户，越能够承担采纳低碳农业技术的经济成本，并拥有一定的抗风险能力，从而增加采纳的可能性。与村委会距离在5%的显著性水平上对农户低碳农业技术采纳行为有负向影响（表4）。与村委会距离越近的农户，与村委会交流更频繁，更容易获取低碳农业技术等相关信息，因而采纳的可能性更高。

4.2 内生性处理

值得注意的是，由于可能存在反向因果、选择性偏误和测量误差等问题，环境规制、社会资本与农户低碳农业技术采纳行为之间存在潜在的内生性问题，导致回归结果产生偏误。为缓解这一问题，本文运用熵权法计算环境规制、社会资本的综合指数，以

弱化单一维度的环境规制、社会资本指标可能存在的内生性问题。同时,本文还运用工具变量法进一步进行内生性检验。对于环境规制,选取“农户与乡镇农业部门距离”作为工具变量^[44]。一般说来,距离乡镇农业部门越近,农户对环境规制的感知频次和强度的可能性越大,即符合相关性原则。同时,农户与乡镇农业部门距离同低碳农业技术采纳行为没有直接联系,即属于外生变量。对于社会资本,选取“同一村域其他样本农户的平均社会资本水平”作为工具变量^[32]。原因在于,村域层面的农户整体社会资本水平必然与农户社会资本水平紧密相关,满足工具变量与原变量高度相关的要求。同时,同一村域其他农户的社会资本水平与农户的行为决策不直接相关,满足外生性要求。

表5报告了内生性检验结果。由第一阶段回归结果可知,工具变量均在1%的水平上与内生变量显著相关,且 F 统计量分别为15.38、16.49,均大于10,说明不存在弱工具变量问题。由第二阶段回归结果可知,无论环境规制还是社会资本,在控制了可能存在的内生性偏误之后,其依然对农户低碳农业技术采纳行为具有显著的正向影响。

表5 内生性检验结果
Table 5 Endogenous test results

变量	模型 4		模型 5	
	系数	标准误	系数	标准误
环境规制	0.572**	0.096	—	—
社会资本	—	—	0.474**	0.087
控制变量	已控制		已控制	
村庄虚拟变量	已控制		已控制	
Pseudo R^2	0.291		0.296	
一阶段回归				
环境规制工具变量	0.662***	0.122	—	—
社会资本工具变量	—	—	0.539***	0.149

4.3 调节效应分析

为验证社会资本在环境规制对农户低碳农业技术采纳行为影响中的调节作用,引入环境规制和社会资本交互项,检验结果如表6所示。由模型6、模型8、模型10的结果可知,嵌入型社会资本与约束型规制、激励型规制和引导型规制的交互项对农户低碳农业技术采纳行为均具有显著正向影响,表明嵌入型社会资本能够强化环境规制对农户低碳农业技术采纳行为的影响。由模型7、模型9、模型11的结果可知,脱嵌型社会资本与约束型规制、激励型规制和引导型规制的交互项对农户低碳农业技术采纳行为均具有显著正向影响,表明脱嵌型社会资本能够强化环境规制对农户低碳农业技术采纳行为的影响。以上结果证实不同维度的社会资本在环境规制影响农户低碳农业技术采纳行为中均具有增强性调节作用,研究假说3得到验证。另外,从嵌入型社会资本、脱嵌型社会资本与环境规制各维度交互项的边际效应来看,脱嵌型社会资本对同一维度环境规制的影响更大,表明脱嵌型社会资本的调节作用更强。近年来,中国政府出台了一系列环境规制以激励农户采纳低碳农业技术。社会资本的增加有助于农户获取更多的环境规制信息,提高农户对政府和政策的信任水平,尤其是脱嵌型社会资本拓宽了农户获取环境规制信息的渠道。农户通过与不同阶层的信息交流,加深了对环境规制的认知和理解,从而有助于环境规制更好地发挥作用。

表6 社会资本的调节效应检验结果

Table 6 Test results of regulatory effect

变量	模型6	模型7	模型8	模型9	模型10	模型11
约束型规制	0.069*** (0.014)	0.069*** (0.014)	—	—	—	—
激励型规制	—	—	0.084** (0.011)	0.085** (0.012)	—	—
引导型规制	—	—	—	—	0.049* (0.009)	0.050* (0.009)
嵌入型社会资本	0.054*** (0.008)	—	0.054** (0.008)	—	0.054* (0.009)	—
脱嵌型社会资本	—	0.059*** (0.014)	—	0.059** (0.015)	—	0.059* (0.015)
约束型规制×嵌入型社会资本	0.022* (0.004)	—	—	—	—	—
约束型规制×脱嵌型社会资本	—	0.024** (0.003)	—	—	—	—
激励型规制×嵌入型社会资本	—	—	0.024*** (0.004)	—	—	—
激励型规制×脱嵌型社会资本	—	—	—	0.025*** (0.005)	—	—
引导型规制×嵌入型社会资本	—	—	—	—	0.022* (0.005)	—
引导型规制×脱嵌型社会资本	—	—	—	—	—	0.024** (0.004)
控制变量	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制
村庄虚拟变量	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制
Pseudo R ²	0.266	0.268	0.270	0.272	0.267	0.267

4.4 代际差异分析

由表7可知，环境规制和社会资本对不同代际农户低碳农业技术采纳行为的影响存在明显差异，研究假设5得到验证。环境规制方面，约束型规制对老一代、中生代农户低碳农业技术采纳行为均有显著影响，但对新一代的影响不显著。引导型规制对三代农

表7 代际差异回归结果

Table 7 Regression results of intergenerational differences

变量	老一代	中生代	新一代
约束型规制	0.066*(0.009)	0.065***(0.015)	0.052(0.019)
激励型规制	0.079****(0.023)	0.072*(0.010)	0.065(0.015)
引导型规制	0.036*(0.028)	0.041***(0.016)	0.044***(0.004)
嵌入型社会资本	0.048****(0.012)	0.054****(0.008)	0.041***(0.008)
脱嵌型社会资本	0.043*(0.019)	0.049***(0.014)	0.067****(0.006)
控制变量	已控制	已控制	已控制
村庄虚拟变量	已控制	已控制	已控制
Pseudo R ²	0.261	0.270	0.269

户低碳农业技术采纳行为均有显著影响,且对新一代的影响更大。老一代、中生代农户文化水平相对较低、生产行为相对固化,一般的宣传推广措施较难促使其改变行为,而严格的惩罚措施具有更好的震慑效果。新一代农户文化水平高、认知能力强,更愿意接受新事物,相比约束型规制,形式多样、相对“柔性”的引导型规制更容易被其接受。激励型规制对老一代、中生代农户低碳农业技术采纳行为均有显著影响,但对新一代的影响不显著。新一代农户大多不以农业收入作为主要收入来源,其时间精力更多地投入到其他非农生产活动中,当激励措施不足时,新一代农户可能不愿意采纳低碳农业技术。而老一代和中生代更加重视农业生产,外出打工的机会和劳动报酬相对较少,因而对政府相关补贴更加敏感。

社会资本方面,脱嵌型社会资本和嵌入型社会资本对三代农户的低碳农业技术采纳行为均有显著影响,且脱嵌型社会资本对农户低碳农业技术采纳行为的促进作用表现为新一代>中生代>老一代,嵌入型社会资对农户低碳农业技术采纳行为的促进作用表现为中生代>老一代>新一代。新一代农户大多选择外出务工或从事其他职业,这有利于其拓宽社交圈,积累脱嵌型社会资本存量,从而使得脱嵌型社会资本对其低碳农业技术采纳行为产生更显著的影响。中生代、老一代农户大多留守农村,其生产行为更容易受到周边农户的影响。同时,中生代农户作为当前农业生产的主力军,相较于老一代,其互动范围广,互动群体拥有更好的资源禀赋,能更加充分了解低碳农业技术,从而使得嵌入型社会资本对其低碳农业技术采纳行为产生更显著的影响。

4.5 稳健性检验

为确保研究结果的可靠性,本文通过更换模型、替换被解释变量和限制样本三种方法进行稳健性检验。首先,考虑到本文的被解释变量为非负整数的计数变量,可采用泊松回归或负二项分布回归模型。泊松回归要求方差与均值相等,若数据过于分散,则宜采用负二项分布回归。经检验,被解释变量的均值明显大于方差,因此采用负二项分布回归进行稳健性检验。其次,以“是否采纳低碳农业技术”作为被解释变量进行回归。若农户至少采纳一项低碳农业技术则赋值为1,否则赋值为0。最后,考虑到低碳农业技术对农户学习能力和身体素质有一定要求,因此剔除年龄70周岁以上样本群体进行回归分析。结果表明(表8),通过更换模型、替换被解释变量和限制样本的方法得到的回归结果,在显著性和作用方向上均与前文回归结果一致,表明本文的实证结果具有稳健性。

表8 稳健性检验结果
Table 8 Robustness test results

变量	更换模型	替换被解释变量	限制样本
约束型规制	0.084**(0.041)	0.058**(0.015)	0.060**(0.012)
激励型规制	0.094**(0.037)	0.061*** (0.010)	0.067*** (0.007)
引导型规制	0.066*** (0.016)	0.049** (0.018)	0.055** (0.015)
嵌入型社会资本	0.053*** (0.033)	0.043*** (0.022)	0.045*** (0.022)
脱嵌型社会资本	0.058** (0.012)	0.045*** (0.022)	0.055*** (0.019)
控制变量	已控制	已控制	已控制
村庄虚拟变量	已控制	已控制	已控制
Pseudo R ²	0.296	0.288	0.292

5 结论与政策建议

本文基于山东省569份粮食种植户的调研数据,运用有序Probit模型实证分析了环境规制、社会资本对农户低碳农业技术采纳行为的影响,揭示了不同代际农户低碳农业技术采纳行为的差异,并对内生性和稳健性进行了讨论与检验。结果发现:(1)环境规制和社会资本均对农户低碳农业技术采纳行为有显著的正向影响。其中,激励型规制和脱嵌型社会资本的影响更加显著。(2)社会资本在环境规制对农户低碳农业技术采纳行为的影响中发挥增强性调节作用。(3)环境规制和社会资本对农户低碳农业技术采纳行为的影响有显著的代际差异。约束型规制和激励型规制对老一代影响更大,引导型规制对新一代影响更大,脱嵌型社会资本对新一代影响更大,嵌入型社会资本对中生代影响更大。

基于上述研究结论,为促进农户采纳低碳农业技术,需强化环境规制和社会资本在低碳农业技术推广中的作用,促进两股力量相互支撑、协调配合,具体建议如下:(1)全面推进以激励型规制为主,约束型规制和引导型规制为辅的环境规制体系的建设和完善,在环境规制的制定和实施过程中要充分考虑农户的需求偏好,增强规制具体内容的吸引力,因地制宜地融入农村社会,满足低碳农业技术采纳需要。同时,提高环境规制的宣传普及力度,增强农户对环境规制的认知度,从而充分发挥环境规制的积极作用。(2)加大社会资本培育力度,通过开展农村社区活动和生产互助活动,拓宽农户社会网络,提升农户之间的信任水平,营造良好的社会规范,为环境规制的实施奠定良好的文化土壤。同时,通过改革户籍制度、加快农村信息化和基础设施建设等措施促进脱嵌型社会资本的形成与积累,减少农户采纳低碳农业技术的地域限制。(3)实施差异化政策,不同代际农户的价值观念和经营目标有所差距,使其对制度条件的感知和反应也存在差异。因此,对不同代际农户,通过采取侧重点不同的组合政策,全面推进不同代际农户低碳农业技术采纳行为效果的共同提升。

参考文献(References):

- [1] 张俊飏,何可.“双碳”目标下的农业低碳发展研究:现状、误区与前瞻.农业经济问题,2022,(9):35-46.[ZHANG J B, HE K. Current situation, misunderstandings and prospects of agricultural low-carbon development under the targets of carbon peak and carbon neutrality. Issues in Agricultural Economy, 2022, (9): 35-46.]
- [2] LI W J, RUIZ-MENJIVAR J, ZHANG L, et al. Climate change perceptions and the adoption of low-carbon agricultural technologies: Evidence from rice production systems in the Yangtze River Basin. Science of the Total Environment, 2021, 759: 143554, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143554>.
- [3] 陈儒,姜志德.农户对低碳农业技术的后续采用意愿分析.华南农业大学学报:社会科学版,2018,17(2):31-43.[CHEN R, JIANG Z D. Study on farmers' willingness to subsequently adopt low-carbon agricultural technologies. Journal of South China Agricultural University: Social Science Edition, 2018, 17(2): 31-43.]
- [4] HE P P, ZHANG J B, LI W J. The role of agricultural green production technologies in improving low-carbon efficiency in China: Necessary but not effective. Journal of Environmental Management, 2021, 293: 112837, Doi: 10.1016/j.jenvman.2021.112837.
- [5] GUO Z D, CHEN X Q, ZHANG Y W. Impact of environmental regulation perception on farmers' agricultural green production technology adoption: A new perspective of social capital. Technology in Society, 2022, 71: 102085, <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.102085>.
- [6] 李芬妮,张俊飏,何可.非正式制度、环境规制对农户绿色生产行为的影响:基于湖北1105份农户调查数据.资源科学,2019,41(7):1227-1239.[LI F N, ZHANG J B, HE K. Impact of informal institutions and environmental regulations

- on farmers' green production behavior: Based on survey data of 1105 households in Hubei province. *Resources Science*, 2019, 41(7): 1227-1239.]
- [7] 史雨星, 李超琼, 赵敏娟. 非市场价值认知、社会资本对农户耕地保护合作意愿的影响. *中国人口·资源与环境*, 2019, 29(4): 94-103. [SHI Y X, LI C Q, ZHAO M J. The impact of non-market value cognition and social capital on farmers' willingness in farmland protection cooperation. *China Population, Resources and Environment*, 2019, 29(4): 94-103.]
- [8] WANG W J, ZHAO X Y, LI H, et al. Will social capital affect farmers' choices of climate change adaptation strategies? Evidences from rural households in the Qinghai-Tibetan Plateau, China. *Journal of Rural Studies*, 2021, 83: 127-137.
- [9] 魏万青, 刘庄. 冲突背景下的非正式制度与政策落实: 以宗族网络对计划生育影响为例. *社会学评论*, 2017, 5(1): 23-35. [WEI W Q, LIU Z. How informal system affects policy implementation in the context of the conflict: lineage networks versus birth control policy in Rural China. *Sociological Review of China*, 2017, 5(1): 23-35.]
- [10] RIVERA M, KNICKEL K, DÍAZ-PUENTE J M, et al. The role of social capital in agricultural and rural development: Lessons learnt from case studies in seven countries. *Sociologia Ruralis*, 2019, 59: 66-91.
- [11] HUANG X L, CHENG L L, CHIEN H, et al. Sustainability of returning wheat straw to field in Hebei, Shandong and Jiangsu provinces: A contingent valuation method. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 213: 1290-1298.
- [12] 王太祥, 滕晨光, 张朝辉. 非正式社会支持、环境规制与农户地膜回收行为. *干旱区资源与环境*, 2020, 34(8): 109-115. [WANG T X, TENG C G, ZHANG Z H. Informal social support, environmental regulation and farmers' film recycling behavior. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2020, 34(8): 109-115.]
- [13] HARPER J K, ROTH G W, GARAJLIĆ B, et al. Programs to promote adoption of conservation tillage: A Serbian case study. *Land Use Policy*, 2018, 78: 295-302.
- [14] 于艳丽, 李桦, 薛彩霞, 等. 政府支持、农户分化与农户绿色生产知识素养. *西北农林科技大学学报: 社会科学版*, 2019, 19(6): 150-160. [YU Y L, LI H, XUE C X, et al. Study on the influence of government support on farmers' green production knowledge under the adjustment of farmers' differentiation. *Journal of Northwest A&F University: Social Science Edition*, 2019, 19(6): 150-160.]
- [15] 王建华, 钊露露, 王缘. 环境规制政策情境下农业市场化对畜禽养殖废弃物资源化处理行为的影响分析. *中国农村经济*, 2022, (1): 93-111. [WANG J H, TOU L L, WANG Y. The impact of agricultural marketization on livestock waste resource utilization in the context of environmental regulation policy. *Chinese Rural Economy*, 2022, (1): 93-111.]
- [16] 刘丽, 苏玥, 姜志德. 社会资本对农户保护性耕作技术采用的影响及区域差异研究: 基于技术认知的中介效应分析. *长江流域资源与环境*, 2020, 29(9): 2057-2067. [LIU L, SU Y, JIANG Z D. Effects of social capital on farmers' conservation tillage and regional differences-intermediate effect analysis based on technical cognition. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2020, 29(9): 2057-2067.]
- [17] 赵佩佩, 张强强, 钟逸伟, 等. 社会网络嵌入对农户绿色防控技术采用的影响: 基于技术认知的中介效应. *资源科学*, 2022, 44(9): 1865-1878. [ZHAO P P, ZHANG Q Q, ZHONG Y W, et al. Impact of social network embeddedness on the adoption of green control technologies by farmers: Mediating effects based on technology perception. *Resources Science*, 2022, 44(9): 1865-1878.]
- [18] TRAN-NAM Q, TIET T. The role of peer influence and norms in organic farming adoption: Accounting for farmers' heterogeneity. *Journal of Environmental Management*, 2022, 320: 115909, Doi: 10.1016/j.jenvman.2022.115909.
- [19] 赵连杰, 南灵, 李晓庆, 等. 环境公平感知、社会信任与农户低碳生产行为: 以农膜、秸秆处理为例. *中国农业资源与区划*, 2019, 40(12): 91-100. [ZHAO L J, NAN L, LI X Q, et al. Environmental equity perception, social trust and farmers' behavior of low carbon production: Taking plastic film and straw as an example. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2019, 40(12): 91-100.]
- [20] 任重, 郭焱. 价值感知、社会资本对农户秸秆还田技术采纳行为的影响. *江西财经大学学报*, 2022, (4): 97-107. [REN Z, GUO Y. The influence of value perception and social capital on farmers' adoption of the straw-returning-to-field technology. *Journal of Jiangxi University of Finance and Economics*, 2022, (4): 97-107.]
- [21] YANG X, ZHOU X H, DENG X Z. Modeling farmers' adoption of low-carbon agricultural technology in Jiangnan Plain, China: An examination of the theory of planned behavior. *Technological Forecasting and Social Change*, 2022, 180: 121726, Doi: 10.1016/j.techfore.2022.121726.

- [22] 徐婵娟, 陈儒, 姜志德. 外部冲击、风险偏好与农户低碳农业技术采用研究. 科技管理研究, 2018, (14): 248-257. [XU C J, CHEN R, JIANG Z D. Influence of exogenous shocks and risk preference on farmers' low-carbon agricultural technologies adoption. Science and Technology Management Research, 2018, (14): 248-257.]
- [23] 谢家智, 王文涛. 社会结构变迁、社会资本转换与农户收入差距. 中国软科学, 2016, (10): 20-36. [XIE J Z, WANG W T. Social structure change, social capital transition, and income inequality in Rural China. China Soft Science, 2016, (10): 20-36.]
- [24] 费红梅, 孙铭韩, 王立. 农户黑土地保护性耕作行为决策: 价值感知抑或政策驱动?. 自然资源学报, 2022, 37(9): 2218-2230. [FEI H M, SUN M H, WANG L. Decision making of farmers' black land conservation tillage behavior: Value perception or policy driving?. Journal of Natural Resources, 2022, 37(9): 2218-2230.]
- [25] LI M Y, WANG J J, ZHAO P J, et al. Factors affecting the willingness of agricultural green production from the perspective of farmers' perceptions. Science of the Total Environment, 2020, 738: 140289, Doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140289.
- [26] GAO Y, ZHAO D Y, YU L L, et al. Influence of a new agricultural technology extension mode on farmers' technology adoption behavior in China. Journal of Rural Studies, 2020, 76: 173-183.
- [27] BOURDIEU P. The forms of capital. RICHARDSON J. Handbook of Theory and Research for the Sociology of Education. New York: Greenwood Press, 1986.
- [28] COLEMAN J S. Social capital in the creation of human capital. American Journal of Sociology, 1988, 94(1): 95-120.
- [29] PUTNAM R D. The prosperous community: Social capital and public life. American Prospect, 1993, 13(4): 35-42.
- [30] KROM M P M M D. Farmer participation in agri-environmental schemes: Regionalisation and the role of bridging social capital. Land Use Policy, 2017, 60: 352-361.
- [31] 杨志海. 老龄化、社会网络与农户绿色生产技术采纳行为: 来自长江流域六省农户数据的验证. 中国农村观察, 2018, (4): 44-58. [YANG Z H. Ageing, social network and the adoption of green production technology: Evidence from farm households in six provinces in the Yangtze River Basin. China Rural Survey, 2018, (4): 44-58.]
- [32] 谢家智, 姚领. 社会资本变迁与农户贫困脆弱性: 基于“乡土中国”向“城乡中国”转型的视角. 人口与经济, 2021, (4): 1-21. [XIE J Z, YAO L. Social capital vicissitude and poverty vulnerability of peasant households: Based on the perspective of the transformation from "rural China" to "urban and rural China". Population & Economics, 2021, (4): 1-21.]
- [33] BARGHUSEN R, SATTTLER C, BERNER R, et al. More than spatial coordination: How Dutch agricultural collectives foster social capital for effective governance of agri-environmental measures. Journal of Rural Studies, 2022, 96: 246-258.
- [34] JONES N, SOPHOULIS C M, IOSIFIDES T, et al. The influence of social capital on environmental policy instruments. Environmental Politics, 2009, 18: 595-611.
- [35] 杨志海, 王雨濛. 不同代际农民耕地质量保护行为研究: 基于鄂豫两省 829 户农户的调研. 农业技术经济, 2015, (10): 48-56. [YANG Z H, WANG Y M. Study on the behavior of farmers' farmland quality protection in different generations: Based on the investigation of 829 farmers in Hubei and Henan provinces. Journal of Agrotechnical Economics, 2015, (10): 48-56.]
- [36] 张小有, 黄冰冰, 张继钦, 等. 农业低碳技术应用与碳排放结构、强度分析: 基于江西的实证. 农林经济管理学报, 2016, 15(6): 710-716. [ZHANG X Y, HUANG B B, ZHANG J Q, et al. Reflections on development of low-carbon agriculture technology in Jiangxi province. Journal of Agro-Forestry Economics and Management, 2016, 15(6): 710-716.]
- [37] 刘杨, 刘鸿斌. 山东省农业碳排放特征、影响因素及达峰分析. 中国生态农业学报(中英文), 2022, 30(4): 558-569. [LIU Y, LIU H B. Characteristics, influence factors, and prediction of agricultural carbon emissions in Shandong province. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2022, 30(4): 558-569.]
- [38] 薛彩霞, 李园园, 胡超, 等. 中国保护性耕作净碳汇的时空格局. 自然资源学报, 2022, 37(5): 1164-1182. [XUE C X, LI Y Y, HU C, et al. Study on spatio-temporal pattern of conservation tillage on net carbon sink in China. Journal of Natural Resources, 2022, 37(5): 1164-1182.]
- [39] 贺志武, 胡伦. 社会资本异质性与农村家庭多维贫困. 华南农业大学学报: 社会科学版, 2018, 17(3): 20-31. [HE Z W, HU L. The social capital heterogeneity effect on farmers' multidimensional poverty. Journal of South China Agricultural University: Social Science Edition, 2018, 17(3): 20-31.]
- [40] GE X, APURBO S, LU Q. Does organizational participation affect farmers' behavior in adopting the joint mechanism of pest and disease control? A study of Meixian county, Shaanxi province. Pest Management Science, 2021, 77: 1428-1443.

- [41] SØRENSEN J F L. Rural-urban differences in bonding and bridging social capital. *Regional Studies*, 2016, 50(3): 391-410.
- [42] 雷显凯, 罗明忠. 非农就业经历对新型职业农民成长的烙印效应. 西北农林科技大学学报: 社会科学版, 2022, 22(2): 63-73. [LEI X K, LUO M Z. The brand effect of non-agricultural employment experience on the growth of new-type professional farmers. *Journal of Northwest A&F University: Social Science Edition*, 2022, 22(2): 63-73.]
- [43] 温忠麟, 侯杰泰, 张雷. 调节效应与中介效应的比较和应用. *心理学报*, 2005, 37(2): 268-274. [WEN Z L, HOU J T, ZHANG L. A comparison of moderator and mediator and their applications. *Acta Psychologica Sinica*, 2005, 37(2): 268-274.]
- [44] 赵佳佳, 刘灵芝. 环境规制、声誉诉求与亲环境行为绩效的研究. *中国环境科学*, 2023, 43(3): 1473-1488. [ZHAO J J, LIU L Z. Research on environmental regulation, reputation appeal and performance of pro-environment behavior. *China Environmental Science*, 2023, 43(3): 1473-1488.]

The effect of environmental regulation and social capital on farmers' adoption behavior of low-carbon agricultural technology

REN Zhong¹, GUO Yan²

(1. Business School, Shandong Normal University, Jinan 250358, China; 2. School of Economics and Management, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: Promoting farmers to adopt low-carbon agricultural technology is an important way to cope with climate change and achieve the goal of "double carbon". However, there is still a lack of research on farmers' adoption behavior of low-carbon agricultural technology from the perspective of environmental regulation and social capital. Based on the survey data of 569 farmers in Shandong province, this paper analyzes the influence of environmental regulation and social capital on farmers' adoption behavior of low-carbon agricultural technology by using the ordered Probit model, and reveals the differences of farmers' adoption behavior of low-carbon agricultural technology in different generations. The results show that: (1) Environmental regulation and social capital have significant positive effects on farmers' adoption of low-carbon agricultural technology. Among them, the influence of incentive regulation and embedded social capital is more significant. (2) Social capital plays an enhanced regulatory role in the influence of environmental regulation on farmers' adoption behavior of low-carbon agricultural technology. (3) Constraint regulation and incentive regulation have a greater impact on the old generation, while guidance regulation has a greater impact on the new generation. Disembedded social capital has a greater impact on the new generation, and embedded social capital has a greater impact on the middle. Therefore, we should strengthen the construction and improvement of environmental regulation system, increase the cultivation of social capital, and implement differentiated policies for the intergenerational differences of farmers.

Keywords: environmental regulation; social capital; low carbon agricultural technology adoption behavior; intergenerational differences; ordered Probit