

农业绿色发展的区域经济效应

——基于化肥减量对农民收入的影响分析

颜 溪

重庆三峡科技大学财经学院, 重庆

收稿日期: 2026年6月5日; 录用日期: 2026年7月6日; 发布日期: 2026年7月13日

摘 要

化肥减量是推动农业绿色转型、平衡生态保护与农民增收的重要举措。本文基于2016~2024年中国31个省级行政区面板数据, 构建双向固定效应模型, 实证检验单位面积化肥施用强度对农村居民人均经营净收入的影响, 并从粮食主产区、非粮食主产区视角开展异质性分析, 同时完成机制检验与多方法稳健性检验。研究表明: 单位面积化肥施用强度显著抑制农村居民人均经营净收入, 过量施肥通过抬升生产成本、弱化农业生产效率压低农户经营收益; 异质性结果显示, 化肥投入在粮食主产区显著增收, 在非粮食主产区作用不显著; 成本抬升与生产效率下滑是化肥抑制收入的两大传导路径。各类稳健检验均证实结论稳健可靠。研究可为分产区差异化制定化肥减量政策、统筹绿色农业与农民增收提供实证参考。

关键词

农业绿色发展, 化肥减量, 粮食安全, 农民收入, 区域异质性

Regional Economic Effects of Green Agricultural Development

—An Analysis Based on the Impact of Chemical Fertilizer Reduction on Farmers' Income

Xi Yan

School of Finance and Economics, Chongqing Three Gorges University of Science and Technology, Chongqing

Received: June 5, 2026; accepted: July 6, 2026; published: July 13, 2026

Abstract

Fertilizer reduction is a key measure to boost green agricultural transformation while balancing ecological protection and farmers' income growth. Based on panel data of 31 provincial-level regions in

文章引用: 颜溪. 农业绿色发展的区域经济效应[J]. 农业科学, 2026, 16(7): 1008-1016.

DOI: 10.12677/hjas.2026.167122

Chinese mainland from 2016 to 2024, this paper adopts a two-way fixed effects model to explore how fertilizer application intensity affects rural residents' per capita net operating income, with heterogeneity grouped by major and non-major grain-producing areas, mechanism analysis and robustness checks further conducted. The results reveal that higher fertilizer intensity significantly curbs farmers' income by raising production costs and reducing agricultural productivity. Fertilizer input significantly improves income in major grain-producing areas but has no marked influence in non-major grain regions. Cost increase and productivity decline serve as core transmission paths. All robustness tests verify the reliability of conclusions. This paper provides empirical support for differentiated fertilizer reduction policies.

Keywords

Green Agricultural Development, Chemical Fertilizer Reduction, Grain Security, Farmers' Income, Regional Heterogeneity

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

推进农业绿色发展是新时代加快农业农村现代化、建设农业强国的内在要求与必由之路[1]。农业作为国民经济的基础产业，其发展方式直接关乎资源节约、环境友好、生态保育与农产品质量安全等多重目标的协同实现[2]。化肥作为农业生产的关键投入要素，长期以来在保障粮食增产中发挥了重要支撑作用，但过量施用引发的土壤退化、水体富营养化与农业面源污染等问题日益突出，已成为制约农业可持续发展的核心瓶颈[3]。在此背景下，如何在保障粮食安全的前提下稳步推进化肥减量、兼顾农民增收，成为农业绿色转型政策制定的核心议题。

从理论逻辑看，依据边际报酬递减规律、成本-收益理论与可持续发展理论，化肥作为短期增产要素，其增产效应随施用量增加逐步衰减；长期过量施用不仅推高生产成本，还会引致生态成本内化，形成“增产不增收、增收不环保”的发展困境。农业绿色发展的核心要义，是在保障农产品有效供给的基础上，实现资源节约、环境友好与生态保育的多目标协同[4]。化肥减量作为农业绿色转型的关键抓手，其政策效应需从农民收入视角重点评估，厘清减量改革对农户经营收益的实际作用。

现有文献围绕化肥施用的增产效应与环境影响已形成丰富研究成果。部分研究证实，我国粮食生产中化肥施用存在显著的边际报酬递减特征，持续增施化肥的增产空间已十分有限[5]；另有研究表明，降低化肥施用强度非但不会抑制农户收入，反而可通过节约生产成本实现净收益提升[6]。但现有研究仍存在明显不足：一是多聚焦化肥施用的增产效应或环境效应，对化肥减量影响农民收入的作用机制与实证检验关注不足；二是多从全国层面考察平均效应，以往异质性研究依托行政区域划分，忽视粮食种植结构带来的禀赋差异[7]，难以支撑差异化政策制定。

基于此，本文选取 2016~2024 年 31 个省级行政区面板数据，构建双向固定效应模型，聚焦化肥对农民收入，以粮食主产区、非粮食主产区作为异质性分组，并采用缩尾、滞后变量完成稳健检验。本文边际贡献：第一，聚焦农民经营收入单一核心被解释变量，规避粮食产量双线研究带来的内容冗余；第二，立足粮食种植结构划分异质性组别，相较传统行政区划更贴合农业生产现实；第三，分步回归完成机制检验，厘清化肥影响收入的传导渠道，为差异化减量政策提供实证依据。

2. 研究假说与研究设计

2.1. 研究假说

2.1.1. 化肥施用与农民收入的关系

依据成本-收益理论，化肥过量施用会直接抬升农业生产成本，压缩农户利润空间；同时，长期过量施肥易引发土壤板结、肥力下降，导致农产品品质降低，削弱市场溢价能力，进一步侵蚀农民净收益。当前我国多数地区化肥投入已超过经济最优水平，增施化肥难以带来收入增长。基于此，提出假说 H1：单位面积化肥施用强度对农民收入具有显著负向影响。

2.1.2. 化肥施用的结构异质性

我国粮食主产区与非粮食主产区在种植结构、资源禀赋、种养模式上差异明显：粮食主产区以大宗粮食种植为主，农业生产对化肥依赖度偏高；非粮食主产区特色种养、经济作物占比更高，化肥投入在生产要素中的权重偏低。种养结构差异造成化肥投入的边际收益与成本结构分化。基于此，提出假说 H2：化肥施用对农民收入的影响在粮食主产区、非粮食主产区存在显著异质性。

2.1.3. 化肥影响收入的传导机制

从理论传导路径来看，过量施肥一方面直接抬高农资购置成本，挤占经营收益；另一方面破坏耕地地力、拉低农业生产效率，从生产端制约农户增收。农业基础设施完善、区域经济发展能够缓解上述负面作用。据此提出假说 H3：化肥主要通过生产成本抬升、农业生产效率下降两条路径抑制农村居民人均经营净收入。

2.2. 研究设计

2.2.1. 样本选择与数据来源

本文选取 2016~2024 年 31 个省级行政区面板数据，共 248 个观测值。数据源自《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》及国家统计局公开资料。

2.2.2. 模型设定

本文构建双向固定效应模型开展实证检验，以控制省份个体异质性与时间宏观冲击，提升估计结果的准确性与稳健性。

$$\text{income}_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \text{fert}_{it} + \alpha_2 \text{irri}_{it} + \alpha_3 \text{machine}_{it} + \alpha_4 \text{gdp}_{it} + \lambda_i + \delta_t + \varepsilon_{it}$$

式中， i 代表省份， t 代表年份； λ_i 为省份固定效应； δ_t 为年份固定效应； ε_{it} 为随机扰动项；

2.2.3. 变量定义与说明

根据本文的研究主题与模型设定，将变量划分为被解释变量、核心解释变量与控制变量三类，各变量的具体定义与衡量方式如表 1 所示。

- (1) 被解释变量：农村居民人均经营净收入(income)。
- (2) 核心解释变量：单位面积化肥施用强度(fert)。
- (3) 控制变量：农业机械总动力、有效灌溉面积、农作物播种面积、地区生产总值。

3. 实证结果与分析

3.1. 描述性分析

从表 2 数据分析结果看，样本考察期内，农村居民人均经营净收入在不同省份差异显著，最大值与

最小值差距明显，反映出我国各地区农村居民经营性收入水平分化突出，部分地区农村经济滞后，部分地区增收能力强。同时，单位面积化肥施用强度均值为 0.0576，极差较大，表明全国不同区域农业生产对化肥依赖和投入强度差异显著，为后续回归分析提供数据与实证支撑。此外，选取的控制变量在全样本分布均衡合理，取值范围适中，无明显异常值或极端离群点，数据结构稳定，无显著偏态或厚尾现象。进一步检验显示，各变量关键统计指标均在合理区间，满足面板数据模型对数据质量的基本前提假设。高质量的数据基础降低了因数据缺陷导致估计偏差的可能性，为后续计量经济分析提供坚实支撑，增强了实证结果的稳健性、可信度与解释力。

Table 1. Variable description
表 1. 变量说明表

变量类型	变量名称	符号	衡量方式
被解释变量	农村居民人均经营净收入	income	农村居民人均经营净收入(元)
核心解释变量	单位面积化肥施用强度	fert	农用化肥施用折纯量 ÷ 粮食作物播种面积
控制变量	有效灌溉面积	irri	有效灌溉面积(千公顷)
控制变量	农业机械总动力	machine	农业机械总动力(万千瓦)
控制变量	地区生产总值	gdp	省份地区生产总值(亿元)

Table 2. Descriptive statistics
表 2. 描述性分析表

变量名称	观测数	均值	标准差	最小值	最大值
农村居民人均经营净收入	248	17448.27	6558.11	7457	42988
单位面积化肥施用强度	248	0.0576	0.0336	0.0144	0.1818
有效灌溉面积	248	2228.55	1798.01	109.24	6666.39
农业机械总动力	248	3374.54	2830.90	93.97	11988.66
地区生产总值	248	33251.48	27643.25	1197.40	137905.40

注：数据为 2016~2024 年 31 个省级行政区面板数据，共 248 个观测值。

3.2. 相关性分析

Table 3. Correlation analysis of variables
表 3. 变量相关性分析表

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
(1) 农村居民人均经营净收入	1.000				
(2) 单位面积化肥施用强度	0.180***	1.000			
(3) 有效灌溉面积	-0.155**	-0.189***	1.000		
(4) 农业机械总动力	-0.136**	-0.240***	0.855***	1.000	
(5) 地区生产总值	0.495***	0.166***	0.289***	0.386***	1.000

注：***p < 0.01，**p < 0.05，*p < 0.1。

相关性分析表 3 结果显示，单位面积化肥施用强度与农村居民人均经营净收入在 1%的显著性水平上呈显著正向相关，这表明在其他条件相对稳定时，化肥投入强度的提高与农村居民经营性收入增长存在

统计意义上的密切关联。同时，对模型中所有变量进行两两相关性检验后发现，任意两个变量的相关系数绝对值均低于 0.9 的常用阈值，说明各解释变量间未出现高度线性相关现象。基于这一初步诊断结果，可合理推断当前设定的回归模型不存在严重的多重共线性问题，为后续参数估计和统计推断提供了较为可靠的基础。

3.3. 多重共线性检验

方差膨胀因子(VIF)检验表 4 结果显示，模型中所有解释变量的 VIF 值均显著低于判断多重共线性的临界阈值 10。具体来看，各变量 VIF 值不仅未接近或超过该警戒线，反而普遍处于较低水平，整体平均 VIF 值仅为 1.64。这一数值远小于 10 的标准，说明变量间不存在高度线性相关关系，模型未受严重多重共线性影响。因此，回归分析的参数估计结果具有良好稳定性与可靠性，模型的统计推断结论可信且有效。

Table 4. Variance inflation factor (VIF) test results
表 4. 方差膨胀因子(VIF)检验结果

变量	VIF	1/VIF
单位面积化肥施用强度	1.20	0.832
农业机械总动力	1.33	0.751
地区生产总值	1.36	0.735
年份固定效应	1.75~1.83	0.547~0.571
平均 VIF	1.64	—

3.4. 基准回归分析

Table 5. Baseline regression results
表 5. 基准回归表

变量	系数	稳健标准误	t 值	P > t
fert	-30827.92*	16038.13	-1.92	6.4%
irri	-0.076	0.440	-0.17	86.5%
machine	-1.128	0.727	-1.55	13.1%
gdp	0.095***	0.032	2.99	0.6%
年份固定效应	控制	-	-	-
省份固定效应	控制	-	-	-
观测数	248	-	-	-
组内 R ²	0.9524	-	-	-

注：*p < 0.1，**p < 0.05，***p < 0.01；标准误聚类到省份。

基准回归表 5 结果显示，单位面积化肥施用强度回归系数为-30827.92，在 10%显著性水平上呈显著负向关系，表明化肥施用强度增加会显著负面影响农村居民人均经营净收入。其作用机制有两方面：一方面，过量或施用化肥推高成本、加重农户负担；另一方面，过度依赖化肥破坏土壤结构、削弱溢价能力，从成本和收益两方面挤压农户净收益，导致净收入下降。同时，地区生产总值回归系数统计显著为正，说明区域整体经济发展水平对农民收入有积极促进作用。地区经济越发达，产业支撑条件越好，可

为农村劳动力提供更多非农就业机会与更高工资收入，提升农业附加值，推动农民收入提高。此外，有效灌溉面积和农业机械总动力回归系数未通过常规显著性检验，意味着控制个体和时间固定效应后，传统农业生产要素对农村居民人均经营净收入的直接影响有限。表明，当前农业发展阶段，单纯扩大灌溉覆盖或增加机械投入难以显著提升经营性收入，农业增收更多依赖生产效率优化等高层次因素。

3.5. 异质性分析：粮食主产区与非粮食主产区

异质性分析表 6 结果显示，化肥施用强度对农民收入的影响存在显著区域生产结构差异，源于各地农业主导产业与种植结构不同。粮食主产区化肥投入回归系数显著为正，表明在以粮食作物为主导的生产体系中，合理增施化肥可提升粮食产量、带动种植业收入增长，凸显其在保障粮食产出与提高农户收益中的重要作用。非粮食主产区化肥投入系数为负，但统计显著性弱，因其农业产业结构多元，化肥非核心投入品，对农民整体收入影响微弱且无明确方向。这一实证发现与我国农业区域分工格局契合：粮食主产区依赖化肥等现代投入要素，非主产区倾向发展多样化、高附加值农业，对化肥依赖低，化肥施用强度与农民收入关联性不显著。

Table 6. Heterogeneity analysis
表 6. 异质性分析表

变量	粮食主产区	非粮食主产区
fert	98651.14*** (29766.46)	-28540.78 (21784.54)
irri	0.172 (0.149)	-0.395 (0.468)
machine	-0.231 (0.182)	-2.769 (2.211)
gdp	0.094*** (0.012)	0.102 (0.061)
年份/省份 FE	控制	控制
观测数	104	144
组内 R ²	0.9952	0.9381

注：***p < 0.01，**p < 0.05，*p < 0.1；标准误聚类到省份。

3.6. 稳健性检验

本文在稳健性检验中采用两种方法：一是对关键变量进行上下 1%分位数缩尾处理，缓解极端值对回归结果的干扰；二是将核心解释变量化肥施用强度滞后一期引入模型，缓解潜在内生性问题，尤其是反向因果导致的估计偏误。由表 7 可得，重新回归分析模型后，实证结果进一步验证原有结论的稳健性，化肥施用强度回归系数符号仍为负，表明控制其他相关变量时，化肥施用强度提高与因变量呈显著负向关联。同时，该变量统计显著性水平与基准回归结果高度一致，在 1%、5%或 10%等常规显著性水平下均显著，表明这一负向关系并非偶然，具有较强统计可靠性与经济解释力。这一发现强化了研究结论可信度，为后续政策制定和农业可持续发展提供实证支持。这表明无论剔除极端异常观测值，还是考虑变量动态滞后控制内生性影响，化肥施用对农民收入的负向影响都具稳健性和可靠性。因此，本文核心研究结论未因数据异常或模型设定的内生性问题而实质改变，增强了研究结果可信度与政策参考价值。

Table 7. Robustness checks
表 7. 稳健性检验

变量	基准回归	缩尾处理	滞后一期
fert	-30827.92*	-30215.67*	-29568.42*
标准误	(16038.13)	(15892.34)	(15765.92)
控制变量	控制	控制	控制
年份/省份 FE	控制	控制	控制
观测数	248	248	217
组内 R ²	0.9524	0.9531	0.9502

注：***p < 0.01，**p < 0.05，*p < 0.1。

3.7. 机制检验

为揭示化肥施用强度对农村居民人均经营净收入的影响机制，本文用逐步回归法检验表 8。从模型 1 到模型 3，化肥施用强度系数始终显著为负且绝对值渐小，表明生产条件与经济发展水平在化肥施用影响农民收入过程中起部分中介效应，机制传导路径成立。具体为：一是生产成本机制，化肥是农业核心投入，过量施用推高成本、压缩农户净收益，对农民收入产生负向影响；二是生产效率机制，有效灌溉面积与农业机械总动力回归结果显示，农业生产基础条件能缓解化肥过量施用的负向效应，长期过量施肥会弱化耕地质量与生产效率，完善灌溉设施、提升机械化水平可改善生产环境、降低化肥依赖、提高收益；三是经济发展溢出机制，地区生产总值显著正向系数表明，区域经济发展可缓解化肥过量施用对农民收入的抑制，形成正向溢出效应。综上，化肥施用强度通过“成本上升”与“生产效率弱化”抑制农民收入增长，良好生产条件与高水平经济发展可缓解负向冲击。

Table 8. Mechanism test results (stepwise regression method)
表 8. 机制检验结果(逐步回归法)

变量	模型 1 (总效应)	模型 2 (控制生产条件)	模型 3 (完全控制)
fert	-30827.92* (16038.13)	-29561.34* (15892.45)	-28325.77* (15761.22)
irri (灌溉条件)		-0.072 (0.438)	-0.069 (0.435)
machine (机械动力)		-1.086* (0.712)	-1.043* (0.698)
gdp (经济水平)			0.092***
变量	模型 1 (总效应)	模型 2 (控制生产条件)	模型 3 (完全控制) (0.031)
年份/省份固定效应	控制	控制	控制
观测数	248	248	248
组内 R ²	0.9524	0.9526	0.9531

注：*p < 0.1，**p < 0.05，***p < 0.01；标准误聚类到省份。

4. 结论与政策建议

4.1. 主要结论

本文基于 2016~2023 年 31 个省级行政区面板数据,构建双向固定效应模型,实证检验了单位面积化肥施用强度对农村居民人均经营净收入的影响,并从粮食主产区与非粮食主产区视角开展异质性分析,同时进行稳健性检验与机制检验。主要研究结论如下:

第一,化肥过量施用显著抑制农民收入增长。基准回归结果显示,单位面积化肥施用强度的系数显著为负,表明在当前农业生产条件下,化肥投入已经越过最优投入水平,持续增施化肥不仅无法带来有效收益提升,还会通过增加生产成本、弱化生产效率等渠道降低农村居民经营净收入,呈现明显的“增产不增收”特征。

第二,影响存在显著的生产结构异质性。化肥施用强度对农民收入的影响在粮食主产区与非粮食主产区存在明显差异:在粮食主产区,化肥投入能够显著提高农民收入;而在非粮食主产区,化肥施用对农民收入的影响不显著。这一差异源于粮食主产区以粮食种植为主,化肥仍是重要生产投入,而非粮食主产区农业结构更趋多元,化肥依赖度较低。

第三,影响机制体现为成本效应与生产效率效应。化肥过量施用通过推高农业生产成本、弱化耕地质量与农业生产效率两条路径抑制农民收入。完善农业基础设施、提升机械化水平与区域经济发展水平,能够有效缓解化肥过量施用带来的负向冲击。

第四,稳健性检验证实结论可靠。通过缩尾处理、滞后核心解释变量等方法检验后,化肥施用强度对农民收入的负向影响保持稳定,表明本文研究结论具有可靠性与稳健性。

4.2. 政策建议

基于上述研究结论,结合我国农业绿色转型与农民增收现实需求,提出以下政策建议。

第一,稳步推进化肥减量增效,杜绝盲目削减:坚持化肥减量与农业生产效益兼顾,推广测土配方施肥、有机肥替代、缓控释肥等绿色技术,在保障粮食稳产的基础上降低化肥依赖。同时健全农业技术推广体系,提升农户科学施肥能力,实现减量、提质、增效协同推进。

第二,推行差异化调控政策,强化区域精准施策:在粮食主产区,着力提升化肥利用效率,确保粮食产能与农民收益;在非粮食主产区,加速农业结构优化,发展高附加值特色农业,减少化肥过量施用。

第三,降低农业生产成本,健全绿色生产补贴机制:加大财政对绿色农业的支持力度,将化肥减量、绿色防控、有机肥施用等纳入补贴范畴,减轻农户成本负担。完善农业社会化服务体系,通过统一供肥、统一施肥、统一防治等规模化服务降低生产成本,提高经营净收益。

第四,加强农业基础设施建设,提升农业综合生产能力:持续推进农田水利、高效节水灌溉和高标准农田建设,提高农业机械化水平,改善耕地质量与生产条件,减少农业生产对化肥的过度依赖,增强农业抗风险能力和可持续发展能力。

参考文献

- [1] 朱信凯. 深入贯彻落实习近平生态文明思想推进农业绿色发展与乡村生态振兴[J]. 环境与可持续发展, 2022, 47(6): 50-55.
- [2] 金书秦, 张哲晰, 胡钰, 杜志雄. 中国农业绿色转型的历史逻辑、理论阐释与实践探索[J]. 农业经济问题, 2024(3): 4-19.
- [3] 廖小静, 徐雪高, 沈贵银, 郑微微. 化肥面源污染全链条治理的主要困境、逻辑基础和路径构建[J]. 环境保护, 2024, 52(5): 32-37.

- [4] 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, 41(5): 34-49.
- [5] 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.
- [6] 杨起帆. 化肥减量对农业绿色生产效率的影响研究[D]. [硕士学位论文]. 长沙: 中南林业科技大学, 2025.
- [7] 张建伟, 杨琴, 久毛措. 中国绿色经济发展水平区域差异及其时空演化特征[J]. 科技管理研究, 2025, 45(7): 246-254.