环境规制能否促进农业绿色全要素生产率增长？
——基于地理要素视角的机制检验

尹朝静[1a,1b]，廖培森[1a]，田　云[2]

（1. 西南大学 a. 经济管理学院；b. 农村经济与管理研究中心，重庆 400715；
2. 中南财经政法大学 工商管理学院，湖北 武汉 430073）

摘　要： 基于 2005—2022 年中国 30 个省（区、市）的面板数据，采用固定效应模型，从地理要素视角考察环境规制对农业绿色全要素生产率的影响及其作用机制。结果表明：环境规制对农业绿色全要素生产率具有显著的促进作用，并且这种促进作用在控制内生性和进行稳健性检验后仍然显著；地理要素中的地理气候条件具有调节作用，其中，海拔和地形起伏度负向调节环境规制对农业绿色全要素生产率的影响，而气温变化和逆温正向调节环境规制对农业绿色全要素生产率的影响；地理要素中的地理区位特征带来异质性影响，环境规制对东部地区、南方地区和粮食主产区农业绿色全要素生产率的促进作用更加明显；地理要素中的社会经济要素则产生中介效应，环境规制通过推动经济增长、促进技术创新、释放人才红利和优化产业结构促进农业绿色全要素生产率增长。因此，政府应提升农业环境政策执行效率，依据各地自然地理特征因地制宜优化环境政策，并激发环境规制对社会经济要素的促进作用。

关键词： 地理要素；环境规制；农业绿色全要素生产率；EBM-GML 模型

中图分类号： F323.22　　**文献标识码：** A　　**文章编号：** 1672－0202（2025）06－0147－17

一、引言

党的二十大报告强调，要着力提高全要素生产率，推动经济高质量发展。农业是国民经济的基础，促进全要素生产率（Total Factor Productivity，TFP）增长是实现农业可持续、高质量发展的必然选择。相较于只关注经济效益的传统农业 TFP，农业绿色全要素生产率（Green Total Factor Productivity，GTFP）涵盖生态环境因素，同时兼顾经济效益和环境效益，全面刻画了农业降碳、减污、扩绿、增长的协同推进效果，能够更加准确地反映农业发展的真实绩效[1]。当前，我国农业发展面临资源短缺、环境污染和生态退化等严峻挑战，迫切需要加快发展方式的绿色转型[2]。对此，我国出台了一系列环境规制政策，如化肥农药零增长行动、耕地轮作休耕、畜禽粪污资源化利用等，试图通过这些措施实现农业生产与环境保护的“双赢”。实际上，不少研究认为环境规制是影响绿色经济发展的重要因素[3-4]，但其影响效果和作用机制尚不明确。新古典经济学认为，环境规制会增加生产成本，阻碍绿色经济发展[5]；波特“双赢”假说则提出，环境规制能够激励技术创新，对冲遵循环境规制而引发的经济成本，有助于绿色经济发展[6]。那么，从 GTFP 角度来看，在如此严厉的环境保护政策下，中国农业究竟是会陷入“新古典陷阱”，还是会达成波特假说的“双赢”结果呢？环

收稿日期： 2025－07－15　　**DOI：** 10.7671/j.issn.1672－0202.2025.06.011

基金项目： 国家社会科学基金一般项目（23BGL189）；重庆市社会科学规划项目（2024NDYB047）；西南大学研究阐释党的二十大精神专项项目（SWU2209081）

作者简介： 尹朝静（1989—），男，四川资中人，西南大学经济管理学院副教授，主要研究方向为资源环境经济、农业技术经济。E-mail：yinchaojing@163.com

境规制又是通过何种机制影响农业 GTFP 增长？这些已成为关乎农业绿色高质量发展亟需研究的重要现实问题。

目前，学术界对环境规制与农业 GTFP 关系的研究不断深入，这些研究主要围绕环境规制对农业 GTFP 的影响效应、作用机制等展开。关于环境规制对农业 GTFP 影响效应的研究存在不同观点：一是环境规制可以促进农业 GTFP 增长[7]；二是环境规制会抑制农业 GTFP 增长[8]；三是环境规制与农业 GTFP 之间存在非线性关系[9]。此外，还有研究指出，不同地区环境规制对农业 GTFP 的影响存在空间异质性[10]，不同类型环境规制对农业 GTFP 的影响也存在差异性[11]。而在关于环境规制对农业 GTFP 作用机制的研究中，研究者主要基于波特假说理论，考察了技术创新在环境规制影响农业 GTFP 中的机制作用[9,11]，也有少数研究探讨了市场化进程在环境规制影响农业 GTFP 中的机制作用[12]。尽管如此，这些研究对环境规制影响农业 GTFP 的机理及作用路径的探讨仍不够充分和深入，尤其是在考察环境政策实施时未能充分考虑地域和经济发展特征。事实上，环境政策的实施只有充分考虑地区间自然地理条件和社会经济条件的差异，才能有效释放环境规制对于农业 GTFP 的促增效应。然而，学界目前只有少数学者探讨了自然地理要素和社会经济要素对农业 GTFP 的直接影响。例如，Song 等[13]考察了气候变化对农业 GTFP 增长的影响；Liu 等[14]从社会经济要素层面探讨了农业 GTFP 增长的影响因素。但遗憾的是，鲜有研究构建统一分析框架全面考察这两类地理要素在环境规制影响农业 GTFP 中的作用。

通过梳理现有文献可知，学者们普遍忽视了环境政策实施中地区间自然地理要素的差异，更未基于综合的地理要素框架探讨环境规制对农业 GTFP 的影响，从而无法准确评估和认识目前农业环境规制效果，也就难以为政府因地制宜科学施策提供经验证据。为此，本文尝试从地理要素视角探究环境规制对农业 GTFP 影响的理论逻辑和作用机制，通过构建环境规制影响农业 GTFP 的理论分析框架，并基于 2005—2022 年中国省级面板数据，实证检验环境规制对农业 GTFP 的影响效应和作用机制，不仅为明晰环境规制与农业 GTFP 的关系提供了经验证据，也为优化农业环境政策提供了决策参考。

二、理论分析与研究假说

（一）环境规制与农业 GTFP

环境规制对农业 GTFP 的影响效应可从“遵循成本说”和“创新补偿说”两个角度进行理解。“遵循成本说”认为，从短期来看，环境规制强度提高会要求农户采取更加环保的生产技术或方式，导致农户污染治理成本增加，并挤出其他生产要素投入，从而抑制农业 GTFP 增长；“创新补偿说”认为，从长期来看，环境规制能够持续促进农业技术创新，以此产生创新补偿的净效益，通过降低农户生产成本、减少污染排放和提高产品附加值，从而逐渐抵消早期的环境保护投资和污染治理成本，实现节能降耗[15]、降碳减污和扩绿增长[16]3 方面协同增长，以此促进农业 GTFP 增长。现阶段，我国农业环境保护“四梁八柱”制度体系基本形成，农业技术持续革新，农业环境治理手段不断升级，这使得环境规制的“创新补偿”效应可能会大于其“遵循成本”效应，进而产生对农业 GTFP 的促增效应。基于上述分析，本文提出研究假说 H1：

H1：环境规制能够促进农业 GTFP 增长。

（二）环境规制、地理要素与农业 GTFP

在哲学范畴中，“第一自然”指代未经人类干预的天然存在，而“第二自然”则指人类通过生产实践改造后的人化自然。在区域发展中，第一自然涵盖了自然资源禀赋、环境气候条件及海运便利性等自然地理要素，这些要素构成了人类生存与发展的基础；第二自然则涵盖了制度差异、人力

资本和产业结构等社会经济要素,这些要素反映了人类活动对自然环境的改造与适应。基于空间经济学和新经济地理学理论,已有研究探讨了自然地理要素[17]和社会经济要素[18]对区域经济活动的影响。有学者指出,区域发展是自然地理要素和社会经济要素共同作用的结果,二者相互联系、相互依存[19]。

农业是自然再生产与经济再生产相互交织的产业,地理要素在农业发展中起着决定性的作用。一方面,农业生产作为高度依赖自然地理环境的生产活动,受到地形地貌、气候条件、自然资源和区位等自然地理要素的直接影响[20];另一方面,农业生产同样受到人类活动的干扰与反馈,经济发展水平、农业技术水平、农业产业结构和农村人力资源等社会经济因素深刻影响着农业生产方式和效率[21]。因此,有必要系统考察这两类地理要素在环境规制影响农业 GTFP 过程中所发挥的作用。目前,学界已经认识到地理要素在农业生产中的重要作用。自然地理要素方面,Du 等[22]发现在降水较少地区,沙尘暴会显著减少冬小麦产量,而在降水丰沛地区,沙尘暴则不会对冬小麦产量产生重大影响;社会经济要素方面,在资源环境约束下,人均收入增长、农业产业结构调整和经济结构变动等因素会对农业 GTFP 增长产生不同程度的影响[23]。由此推断,自然地理要素可能在环境规制对农业 GTFP 的影响中发挥重要的调节作用;同时,环境规制也可能通过作用于社会经济要素,进而对农业 GTFP 产生间接影响(图 1)。

1. 环境规制、自然地理要素与农业 GTFP

自然地理要素涵盖地理气候条件和地理区位特征两方面。其中,地理气候条件主要包括海拔、地形起伏度、降水量、气温变化和逆温等因素;地理区位特征则通常表现在经济发展水平、自然资源禀赋及农业生产模式等方面。

(1)地理气候条件与环境治理机制。地理气候条件通过影响地区环境治理,从而调节环境规制对农业 GTFP 的影响。首先,环境规制对农业 GTFP 的影响会受到海拔和地形起伏度的调节作用。一方面,高海拔地区自然环境复杂多变,导致农业环境规制往往需要更多的人力、物力、财力投入以及面临更高的技术执行难度[24],从而降低环境政策的适应性,因此海拔可能负向调节环境规制对农业 GTFP 的影响;另一方面,地形起伏度的提高会增加污染物迁移和分布的不确定性,加剧农业面源污染的控制和治理难度,并且高地形起伏度使得农业生产区域分散细碎、可达性差,也会增加环境规制的监管难度和成本[19],因此地形起伏度可能负向调节环境规制对农业 GTFP 的影响。其次,环境规制对农业 GTFP 的影响会受到降水量的调节作用。降水量增加不仅会加剧农药在环境中的扩散,削弱环境规制治理效果,还会通过损害农药活性和有效性,促使农户为保障产量而采取补偿性施药行为[25],以此加重农业环境污染、损害农业生态环境,因此降水量可能负向调节环境规制对农业 GTFP 的影响。再次,环境规制对农业 GTFP 的影响会受到气温变化和逆温的调节作用。一方面,农业碳排放会加剧气候变暖,从而显著增强社会对环境问题的关注,进而推动农业环境监管体系的强化,并促进农业环境保护政策的制定与完善,因此气温变化可能正向调节环境规制对农业 GTFP 的影响;另一方面,逆温现象的出现会妨碍大气污染物扩散,致使空气污染程度加剧[26],从而提高政府对于环境保护的关注,并采取更为严苛的环境规制措施,带动农业生产中的化学品减量和秸秆禁烧等环境保护措施的出台,因此逆温可能正向调节环境规制对农业 GTFP 的影响。

基于上述分析,本文提出研究假说 H2:

H2:受地理气候条件影响,海拔、地形起伏度和降水量会负向调节环境规制对农业 GTFP 的促进作用,而气温变化和逆温会正向调节环境规制对农业 GTFP 的促进作用。

(2)地理区位特征与生产机制。地理区位特征能够作用于农业生产环节,导致环境规制对农

业 GTFP 产生差异化影响。首先,地区经济发展水平会影响要素配置,从而导致东部和中西部地区环境规制效果存在差异。相较于中西部地区,东部地区经济发展水平较高、地理区位优越,且具有较为完善的农业基础设施,能够提高生产要素配置效率,降低农业生产成本[27],有利于进一步推动环境规制中资源、技术等要素优化配置。因此,环境规制对东部地区农业 GTFP 的促进作用可能明显强于中西部地区。其次,地区的产业结构会影响其农业经济增长方式,从而导致北方和南方地区环境规制效果存在差异。北方地区以农业和重工业为主,对资本拉动型的经济增长方式依赖性更强[19],容易导致在农业经济发展中形成资源能源高消耗的粗放型增长方式,而南方地区以制造业和轻工业为主,其对资本的依赖度相对较低,从而更容易通过环境规制的约束作用推动农业向集约化生产转型。因此,环境规制对南方地区农业 GTFP 的促进作用可能明显强于北方地区。再次,地区规模化生产经营会促进技术交流并降低合规成本,从而导致粮食主产区与粮食非主产区环境规制效果存在差异。粮食主产区主要位于中东部季风区,水热条件优越、地形平坦且土壤肥沃,适宜粮食规模化生产经营,从而有利于农户参与横向分工,促进农业绿色技术的交流共享,提高农业生产效率、减少农业碳排放[28]。同时,规模化经营也有利于产生规模经济效应,降低环境规制在短期实施中产生的合规成本。因此,环境规制对粮食主产区农业 GTFP 的促进作用可能明显强于粮食非主产区。

基于上述分析,本文提出研究假说 H3:

H3:地理区位特征通过生产机制,使得环境规制对农业 GTFP 的促进作用在东部地区、南方地区和粮食主产区表现更明显。

2. 环境规制、社会经济要素与农业 GTFP

环境规制可以通过经济增长机制、技术创新机制、人才红利机制和产业结构机制这 4 种中介机制作用于农业 GTFP。

(1)经济增长机制。一方面,环境规制通过推动农户采纳绿色生产技术提升农产品质量与竞争力,实现收入水平提高[29],而收入的增加有利于激励农户持续从事绿色生产,以此提高农业生产效率并降低农业污染,从而促增农业 GTFP;另一方面,环境规制通过推动涉农企业绿色投资、活跃绿色金融市场等方式释放经济增长活力,并以资金导向带动技术、土地、劳动力等资源向绿色生产、智能化管理等方面聚集[30],促进生产要素集约、降低农业环境污染并提高农业经济产出,进而促增农业 GTFP。

(2)技术创新机制。一方面,“波特假说”认为适度的环境规制通过激励技术创新降低“遵循成本”,而技术创新能够优化要素配置效率、提高农业产值并降低农业污染排放,以此促增农业 GTFP;另一方面,根据市场需求诱致性创新理论,环境规制会激发公众对绿色农产品的消费需求,从而推动农业绿色技术创新,并提高农户采纳和应用农业绿色技术的积极性[9],以此提高资源能源利用率、减少农业环境污染和提升农业生态价值,进而促进农业 GTFP 增长。

(3)人才红利机制。一方面,环境规制力度的加强会激励农业技术水平的提升,而先进的农业技术需要实际主体才能进入到农业生产当中,因此环境规制会促进农业生产者提高自身农业生产技术的应用能力和管理经验,从而利于地区人力资本积累,进而提高农业生产效率、减少农业污染排放,以此促增农业 GTFP;另一方面,环境规制会产生“晕轮效应”,吸引高技能劳动力流入[31],从而提高农业技术水平并推动农业生产节能减排,促增农业 GTFP。

(4)产业结构机制。一方面,环境规制要求农业生产者根据资源禀赋、环境承载力及市场需求,优化农业生产结构,推动农业产业结构合理化,从而提高农业资源能源配置效率和农业产值,

促增农业 GTFP；另一方面，环境规制通过推动上下游涉农企业之间的环保标准统一和技术共享，发挥“创新补偿”效应，有助于形成绿色和高效的农业生产供应链和农业产业价值链[32]，推动农业产业结构高级化，实现环境效益和经济效益齐升，进而促增农业 GTFP。

基于上述分析，本文提出研究假说 H4：

H4：环境规制能够通过社会经济要素影响农业 GTFP，即环境规制通过推动经济增长、促进技术创新、释放人才红利和优化产业结构促进农业 GTFP 增长。

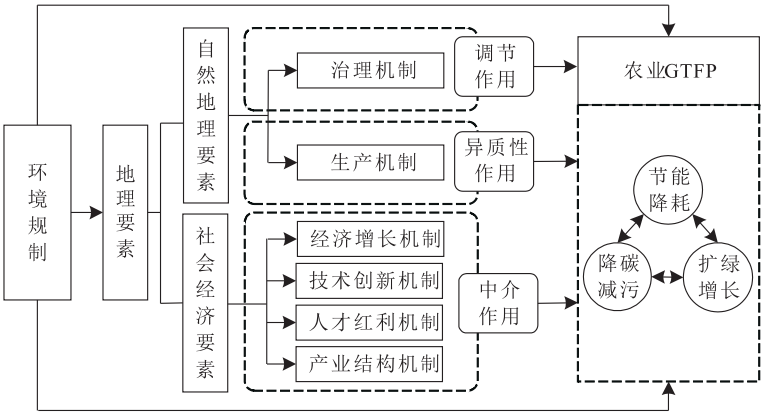


图 1　环境规制对农业 GTFP 的影响机制

三、研究设计

（一）数据来源

本文研究数据源于中国 30 个省（区、市）2005—2022 年的面板数据①。其中，农业环境政策数据来自北大法宝网；地理气象数据来自国家气象科学数据共享服务平台和国家基础地理信息中心；省级经济社会数据均来自 2006—2023 年的《中国农村统计年鉴》《中国统计年鉴》《中国能源统计年鉴》等官方统计资料。此外，少量缺失数据采用线性插值法补齐。

（二）变量设置

1. 被解释变量

农业绿色全要素生产率指数。高质量推进农业绿色发展是建设人与自然和谐共生的中国式农业现代化的主要抓手，强调实现降碳、减污、扩绿、增长等多目标协同[33]。为此，本文在已有农业 GTFP 测度指标体系的基础上[1-2]，纳入能源投入、农业生态价值和农业面源污染等要素，构建“资源－能源－环境－生态－经济”为一体的农业 GTFP 测算指标体系（见表 1）。

在投入方面，劳动力投入以第一产业从业人员数表征；土地投入以农作物播种面积和水产养殖面积表征；资本投入采用农业资本存量衡量[1]；化肥投入以农用化肥折纯施用量表征；农药投入以农药使用量表征；农膜投入以农用塑料薄膜使用量表征；水资源投入以农业用水总量表征；能源投入以农业能源消耗总量衡量[1]。在非期望产出方面，农业面源污染采用农业面源污染指数衡量[34]，涵盖化肥流失、农药污染、农膜污染、畜禽养殖污染、农业有机固体废弃物和水产养殖污染等[2,8]；农业碳排放则基于农业能源消耗、农用物资投入、水稻种植和畜禽养殖等来源的碳排放总

① 囿于数据的可获得性，本文研究区域为不含中国香港、澳门、台湾和西藏自治区的 30 个省（区、市）。

量衡量[35]。在期望产出方面,经济价值采用农林牧渔业总产值衡量,农业生态价值采用农业生态系统服务价值总量衡量[1]。

参考尹朝静等[1]、Tone 和 Tsutsui[36]的研究,本文采用 EBM 模型结合全局 Malmquist-Luenberger 生产率指数(EBM-GML 模型)测算农业 GTFP 指数,并进一步将其分解为农业绿色效率变化(Green Efficiency Change,GEC)和农业绿色技术进步(Green Technology Change,GTC)两部分。EBM-GML 模型的优势在于:一是能够弥补传统 DEA 模型和 SBM 模型在忽视松弛变量、损失效率前沿投影值的原始比例信息等方面的缺陷;二是能够有效解决线性规划可能无解、指数不具有循环性等问题,从而提高测算结果的准确性。

表 1 农业 GTFP 测算指标体系及内涵

指标	分项指标	基础指标	指标内涵	指标单位或释义
投入	劳动	劳动力投入	节能降耗	万人
	土地	土地投入		万公顷
	资本	资本投入		亿元
	中间投入品	化肥投入		万吨
		农药投入		吨
		农膜投入		吨
		水资源投入		亿立方米
		能源投入		万吨标准煤
产出	非期望产出	农业碳排放	降碳减污	万吨
		农业面源污染		指数值
	期望产出	农业生态价值	扩绿增长	亿元
		经济价值		亿元

2. 核心解释变量

环境规制强度。通常情况下,环境政策颁布的密集度与地区环保的严格度成正比[9],并且在中国农业领域的环境规制以法律法规形式的命令控制型规制为主[8]。因此,本文采用农业污染防控和环境保护的相关政策数量表征农业环境规制强度,以提高农业环境规制指标的科学性和准确性。同时,考虑到政策效果的持续性和累积性,本文借鉴马国群和谭砚文[8]的做法,将环境规制变量取累计至每年末各省份实施的农业环境政策数量。

3. 控制变量

参考已有研究[7,8,19],本文选取城镇化、财政分权、财政支农、开放化、农业生产结构和受灾率作为控制变量。

4. 调节变量

本文选取具有代表性的地理气候因素,即地形起伏度[37]、海拔[19]、降水量[19]、气温[38]和逆温[26]作为调节变量。

5. 中介变量

本文选取经济增长、技术创新、人才红利和产业结构等社会经济要素作为中介变量。其中,经济增长的度量指标为农民人均收入[23]和经济发展活力[19];技术创新的度量指标为农业技术创新和农业绿色创新[9];人才红利的度量指标为农村人力资本和农业科技人才;产业结构的度量指标为产业结构合理化[39]和产业结构高级化。

表 2 展示了本文主要变量的测度方式及描述性统计结果。

表 2　主要变量测度及描述性统计结果

变量	变量测度	平均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量					
农业 GTFP	详见上文	1.18	0.32	0.52	3.52
解释变量					
环境规制强度	详见上文	26.67	26.75	0.00	138.00
控制变量					
城镇化	非农业人口总数/年末户籍人口总数	0.57	0.14	0.28	0.90
财政分权	一般公共预算收入/财政总支出	6.18	2.85	2.02	15.06
财政支农	农林水事务支出/财政总支出	0.11	0.03	0.02	0.20
开放化	农产品进出口总额/农业总产值	0.29	0.99	0.00	7.57
农业生产结构	种植业与畜牧业产值总和/农业总产值	0.81	0.11	0.49	0.96
受灾率	农作物受灾面积/总播种面积	0.18	0.15	0.00	0.70
调节变量					
地形起伏度	平均地形起伏度	1.03	1.05	0.00	4.33
海拔	平均海拔(千米)	0.81	0.91	0.01	4.07
降水量	平均降水量(毫米)	1029.94	533.22	89.70	2588.31
气温变化	标准化气温	2.41	0.97	0.01	4.48
逆温	逆温天数(天)	104.94	63.60	0.00	233.00
中介变量					
经济增长					
农民人均收入	农民人均纯收入(万元)	1.13	0.68	0.20	3.97
经济发展活力	夜间灯光指数	7.10	9.05	0.07	46.80
技术创新					
农业技术创新	农业专利申请数目(件)	2045.89	2696.73	10.00	14871.00
农业绿色创新	农业绿色专利申请数目(件)	525.62	675.49	2.00	4333.00
人才红利					
农村人力资本	农村居民平均受教育年限(年)	7.65	0.66	5.48	9.92
农业科技人才	农业技术人员数量(个)	8667.40	16717.86	181.00	107966.50
产业结构					
产业结构合理化	农业产业结构合理化指数	0.10	0.68	0.01	15.06
产业结构高级化	农林牧渔服务业总产值/农业总产值	0.04	0.02	0.01	0.13

注:为保证统计回归的平稳性并有效缓解异方差问题,本文借鉴杜龙政等[40]的做法,对以上变量(不包含地形起伏度和海拔)均取对数,其中最小值为 0 的变量加 1 取对数。

(三)模型构建

首先,为探讨环境规制对农业 GTFP 的影响,本文构建如下计量模型:

$$\ln AGTFP_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln ER_{it} + \beta_2 control_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中,下标 i 和 t 分别表示省份和年份;$AGTFP$ 为被解释变量,表示农业 GTFP;ER 为核心解释变量,表示环境规制;$control$ 为控制变量;β_0、β_1 和 β_2 为待估参数;μ_i 用于控制地区固定效应①;ε_{it} 表

① 参考杜克锐等[24]、宋马林等[41]等相关文献,本文没有进一步控制时间固定效应,原因有两点:第一,时间固定效应通常用于控制宏观经济共同冲击,这些冲击一般通过影响地区经济条件进而影响农业 GTFP 增长,而本文的实证模型已尽可能控制重要的省级社会经济特征变量,以应对经济冲击的影响。第二,加入时间固定效应会使部分线性函数型系数面板数据模型的函数型系数估计方差很大。这是由于函数型系数用基函数线性组合逼近未知函数,实际估计中模型解释变量个数较多,倘若再加入时间固定效应项会损失模型自由度,降低结果稳健性。此外,本文将控制变量对时间虚拟变量进行回归,结果显示除农业生产结构这一变量外,其余变量均通过联合显著性检验,可以认为本文选取的省级社会经济特征变量能够代理时间固定效应。

示随机误差项。

其次,借鉴邵帅等[19]的做法,本文采用环境规制与自然地理要素的交乘项,分别检验地理气候条件和地理区位特征在环境规制影响农业 GTFP 过程中所产生的调节和异质性作用,计量模型设定如下:

$$\ln AGTFP_{it} = \lambda_0 + \lambda_1 \ln ER_{it} + \lambda_2 \ln ER_{it} \times geoclimate_{it} + \lambda_3 control_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$\ln AGTFP_{it} = \eta_0 + \eta_1 \ln ER_{it} \times area_{it} + \eta_2 control_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

其中,*geoclimate* 为反映地理气候条件的调节变量,采用地形起伏度、海拔、降水量、气温变化和逆温表示;*area* 用于反映东部和中西部、南方和北方地区以及粮食主产区和粮食非主产区 3 种地理区位类别,采用地区虚拟变量表示。

最后,为了检验社会经济要素在环境规制对农业 GTFP 影响过程中所发挥的中介作用,计量模型设定如下:

$$socioeconomic_{it} = \varphi_0 + \varphi_1 \ln ER_{it} + \varphi_2 control_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

其中,*socioeconomic* 为中介变量,包含经济增长、技术创新、人才红利和产业结构 4 个方面。

四、实证结果及讨论

(一)农业 GTFP 增长的特征事实

由图 2 可知,2006—2022 年中国农业 GTFP 整体呈现明显上升趋势,年均增长 2.22%①,表明人与自然和谐共生的中国式农业现代化建设稳中向好。这一结果与尹朝静等[1]、郭海红和刘新民[2]的研究结论较为一致。从贡献来源看,2006—2022 年农业 GTFP 增长主要由农业 GTC 驱动,年均增长 2.26%,而农业 GEC 作用有限,年均增长 -0.04%。根据时序演变特征,可将农业 GTFP 增长划分为两个阶段:2006—2012 年和 2013—2022 年。在第一阶段,农业 GTFP 增长较为缓慢,年均增长 0.41%,农业 GTC 和农业 GEC 同样增长缓慢,年均增长率分别为 0.30% 和 0.11%。原因可能是,这一时期农业技术水平落后,资源能源利用效率较低,同时环境规制早期成本较高,农业生态环境污染问题突出。在第二阶段,农业 GTFP 增速显著提高,年均增长 3.51%;该时期农业 GTC 增长迅速,年均增长 3.66%,但是农业 GEC 表现出恶化趋势,年均下降 0.14%。原因可能是,自党的十八大提出大力推进生态文明建设以来,政府持续加强生态环境保护,并且不断加大农业科技投入、完善农业科技管理体制,但由于技术推广体系不健全、新技术应用成本过高等问题,致使农业技术效率并未有效跟进。

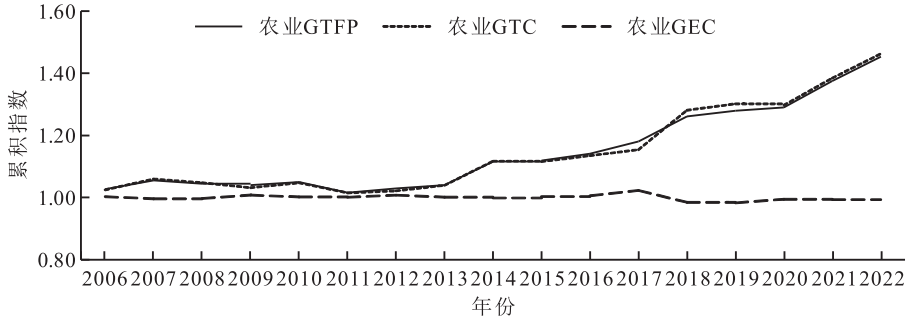


图 2 2006—2022 年中国农业 GTFP 累积指数及其分解项

① 本文测算的农业 GTFP 指数,刻画的是相邻两年的变动率,因此未包括 2005 年的数值。

在省级层面,2006—2022 年各省份农业 GTFP 增长差异显著(表 3)。其中,增速位列前 5 位的省(市)为山东、河北、上海、河南和辽宁,增速位列末 5 位的省份为青海、贵州、广西、广东和云南。此外,各省份农业 GTFP 增长模式同样存在较大差异。其中,江西、湖北、湖南和新疆等 4 个省份实现了农业 GTC 和农业 GEC 的双轮驱动,而北京、天津、河北和山西等 16 个省份主要依靠农业 GTC 单轮驱动,农业 GEC 的贡献有限。

表 3　2006—2022 年中国及各省(区、市)农业 GTFP 指数

省(区、市)	农业 GTFP	农业 GTC	农业 GEC	省(区、市)	农业 GTFP	农业 GTC	农业 GEC
北京	1.0350	1.0350	1.0000	湖北	1.0182	1.0123	1.0058
天津	1.0089	1.0089	1.0000	湖南	1.0171	1.0116	1.0054
河北	1.0549	1.0549	1.0000	广东	1.0000	1.0000	1.0000
山西	1.0136	1.0271	0.9868	广西	1.0000	1.0000	1.0000
内蒙古	1.0098	1.0098	1.0000	海南	1.0136	1.0136	1.0000
辽宁	1.0423	1.0423	1.0000	重庆	1.0217	1.0217	1.0000
吉林	1.0282	1.0330	0.9954	四川	1.0146	1.0146	1.0000
黑龙江	1.0127	1.0127	1.0000	贵州	1.0000	1.0000	1.0000
上海	1.0494	1.0757	0.9756	云南	1.0043	1.0043	1.0000
江苏	1.0295	1.0295	1.0000	陕西	1.0090	1.0090	1.0000
浙江	1.0310	1.0310	1.0000	甘肃	1.0106	1.0247	0.9862
安徽	1.0050	1.0128	0.9923	青海	1.0000	1.0000	1.0000
福建	1.0157	1.0157	1.0000	宁夏	1.0323	1.0323	1.0000
江西	1.0408	1.0152	1.0253	新疆	1.0319	1.0151	1.0165
山东	1.0769	1.0769	1.0000	全国	1.0222	1.0226	0.9996
河南	1.0450	1.0450	1.0000				

注:表格中的数值为几何平均值。

(二)基准回归结果

表 4 展示了基准回归结果①。其中,第(1)列不包含固定效应和控制变量,第(2)列进一步加入了固定效应,第(3)列则同时加入了固定效应和控制变量。以上回归结果均表明,环境规制显著促进了农业 GTFP 增长。因此,假说 H1 得证。

表 4　基准回归结果

变量	被解释变量:农业 GTFP		
	(1)	(2)	(3)
环境规制	0.077***(0.008)	0.087***(0.016)	0.065**(0.026)
城镇化			0.452*(0.238)
财政分权			−0.224***(0.080)
财政支农			−0.078*(0.044)
开放化			0.197(0.126)
农业生产结构			−0.356(0.279)
受灾率			−0.012(0.016)
常数项	−0.079***(0.024)	−0.108**(0.043)	0.296(0.282)
地区固定效应	否	是	是
样本量	510	510	510
调整后的 R^2	0.153	0.658	0.702

注:***、**和*分别表示 1%、5%和 10%的显著性水平;括号内为聚类到省级层面的稳健标准误。下同。

① 在参数估计之前,本文进行了面板单位根检验和多重共线性检验,结果显示各变量一阶平稳且变量间不存在严重共线性问题。限于篇幅,检验结果未在文中汇报,留存备索。

(三)内生性检验结果

1. 工具变量法

本文选取河流密度和观鸟记录数量两个工具变量,采用两阶段最小二乘法,验证基准结果的可靠性。第一,河流密度。从相关性来看,河流密度较高的地区通常水域面积较大,从而具有较多的国控污染监测点,地方政府在公众监督和上级监管的双重压力下,会更倾向于强化农业面源污染治理与农业废弃物处理,形成更为完善的农业生态环境保护制度体系[19]。从外生性来看,河流密度作为固有的自然地理特征,难以直接影响农业 GTFP[42]。同时,鉴于河流密度的非时变性,本文将河流密度与对应年份的乘积作为工具变量[19]。第二,观鸟记录数量。从相关性来看,观鸟记录数量与地区环境质量高度相关,因为鸟类多样性及种群规模直接反映生态环境状况,而环境规制政策的实施会显著改善栖息地质量,从而增加可观测的鸟类活动,因此观鸟记录数量能够有效捕捉环境规制的实际执行效果[43]。从外生性来看,观鸟记录数量所反映出的生物多样性由自然生态条件决定,其变化独立于农业生产系统,与农业技术进步或农业生产效率没有直接关系,能够有效避免与农业 GTFP 之间的直接关联。

表5列(1)和列(2)分别汇报了工具变量河流密度和观鸟记录数量第一阶段的回归结果。工具变量的估计系数均显著为正,验证了相关性假设。表5列(3)和列(4)汇报了第二阶段的回归结果。环境规制的估计系数均显著为正,表明排除内生性后,环境规制可以显著提升农业 GTFP。此外,Kleibergen-Paap rk LM 统计量和 Cragg-Donald Wald F 统计量检验排除了工具变量识别不足和弱工具变量问题。可见,基准结论具有稳健性。

2. 滞后一期解释变量

考虑到环境规制效果可能存在滞后性,本文将环境规制滞后一期进行回归,以削弱反向因果问题。由表5列(5)结果可知,核心解释变量的估计系数显著为正,表明政策效果可能存在的滞后效应不会对本文基准结论产生实质性影响。

3. 系统 GMM

考虑到以上两种方法均难以消除共同趋势所造成的内生性,本文通过引入滞后一期的农业 GTFP 建立动态面板模型,采用系统 GMM 检验前文结论的稳健性。由表5列(6)结果可知,环境规制的估计系数显著为正,并且 AR(1)和 AR(2)结果显示模型通过自相关检验,Hansen 检验结果显示模型通过过度识别检验,表明基准结论具有稳健性。

表5 内生性检验结果

变量	第一阶段:环境规制		第二阶段:农业 GTFP		解释变量滞后一期	系统 GMM
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
环境规制			0.215***(0.076)	0.173**(0.065)		0.062**(0.025)
工具变量	0.373***(0.064)	0.062***(0.012)				
环境规制滞后一期					0.068**(0.026)	
农业 GTFP 滞后一期						0.854***(0.081)
Kleibergen-Paap rk LM 统计量	11.734***	10.526***	11.734***	10.526***		
Cragg-Donald Wald F 统计量	148.104	56.142	148.104	56.142		
AR(1)p 值						0.090
AR(2)p 值						0.230
Hansen 检验 p 值						0.324
控制变量	是	是	是	是	是	是
地区固定效应	是	是	是	是	是	是
样本量	510	510	510	510	480	480

(四)其余稳健性检验结果

第一,更换被解释变量测算方法。本文采用 SBM 模型结合全局 Malmquist-Luenberger 生产率指数测算得到的农业 GTFP 作为被解释变量进行基准回归。第二,排除异常值的影响。本文对各变量进行上下 1% 的缩尾处理后进行基准回归。第三,排除直辖市的影响。本文对剔除 4 个直辖市的样本数据进行基准回归。第四,滞后一期控制变量。本文对控制变量进行滞后一期处理后进行基准回归。第五,增加控制变量。本文在基准模型中进一步控制机械化、农业产业聚集、工业化、人口密度和农地经营规模等变量①。由表 6 列(1)~(5)结果可知,环境规制的估计系数仍然显著为正,表明本文基准结论具有稳健性。

表 6　稳健性检验结果

变量	被解释变量:农业 GTFP				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
环境规制	0.137**(0.052)	0.058**(0.023)	0.053**(0.025)	0.080**(0.031)	0.055**(0.025)
控制变量	是	是	是	是	是
地区固定效应	是	是	是	是	是
样本量	510	510	442	480	510
调整后的 R^2	0.735	0.795	0.804	0.727	0.806

五、机制识别

(一)自然地理要素

1. 地理气候因素

根据理论分析,本文检验地理气候因素在环境规制影响农业 GTFP 过程中的调节作用。

第一,根据表 7 列(1)结果,海拔会负向调节环境规制对农业 GTFP 的影响。原因可能是,空气含氧量会随海拔升高而递减,容易导致农机燃料燃烧不充分,进而增加能源消耗并加剧碳排放;同时,农业投资建设成本随海拔升高而递增,会对农业技术及专业人才引入产生阻碍,致使海拔较高地区环境治理面临技术与人力资源的双重匮乏。

第二,根据表 7 列(2)结果,地形起伏度会负向调节环境规制对农业 GTFP 的影响。原因可能是,地形起伏度的增加会抬高地区交通运输、基础设施建设成本,制约经济社会发展和城镇化进程,导致缺乏足够的要素资源来支持环境政策的实施。

第三,根据表 7 列(3)结果,降水量增加尚未在环境规制促进农业 GTFP 增长中产生负向调节作用。原因可能是,虽然降水量的增加会促使农户为了保证产量而增加农药用量,但是降水量的增加同时会提高植物生产力和农业生态系统碳吸存[44],进而提高农业生态价值、改善环境质量。当然,这并不意味着可以忽视降水因素在环境规制中的重要性,反而需要依据当地多年平均降水量及降水变化趋势,制定适宜的化学品使用标准和监管措施,并引导农户适时地使用化学品。

第四,根据表 7 列(4)结果,气温变化会正向调节环境规制对农业 GTFP 的影响。原因可能是,气温波动变化会引发社会公众对环境问题的关注,而这一关注有利于提高社会公众对于农业环境治理的响应度和参与度,积极采用农业绿色技术、减少农业碳排放。

第五,根据表 7 列(5)结果,逆温天气的增加会正向调节环境规制对农业 GTFP 的影响。原因可能是,逆温天数越多,当地的空气质量越差,从而可能提高政府及社会各界对环境问题的关注

① 限于篇幅,各新增控制变量的衡量方式未在文中汇报,留存备索。

度,进而加强农业环境监管与治理。

综上可知,海拔、地形起伏度负向调节环境规制对农业 GTFP 的促进作用,但降水量并没表现出显著的负向调节作用;气温变化和逆温正向调节环境规制对农业 GTFP 的促进作用。因此,假说 H2 得到了部分验证。

表 7 地理气候条件在环境规制影响农业 GTFP 增长中的调节效应检验结果

变量	被解释变量:农业 GTFP				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
环境规制	0.064**(0.025)	0.054**(0.024)	0.062**(0.026)	0.065**(0.026)	0.058**(0.025)
环境规制×海拔	-0.016**(0.008)				
环境规制×地形起伏度		-0.025*(0.014)			
环境规制×降水量			-0.020(0.017)		
环境规制×气温变化				0.018*(0.010)	
环境规制×逆温					0.014*(0.008)
控制变量	是	是	是	是	是
地区固定效应	是	是	是	是	是
样本量	510	510	510	510	510
调整后的 R^2	0.714	0.713	0.705	0.704	0.709

2. 地理区位特征

根据理论分析,地区间经济发展水平、产业结构特征和粮食生产布局的差异,会导致不同地理区位下环境规制对农业 GTFP 的影响呈现异质性,为此本文参考杨慧梅和江璐[45]、李峰波等[46]和魏梦升等[28]的做法,将研究样本依次划分为东部和中西部地区、南方和北方地区以及粮食主产区和非粮食主产区,以此考察不同地理区位特征下环境规制对农业 GTFP 的影响差异。

第一,根据表 8 列(1)和列(2)结果,环境规制能够显著促进东部地区农业 GTFP 增长,而对中西部地区并无显著影响。原因可能是,东部地区地理位置优越,经济社会发展水平较高,基础设施建设相对完善,有利于提高要素流动的自由度,增加农户信息和技术的可获得性,因此东部地区能够更快地响应并适应环境规制。而中西部地区由于地理区位、农业基础设施等原因,现阶段创新带来的成本节约和生产效率提升仍未充分抵消早期的污染治理成本。因此,现阶段中西部地区亟须完善农业基础设施建设,提高要素配置效率,以此增强环境规制的有效性。

第二,根据表 8 列(3)和列(4)结果,环境规制能够显著促进南方地区农业 GTFP 增长,而环境规制对于北方地区农业 GTFP 具有显著抑制作用。原因可能是,相较于南方地区,北方地区更加依赖资本拉动型经济增长方式,导致内生动力不足、资源能源利用方式粗放,削弱了环境规制对农业绿色转型的"倒逼"作用,使其"创新补偿"效应未能超越"遵循成本"效应。因此,基于南北差距日益扩大的现实背景,北方地区亟需转变传统增长模式,通过科技创新培育新动能,充分释放环境规制的政策红利,推动南北方农业 GTFP 协同提升。

第三,根据表 8 列(5)和列(6)结果,环境规制能够显著促进粮食主产区农业 GTFP 增长,而对非粮食主产区并无显著影响。原因可能是,粮食主产区内农业生产趋向规模化,种植结构趋向专业化,不仅有利于实现专业分工而产生规模经济效应,优化农业生产要素配置,而且有助于通过农业技术和农业基础设施的共享,改善原本粗放、高碳的生产模式[28]。而非粮食主产区农业规模化、专业化程度相对较低,导致环境规制对农业 GTFP 的改善作用并不明显。因此,非粮食主产区应提高农业生产规模化、专业化程度,推动农业生产要素形成规模效应。

综上可知,环境规制对农业 GTFP 的促进作用在东部地区、南方地区以及粮食主产区更加明

显。因此,假说 H3 得证。

表 8　不同地理区位特征下环境规制对农业 GTFP 增长影响的异质性检验结果

变量	被解释变量:农业 GTFP					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
环境规制×东部	0.088*(0.045)					
环境规制×中西部		-0.029(0.042)				
环境规制×南方			0.080***(0.023)			
环境规制×北方				-0.063*(0.032)		
环境规制×粮食主产区					0.075**(0.028)	
环境规制×非粮食主产区						-0.043(0.030)
控制变量	是	是	是	是	是	是
地区固定效应	是	是	是	是	是	是
样本量	510	510	510	510	510	510
调整后的 R^2	0.716	0.694	0.728	0.708	0.720	0.699

(二)社会经济要素

根据理论分析,本文检验社会经济要素在环境规制影响农业 GTFP 中的中介作用。

第一,根据表 9 列(1)和列(2)结果,环境规制能够促进农民收入提高和释放经济发展活力。一方面,环境规制能够提升农户对市场需求的敏感度,激励他们更倾向于采用绿色技术,生产绿色有机农产品,从而通过增加农产品的附加值来促进农户增收;另一方面,适当的环境规制能够激励涉农企业采取绿色金融政策以及促进碳交易体系有效运行[30],有助于增强经济发展活力。相关研究也表明,提高农民收入水平和释放经济发展活力,能够有效遏制环境负外部性[23],从而促进农业 GTFP 增长。

第二,根据表 9 列(3)和列(4)结果,环境规制能够促进农业技术创新和推动农业绿色创新。一方面,环境规制可能会推动农户采用更环保的技术,从而提高农业生产率、降低农业污染,逐渐抵消遵循成本;另一方面,环境规制通过提升公众对绿色农产品的消费偏好,推动农业生产者采纳绿色技术,进而促进农业绿色创新水平的提升[9]。相关研究也表明,农业技术创新水平的提升和农业绿色创新能力的增强,能够优化农业投入要素结构、提高农业产量和减少农业污染[11],从而促进农业 GTFP 增长。

第三,根据表 9 列(5)和列(6)结果,环境规制能够促进农村人力资本积累和农业科技人才聚集。一方面,农业环境规制通过推动绿色技术的应用与推广,提升农户的绿色生产技能和环保意识,从而促进农村人力资本的积累;另一方面,环境规制要求采用更先进的绿色技术和管理方式,从而增加了对高素质劳动力的需求,进而促进农业科技人才的集聚。相关研究也表明,农村人力资本积累和农业科技人才聚集有利于提高生产要素利用效率,推动新知识、新技术的发展和传播[47],从而促进农业 GTFP 增长。

第四,根据表 9 列(7)结果,环境规制估计系数并不显著,而列(8)中环境规制估计系数显著为正,表明环境规制并未促进农业产业结构合理化,但是推动了农业产业结构高级化。一方面,环境规制有利于优化农业资源配置效率,推动农业产业结构趋向合理化。但是,环境规制实施产生的“遵循成本”,可能造成农业生产无利可图,并促使农户将生产要素投入单一的经济作物[9],从而阻碍农业产业结构向合理化方向发展,因此环境规制尚未对农业产业结构合理化表现出显著促进作用。另一方面,环境规制有利于推动农业技术革新,促进环境外部成本内部化,并降低生产成本,

以此推动农业生产链的有效延长和升级,从而促进农业产业结构高级化。相关研究也表明,农业产业结构高级化能够通过提高农业生产效率和减少农业污染排放[48],从而促进农业 GTFP 增长。

综上可知,环境规制可以通过推动经济增长、促进技术创新、释放人才红利和优化产业结构进而促进农业 GTFP 增长。因此,假说 H4 得证。

表 9 环境规制通过社会经济要素影响农业 GTFP 增长的机制检验回归结果

变量	经济增长机制		技术创新机制		人才红利机制		产业结构机制	
	农民人均收入	经济发展活力	农业技术创新	农业绿色创新	农村人力资本	农业科技人才	产业结构合理化	产业结构高级化
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
环境规制	0.201***(0.033)	0.134***(0.029)	0.291***(0.062)	0.286***(0.067)	0.008**(0.004)	0.402***(0.105)	-0.129(0.101)	0.124***(0.045)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是
地区固定效应	是	是	是	是	是	是	是	是
样本量	510	510	510	510	510	510	510	510
调整后的 R^2	0.973	0.978	0.938	0.951	0.925	0.655	0.192	0.772

六、研究结论与政策建议

本文首先从地理要素视角构建了环境规制影响农业 GTFP 的理论框架,然后基于 2005—2022 年中国 30 个省(区、市)的面板数据,系统考察了环境规制对农业 GTFP 的影响及其作用机制。主要研究结论如下:第一,环境规制能够显著促进农业 GTFP 增长,并且该结论通过了一系列稳健性检验。这表明,目前中国农业环境规制的"创新补偿"效应已经超过了"遵循成本"效应,在整体层面有序且适度增加环境规制强度,能够为人与自然和谐共生的中国式农业现代化建设提供有力支撑。第二,地理气候条件通过治理机制使得海拔和地形起伏度在环境规制对农业 GTFP 的影响中表现出负向调节作用,而气温变化和逆温则表现出正向调节作用;地理区位特征通过生产机制使得环境规制对农业 GTFP 的促进作用在东部地区、南方地区和粮食主产区表现得更加明显。第三,环境规制能够通过推动经济增长、促进技术创新、释放人才红利和优化产业结构 4 条中介机制促进农业 GTFP 增长。但是,环境规制尚不能通过推动农业产业结构合理化实现农业 GTFP 增长。

基于以上结论,本文提出如下政策建议:

第一,常态长效推进地区环境治理,全面强化农业环境政策执行效率。一方面,应精细化农业相关的环境规制条款,明确具体的排放标准与污染治理要求,同时明晰违规处罚措施,构建梯度式惩罚机制,提高农业环境政策的可操作性和执行力;另一方面,亟待打破行政边界壁垒,整合环保、农业农村、市场监管等多部门力量,推动联合执法行动,同时构建全方位、多层次的监督体系,建立定期的信息互通机制,促进各部门间数据共享和情报交流,以便及时发现并解决农业生产中的环境问题,提高环境规制的执行效率和覆盖面。

第二,充分考虑环境规制中各地区自然地理要素特征,因地制宜优化调整农业环境政策。一方面,在制定和实施农业环境规制时,应摒弃地理条件同质化的预设前提,充分考虑易被忽视的自然气候条件,积极联合农业气象观测站、遥感监测平台,着重评估海拔、地形起伏等因素对环境规制执行效果的潜在差异,并深入探索如何发挥气温变化、逆温等不利气候现象在环境规制执行中的有益作用。另一方面,环境政策实施应注重地理区位特征差异,避免"一刀切"的执行模式。尤其在中西部地区、北方地区和非粮食主产区,政府不能一味增强规制力度,而应动态调整规制工具与强度,鼓励适宜性农业绿色技术的引进与推广,逐步抵消"遵循成本"效应带来的负面影响。

第三,有效发挥环境规制对社会经济要素的促进作用,合理规避农业绿色发展过程中可能产生的经济社会风险。一方面,通过推动农业增效益、农村增活力、农民增收入,促进农业生态环保技术的创新与推广,完善高层次农业科技人才培养和引进政策,优化农业产业结构,持续激发环境规制对社会经济要素的促进作用;另一方面,在制定环境规制政策时,始终坚持"以人为本"的核心理念,应充分考虑农户的承受能力,通过财政补贴、税收优惠等财政措施,或通过鼓励农业产业链上下游主体参与成本分担的方式,降低农户的"遵循成本",同时还需明确各地的环境底线,避免因盲目追求绿色政策补贴而出现逐底竞争现象。

参考文献:

[1]尹朝静,杨坤,田云. 中国农业生态全要素生产率增长:经验事实、区域差异与动态演进[J]. 中国农村经济,2024(2):20 - 43.

[2]郭海红,刘新民. 中国农业绿色全要素生产率的时空分异及收敛性[J]. 数量经济技术经济研究,2021(10):65 - 84.

[3]余泳泽,尹立平. 中国式环境规制政策演进及其经济效应:综述与展望[J]. 改革,2022(3):114 - 130.

[4]何凌云,祁晓凤. 环境规制与绿色全要素生产率——来自中国工业企业的证据[J]. 经济学动态,2022(6):97 - 114.

[5]BARBERA A J, MCCONNELL V D. The impact of environmental-regulations on industry productivity—direct and indirect effects[J]. Journal of environmental economics and management, 1990(1): 50 - 65.

[6]PORTER M E. America's green strategy[J]. Scientific American, 1991(4): 168.

[7]胡雪萍,乐冬. 环境规制促进了农业全要素生产率提升吗?[J]. 江汉论坛,2022(11):42 - 51.

[8]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.

[9]XIONG H, ZHAN J, LV Z X. Challenges or drivers? Threshold effects of environmental regulation on China's agricultural green productivity[J]. Journal of cleaner production, 2023,429:139503.

[10]郭海红,李树超. 环境规制、空间效应与农业绿色发展[J]. 研究与发展管理,2022(2):54 - 67.

[11]展进涛,杨雨,熊航. 环境规制、绿色创新与农业碳生产率[J]. 科学学与科学技术管理,2024(8):72 - 90.

[12]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.

[13]SONG Y, ZHANG B, WANG J, et al. The impact of climate change on China's agricultural green total factor productivity[J]. Technological forecasting and social change, 2022,185:122054.

[14]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.

[15]安博文,许培源,黄寰,等. 中国协同推进降碳减污扩绿增长的绩效评估及空间差距演变——基于人与自然和谐共生的系统观[J]. 经济问题探索,2024(10):115 - 135.

[16]夏学超,孙慧,祝树森,等. 多元主体环境规制组合如何实现降碳减污扩绿增长协同推进?[J]. 中国人口·资源与环境,2024(8):22 - 35.

[17]KIM S. Expansion of markets and the geographic distribution of economic activities: the trends in U. S. regional manufacturing structure, 1860 - 1987[J]. Quarterly journal of economics, 1995(4): 881 - 908.

[18]PICARD P M, ZENG D Z. A harmonization of first and second natures[J]. Journal of regional science, 2010(5): 973 - 994.

[19]邵帅,葛力铭,朱佳玲. 人与自然何以和谐共生:地理要素视角下的环境规制与环境福利绩效[J]. 管理世界,2024(8):119 - 146.

[20]韩峰,李玉双. 产业集聚、公共服务供给与城市规模扩张[J]. 经济研究,2019(11):149 - 164.

[21]常晓东,王士君,杨志鹏,等.21 世纪以来中国粮食生产能力空间重构过程与驱动机制[J].自然资源学报,2025(3):728 - 749.
[22]DU J, HOU L L, ZHAO Y Y, et al. Impacts of sandstorms on wheat yield in northern China[J]. American journal of agricultural economics, 2025(4):1087 - 1116.
[23]杜江,王锐,王新华.环境全要素生产率与农业增长:基于 DEA-GML 指数与面板 Tobit 模型的两阶段分析[J].中国农村经济,2016(3):65 - 81.
[24]KUMAR S, DHAR H, NAIR V V, et al. Environmental quality monitoring and impact assessment of solid waste dumpsites in high altitude sub-tropical regions[J]. Journal of environmental management, 2019,252:109681.
[25]易福金,周甜甜,陈晓光.气候变化、农业科研投入与农业全要素生产率[J].南京农业大学学报(社会科学版),2021(4):155 - 167.
[26]杜克锐,欧阳晓灵,郑泳薇.环境规制是否促进我国城市的绿色经济增长?[J].统计研究,2023(12):39 - 49.
[27]曾福生,李飞.农业基础设施对粮食生产的成本节约效应估算——基于似无相关回归方法[J].中国农村经济,2015(6):4 - 12.
[28]魏梦升,颜廷武,罗斯炫.规模经营与技术进步对农业绿色低碳发展的影响——基于设立粮食主产区的准自然实验[J].中国农村经济,2023(2):41 - 65.
[29]CHEN K, YIN L. The impact of environmental regulation on farmers' income: an empirical examination based on different sources of income[J]. Environmental science and pollution research, 2023(46): 103244 - 103258.
[30]JING R, LIU R. The Impact of green finance on persistence of green innovation at firm-level: a moderating perspective based on environmental regulation intensity[J]. Finance research letters, 2024,62:105274.
[31]GUO X, XU J. New ambient air quality standards, human capital flow, and economic growth: evidence from an environmental information disclosure policy in China[J]. Journal of cleaner production, 2024,434:140168.
[32]王凤婷,王浩,孔凡斌.农村数字化发展对农业全要素碳生产率的提升效应[J].中国人口·资源与环境,2024(3):79 - 90.
[33]赵敏娟,周超辉.高质量推进农业绿色发展:多目标协同和多中心治理[J].中国农业大学学报(社会科学版),2024(5):34 - 49.
[34]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.
[35]田云,尹忞昊.中国农业碳排放再测算:基本现状、动态演进及空间溢出效应[J].中国农村经济,2022(3):104 - 127.
[36]TONE K, TSUTSUI M. An epsilon-based measure of efficiency in DEA—A third pole of technical efficiency[J]. European journal of operational research, 2010(3): 1554 - 1563.
[37]封志明,唐焰,杨艳昭,等.中国地形起伏度及其与人口分布的相关性[J].地理学报,2007(10):1073 - 1082.
[38]HONG H, LI F W, XU J. Climate risks and market efficiency[J]. Journal of econometrics, 2019(1): 265 - 281.
[39]张乃丽,欧家瑜.产业结构、生产率与经济增长"减速":基于日本都道府县面板数据的实证分析[J].山东大学学报(哲学社会科学版),2018(1):102 - 110.
[40]杜龙政,赵云辉,陶克涛,等.环境规制、治理转型对绿色竞争力提升的复合效应——基于中国工业的经验证据[J].经济研究,2019(10):106 - 120.
[41]宋马林,王舒鸿.环境规制、技术进步与经济增长[J].经济研究,2013(3):122 - 134.
[42]方芳,赵军,黄宏运,等.城镇化推进模式与我国农业低碳全要素生产率——来自双源夜间灯光证据[J].统计研究,2024(4):111 - 125.
[43]MENG L, LIU P, ZHOU Y, et al. Blaming the wind? The impact of wind turbine on bird biodiversity[J]. Journal of development economics, 2025,172:103402.
[44]REN H Y, XU Z W, ISBELL F, et al. Exacerbated nitrogen limitation ends transient stimulation of grassland productivity by increased precipitation[J]. Ecological monographs, 2017(3):457 - 469.

[45]杨慧梅,江璐. 数字经济、空间效应与全要素生产率[J]. 统计研究,2021(4):3 - 15.
[46]李峰波,程文浩,陈琴,等. 中国经济南北差距演变及其收敛性评估[J]. 经济地理,2024(12):1 - 11.
[47]尹朝静. 科研投入、人力资本与农业全要素生产率[J]. 华南农业大学学报(社会科学版),2017(3):27 - 35.
[48]金芳,金荣学. 农业产业结构变迁对绿色全要素生产率增长的空间效应分析[J]. 华中农业大学学报(社会科学版),2020(1):124 - 134.

Can Environmental Regulation Promote Agricultural Green Total Factor Productivity Growth? —— A Mechanism Test from the Perspective of Geographical Factors

YIN Chao-jing[1a,1b], LIAO Pei-sen[1a], TIAN Yun[2]
(1. *a. School of Economics and Management; b. Rural Economics and Management Research Center, Southwest University, Chongqing* 400715, *China*;
2. *School of Business Administration, Zhongnan University of Economics and Law, Wuhan* 430073, *China*)

Abstract: Based on panel data from 30 provinces in China (excluding Tibet, Hong Kong, Macao, and Taiwan) between 2005 and 2022, this study employs a fixed effects model to examine the impact and mechanisms of environmental regulation on agricultural green total factor productivity (GTFP) from a novel geographical perspective. The results show that environmental regulation has a significant promoting effect on agricultural GTFP, and this effect remains robust after addressing endogeneity issues and conducting rigorous sensitivity tests. In terms of moderating mechanisms, altitude and topographic relief negatively moderate the impact of environmental regulation on agricultural GTFP, while temperature change and temperature inversion positively moderate this relationship. From a heterogeneity perspective, the promoting effect of environmental regulation is more pronounced in eastern regions, southern regions, and major grain-producing areas. Regarding mediating mechanisms, environmental regulation enhances agricultural GTFP by fostering economic growth, promoting technological innovation, unleashing demographic dividends, and optimizing industrial structure. Therefore, the government should enhance the implementation efficiency of agricultural environmental policies, optimize environmental regulations according to local geographical characteristics, and stimulate the positive socioeconomic effects of environmental regulations.

Key Words: geographical elements; environmental regulation; agricultural GTFP; EBM-GML model

【责任编辑:毛殷】