文章编号：1005-0906(2026)01-0118-09 DOI: 10.13597/j.cnki.maize.science.20260114

化肥“零增长”政策对玉米秸秆还田的影响
——来自断点回归的经验证据

郭宣峰[1,2],戴 浩[3],何蒲明[2]
(1.中南林业科技大学经济与管理学院,长沙 410000; 2.长江大学经济与管理学院,湖北 荆州 434023;
3.华南农业大学经济管理学院,广州 510642)

摘 要：基于玉米主产区2008-2022年面板数据,采用断点回归设计方法,探讨化肥“零增长”政策对玉米秸秆还田的影响。研究结果表明,化肥“零增长”政策显著扩大了玉米秸秆还田面积,且该政策通过提高玉米机械化水平、减少化肥施用量以及环境规制的协同效应等途径,正向显著影响玉米秸秆还田。此外,化肥“零增长”政策在不同区域的效果存在显著差异,对北方春播玉米带玉米秸秆还田的促进作用最为明显,西北灌溉玉米带次之,黄淮海夏播玉米带较弱,对西南山地玉米带无显著影响。

关键词：玉米;化肥“零增长”政策;玉米秸秆还田;断点回归设计;玉米主产区
中图分类号：S513 **文献标识码**：A

Impact of the Fertilizer “Zero Growth” Policy on Corn Stalk Return to the Field
——Empirical Evidence from Regression Discontinuity Design

GUO Xuan-feng[1,2], DAI Hao[3], HE Pu-ming[2]
(1. *School of Economics, Central South University of Forestry and Technology, Changsha* 410004;
2. *Economics and Management School, Yangtze University, Jingzhou* 434023;
3. *School of Economic and Management, South China Agricultural University, Guangzhou* 510642, China)

Abstract: This study employed a regression discontinuity design to investigate the impact of the “Zero Growth” policy on corn stalk return to the field, using panel data from 2008 to 2022 of major corn-producing regions. The results showed that the “Zero Growth” fertilizer policy significantly expanded the area of corn stalk return to the field. Moreover, the policy exerted a positive and statistically significant impact on corn stalk return to the field, which was attributed to the synergistic effects of improved corn mechanization level, reduced chemical fertilizer application rate, and environmental regulations. Furthermore, the impact of the “Zero Growth” fertilizer policy varied significantly across different regions. Specifically, the policy had the most significant promoting effect on corn stalk return to the field in the Northern Spring-Sown Corn Belt, followed by the Northwestern Irrigated Corn Belt. In contrast, the promoting effect was relatively weak in the Huanghuaihai Summer-Sown Corn Belt, while it had no significant impact on the Southwestern Mountainous Corn Belt.

Key words: Corn; “Zero Growth” policy; Corn stalk return to the field; Regression Discontinuity Design; Major corn-producing region

农业绿色低碳发展是生态文明建设的关键一环,是农业高质量发展的应有之义,更是新发展理念的重要组成部分。化肥过量使用问题在我国农业生产中尤为突出。改革开放以来,化肥的大量使用为农业生产做出巨大贡献,但也导致土壤结构微生物群失衡和地下水污染等一系列生态环境问题[1]。近年来,我国化肥平均使用量299.17 kg/hm^2,约为全球平均水平153.81 kg/hm^{2}的两倍。农业生态环境问题的严峻性引起了国家的关注,为应对这一挑战,国家出台了多项政策措施。2015年,农业农村部实施了

录用日期：2024-09-22
基金项目：教育部人文社科规划项目(23JYA790027)
作者简介：郭宣峰(1993-),男,河南焦作人,博士,研究方向为农业经济理论与政策。E-mail:492998257@qq.com
何蒲明为本文通信作者。E-mail:653381912@qq.com

《到2020年化肥使用量零增长行动方案》,通过科学施肥、优化施肥结构和提升施肥效率,控制化肥使用量的增长,致力于推动农业绿色转型与可持续发展。化肥零增长政策不仅响应了法律法规的要求,也通过推广测土配方施肥、有机肥替代、机械深耕和水肥一体化等技术,推动了农业生产方式的绿色转型。

玉米是我国第一大粮食作物,也是秸秆资源量最大的农作物。2022年全国玉米秸秆资源为28 829.11万t,且呈年均2.5%的增长趋势[2]。秸秆如若得不到有效处理,不仅会造成资源浪费,还会引发大气污染、土壤质量下降等问题。化肥“零增长”政策为玉米秸秆的综合利用提供了制度支持。在此背景下,玉米秸秆还田作为一种重要的保护性耕作技术,日益受到重视。玉米秸秆还田技术不仅能改善土壤结构,增强微生物活性,提升肥力,还能减少化肥使用,降低农业面源污染[3],为农业的可持续发展奠定坚实基础。

现有研究广泛探讨了化肥使用与农业生产之间的关系。化肥在提高作物产量和农业生产效率方面具有重要作用[4],但其过度使用也带来了土壤退化、水体污染和温室气体排放等环境问题[5]。因此,减少化肥使用已成为农业绿色发展的重要议题。在此背景下,秸秆还田因其具有改善土壤结构、提高有机质含量、减少化肥依赖等多重生态效益[6],受到了广泛关注。传统秸秆还田方式面临腐烂速度缓慢、病虫害风险增加等技术瓶颈[7]。相关政策的制定在引导农户绿色生产行为和推动绿色转型中起着关键作用。大量研究表明,政府的补贴政策、技术推广和环境规制对农民的生产决策有显著影响[8-10]。具体到化肥“零增长”政策方面,已有研究显示,化肥“零增长”政策在减少化肥使用量、保障粮食安全[11]、推动农业绿色创新等方面取得了初步成效[12]。

减少化肥施用量是化肥“零增长”政策的要旨。秸秆还田能增加土壤肥力,降低对化肥使用的依赖。已有研究表明,该政策通过提高农民对有机肥和生物肥料的接受度,有效减少化肥施用量。理论上,化肥“零增长”政策通过限制化肥施用量促进玉米秸秆还田。化肥“零增长”政策是否能促进玉米秸秆还田,其影响机制如何,鲜有研究基于政策评估视角探究化肥“零增长”政策对玉米秸秆还田的影响。本文以《到2020年化肥使用量零增长行动方案》为标准,使用2008-2022年20个玉米主产区的面板数据,采用断点回归模型,探讨化肥“零增长”政策对秸秆还田的影响机理,揭示政策与技术的互动关系,为政策制定和技术推广提供科学依据。

1　政策背景与理论分析

1.1　化肥“零增长”政策嬗变

自20世纪70年代以来,我国农业生产取得了显著的成就,化肥作为农业生产的重要投入品,其使用量逐年增加,引发了诸多生态环境问题。进入21世纪,农业面源污染问题日益凸显,对环境和人类健康构成严重威胁。2013年中国的化肥使用量达到了顶峰,约占全球化肥使用总量的30%。这种过度依赖化肥的农业模式,与绿色农业发展的目标背道而驰。

为应对化肥过量使用带来的负面影响,农业农村部于2015年正式提出并实施了《到2020年化肥使用量零增长行动方案》,该政策的核心目标是通过科学施肥,控制化肥使用量的增长。自化肥“零增长”政策实施以来,我国的化肥使用量增长趋势得到了有效遏制。2015-2022年间化肥使用量逐步趋于稳定,基本实现“零增长”的目标,化肥利用率有所提高,农业面源污染得到了有效缓解。

1.2　理论分析与研究假设

1.2.1　化肥“零增长”政策与玉米秸秆还田

化肥“零增长”政策通过要素替代、生态优化和经济驱动等多重机制,显著促进了玉米秸秆还田的实施,其影响机理可概述为以下三个方面。

第一,要素替代效应。化肥“零增长”政策限制化肥使用,促使农民寻找替代养分来源。玉米秸秆还田处理可部分替代化肥,释放氮、磷、钾等元素,补充土壤有机质和养分[13]。此外,秸秆还田提高土壤有机质含量,改善土壤结构,增强土壤保水保肥能力,成为农户的优选技术。因此,化肥使用受限背景下,农户对秸秆还田技术的需求显著增加。

第二,生态优化效应。长期依赖化肥导致土壤酸化、盐碱化等问题,化肥“零增长”政策减少了化肥流失及其对水土的污染,改善生态环境。同时,玉米秸秆还田替代焚烧,减少空气污染,增加土壤有机碳含量[14],降低大气二氧化碳浓度,促进微生物活性,有助于养分循环。秸秆还田改善土壤团粒结构,提升土壤通气性与透水性,促进根系生长和养分吸收[15],增强土壤健康。

第三,经济驱动效应。化肥“零增长”政策限制化肥使用致使其价格上涨,促使玉米秸秆还田成为经济效益显著的替代选择。秸秆还田降低了对化肥的依赖,减少生产成本,提高农作物产量和品质,增加农民收入。在经济激励下,农户对秸秆还田的需求和接受度增强,推动了技术的广泛应用。据此,提出假说1。

假说1:化肥“零增长”政策能促进玉米秸秆还田。

1.2.2 化肥“零增长”政策、玉米机械化程度与玉米秸秆还田

化肥“零增长”政策通过推动农业机械化发展,降低了玉米秸秆还田的技术门槛和劳动强度,从而间接促进了该技术的推广和应用,其作用机制体现在以下两方面。

一是推动农业机械化提升科学施肥效率。化肥“零增长”政策的实施依赖农业机械化的支持。为实现精准施肥,农户逐步采用测土配方施肥机、精准施肥机等现代化设备,这些机械不仅提高了施肥效率,还增强了农户对机械化的接受度。机械化设备的普及使化肥用量控制更加精确,减少了过量施肥引发的环境污染,同时降低了施肥劳动强度,提升了农业生产效率和经济效益[16]。

二是机械化降低秸秆还田的技术难度。农业机械化的发展显著简化了秸秆还田操作流程。相较于传统焚烧或堆积处理方式,秸秆粉碎机和还田机等机械化设备的应用,不仅提高了作业效率,还减少了人力消耗和环境污染。这种自动化处理方式显著降低了秸秆还田的劳动强度和时间成本,增加了农户的采纳意愿。据此,提出假说2。

假说2:化肥“零增长”政策通过提高玉米机械化程度间接促进玉米秸秆还田。

1.2.3 化肥“零增长”政策、化肥施用与玉米秸秆还田

化肥“零增长”政策通过减少化肥施用量,间接提升了农户对玉米秸秆还田技术的需求,促进了该技术的推广和应用,其作用机制主要体现在以下三方面。

第一,减少化肥依赖,直接增强对秸秆还田的需求。化肥“零增长”政策实施后,农民需寻求替代途径维持作物稳产高产。玉米秸秆作为绿色肥源,能有效补充土壤养分、改善土壤结构,减少对化肥的依赖[17]。化肥“零增长”政策减少化肥用量的同时,显著增强了农民对秸秆还田技术的采纳意愿。

第二,推动有机肥和生物肥料与秸秆还田的协同应用。化肥“零增长”政策鼓励有机肥和生物肥料的使用,这些替代性肥料与秸秆还田技术相辅相成,共同促进土壤健康和养分循环[18]。二者结合使用不仅进一步提高土壤肥力和有机质含量,还优化了土壤结构,实现养分的可持续利用,间接推动了秸秆还田的普及。

第三,强化农民对土壤管理的重视,深化秸秆还田技术的应用。政策实施提升了农民对科学施肥和土壤健康的认知,使其逐步认识到秸秆还田在改善土壤结构、提升肥力和维持养分平衡中的重要作用。随着化肥用量的减少,农民对秸秆还田的接受度和推广意愿不断增强,进一步推动了技术的应用普及。据此,提出假说3。

假说3:化肥“零增长”政策通过减少玉米的化肥施用量促进玉米秸秆还田。

1.2.4 化肥“零增长”政策、环境规制与玉米秸秆还田

化肥“零增长”政策的实施过程中,环境规制起到了关键的调节作用。环境规制通过限制污染性行为、提供经济激励和加强宣传教育等方式,推动了绿色农业技术的普及,显著促进了玉米秸秆还田技术的推广。

第一,环境规制直接限制了秸秆焚烧行为,推动农民采用环保处理方式。政府通过颁布禁止秸秆焚烧法规和提供环境保护补贴,严格限制焚烧行为,促使农民寻找替代方案。秸秆焚烧不仅造成严重大气污染,还浪费生物资源,威胁生态安全。通过环境规制,秸秆还田技术成为农民优先选择的环保处理方式。

第二,经济激励措施降低了秸秆还田的成本,增强了技术吸引力。农业环境保护补贴政策通过减轻农民经济负担,提高秸秆还田技术的经济效益。补贴政策一方面增加了农户收入,另一方面提升了其环保意识和责任感。农民逐步认识到秸秆还田在提高土壤肥力、改善结构和增加有机质等方面的综合优势,加速技术的推广。

第三,环境规制强化了农民的环保意识,优化了技术应用环境。政府通过宣传和技术培训提高农户的环保认知和技能水平。农业农村部门和科研机构积极开展培训活动,帮助农民掌握秸秆还田技术的操作要领,提升了农民对绿色农业技术的认可度,营造了良好的社会氛围和政策环境,进一步推动技术普及。据此,提出假说4。

假说4:环境规制在化肥“零增长”对玉米秸秆还田的影响中存在正向调节作用。

2 研究设计

2.1 模型设计

本文以2015年农业农村部发布的《到2020年化肥使用量零增长行动方案》为外生冲击,考察化肥“零增长”政策对玉米秸秆还田的影响。在无其他干扰因素的情况下,玉米主产区的秸秆还田面积会随时间变化。若政策颁布前后,玉米秸秆还田面积在各省市出现断点,则可推断该变化源于化肥“零增长”政策的外生影响,为断点回归设计(Regression Discontinuity Design, RDD)方法提供了应用条件。

由于该事件仅涉及时间维度差异,常见的双重差分法无法使用,而其他计量模型可能存在内生性问题,因此,采用断点回归方法分析政策效应具有合理性。参考林珊等学者的思路,以《到2020年化肥使用量零增长行动方案》颁布年为时间断点,构建断点回归模型如下:

$$straw_{it}=\alpha+\tau D_{it}+\gamma\Delta Q+\beta X_{it}+\mu_i+\delta_t+\varepsilon_{it} \quad (1)$$

$$\begin{cases}0,(t_i<t_0)\\1,(t_i\geq t_0)\end{cases},t_0=2015 \quad (2)$$

式中,$straw_{it}$是结果变量,表示玉米秸秆还田面积;α为常数项;τ表示化肥“零增长”政策冲击效应;D_{it}为处理变量,表示化肥“零增长”政策冲击;$\Delta Q=t_i-t_0$为标准化后的时间驱动变量;X_{it}为一系列控制变量;μ_i、δ_t和ε_{it}分别表示地区效应、时间效应和随机扰动项;i为玉米主产区的20个省市;t表示年份;其他字母表示待估系数。

2.2　变量选取

2.2.1　被解释变量

本文的被解释变量为玉米秸秆还田面积,由于现有统计数据中仅有秸秆还田面积,暂无玉米秸秆还田面积,因此借鉴王淑红和杨志海的经验[19],采用权重系数法从秸秆还田面积中将玉米秸秆还田面积进行剥离,这也是囿于数据可获得性的次优选择。目前我国秸秆还田的农作物主要是玉米、小麦、大豆、水稻、棉花、花生和油菜[20],因此通过玉米秸秆面积一定程度上可以通过玉米种植面积占秸秆农作物种植面积的比重反映出来,即玉米秸秆还田面积=[玉米播种面积/(七种秸秆作物播种面积)]×秸秆还田面积。

2.2.2　处理变量与驱动变量

本文的处理变量为秸秆还田是否会受到化肥“零增长”政策的影响,将2015年以前赋值为“0”,2015年及以后赋值为“1”。驱动变量为距离化肥“零增长”政策实施的前后时间长度,即将样本年份与2015年相减,2015年前均小于“0”,2015年后大于“0”,2015年处为“0”,即为断点。

2.2.3　协变量

参考已有研究[21],协变量选取农民收入,以农村居民人均可支配收入衡量;人力资本,采用农村人均受教育年限表征;城镇化率,采用城镇人口占地区总人口的比重表征;财政支农,以财政支出中农林水事务支出占财政支出的比重表征;地区经济发展水平,以地区人均GDP表征。

2.2.4　机制变量

本文的机制变量共有3个,玉米机械化程度,采用玉米综合机械化率表征,即玉米综合机械化率=玉米机耕率×0.4+玉米机播率×0.3+玉米机收率×0.3,该指标可以综合反映玉米技术进步效应;化肥施用量,采用玉米单位面积化肥折纯用量表征;环境规制,采用环境污染治理投资总额表征[22]。

2.3　数据说明

鉴于数据的可获得性和完整性,本文以2008-2022年20个玉米主产区作为研究样本[23]。数据主要来自于《全国农产品成本收益资料汇编》《中国农业机械工业年鉴》《中国人口和就业统计年鉴》《中国环境统计年鉴》以及EPS数据库等,部分缺失数值采用插值法补齐。本文所有变量的描述性统计结果见表1。

表1　描述性统计

Table 1　Descriptive statistics

变 量 Variable	样本量 Sample size	均 值 Mean	标准误 Standard error	最小值 Minimum value	最大值 Maximum value
玉米秸秆还田面积(hm^2)	300	744.428 0	906.607 0	8.453 0	3 426.990 0
农民收入(元/户·年)	300	10 579.897 0	4 934.203 0	2 723.800 0	28 486.500 0
财政支农(%)	300	12.222 0	2.684 0	6.916 0	20.384 0
人力资本(年)	300	7.621 0	0.563 0	5.002 0	8.777 0
城镇化(%)	300	53.908 0	9.493 0	29.110 0	73.380 0
地区经济发展水平(万元/人)	300	17.095 0	12.643 0	0.415 0	68.853 0
玉米机械化程度(%)	300	0.553 2	0.262 6	0.004 1	0.985 1
化肥施用量(kg/hm^2)	300	24.589 0	4.236 0	15.580 0	40.880 0
环境规制(无量纲)	300	198.458 3	190.659 9	10.000 0	952.500 0

3　实证分析

3.1　基准回归分析

在评估化肥“零增长”政策对玉米秸秆还田的影

响前，需确认该政策在2015年是否存在显著的断点效应。通过基准回归生成时间断点图(图1)，结果显示，玉米秸秆还田面积在断点前后出现明显跳跃，表明政策可能对还田面积产生促进作用，但其显著性尚需进一步检验。

基于上述分析，采用断点回归设计估计政策效应。选择三角核函数作为核密度函数，采用非参数估计法，利用CCT法确定最优带宽为5，回归结果见表2。模型(1)未加入协变量，仅考虑政策冲击，回归系数显著为正，表明化肥“零增长”政策显著扩大了玉米秸秆还田面积。模型(2)在加入协变量后，政策效应依然显著为正，进一步验证了政策的稳健性与有效性，假说1得到验证。结果表明，化肥“零增长”政策通过限制化肥使用，推动农民寻求替代养分来源，玉米秸秆还田技术作为一种关键农业技术，成为实现政策目标的重要手段。从机制上看，政策通过要素替代、生态优化和经济驱动等多重路径，显著促进了玉米秸秆还田面积的扩大。

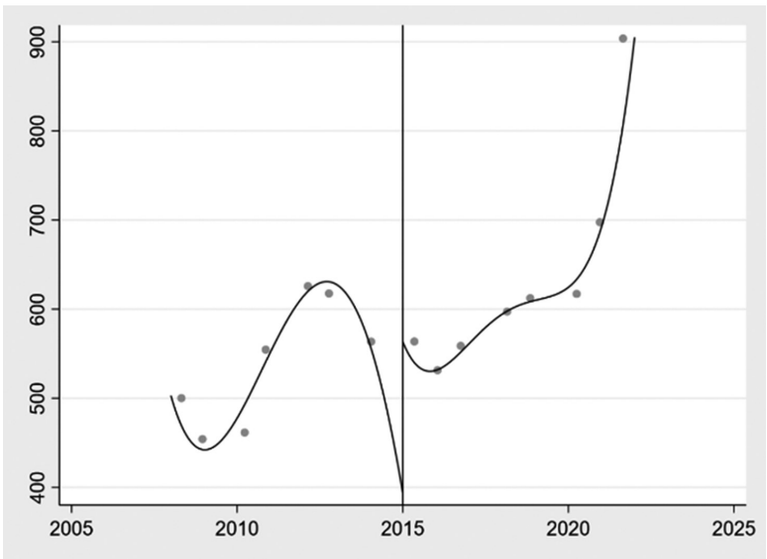

图1 断点效应图

Fig.1 Diagram of the discontinuity effect

表2 基准回归结果

Table 2 Results of the baseline regression

变量 Variable	模型(1) Model(1)	模型(2) Model(2)
化肥“零增长”政策	0.150 0**(0.055 3)	0.179 0***(0.036 2)
农民收入		0.099 5***(0.019 1)
财政支农		0.011 8(0.079 1)
人力资本		0.149 0**(0.055 1)
城镇化		0.035 5*(0.013 9)
地区经济		0.027 1(0.025 2)
常数项	5.225 0***(0.322 0)	6.355 0***(0.988 0)
拟合优度	0.684 0	0.587 0

注：“*、**、***”分别表示在10%、5%和1%水平上差异显著，括号内为标准误。下表同

Note: *, **, *** denote significant at the 10%, 5% and 1% levels, respectively, with standard errors in parentheses. The same below

3.2 稳健性检验

3.2.1 协变量平滑性检验

断点回归设计的一个假设前提是需要满足平滑性检验，即除玉米秸秆还田外，其他协变量无显著跳跃，以确保玉米秸秆还田面积的变化源于化肥“零增长”政策。鉴于此，本文对所有协变量进行平滑性检验，结果见表3。模型(1)-(5)分别以农民收入、财政支农、人力资本、城镇化及地区经济为结果变量进行回归，结果表明，所有协变量均无显著断点，证明政策效应未受到其他变量的干扰。

表3　协变量平滑性检验结果

Table 3　Results of the covariate smoothness test

变 量 Variable	模型(1) Model(1)	模型(2) Model(2)	模型(3) Model(3)	模型(4) Model(4)	模型(5) Model(5)
化肥“零增长”政策	0.281	0.161	0.148	0.235	0.577
	(0.265)	(0.233)	(0.131)	(0.317)	(0.386)
控制变量	是	是	是	是	是
常数项	13.260***	8.607***	12.910	38.740***	36.740**
	(2.320)	(2.353)	(7.595)	(2.735)	(11.960)
拟合优度	0.486	0.519	0.691	0.487	0.543

3.2.2　安慰剂检验

安慰剂检验又称为伪断点检验,用于排除玉米秸秆还田结果并非由化肥“零增长”政策推动的可能性。通过将政策断点设定为2014年或2016年,重新估计回归结果(表4)。结果显示,无论断点提前或推后,回归系数均不显著,验证了化肥“零增长”政策对玉米秸秆还田的促进作用。

3.2.3　“甜甜圈”RDD检验

为了排除人为操控的可能性,本文采用“甜甜圈”RDD检验表4模型(3),即剔除断点附近两年的样本重新估计。结果显示,剔除样本后,化肥“零增长”政策的系数仍为0.237,并通过5%的显著性检验,表明政策实施时间不存在人为操控。

3.2.4　带宽敏感性检验

带宽敏感性检验是断点回归的重要稳健性检验。通过将带宽设定为4和6进行回归,结果显示,化肥“零增长”政策的系数分别为0.151和0.150,均通过显著性检验,进一步验证了政策对玉米秸秆还田的促进效应,证明结论稳健可靠。

3.3　机制分析

进一步探讨化肥“零增长”政策影响玉米秸秆还田的具体传导机制,重点考察玉米机械化程度、化肥施用量和环境规制三方面的作用路径。

表4　其他稳健性检验结果

Table 4　Other robustness test results

变 量 Variable	模型(1) Model(1)	模型(2) Model(2)	模型(3) Model(3)	模型(4) Model(4)	模型(5) Model(5)
化肥“零增长”政策	0.222	0.262	0.237**	0.151 0**	0.150 0**
	(0.898)	(0.256)	(0.077)	(0.054 9)	(0.055 3)
控制变量	是	是	是	是	是
常数项	6.352***	6.174***	5.885***	6.572 0***	6.286 0***
	(0.988)	(0.960)	(0.982)	(1.016 0)	(1.022 0)
拟合优度	0.618	0.488	0.698	0.463 0	0.670 0

3.3.1　玉米机械化程度

化肥“零增长”政策通过提升玉米机械化程度,降低秸秆还田的技术难度和劳动强度,从而扩大还田面积。表5的结果表明,模型(1)显示,化肥“零增长”政策的系数为0.116,在1%的水平上显著,表明政策显著提高了玉米机械化程度;模型(2)中,化肥“零增长”政策和玉米机械化的估计系数均显著为正,验证了政策通过提高机械化水平促进了秸秆还田技术采纳,扩大了还田面积,假说2得到验证。政策通过机械化发展提高了农户对秸秆还田技术的接受度和应用意愿,进一步推动了该技术的推广。

3.3.2　化肥施用量

理论分析指出,化肥“零增长”政策通过减少化肥施用量,间接推动了玉米秸秆还田的实施。表5模型(3)显示,化肥“零增长”政策的估计系数显著为负,表明政策有效降低了化肥施用量;模型(4)进一步验证了该机制:化肥“零增长”政策的系数为0.259,通过1%的显著性检验,化肥施用量的系数显著为负,说明政策通过减少化肥施用量,促进了秸秆还田面积的扩大,假说3得到验证。政策的实施控制了化肥使用的增长,增强了农民对秸秆还田技术的需求,有效推动了技术应用。

表5 机制检验结果

Table 5 Results of the mechanism test

变 量 Variable	模型(1) Model(1)	模型(2) Model(2)	模型(3) Model(3)	模型(4) Model(4)	模型(5) Model(5)	模型(6) Model(6)
化肥“零增长”政策	0.116 0***	0.231 0**	−0.390 0***	0.259 0***	0.199 0***	0.183 0**
	(0.034 8)	(0.073 9)	(0.075 2)	(0.033 7)	(0.027 8)	(0.064 1)
玉米机械化		0.032 1**				
		(0.012 2)				
化肥施用量				−0.144 0**		
				(0.053 6)		
环境规制					0.084 5**	0.080 4***
					(0.029 7)	(0.019 8)
化肥“零增长”政策×环境规制						0.036 6*
						(0.014 2)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
常数项	1.514 0***	6.315 0***	1.908 0***	6.806 0	6.554 0***	11.430 0*
	(0.252 0)	(1.143 0)	(0.474 0)	(6.261 0)	(0.944 0)	(5.199 0)
拟合优度	0.681 0	0.519 0	0.612 0	0.524 0	0. 589 0	0.641 0

3.3.3 环境规制

化肥“零增长”政策与环境规制协同作用，进一步促进了秸秆还田技术的采纳。表5显示，在模型(6)中，化肥“零增长”政策和环境规制交互项的系数为0.036 6，在10%的水平下显著，且主效应系数显著为正，表明环境规制强化了政策对秸秆还田的促进作用，假说4得到验证。环境规制通过直接限制污染性生产行为，以及提供经济激励和技术支持，增强了农户对环保技术的接受度，营造了良好的政策环境和社会氛围，进一步推动了秸秆还田技术的推广。

3.4 异质性分析

为进一步探究化肥“零增长”政策对不同玉米带玉米秸秆还田的异质性影响，基于不同玉米带的自然和经济条件特征，分别对北方春播玉米带、黄淮海夏播玉米带、西南山地玉米带和西北灌溉玉米带进行了回归分析。化肥“零增长”政策有效提升了北方春播玉米带、黄淮海夏播玉米带和西北灌溉玉米带的玉米秸秆还田面积，对西南山地玉米带的影响为正，但不显著。

北方春播玉米带的政策效果最为显著。该区域土壤肥沃，降水适中且集中于生长季节，适宜的湿度和温度显著加速了秸秆的分解与腐烂，降低了秸秆堆积引发腐败的风险。此外，针对黑土地退化的政策，推动了秸秆覆盖免耕技术的研发与推广，为秸秆还田提供了有力支持。

黄淮海地区政策效果次之。尽管湿热环境促进了秸秆分解，但过多降水可能导致秸秆腐败或抑制微生物活动，限制肥效释放。耕地集中度高、农业机械化水平较高的特点，部分弥补了不利气候条件的影响，提升了政策的实施效果。

西北灌溉玉米带的政策效应显著但低于北方春播玉米带。降水稀少导致秸秆分解速率较低，但灌溉设施的完善弥补了水分不足的问题，确保了秸秆还田条件。同时，该地区农业规模化经营和机械化水平较高，降低了秸秆还田的操作成本，进一步强化了政策效果。

西南山地玉米带的政策效应不显著。地形复杂、农田碎片化和机械化程度低，显著提高了秸秆还田成本。此外，降水分布不均和湿度过高容易导致土壤缺氧，不利于秸秆分解和肥效释放，削弱了政策的实际效果。

4 结论与建议

本文基于2015年实施的《到2020年化肥使用量零增长行动方案》，利用准自然实验和断点回归设计评估化肥“零增长”政策对玉米秸秆还田的影响。结果表明，第一，化肥“零增长”政策显著扩大了玉米秸秆还田面积，该结果通过协变量平滑性检验、安慰剂检验、“甜甜圈”RDD检验及带宽敏感性检验等多项稳健性测试，均得到验证；第二，政策通过多种途径间接促进还田面积扩大，具体表现为提高玉米机械化水平、减少化肥施用量以及发挥环境规制的协同效应；第三，异质性分析显示，政策效果因区域差异而显著不同，北方春播玉米带政策促进作用最大，西

北灌溉玉米带次之，黄淮海夏播玉米带较弱，西南山地玉米带不显著。

基于上述结论，提出以下政策建议：第一，深化化肥“零增长”政策，推广农业保护性耕作技术。为巩固政策成效，应进一步推广秸秆还田技术，具体措施包括加强政策宣传与技术培训，提高农民对技术的认知与操作能力；提供技术支持与经济补贴，尤其是针对设备购置的专项补贴，降低农民应用成本，提升技术推广效果。第二，提升玉米机械化水平，持续推进化肥减量。为扩大政策影响，可加大对玉米机械化设备研发与推广力度，特别是秸秆还田机械的普及；通过强化机械化操作培训，提高农民技能水平；持续推进化肥减量行动，推广有机肥和生物肥料，优化施肥方式，提高化肥利用效率，减轻土壤负担。第三，结合正式与非正式制度，推动多元主体参与。环境规制的正向调节作用表明，政策实施需依赖多元主体的协作。建议完善法律法规，建立科学的环境监管体系，加强秸秆还田的环境监测；同时，鼓励社区、农民合作社等非正式制度共同参与，构建政府主导、群众协同的政策执行机制，以提高政策执行效果。第四，实施区域差异化技术推广策略。鉴于不同区域政策效果差异显著，应因地制宜制定推广方案。北方春播玉米带需要强化技术推广和机械化水平提升，充分发挥政策优势；西南山地玉米带探索适宜的农业可持续发展路径，结合多种经营模式提升农民收益。

参考文献：

[1] 杨肃昌，范国华．农业要素市场化对农村生态环境质量的影响效应[J]．华南农业大学学报(社会科学版)，2021，20(4)：12-23．
YANG S C, FAN G H. The effect of marketization of agricultural factors on the quality of rural eco-environment[J]. Journal of South China Agricultural University(Social Science Edition), 2021, 20(4): 12-23. (in Chinese)

[2] 聂英，胡水清清，韩鲜籽，等．粮食集中产区玉米秸秆能源化利用的潜力评价、现实困境、优化路径[J]．玉米科学，2023，31(6)：167-172，182．
NIE Y, HU S Q Q, HAN X Z, et al. Evaluation of the potential utilization of corn stalk biomass in Jilin Province: Realistic challenges and path to optimization[J]. Journal of Maize Sciences, 2023, 31(6): 167-172, 182. (in Chinese)

[3] 张嘉琪，颜廷武，江鑫．价值感知、环境责任意识与农户秸秆资源化利用——基于拓展技术接受模型的多群组分析[J]．中国农业资源与区划，2021，42(4)：99-107．
ZHANG J Q, YAN T W, JIANG X. Value perception, awareness of environmental responsibility and farmers' behavior of straw resource utilization——multi-group analysis based on extended techno-logy acceptance model[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2021, 42(4): 99-107. (in Chinese)

[4] 孙小钧，伍国勇，任秀．化肥投入变化对粮食生产效率的影响——基于贵州省县域面板数据的实证分析[J]．南方农业学报，2019，50(8)：1869-1877．
SUN X J, WU G Y, REN X. The impact of chemical fertilizer input changes on grain production efficiency——An empirical analysis based on panel data of counties in Guizhou Province[J]. Journal of Southern Agriculture, 2019, 50(8): 1869-1877. (in Chinese)

[5] 李政通，顾海英．农地权能、劳动力流动与化肥用量[J]．农村经济，2021(9)：34-43．
LI Z T, GU H Y. Powers and functions of farmland, labor mobility and fertilizer consumption[J]. Rural Economy, 2021(9): 34-43. (in Chinese)

[6] 柴如山，朱丽青，刘梦阳，等．山东省小麦玉米秸秆资源分布与还田减肥潜力[J]．中国农业科学，2024，57(11)：2202-2214．
CHAI R S, ZHU L Q, LIU M Y, et al. Distribution of wheat and maize straw resources in Shandong Province and fertilizer reduction potential under straw return[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2024, 57(11): 2202-2214. (in Chinese)

[7] 尚小龙，曹建斌，王艳，等．保护性耕作技术研究现状及展望[J]．中国农机化学报，2021，42(6)：191-201．
SHANG X L, CAO J B, WANG Y, et al. Current situation and prospect of conservation tillage technology[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2021, 42(6): 191-201. (in Chinese)

[8] 易福南，王芳，柯佑鹏，等．农户认知、经济激励与农户绿色防控技术采纳行为研究——基于海南省万宁市347个槟榔种植户的调查数据[J]．林业经济，2022，44(7)：52-66．
YI F N, WANG F, KE Y P, et al. Research on farmers' cognition, economic incentives and farmers' green prevention and control technology adoption behavior——Based on the survey data of 347 betel nut growers in Wanning City, Hainan Province[J]. Forestry Economics, 2022, 44(7): 52-66. (in Chinese)

[9] 闫阿倩，罗小锋，黄炎忠，等．基于老龄化背景下的绿色生产技术推广研究——以生物农药与测土配方肥为例[J]．中国农业资源与区划，2021，42(3)：110-118．
YAN A Q, LUO X F, HUANG Y Z, et al. Research on the popularization of green production technology based on the background of aging—A case study of biological pesticide and soil testing formula fertilizer[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2021, 42(3): 110-118. (in Chinese)

[10] 陈钇涵，赵敏娟．资本禀赋对农户有机肥替代技术采纳行为影响及作用机制[J]．西北农林科技大学学报(社会科学版)，2024，24(3)：116-127．
CHEN Y H, ZHAO M J. Influence and mechanism of capital endowment on farmers' adoption of organic fertilizer substitution technology[J]. Journal of Northwest A&F University(Social Science Edition), 2024, 24(3): 116-127. (in Chinese)

[11] 林珊，于法稳，代明慧．化肥“零增长”政策会影响粮食安全吗：基于准自然实验的RD检验[J]．中国软科学，2024(1)：12-23．
LIN S, YU F W, DAI M H. Will fertilizer "Zero-Growth" policy affect food security: RD test based on quasi-natural experiment[J]. China Soft Science, 2024(1): 12-23. (in Chinese)

[12] 杨福霞，甘伟铭．偏向性减量目标约束的农业绿色创新效应：基于化肥零增长行动的实证[J]．中国人口·资源与环境，2024，34

(5):186-196 .
YANG F X, GAN W M. Effect of biased reduction targets on agricultural green innovation: an empirical study on the strategy of zero growth in synthetic fertilizer use[J]. China Population, Resources and Environment, 2024, 34(5): 186-196. (in Chinese)

[13] 张旭,邢思文,吴玉德 . 不同秸秆还田方式对农田生态环境的影响综述[J] . 江苏农业科学,2023,51(7):31-39 .
ZHANG X, XING S W, WU Y D. Effects of different straw returning methods on farmland ecological environment: a review[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2023, 51(7): 31-39. (in Chinese)

[14] 高雅罕,蒋振,靳乐山 . 秸秆综合利用生态补偿政策与农户秸秆还田行为[J] . 中国生态农业学报(中英文),2024,32(4):713-725 .
GAO Y H, JIANG Z, JIN L S. Eco-compensation policy for comprehensive utilization of straw and households' behavior of straw returning[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2024, 32(4): 713-725. (in Chinese)

[15] 隋鹏祥,张文可,梅楠,等 . 不同秸秆还田方式对春玉米产量、水分利用和根系生长的影响[J] . 水土保持学报,2018,32(4):255-261 .
SUI P X, ZHANG W K, MEI N, et al. Effects of different straw returning methods on spring maize yield, water use and root growth[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2018, 32(4): 255-261. (in Chinese)

[16] 曹铁毅,周佳宁,邹伟 . 土地托管与化肥减量化:作用机制与实证检验[J] . 干旱区资源与环境,2022,36(6):34-40 .
CAO T Y, ZHOU J N, ZOU W. Effects of land trusteeship on fertilizer input reduction: mechanism and empirical test[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2022, 36(6): 34-40. (in Chinese)

[17] 宫亮,金丹丹,何志刚,等 . 辽宁省主要粮食作物秸秆还田对化肥替代潜力分析[J] . 河南农业科学,2023,52(10):60-71 .
GONG L, JIN D D, HE Z G, et al. Analysis of fertilizer substitution potential of main grain crop straw returning to field in Liaoning Province[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2023, 52(10): 60-71. (in Chinese)

[18] 武志杰,张丽莉,石元亮,等 . 绿色肥料缘起、现状与发展趋势[J] . 中国农业科学,2023,56(13):2530-2546 .
WU Z J, ZHANG L L, SHI Y L, et al. Origin, present situation and development trend of green fertilizer[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2023, 56(13): 2530-2546. (in Chinese)

[19] 王淑红,杨志海 . 农业劳动力老龄化对粮食绿色全要素生产率变动的影响研究[J] . 农业现代化研究,2020,41(3):396-406 .
WANG S H, YANG Z H. The effect of the aging of agricultural labor force on the change of grain green total factor productivity[J]. Research of Agricultural Modernization, 2020, 41(3): 396-406. (in Chinese)

[20] 何建福,高骞,肖正中,等 . 农作物秸秆加工技术及其在肉牛生产中的应用研究进展[J] . 中国饲料,2024(7):150-156 .
HE J F, GAO Q, XIAO Z Z, et al. Research progress on crop straw processing technology and its application in beef cattle production [J]. China Feed, 2024(7): 150-156. (in Chinese)

[21] 高雅罕,蒋振,靳乐山 . 秸秆综合利用生态补偿政策与农户秸秆还田行为[J] . 中国生态农业学报(中英文),2024,32(4):713-725 .
GAO Y H, JIANG Z, JIN L S. Eco-compensation policy for comprehensive utilization of straw and households' behavior of straw returning[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture,2024, 32(4): 713-725. (in Chinese)

[22] 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. (in Chinese)

[23] 郑旭媛,林庆林,邓鸣 . 我国玉米单产与全要素生产率贡献分解测算及动态特征考察[J] . 玉米科学,2023,31(2):158-165 .
ZHENG X Y, LIN Q L, DENG M. Decomposition calculation and dynamic characteristics of maize yield and total factor productivity contribution in China[J]. Journal of Maize Sciences, 2023, 31(2): 158-165. (in Chinese)

(责任编辑:杨 宁)