

引用格式：

韩文燕, 郭海红. 高标准农田建设能否促进农业绿色低碳发展? [J]. 农业现代化研究, 2024, 45(6): 992-1000.

HAN W Y, GUO H H. Does the construction of high-standard farmland promote green and low-carbon agricultural development? [J]. Research of Agricultural Modernization, 2024, 45(6): 992-1000.

DOI: 10.13872/j.1000-0275.2024.1066

CSTR: 32240.14.1000.0275.2024.1066



高标准农田建设能否促进农业绿色低碳发展?

韩文燕, 郭海红*

(青岛农业大学经济管理学院, 山东 青岛 266109)

摘要: 探究高标准农田建设对农业绿色低碳发展的作用效果及机理, 以期对农业可持续发展提供参考。本研究基于 31 个省(区、市)(不包括港澳台)的面板数据, 使用双向固定效应面板模型以及包含非期望产出的超效率 SBM-GML 模型探索了高标准农田建设对农业绿色低碳发展的影响及其可能的传导路径。结果表明: 1) 高标准农田建设能显著促进农业绿色低碳发展, 并且在进行一系列稳健性检验后, 该结论依然成立。2) 机制检验结果表明, 高标准农田建设主要通过提升耕地质量和促进农业社会化服务的使用助力农业绿色低碳发展, 农业规模经营在高标准农田助力农业绿色低碳发展过程中起到正向调节作用。3) 异质性分析发现, 高标准农田建设对我国东部和中部粮食主产区的农业绿色低碳发展产生显著正向影响, 对西部地区和非粮食主产区的作用效果不明显。据此提出持续强化高标准农田建设, 充分激发路径潜力, 着力构建区域间联动发展机制等政策建议。

关键词: 高标准农田; 农业绿色低碳; 耕地质量; 农业社会化服务; 规模经营

中图分类号: F323

文献标识码: A

文章编号: 1000-0275(2024)06-0992-09

Does the construction of high-standard farmland promote green and low-carbon agricultural development?

HAN Wenyan, GUO Haihong

(College of Economics and Management, Qingdao Agricultural University, Qingdao, Shandong 266109, China)

Abstract: Exploring the effect and mechanism of high-standard farmland construction on the green and low-carbon development of agriculture can provide valuable reference for the sustainable development of agriculture. Based on a panel data of 31 provinces (excluding HongKong, Macao and Taiwan), this study explores the effects of high-standard farmland construction on agricultural green and low-carbon development and its possible transmission paths by a two-way fixed-effects panel model and the super-efficient SBM-GML model that includes undesired outputs. Results show that: 1) the construction of high-standard farmland can significantly promote the green and low-carbon development of agriculture, and the conclusion still holds after a series of robustness tests. 2) The results of the mechanism test show that the construction of high-standard farmland mainly helps the green and low-carbon development of agriculture by improving the quality of land resources and promoting the use of agricultural socialized services, and the scale operation of agriculture plays a positive moderating role in the process of the construction of high-standard farmland to help the green and low-carbon transformation of agriculture. 3) Heterogeneity analysis indicates that the construction of high-standard farmland has a significant positive impact on the green and low-carbon development of agriculture in the main grain-producing regions in the east and center of China, while the effect on the western region and non-main grain-producing regions is not obvious. Accordingly, this paper puts forward some policy recommendations, including continuously strengthening the construction of high-standard farmland fully stimulating the potential of paths, and building interregional linkage development mechanisms.

Keywords: high-standard farmland; low-carbon greening of agriculture; cropland quality; agricultural socialization services; large-scale operation

绿色低碳发展是当前全球关注的重要议题, 党的二十大报告提出坚持农业绿色低碳发展, 践行绿水青山就是金山银山的发展理念。2021 年, 农业农村部联合印发的《“十四五”全国农业绿色发展规

划》, 明确了“十四五”时期农业绿色发展的总体要求。长期以来, 过度追求“量”的粗放型农业生产方式带来严重的生态环境危机^[1], 倒逼农业向绿色化、集约化方向转型^[2]。在当前“双碳”背景下,

收稿日期 Received: 2024-07-10; 接受日期 Accepted: 2024-12-19

基金项目: 国家社会科学基金项目(21BGL160); 山东省哲学社会科学青年人才团队项目(2024-QNRC-40); 青岛市社会救助兜底保障水平研究项目(6602424737)。Supported by the National Social Science Foundation of China (21BGL160); Young Talent Team of Philosophy and Social Sciences in Shandong Province (2024-QNRC-40); Study on the Level of Social Assistance Pocket Guarantee in Qingdao City (6602424737).

* 通信作者 Corresponding author (984134754@qq.com)

农业减排固碳实现绿色发展显得尤为重要^[1]。学者们从宏观及农户微观两个层面对农业绿色低碳发展进行研究，切入点涉及金融工具、政策实行等多领域。从宏观上看，规模经营与技术进步协同作用共同促进农业绿色低碳发展^[4]，数字普惠金融^[5]、新质生产力^[6]作为深刻变革的催化剂，也为农业绿色发展注入了新的活力。但是要素投入、科技研发以及绿色发展激励和约束机制的不健全，是“双碳”战略视角下农业绿色发展的障碍^[7]。从农户微观视角出发，数字化水平高^[8]、农业生产托管参与程度高^[9]的情况下农业绿色低碳发展水平也更高，子孙后代提供经济支持可以促进老龄化农户对农业绿色技术的采纳^[10]，进而提高农业绿色低碳发展水平。

新时期国家对如何确保粮食安全提出了更高的要求，建设高标准农田是稳定和提升粮食产能、维护国家粮食安全的关键举措，也是促进农业可持续发展的有效手段^[11]。到2022年底全国已累计建成6666.67万hm²高标准农田，保障了5000亿kg以上粮食产能^[12]。现有研究主要从投入减量、产出增加或污染降低等促进农业绿色低碳的某一角度，探讨高标准农田建设对农业绿色低碳发展的影响。在产出增加方面，高标准农田建设通过带动农业生产性服务业^[13]、推进劳动力转移和种植结构调整^[14]等方式提升了农业生产效率。在投入减量与污染降低方面，高标准农田建设通过扩充耕地规模、提升农业横向与纵向分工水平等方式促进了化肥的减量化使用^[15]，能够使稻农的单位面积农药投入降低22.12%^[16]，对农业碳排放^[17]和农业面源污染^[18]具有持续的抑制效应。但少有学者从投入产出过程分析高标准农田建设对农业绿色低碳发展的作用效果。

综上，学者们进行了充分有益的研究，为本文提供了重要参考，但对于高标准农田建设与农业绿色低碳发展间的作用及机理缺乏深入探讨。基于此，本文的边际贡献在于：一是采用固定效应模型探讨高标准农田建设项目除带来“趋粮化”和“农民收入提升”等经济效益外，是否还促进农业生态效益的提升；二是丰富了机制研究，厘清耕地质量提升、农业社会化服务以及规模经营在高标准农田建设与农业绿色低碳发展之间的传导路径，打开二者间作用机制“黑箱”。

1 理论分析与研究框架

1.1 高标准农田建设的绿色低碳发展逻辑

生态经济理论讲求生态效益与经济效益的统一，确保农业发展的可持续性。高标准农田建设的

不断推进，不仅能够保障粮食安全，还能保持生态系统整体稳定^[19]。效率增长情况更能反映农业绿色低碳发展趋势的变化^[20]，农业绿色全要素生产率的提升反映出农业绿色低碳发展水平的跃迁^[21]。高标准农田建设可以通过优化资源配置提升农业产能^[22]，又可以通过发展规模经营和增加农业社会化服务采纳率促进化肥、农药的减量化使用。这些措施一方面精简了农业要素投入，另一方面减少了因化学品投入产生的碳排放和面源污染，是促进农业绿色全要素生产率提升的重要途径，也是实现农业绿色低碳发展的必要手段。

据此，提出假说H1：建设高标准农田有助于实现农业绿色低碳发展。

1.2 高标准农田建设的绿色低碳发展机理

1.2.1 高标准农田建设、耕地质量与农业绿色低碳发展 耕地质量等级调查与评定结果显示，我国耕地质量整体处于中等偏下水平。高标准农田建设通过土地平整与改良，改善了土壤结构，增加了土壤有机质含量，提高了土壤的保水保肥能力，有效解决了耕地不平整及地块间质量差异的问题。根据可持续发展理论，良好的土壤管理能够维持和增强农田生态系统的服务功能，促进土壤内部养分的循环与转化，维持生物多样性的平衡，由此建立起来的天然屏障强化了土壤自身的生态修复能力，降低了农业面源污染的风险^[23]，对农业绿色低碳发展产生复杂而深刻的影响。此外，耕地质量的高低还会潜在影响到农户的行为和意识，优质的耕地使得他们更易于采纳先进的农业绿色低碳技术。

1.2.2 高标准农田建设、农业社会化服务与农业绿色低碳发展 依据资源优化配置理论，高标准农田建设通过完善基础设施、促进规模经营和提高生产效率等方式方便了社会化服务主体的介入，满足了社会化服务主体发挥作用所需的田间道路通畅、地块平坦及机械化作业集中等基础条件。因此，建设高标准农田的农户会提高对农业社会化服务的采纳率^[24]。农业社会化服务是小农户融入现代农业的实践性途径和政策导向^[25]，依据系统思维，服务主体在服务过程中会催生农业分工和专业化生产，有助于提高农业生产效率和资源利用效率，推动农业绿色低碳发展。此外，农业社会化服务组织是先进技术要素的重要载体，他们通过集中采购农资、采取统一的环保措施和先进绿色技术等协同治理手段，对农业绿色低碳发展产生多维度、深层次的影响^[26]。

据此，提出假说H2：建设高标准农田可以通过提升耕地质量和增加农业社会化服务助力农业绿

色低碳发展。

1.2.3 高标准农田建设、规模经营与农业绿色低碳发展 高标准农田建设按照“田成方、水成渠”等建设标准进行的土地整治措施，有效解决了耕地分散化和细碎化问题^[27]，从而将农地经营规模扩大到适宜水平^[28]。同时在劳动力非农转移、农村人力资本弱化的背景下，在土地流转和连片经营的过程中^[29]，新型农业经营主体，诸如种植大户、职业农民等不断下沉至农村地区逐渐取代了个体农户，农业经营规模呈扩大趋势^[30]。根据规模经济理论，规模经营能够提供经济激励和减轻劳动限制，通过横向和纵向两方面分工使各个环节能够更加高效地协作和配合，实现农业生产的提质增效与减污降碳^[31]。从实践发展的过程看，规模经营的农户更加注重农产品的绿色化、有机化品牌建设，也更易采纳种养结合、循环农业等发展模式，这些模式可以提高农业生态系统的稳定性和恢复力，增强其碳汇功能，对冲农业生产过程中的碳排放与面源污染。

据此，提出假说 H3：规模经营在高标准农田建设与农业绿色低碳发展过程中发挥正向调节作用。理论框架如图 1 所示。

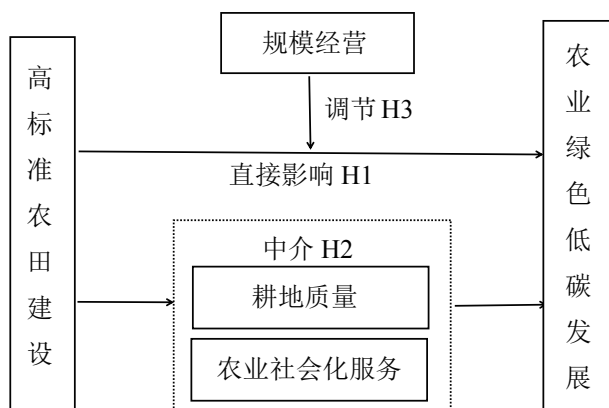


图 1 理论分析框架

Fig. 1 Theoretical analysis framework

2 指标构建与研究方法

2.1 指标构建

1) 被解释变量：农业绿色低碳发展。农业生产过程是投入生产要素，获得期望产出和非期望产出两种产出相伴而生的农业生产活动^[32]。所以本文选用纳入非期望产出的农业绿色全要素生产率来衡量农业绿色低碳发展水平。参考郭海红和刘新民^[33]的研究，投入产出指标选取如表 1 所示。根据数据可得性，农业碳排放聚焦于种植业领域，参考田云和尹恣昊^[34]的研究，使用碳排放系数计算农药、化肥、农膜、农用柴油投入、农业翻耕和灌溉过程中产生的碳排放总和。

2) 核心解释变量：高标准农田建设情况。使用高标准农田建设面积来表示，由于数值相差较大，所以进行对数化处理。同时参考钱龙等^[35]的研究，以农业综合开发投入中的土地治理项目资金作为核心解释变量的替代变量进行稳健性检验。

3) 机制变量：本文机制变量包括耕地质量、农业社会化服务和规模经营。参考王术坤和林文声^[36]的做法，使用原国土资源部公布的各地区耕地质量等别及面积数据，采用等别面积加权法测算各地区平均耕地质量等别，耕地质量为负向指标，1~4 等代表优等地，5~8 等为高等地，9~12 等为中等地，13~15 等为低等地。

4) 控制变量：参考学者研究，将农业产业结构、农村经济发展水平、环境规制、受灾率、农村人力资本、财政支农水平为本文的控制变量。变量说明及描述性统计见表 2。

2.2 模型设定

1) GML 指数。选取包含非期望产出的超效率 SBM-GML 模型测算我国省际农业绿色全要素生产率。超效率 SBM 模型参考 TONE^[37]。GML 指数既具有可比性，也可以有效规避可能无解的情况，根

表 1 农业绿色全要素生产率测算指标

Table 1 Indicators for measuring green total factor productivity in agriculture

变量类别	变量	变量说明
投入变量	农业从业人员 / 万人	乡村人口中 16 岁以上参加劳动并取得收入的人员
	农作物播种面积 / hm ²	指收获农作物在全部土地上的播种或移植面积
	农业机械总动力 / kW	全部农业机械动力的额定功率之和
	有效灌溉面积 / hm ²	能正常灌溉的耕地面积。
	化肥折纯量 / t	把氮肥、磷肥、钾肥折算后的数量
	农药使用量 / t	用于农业的农药数量
	农膜使用量 / t	用于农业的塑料薄膜数量
产出变量	农用柴油使用量 / t	用于农业的柴油数量
	期望产出农业总产值 / 亿元	以货币形式表现的农业全部产品的总量
	非期望产出农业碳排放量 / t	6 类碳排放源乘以其对应碳排放系数加总

表2 变量的描述性统计
Table 2 Descriptive statistics of all variables

变量类别	变量	变量说明	均值	标准差
被解释变量	农业绿色低碳	超效率 SBM-GML 模型算得	2.12	1.38
解释变量	高标准农田建设	高标准农田建设面积的自然对数	4.32	1.58
	农业综合资金投入	单位耕地面积土地治理项目资金的自然对数	14.61	40.40
机制变量	耕地质量	耕地质量等别	9.55	2.25
	农业社会化服务 / %	农林牧渔服务业产值与农作物播种面积的比重	0.26	0.20
	规模经营 / %	粮食播种面积占农作物播种面积的比重	0.65	0.13
控制变量	财政支农水平 / 亿元	农林水事务支出	407.38	289.33
	受灾率 / %	受灾面积与农作物播种面积的比重	0.19	0.14
	环境规制 / %	环境保护支出占农业总产值的比重	0.15	0.30
	农村人力资本 / 年	平均受教育年限	7.54	0.84
	农村经济发展水平 / %	农业总产值与乡村人口的比重	0.45	0.21
	产业结构 / %	第一产业生产总值占地区生产总值的比重	0.10	0.05

据 OH^[38] 的研究, 本文将 GML 指数表示为式 (1):

$$GML^{t,t+1}(x^t, y^t, b^t; x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}) = \frac{1 + D^G(x^t, y^t, b^t)}{1 + D^G(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})} \quad (1)$$

式中: $GML^{t,t+1}$ 表示 t 期到 $t+1$ 期农业绿色全要素生产率, x, y, b 分别表示投入、期望产出和非期望产出。 D^G 代表各期的方向距离函数。

2) 基准回归模型。为了检验高标准农田建设对农业绿色低碳发展的直接作用, 设定基准回归模型, 由于高标准农田建设政策是持续推进的, 并且各省都有高标准农田建设项目, 所以采用双向固定效应面板模型。模型表示为式 (2):

$$G_{it} = \alpha + \beta H_{it} + \lambda X_{it} + \eta_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

式中: i 表示省份, t 为年份, G_{it} 为第 t 年 i 省的绿色全要素生产率, H 表示土地整治面积占比, X 为一系列控制变量, η_i 表示地区固定效应, γ_t 表示时间固定效应, ε_{it} 为随机误差项; α, β, λ 为待估计参数。

3) 中介效应模型。为探究耕地质量以及农业社会化服务在高标准农田建设促进农业绿色低碳发展中是否发挥机制作用, 故建立机制检验模型, 参考江艇^[39] 的研究, 采用中介效应两步法, 直接考察高标准农田对机制变量的影响, 在式 (2) 的基础上增加式 (3):

$$M_{it} = \alpha_1 + \beta_1 H_{it} + \lambda_1 X_{it} + \eta_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

式中: M 表示耕地质量和农业社会化服务机制变量, 其余与上式相同。

4) 调节效应模型。为了验证高标准农田建设

促进农业绿色低碳发展过程是否受到规模经营的影响, 所以建立以下调节效应模型, 表示为式 (4):

$$G_{it} = \alpha_2 + \beta_2 H_{it} + \rho A_{it} + \sigma H_{it} \times A_{it} + \lambda_2 X_{it} + \eta_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

式中: A_{it} 代表农业规模经营, $H_{it} \times A_{it}$ 为高标准农田和规模经营的交互项, ρ 和 σ 为待估计系数, 其余与 (3) 式相同。

2.3 数据来源

本文选取中国 31 个省 (区、市) (不包括港澳台地区) 2006—2020 年面板数据。高标准农田数据来自历年《中国财政年鉴》, 其中农业绿色全要素生产率、农业碳排放和机制变量的相关数据取自历年《中国农村统计年鉴》《中国农业年鉴》以及国家统计局等, 部分缺失数据采用线性插值法进行补充。为了避免极端值影响, 对所有数据在 1% 和 99% 分位进行缩尾处理, 以增强可靠性与稳健性。

3 实证结果与分析

3.1 高标准农田建设对农业绿色低碳发展的影响分析

为了考察高标准农田对农业绿色低碳发展的直接效果, 对数据进行基准回归, Hausman 检验结果表明, 本研究采用双向固定效应面板模型更为合理。结果如表 3 所示, (1)~(5) 列分别汇报了逐步加入控制变量的回归结果, R^2 可以看出模型 (5) 的拟合程度最好, 结果在 5% 的显著性水平上正向显著, 说明高标准农田建设对于农业绿色低碳发展具有显著且稳定的正向影响。

以上结果证明高标准农田建设模式不仅能保证农田稳产增产, 还能保持农田的生态效益和可持续发展。从投入端看, 高标准农田建设合理布局和优

表 3 高标准农田对于农业绿色低碳发展的基准回归结果

Table 3 Benchmark regression results of high standard farmland for green and low carbon development of agriculture

变量名称	农业绿色低碳发展				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
高标准农田建设	0.175*(0.106)	0.200**(0.093)	0.193**(0.093)	0.190**(0.092)	0.219**(0.090)
财政支农水平		0.346*** (0.032)	0.333*** (0.032)	0.318*** (0.032)	0.327*** (0.031)
受灾率			0.248(0.314)	0.276(0.311)	0.258(0.303)
环境规制			-0.375** (0.178)	0.155(0.229)	-0.011(0.226)
农村人力资本				-0.059(0.197)	-0.072(0.192)
农村经济发展水平				2.036*** (0.575)	1.696*** (0.564)
产业结构					10.440*** (2.164)
常数项	0.828*** (0.180)	0.577*** (0.161)	0.547*** (0.184)	0.344(1.416)	-0.813(1.401)
地区固定效应	固定	固定	固定	固定	固定
时间固定效应	固定	固定	固定	固定	固定
样本量	465	465	465	465	465
R ²	0.651	0.727	0.730	0.738	0.752

注：***、**和*分别表示1%、5%和10%的显著性水平；括号内数字为标准误（下同）。

化种植结构，减少了化肥农药使用，提高了资源利用效率，降低了农业碳排放和面源污染等非期望产出，同时精准灌溉的实行有效避免了水资源的浪费。从产出端看，高标准农田建设通过土地平整、排水灌溉和田间道路等基础设施建设，改善了农田的生产条件，使其规模化经营比例比一般农田高30%至40%（农业农村部），方便了机械化设备和社会化服务组织的进入，提高了农田的产出效率和稳定性。

3.2 稳健性检验

为了验证回归结果的稳健性，故采取以下几种方式进行稳健性检验。第一种是更换被解释变量，采用农业综合开发投入中的土地治理项目资金作为高标准农田建设的替代变量进行回归，结果见表4的第（1）列。表4的第（1）列显示结果仍在1%的显著性水平上显著，高标准农田建设对农业绿色发展具有显著正向影响。第二种是改变样本区间，由于高标准农田建设在2011年开始进入规范实施阶段，所以仅对2011—2020年的数据进行回归，从表4的（2）列可以看出结果在1%的显著性水平

上显著，相较于表1，回归系数明显提升，说明进入规范实施阶段后，高标准农田建设对农业绿色低碳发展的作用效果明显增强。第三是改变回归模型，使用最小二乘法，依据表4的第（3）列结果，高标准农田建设对于农业绿色低碳发展具有显著正向影响。第四种是内生性处理，由政府牵头的高标准农田建设项目实施具有很强的外生性，为了进一步增强结果的稳健性，用被解释变量的滞后两期作为工具变量，使用GMM模型进行回归，结果见表4的第（4）列，回归结果显示在1%的显著性水平上显著。综上，基准回归的结果在多项检验下始终保持较强的稳健性与一致性，进一步验证了假说H1。

3.3 区域异质性分析

按照自然地理分区与粮食功能分区交互视角进行异质性检验。根据地理位置，可将我国分为东部地区、中部地区和西部地区，不同区域间的经济发展水平以及自然资源禀赋存在一定的差异，区域内差距较小。在2001年，国家为了适应新的粮食生产和流通格局变化，划出13个粮食主产区。按照

表 4 稳健性检验结果

Table 4 Robustness test results

变量名称	农业绿色低碳发展			
	(1) 更换被解释变量	(2) 改变样本区间	(3) OLS 回归	(4) GMM 估计
农业综合开发资金投入	0.426*** (0.461)			
高标准农田建设		0.251*** (0.039)	0.207*** (0.031)	0.237*** (0.037)
常数项	-1.056(1.346)	-1.119** (0.497)	-0.256(0.346)	-0.535(0.356)
控制变量	控制	控制	控制	控制
地区固定效应	固定	固定	未固定	未固定
时间固定效应	固定	固定	未固定	未固定
样本量	465	310	465	403
R ²	0.770	0.651	0.722	0.657

地理位置分区及粮食功能分区两个维度交互视角，可将我国31个省（区、市）划分为六个交互区域，具体为：东部粮食主产区、东部非粮食主产区、中部粮食主产区、中部非粮食主产区、西部粮食主产

区和西部非粮食主产区。异质性回归结果见表5，从（1）、（3）列可以看出，高标准农田建设对东部和中部粮食主产区的农业绿色低碳发展均在5%的显著性水平上正向显著。

表5 异质性分析结果
Table 5 Results of heterogeneity analysis

变量名称	东部		中部		西部	
	粮食主产区	非粮食主产区	粮食主产区	非粮食主产区	粮食主产区	非粮食主产区
高标准农田	0.420**(0.172)	0.995(0.669)	0.181**(0.079)	0.145(0.328)	0.519(0.358)	-0.672(0.523)
常数项	-0.882(2.255)	6.578(6.910)	-0.994(1.733)	0.126(4.301)	-2.465(2.678)	0.257(15.800)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
地区固定效应	固定	固定	固定	固定	固定	固定
时间固定效应	固定	固定	固定	固定	固定	固定
样本量	60	105	105	15	30	150
R ²	0.879	0.900	0.849	0.816	0.989	0.711

从粮食功能分区看，高标准农田建设对粮食主产区作用效果较好。究其原因，一方面是由于粮食主产区本身就是产粮大省，相对来说土地资源禀赋优越，基础设施完善，更有利于高标准农田建设项目的推进。另一方面，粮食主产区本身就是高标准农田建设施行的重要试点，因为其在粮食生产方面的重要地位享受到更多农业发展方面的政策支持。从地理位置分区看，东部和中部作用效果较好，西部地区作用不显著。从“政治-经济-自然”角度解读，东部沿海地区一直是我国经济发展重心，早年得到了更多的政策倾斜和支持，且东部地区拥有较为雄厚的财力和技术支持，能够投入更多资金用于高标准农田建设，而中西部较多地区可能存在基础设施薄弱，不方便高标准农田建设项目开展的情况，尤其是中西部地区自然条件相对恶劣，土地利用方式较为单一，某些地区面临干旱、盐碱化等问题，使得高标准农田建设的效果受到限制。

3.4 中介效应分析

为了研究高标准农田建设与农业绿色低碳发展之间的传导路径，本部分对耕地质量及农业社会化服务是否发挥中介作用进行验证。表6显示了作用机制的回归结果，从第（1）列结果可以看出，高标准农田建设对于耕地质量的回归系数在5%的显著性水平下显著为负，说明高标准农田建设项目通过土壤改良、灌溉排水系统改进与农田防护林带等环境保护措施，使耕地质量等别显著提升。耕地不仅是重要碳排放源，还有强大的固碳潜力，耕地质量提升，一方面减小对农药、化肥等的过度依赖，减少碳排放，另一方面土壤有机质可以增加温室气体吸收，提高固碳能力，从而使耕地质量提升的减

排固碳作用得以发挥。

第（2）列结果表明，高标准农田建设对于农业社会化服务的回归系数在1%的显著性水平上显著为正，印证了高标准农田建设后，农业生产条件得到显著改善，规模经营和专业化分工的出现，催生了小农户对农业社会化服务的需求。农业社会化服务主体利用自身优势和资源，为高标准农田建设提供耕种收管等全方位服务，通过集成推广应用绿色优质新品种、采纳节水灌溉、精准施肥等绿色技术，解决农业绿色科技落地的“最后一公里”问题，推动农业生产方式从传统向现代化、绿色化转变。据此，假说H2得证。

表6 耕地质量提升和农业社会化服务中介机制检验的回归结果

Table 6 Regression results of the test of intermediation mechanism for arable land quality improvement and agricultural socialization services

变量名称	(1) 耕地质量提升	(2) 农业社会化服务
高标准农田建设	-0.015**(0.007)	0.047***(0.005)
常数项	9.664***(0.109)	-0.015(0.015)
控制变量	控制	控制
地区固定效应	固定	固定
时间固定效应	固定	固定
样本量	465	465
R ²	0.798	0.769

3.5 规模经营的调节作用

为了验证规模经营是否发挥调节作用，构建调节效应模型进行回归（表7）。从表7的第（2）列规模经营与高标准农田建设交乘项的结果可以看出，当二者同时发生时，回归系数由0.219变为1.031，说明规模经营会强化高标准农田建设对农业绿色低碳发展的正向影响，起到显著的正向调节作用。这

是由于规模经营可以优化资源配置,这意味着更多的资源可以投入到环境友好型技术和管理实践中。从成本效益角度看,随着生产规模的扩大,单位产品的成本下降,这使得农户更有动力采用绿色低碳技术,因为技术的成本可以被分摊,成本效益的提高也使得农户更愿意投资于长期可持续的农业实践。同时,农户间易产生示范效应和同群效应,大规模经营的成功案例可以激励其他农户效仿,从而加速绿色低碳技术在整个农业领域的扩散。据此,假说 H3 得以验证。

表 7 规模经营调节机制的回归结果

Table 7 Regression results of the regulation mechanism of scale operation

变量名称	(1) 农业绿色低碳发展	(2) 农业绿色低碳发展
高标准农田建设	0.219**(0.090)	0.238***(0.093)
高标准农田建设 × 规模经济		1.031**(0.494)
常数项	-0.813(1.401)	-0.950(1.342)
控制变量	控制	控制
地区固定效应	固定	固定
时间固定效应	固定	固定
样本量	465	465
R ²	0.752	0.772

4 结论与政策建议

4.1 结论

1) 高标准农田建设对农业绿色低碳发展表现出显著促进作用,该结论在进行替换被解释变量、改变样本区间、更换回归方法和内生性处理等一系列稳健性检验后依然成立。

2) 高标准农田建设主要是通过提升耕地质量和促进农业社会化服务的使用两种机制助力农业绿色低碳发展,并且规模经营会强化高标准农田建设的作用效果,当规模经营与高标准农田建设同时发生时,对农业绿色低碳发展的影响力度更大。

3) 从自然地理分区与粮食功能分区交互视角来看,高标准农田建设在各地间作用效果表现出显著差异,对东部粮食主产区和中部粮食主产区的农业绿色低碳发展起到明显促进作用,对整个西部地区 and 东中部的非粮食主产区作用效果尚不明显。

4.2 政策建议

1) 持续强化高标准农田建设。为了进一步促进农业绿色低碳发展,政府应出台更多配套政策措施。首先,在高标准农田建设过程中,推广“互联网+农业”模式,引入智能化灌溉系统、精准施肥技术等现代农业技术,实现农业生产全过程的精细化管理,提高资源利用效率。其次,政府可以通过

设立专项基金,保障高标准农田建设的资金需求,同时鼓励地方政府与企业合作,引入社会资本,通过“政府+社会资本”合作模式加速高标准农田建设进程。最后,还要建立健全监管机制,确保资金使用透明与高效,防止资源浪费和挪用。

2) 充分激发“路径”潜力。鉴于耕地质量提升、社会化服务和规模经营对于推动农业绿色低碳发展的重要性,政府需要采取措施进一步提升路径潜力。一方面,继续施行土地整治项目,通过改善土壤结构、增加有机质含量、优化灌溉排水系统等措施,直接提高耕地的自然生产力。另一方面,政府应优先布局社会化服务站点,重点扶持农民合作社、农业龙头企业等新型农业经营主体,提供精准施肥、病虫害绿色防控等技术服务,减少化肥农药使用。最后,进一步完善农村土地流转制度,鼓励农民通过转包、出租、入股等方式实现土地集中连片经营,以更好地发挥规模经济效益,推动绿色低碳农业的发展。

3) 着力构建区域间联动发展机制。考虑到高标准农田建设在不同地区的影响存在差异,建议政府分区施策,强化高标准农田建设在重点区域的推广与深化,同时发挥优势地区的辐射带动作用。其一,鉴于高标准农田建设在东部和中部粮食主产区对农业绿色低碳发展的显著促进作用,应进一步加大这些区域的建设投入,优化耕地布局,提升耕地质量。其二,对西部地区和东中部的非粮食主产区,政府应注重政策引导和技术支持,根据当地资源禀赋和发展需求,探索多元化的高标准农田建设模式。最后,建议加强区域间的协作与交流,借鉴东中部成功经验,共同探讨适合本地的建设模式。

参考文献:

- 郭庆,刘静,宋蕊. 农地流转对农业生态效率的影响及作用机制分析[J]. 农业现代化研究, 2024, 45(3): 387-398.
GUO Q, LIU J, SONG R. The analysis of the impacts and mechanism of farmland transfer on agroecological efficiency[J]. Research of Agricultural Modernization, 2024, 45(3): 387-398.
- 余永琦,池泽新,黄微,等. 农村人口老龄化与农业绿色发展: 促进或抑制?[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2024, 32(11): 1968-1980.
YU Y Q, CHI Z X, HUANG W, et al. Rural population aging and agricultural green development: promote or inhibit?[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2024, 32(11): 1968-1980.
- 李宽,史磊. 农村产业融合对农业碳排放的影响: 机制路径及空间溢出效应分析[J]. 中国农业资源与区划, 2024, 45(4): 1-14.
LI K, SHI L. Effects of rural industrial convergence on agricultural carbon emissions: mechanism path and spatial spillover effect analysis[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2024, 45(4): 1-14.

- [4] 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.
WEI M S, YAN T W, LUO S X. The impacts of scale management and technological progress on green and low-carbon development of agriculture: a quasi-natural experiment based on the establishment of major grain-producing areas[J]. Chinese Rural Economy, 2023(2): 41-65.
- [5] 王向辉. 数字普惠金融、农地流转与农业绿色低碳转型[J]. 统计与决策, 2023, 39(23): 156-161.
WANG X H. Digital inclusive finance, farmland circulation and green and low-carbon transformation of agriculture[J]. Statistics & Decision, 2023, 39(23): 156-161.
- [6] 刘静. 以农业新质生产力提升农业绿色全要素生产率[J]. 中州学刊, 2024(12): 23-29.
LIU J. Enhancing agricultural green total factor productivity with new agricultural quality productivity[J]. Academic Journal of Zhongzhou, 2024(12): 23-29.
- [7] 高鸣, 张哲晰. 碳达峰、碳中和目标下我国农业绿色发展的定位和政策建议[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2022(1): 24-31.
GAO M, ZHANG Z X. Positioning and policy suggestions of China's agricultural green development under the targets of carbon peaking and carbon neutrality[J]. Journal of Huazhong Agricultural University (Social Sciences Edition), 2022(1): 24-31.
- [8] 黄晓慧, 聂凤英. 数字化驱动农户农业绿色低碳转型的机制研究[J]. 西北农林科技大学学报(社会科学版), 2023, 23(1): 30-37.
HUANG X H, NIE F Y. Research on the mechanism of digitalization driving farmers' agriculture green and low-carbon transformation[J]. Journal of Northwest A&F University (Social Science Edition), 2023, 23(1): 30-37.
- [9] 蔡保忠. 农业生产托管与农业绿色低碳转型: 一个理论分析框架[J]. 吉首大学学报(社会科学版), 2022, 43(3): 125-132.
CAI B Z. Agricultural production trusteeship and agricultural green and low-carbon transformation: a framework of theoretical analysis[J]. Journal of Jishou University (Social Sciences), 2022, 43(3): 125-132.
- [10] 温赛赛, 李俊杰, 肖琴, 等. 老龄化、子代联系与农业绿色生产技术采纳: 来自中国黄河流域的调研证据[J]. 干旱区资源与环境, 2024, 38(12): 80-91.
WEN S S, LI J J, XIAO Q, et al. Aging, intergenerational contact, and adoption of agricultural green production technology: evidence from the Yellow River Basin in China[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2024, 38(12): 80-91.
- [11] 孔祥智, 宋乐颜. 全方位夯实国家粮食安全根基: 内涵、挑战与对策[J]. 农村经济, 2023(5): 8-15.
KONG X Z, SONG L Y. Consolidating the foundation of national food security in an allround way: connotation, challenges and countermeasures[J]. Rural Economy, 2023(5): 8-15.
- [12] 许先春. 习近平关于藏粮于地、藏粮于技的战略思考[J]. 中共党史研究, 2023(4): 5-17.
XU X C. Xi Jinping's strategic thought on storing grain on the land and storing grain through technology[J]. CPC History Studies, 2023(4): 5-17.
- [13] 张梦玲, 翁贞林, 高雪萍. 高标准农田建设、农业社会化服务对农药投入的影响研究: 基于江西省605户稻农的调查数据[J]. 中国土地科学, 2023, 37(9): 106-116.
ZHANG M L, WENG Z L, GAO X P. Research on the impact of high-standard farmland and socialized agricultural services on pesticide inputs: based on the survey data of 605 rice farmers in Jiangxi Province[J]. China Land Science, 2023, 37(9): 106-116.
- [14] 孙学涛. 高标准农田建设对农业全要素生产率的影响研究[J]. 安徽师范大学学报(人文社会科学版), 2023, 51(6): 114-124.
SUN X T. Influence of high standard farmland construction on agricultural TFP[J]. Journal of Anhui Normal University (Hum & Soc Sci), 2023, 51(6): 114-124.
- [15] 梁志会, 张露, 张俊飏. 土地整治与化肥减量: 来自中国高标准基本农田建设政策的准自然实验证据[J]. 中国农村经济, 2021(4): 123-144.
LIANG Z H, ZHANG L, ZHANG J B. Land consolidation and fertilizer reduction: quasi-natural experimental evidence from China's well-facilitated capital farmland construction[J]. Chinese Rural Economy, 2021(4): 123-144.
- [16] 肖琴, 李建平. 整区域推进高标准农田建设的基本逻辑、实践困境与实现路径[J]. 中国农业资源与区划, 2023, 44(12): 59-66.
XIAO Q, LI J P. The basic logic, practical dilemmas and implementation paths of region-wide promotion of high-standard farmland construction[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2023, 44(12): 59-66.
- [17] 陈宇斌, 王森. 农业综合开发投资的农业碳减排效果评估: 基于高标准基本农田建设政策的事件分析[J]. 农业技术经济, 2023(6): 67-80.
CHEN Y B, WANG S. Evaluation of agricultural carbon emission reduction effect of agricultural comprehensive development investment: event analysis based on high-standard farmland construction[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2023(6): 67-80.
- [18] 王斌, 王力, 李兴锋. 高标准基本农田建设政策能否抑制农业面源污染?[J]. 长江流域资源与环境, 2023, 32(8): 1736-1747.
WANG B, WANG L, LI X F. Can the policy of building high standard farmland curb agricultural surface source pollution?[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2023, 32(8): 1736-1747.
- [19] 张志新, 周亚楠, 丁鑫. 高标准农田建设政策对农业绿色发展的影响研究[J]. 农林经济管理学报, 2023, 22(1): 113-122.
ZHANG Z X, ZHOU Y N, DING X. Impact of well-facilitated capital farmland construction programs on green agricultural development[J]. Journal of Agro-Forestry Economics and Management, 2023, 22(1): 113-122.
- [20] 刘斌, 黄承石, 裴潇. 农村人口老龄化对农业绿色全要素生产率的影响: 基于农机服务的中介效应[J]. 中国农机化学报, 2024, 45(12): 337-343.
LIU B, HUANG C S, PEI X. Impact of rural population aging on agricultural green total factor productivity based on the mediating effect of agricultural machinery services[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2024, 45(12): 337-343.
- [21] 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, 34(2): 54-67.
GUO H H, LI S C. Environmental regulation, spacial effect and

- agricultural green development[J]. *R&D Management*, 2022, 34(2): 54-67.
- [22] 龚燕玲, 张应良. 高标准基本农田建设政策对粮食产能的影响[J]. *华中农业大学学报(社会科学版)*, 2023(4): 175-190.
GONG Y L, ZHANG Y L. Influence of well-facilitated capital farmland construction policy on grain productivity[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University (Social Sciences Edition)*, 2023(4): 175-190.
- [23] 尚惠芳, 易小燕, 张宗芳. 农户耕地质量提升行为的逻辑路径与驱动力: 研究进展与展望[J]. *中国生态农业学报(中英文)*, 2021, 29(7): 1253-1261.
SHANG H F, YI X Y, ZHANG Z F. Logic paths and driving forces of cultivated land quality improvement behavior of farmers: research progress and prospects[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2021, 29(7): 1253-1261.
- [24] 孙学涛. 高标准农田建设对农业社会化服务的影响[J]. *中南财经政法大学学报*, 2023(3): 150-160.
SUN X T. Impact of the construction of high standard farmland on agricultural socialization services[J]. *Journal of Zhongnan University of Economics and Law*, 2023(3): 150-160.
- [25] 郑宏运, 李谷成. 中间投入视角下农业资源错配对全要素生产率的影响研究[J]. *农林经济管理学报*, 2023, 22(3): 283-291.
ZHENG H Y, LI G C. Influence of agricultural resource misallocation on total factor productivity from the perspective of intermediate inputs[J]. *Journal of Agro-Forestry Economics and Management*, 2023, 22(3): 283-291.
- [26] 程永生, 张德元, 汪侠. 农业社会化服务绿色发展效应的作用路径研究: 基于农户要素禀赋的调节作用[J]. *中国农业资源与区划*, 2024, 45(4): 15-27.
CHENG Y S, ZHANG D Y, WANG X. Research on the action path of green development effect of agricultural socialized services: the moderating role of factor endowments based on farm households[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2024, 45(4): 15-27.
- [27] ZHU J H, WANG M X, ZHANG C H. Impact of high-standard basic farmland construction policies on agricultural eco-efficiency: case of China[J]. *National Accounting Review*, 2022, 4(2): 147-166.
- [28] 魏后凯. “十四五”时期中国农村发展若干重大问题[J]. *中国农村经济*, 2020(1): 2-16.
WEI H K. Major issues of China's rural development during the 14th Five-Year Plan period[J]. *Chinese Rural Economy*, 2020(1): 2-16.
- [29] 陈江华, 洪炜杰. 高标准农田建设促进了农地流转吗?[J]. *中南财经政法大学学报*, 2022(4): 108-117.
CHEN J H, HONG W J. Does the construction of high standard farmland promote the transfer of farmland?[J]. *Journal of Zhongnan University of Economics and Law*, 2022(4): 108-117.
- [30] 龚燕玲, 张应良. “趋粮化”抑或“非粮化”: 高标准农田建设的政策效应[J]. *江西财经大学学报*, 2023(6): 68-83.
GONG Y L, ZHANG Y L. “Grain-oriented” or “non-grain-oriented”: the policy effect of high-standard farmland construction[J]. *Journal of Jiangxi University of Finance and Economics*, 2023(6): 68-83.
- [31] 陈宇斌, 王森. 农村劳动力外流、农业规模经营与农业碳排放[J]. *经济与管理*, 2022, 36(6): 43-49.
CHEN Y B, WANG S. Rural labor outflow, agricultural scale management, and agricultural carbon emissions[J]. *Economy and Management*, 2022, 36(6): 43-49.
- [32] 侯孟阳, 姚顺波. 中国农村劳动力转移对农业生态效率影响的空间溢出效应与门槛特征[J]. *资源科学*, 2018, 40(12): 2475-2486.
HOU M Y, YAO S B. Spatial spillover effects and threshold characteristics of rural labor transfer on agricultural eco-efficiency in China[J]. *Resources Science*, 2018, 40(12): 2475-2486.
- [33] 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, 38(10): 65-84.
GUO H H, LIU X M. Spatial and temporal differentiation and convergence of China's agricultural green total factor productivity[J]. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2021, 38(10): 65-84.
- [34] 田云, 尹恣昊. 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.
TIAN Y, YIN M H. Re-evaluation of China's agricultural carbon emissions: basic status, dynamic evolution and spatial spillover effects[J]. *Chinese Rural Economy*, 2022(3): 104-127.
- [35] 钱龙, 杨光, 钟钰. 有土斯有粮: 高标准农田建设提高了粮食单产吗?[J]. *南京农业大学学报(社会科学版)*, 2024, 24(1): 132-143.
QIAN L, YANG G, ZHONG Y. Land is the mother of grain: does high-standard farmland construction increase grain yield per unit area?[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University (Social Sciences Edition)*, 2024, 24(1): 132-143.
- [36] 王术坤, 林文声. 高标准农田建设的农地流转市场转型效应[J]. *中国农村经济*, 2023(12): 23-43.
WANG S K, LIN W S. The effect of well-facilitated farmland construction on farmland rental market transformation[J]. *Chinese Rural Economy*, 2023(12): 23-43.
- [37] TONE K. A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis[J]. *European Journal of Operational Research*, 2002, 143(1): 32-41.
- [38] OH D H. A global Malmquist-Luenberger productivity index[J]. *Journal of Productivity Analysis*, 2010, 34(3): 183-197.
- [39] 江艇. 因果推断经验研究中的中介效应与调节效应[J]. *中国工业经济*, 2022(5): 100-120.
JIANG T. Mediating effects and moderating effects in causal inference[J]. *China Industrial Economics*, 2022(5): 100-120.

(责任编辑: 王育花)