农业资源与环境学报 CSCD核心期刊 中文核心期刊 中国科技核心期刊
JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT
欢迎投稿 http://www.aed.org.cn

农业保险能否减少玉米种植化肥使用量?来自中国农村的证据

孟祥海, 李俊鹏, 徐雪高

引用本文:
孟祥海, 李俊鹏, 徐雪高. 农业保险能否减少玉米种植化肥使用量?来自中国农村的证据[J]. 农业资源与环境学报, 2025, 42(6): 1434–1443.

在线阅读 View online: https://doi.org/10.13254/j.jare.2025.0447

孟祥海, 李俊鹏, 徐雪高. 农业保险能否减少玉米种植化肥使用量？来自中国农村的证据[J]. 农业资源与环境学报, 2025, 42(6): 1434-1443.

MENG X H, LI J P, XU X G. Can agricultural insurance reduce chemical fertilizer use in maize cultivation? Evidence from rural China[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2025, 42(6): 1434-1443.

开放科学 OSID

农业保险能否减少玉米种植化肥使用量？来自中国农村的证据

孟祥海[1], 李俊鹏[2], 徐雪高[3*]

(1.江苏海洋大学文法学院, 江苏 连云港 222005; 2.淮阴师范学院商学院, 江苏 淮安 223001; 3.江苏省农业科学院农业经济与发展研究所, 南京 210014)

摘 要:为探究农业保险对玉米种植化肥使用量的影响,本研究基于2020年中国乡村振兴综合调查中909户玉米种植农户数据,运用条件混合过程模型,得出农业保险具有显著的化肥减量效应,能降低农户对化肥的依赖程度。异质性分析表明,农业保险对小规模农户和财务宽松农户的化肥减施效果显著,而对财务困难农户的效果则相反。此外,农业保险还能显著提高有机肥使用量,提升化肥使用效率,减少化肥使用劳动投入,对推动农业可持续发展和优化资源配置具有积极作用。基于上述研究结论,建议加大农业保险推广力度,实施分层分类推广策略,强化有机肥和化肥高效使用技术培训,以充分发挥农业保险在化肥减量增效中的作用。

关键词:农业保险;化肥使用量;条件混合过程模型;玉米种植

中图分类号:F323;F326 **文献标志码**:A **文章编号**:2095-6819(2025)06-1434-10 **doi**: 10.13254/j.jare.2025.0447

Can agricultural insurance reduce chemical fertilizer use in maize cultivation? Evidence from rural China

MENG Xianghai[1], LI Junpeng[2], XU Xuegao[3*]

(1. School of Humanities and Law, Jiangsu Ocean University, Lianyungang 222005, China; 2. School of Business, Huaiyin Normal University, Huai′an 223001, China; 3. Institute of Agricultural Economy and Development, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract: To explore the impact of agricultural insurance on the amount of chemical fertilizer used in corn cultivation, this study utilized data from 909 corn-growing farmer households surveyed in the 2020 China Rural Revitalization Comprehensive Survey and employed a conditional mixed process model. The findings indicated that agricultural insurance exhibited a significant effect of reducing chemical fertilizer application and could decrease farmers′ reliance on chemical fertilizers. Heterogeneity analysis revealed that agricultural insurance had a notable effect on reducing chemical fertilizer use among small-scale farmers and those with sound financial conditions, while it exerted the opposite effect on farmers facing financial difficulties. Additionally, agricultural insurance could significantly increase the amount of organic fertilizer used, improve fertilizer use efficiency, and reduce labor input for chemical fertilizer application. These effects played a positive role in promoting sustainable agricultural development and optimizing resource allocation. Based on the above research conclusions, this paper suggests strengthening the promotion of agricultural insurance, implementing a hierarchical and classified promotion strategy, and enhancing technical training on the efficient use of organic fertilizers and chemical fertilizers. These measures aim to give full play to the role of agricultural insurance in reducing chemical fertilizer application and improving its efficiency.

Keywords: agricultural insurance; chemical fertilizer application amount; conditional mixed process model; corn cultivation

收稿日期:2025-05-15 **录用日期**:2025-09-02

作者简介:孟祥海(1983—),男,山东日照人,博士,教授,从事农业资源与环境经济研究。E-mail:mxhlch@126.com

***通信作者**:徐雪高 E-mail:xuxuegaoxxg@163.com

基金项目:教育部人文社科研究基金项目(24YJA790044,21YJC630062);国家现代农业产业技术体系项目(CARS-10-B23)

Project supported: Humanities and Social Sciences Research Fund of Ministry of Education of China (24YJA790044, 21YJC630062); National Modern Agricultural Industry Technology System Project(CARS-10-B23)

农业生产经营具有自然和市场双重风险特性，是典型的风险型产业。我国作为发展中国家，农户具有风险管理能力较低的特点，其风险规避倾向普遍偏高[1]。农业保险作为农村金融体系重要组成部分，是种粮农民收益保障机制的重要一环[2]。自财政部开始实施农业保险保费的补贴政策以来，我国农业保险保费收入从2007年的53.33亿元增长到2024年的1 483.73亿元，年均增长21.61%；2024年农业保险保费规模位居全球首位，为农业发展提供风险保障达5.2万亿元[3]。学界关于农业保险对化肥投入的影响尚无定论。有研究认为，传统农业生产中，农户为追求稳产增收，常过度依赖化肥提升产量。农业保险通过灾后定损理赔，为农户提供灾损补偿，降低因自然灾害导致的产量波动风险，农户无需通过“化肥滥用”来对冲风险，从而减少化肥使用量[4]。这一观点也可以理解为农户购买农业保险后的道德风险问题[5]。秦国庆等[6]基于我国30个省份2001—2019年的面板数据，得出开展政策性农业保险改革使得试点地区的化肥使用折纯量平均下降了3.50%，农药使用量平均下降了6.70%。燕菲儿等[7]通过对江苏省小麦完全成本保险试点的考察，发现试点地区的小麦生产单位面积平均化肥投入量有明显的下降。徐雯等[8]采用2011—2022年我国粮食主产省的县级面板数据，以完全成本保险试点这一外生政策为准自然实验，验证了完全成本保险试点具有显著的化肥减量效应。但也有研究认为购买农业保险增加了化肥的投入，Horowitz等[9]基于美国中西部玉米种植农场数据研究得出，购买保险的农户每英亩使用的氮素高出19%。He等[10]对菲律宾购买农业生产成本保险农户的研究，发现因该保险是按生产成本投入赔付，购买农业保险会促使化肥投入增加。钟甫宁等[11]运用联立方程组模型研究我国新疆棉花种植农户农业保险投保行为，认为农业保险对化肥投入的影响不显著。

综上，已有研究为本研究提供了借鉴与启示，但也留下了以下拓展空间：一是已有研究对农业保险采纳与化肥使用量之间的关系尚未达成一致，这不利于农业保险政策的深化和化肥减量的实现；二是现有研究仅关注了农业保险对化肥使用量的影响，而对于化肥使用的生产效率、使用中的劳动投入、替代品投入等关键内容的探索尚缺，故难以全面识别农业保险在化肥使用中的作用。鉴于此，本研究利用农户调查数据，系统探究农业保险对玉米种植的化肥减量增效的影响。其边际学术贡献在于：一是为厘清农业保险对化肥使用的影响提供有效的实证依据；二是识别农业保险在提高化肥使用效率、劳动投入和替代品投入方面的影响，全面总结其在化肥使用中的具体作用，为推动我国粮食生产绿色低碳转型提供决策支持。

1　材料与方法

1.1　数据来源

本研究所用数据来源于2020年的中国乡村振兴综合调查（CRRS）。该调查由中国社会科学院农村发展研究所在我国东、中、西部地区的典型省份开展，旨在全面反映当下我国农业农村现状。该调查涵盖了诸多内容，例如农村家庭的人口学特征、农村产业发展以及农村社会治理等。尤为重要的是，该调查涉及了农业保险、玉米种植的化肥使用（使用量、劳动投入）、有机肥使用等关键内容，为探究农业保险与化肥使用间的关系提供了必要条件。

CRRS调查通过5个步骤确定调研样本。第一步，该调查从我国东、中、西部地区选取10个典型省份作为样本省，分别为东部地区的浙江省、山东省和广东省，中部地区的黑龙江省、安徽省和河南省，西部地区的四川省、贵州省、陕西省和宁夏回族自治区（根据财政部2005年《关于明确东中西部地区区域划分的意见》划分）。第二步，根据县域人均GDP水平，在样本省份中利用等距随机抽样方法随机选取5个县。利用相同的抽样方法，在第三、四步，调研团队依次随机选取了156个乡镇和300个村庄。最后，根据村委会提供的户籍名单，在每个样本村随机抽取10~15户农户进行面对面访谈。最终，2020年CRRS调查总共获得了3 738户农村家庭样本。

依照研究主题，仅对玉米种植户样本进行分析，为此，本研究对原始数据进行了细致清洗。第一步，本研究剔除了2 673个非玉米种植户样本。第二步，本研究删除了73个在因变量中存在缺失值或极端值的样本。第三步，本研究剔除了在控制变量中存在缺失值和极端值的样本。最终，本研究获得909个玉米种植户样本。

1.2　变量选定

参照已有研究，本研究对所需变量做如下选定和度量（表1）。

（1）因变量。相对于普遍使用的化肥金额指标[12]，用量指标避免了价格变动的影响，故能更为直接地反映化肥使用强度。因此，以化肥使用量为因变量。为使变量可比，具体采用亩（1亩=667 m^2）均化肥

使用量衡量。为深化农业保险在化肥使用中的作用，本研究同时采用有机肥使用量、化肥使用效率和化肥使用劳动投入作为因变量。其中，关注有机肥使用量，目的在于探索农业保险是否推动了玉米生产中的肥料投入减量。关注化肥使用效率则为回答：若农业保险实现了化肥减施，是不是以牺牲粮食产出为代价？关注化肥劳动投入则旨在分析农业保险是否降低了化肥使用的关键成本。以上变量中，有机肥使用量采用亩均用量度量、化肥使用效率则为单位化肥投入的玉米产量、化肥使用劳动投入则为亩均施肥用工。

（2）核心解释变量。参照Li等[13]的做法，本研究采用二元变量衡量农户的农业保险采纳状态。若农户采纳了农业保险，则赋值为1，否则赋值为0。

（3）控制变量。本研究采用户主年龄、性别、受教育水平、健康状况、家庭规模和老年人口比例描述农户人口学特征。众所周知，生产经验往往随年龄增长而增长。因而，年龄大的户主更能意识到农业保险和化肥减施的重要性[14]。同时，已有研究表明年龄越大，农业生产者的行为越趋于保守和黏性[15]。因此，可以预计，户主年龄变量对农业保险采纳和化肥使用量分别有着正向和负向影响。为此，有必要控制户主年龄的影响。相对于女性，男性拥有更为丰富的社会资本，这有助于其获得必要的信息和技术支持[16]。因此，户主性别（男性=1，女性=0）变量能够促进农业保险采纳和化肥减施。较高的受教育水平促使农业生产者理解农业保险和化肥减施的必要性，并有助于其学习高效施肥的相关技能[14]。因此，户主受教育水平的提高能够促进农业保险的采纳和化肥使用量的降低。良好的健康状况提高了农村居民的劳动效率，促进其获得非农就业机会，从而导致其放弃农业生产。因而，户主健康状况的改善可能对农业保险采纳和化肥使用具有负向影响。已有研究发现，劳动投入对化肥投入具有明显的替代作用[17]，即较高的劳动投入（如除草、翻土）促进了作物生长，进一步减少了化肥的使用。与主流研究一致，本研究采用三级Likert量表度量。家庭规模和老年人口比例是农户劳动禀赋的典型代理，其对化肥使用量有着潜在的负向和正向影响。

本研究同时采用资产拥有状况、金融状况衡量农户的经济条件。良好的经济条件增强了农户对采纳

表1 变量定义与描述性统计

Table 1 Definitions and descriptive statistics of the selected variables

变量类型 Varible type	变量 Variable	定义 Definition	均值 Mean	标准差 Standard deviation
因变量	化肥使用量	亩均化肥使用量（10 kg·667 m^{-2}）	6.13	3.77
	有机肥使用量	亩均有机肥使用量（t·667 m^{-2}）	0.26	0.76
	化肥使用劳动投入	使用化肥的亩均劳动投入（100 h·667 m^{-2}·a^{-1}）	2.45	2.58
	化肥使用效率	单位化肥的玉米产量（10 kg·kg^{-1}）	1.09	1.38
核心解释变量	农业保险	农户是否采纳农业保险：1=是、0=否	0.36	0.48
控制变量	户主年龄	户主年龄（年）	56.01	10.58
	户主性别	1=男，0=女	0.96	0.20
	户主受教育水平	1=文盲，2=小学，3=初中，4=高中及以上	2.65	0.98
	户主健康状况	1=差，2=一般，3=好	1.89	0.62
	家庭规模	家庭人口数（人）	3.24	1.51
	老年人口比例	家庭人口中65岁及以上人口的比例	0.28	0.37
	资产拥有	农户是否拥有电脑：1=是，0=否	0.21	0.41
	金融状况	农户是否汇报其家庭金融状况良好：1=是，0=否	0.57	0.49
	种植规模	人均玉米耕种面积（亩·人$^{-1}$）	4.63	8.96
	自然灾害	2023年农户是否经历自然灾害：1=是，0=否	0.29	0.45
	土壤肥沃度	土壤是否肥沃：1=是，0=否	0.55	0.50
	灌溉可得性	农地是否可以灌溉：1=是，0=否	0.61	0.49
	东部地区	农户是否位于东部地区：1=是，0=否	0.12	0.33
	中部地区	农户是否位于中部地区：1=是，0=否	0.32	0.47
	西部地区	农户是否位于西部地区：1=是，0=否	0.56	0.50
	农业保险普及率（Ⅳ）	样本村中除受访户之外的农业保险采纳户的比例	0.36	0.36
	样本量			909

相关实践、技术和要素涉及的相关费用的支付能力[14]。因此，资产拥有情况和金融状况对农业保险采纳和化肥使用量有着正向影响。参照Vatsa等[14]的研究方法，以二元变量度量。另外，本研究采用种植规模、自然灾害经历、土壤肥沃度和灌溉可得性表征农业生产条件。种植规模的扩大提高了农户遭遇灾损的概率，这推动了农户采纳农业保险。同时，较大的种植规模一方面可以形成规模效应，减少单位面积的化肥使用量；另一方面，为减少劳动投入，种植大规模耕地的农户趋于采用“粗放式”的生产模式，这又会引致化肥的过量使用[18]。因此，种植规模对化肥使用量的影响尚无定论。自然灾害经历促使农户认识到农业保险的必要性，故该变量对农业保险采纳具有潜在的推动作用。同时，面对自然灾害，农户趋于增加要素投入以抵消其不利影响[19]。可见，农业生产者的自然灾害经历在一定程度上可能促进化肥使用的增加。参照张童朝等[20]的研究，本研究采用二元变量度量自然灾害经历。良好的种植条件提高了农户从事农业生产的预期收益，这在一定程度上提高了其采纳改良型农业实践（如保险）的积极性。同时，良好的种植条件促进了作物的生长，对化肥过量使用具有抑制作用。因此，可以预期，土壤肥沃度和灌溉可得性对农业保险采纳具有正向影响，而对化肥使用量具有负向影响。在实证分析中，具体采用二元变量衡量土壤肥沃度和灌溉可得性。最后，为控制与地理区位相关因素的影响，本研究引入东部地区、中部地区和西部地区的三个虚拟变量。以上变量定义及度量详见表1。

1.3 描述性统计分析

如表1所示，样本玉米种植亩均化肥使用量均值为61.3 kg，远超国际公认的化肥使用安全上限15 kg，充分表明了玉米化肥减施的紧迫性。样本平均化肥使用劳动投入为245 h·667 m^{-2}·a^{-1}，说明玉米种植仍面临较高的劳动成本。样本平均化肥使用效率为10.9 kg·kg^{-1}。参照样本的平均化肥使用量，可估算样本户玉米单产仅为668.17 kg·667 m^{-2}。这在一定程度上说明，当前我国玉米种植中的化肥使用是低效的。样本户的平均有机肥使用量为260 kg·667 m^{-2}，远低于农业农村部建议的1 500~2 000 kg·667 m^{-2}，加速有机肥对化肥的替代仍任重道远。样本中，仅有36%的农户采纳了农业保险，说明我国农业保险普及率尚低，推广空间巨大。

表1同时显示，玉米种植户户主以健康状况较差、受教育水平较低、年龄较大的男性为主。受访户的平均家庭规模较小，仅为3.24人，其中有28%的成员为老年人。分别有21%、57%和29%的受访户拥有电脑、财务状况较好和经历过自然灾害。受访户的平均玉米种植规模为4.63亩·$人^{-1}$，分别有55%和61%的农户认为土壤肥沃和灌溉可得。此外，地区变量的均值表明玉米种植户更多地分布于我国中部和西部地区，这与现实相符。

所选变量在农业保险采纳户和非采纳户中的均值及其组间差异情况，如表2所示。就因变量而言，仅有化肥使用劳动投入表现出极显著的组间差异，即相对于非采纳户，农业保险采纳户的化肥使用劳动投入更低。就控制变量而言，较之非采纳户，农业保险采纳户的老年人口比例更大，且其户主更为年轻、受教育水平更高、但健康水平更低。表2同时显示，与非采纳户相比，农业保险采纳户趋于种植更大规模的玉米且获得灌溉的概率更高。然而，农业保险采纳户的土地肥沃程度更低，且其玉米种植更容易受到自然灾害的影响。此外，组间差异检验表明农业保险采纳户的空间分布具有显著的异质性，即采纳户往往位于我国东部、中部地区，非采纳户则分布于我国西部地区。

表2的结果表明农业保险采纳户和非采纳户之间存在着系统性差异，这进一步说明：①对玉米种植户而言，农业保险的采纳并非严格随机分布的，故核心解释变量——农业保险，极易存在由可观测和不可观测因素导致的内生性问题。为获得无偏估计，需审慎处理潜在的内生性问题；②农业保险与化肥使用（如劳动投入）存在潜在的相关关系。然而，因均值差异分析未控制其他因素的影响，表2结果无法准确反映农业保险对化肥使用的影响。因此，需要利用更为严谨的计量分析，在控制其他变量影响的前提下，准确评估农业保险对玉米化肥使用的影响。

1.4 研究方法

众所周知，农业保险的采纳并非随机行为。实际上，农户决定是否采纳农业保险取决于可观测因素（如性别、年龄、受教育水平等）和不可观测因素（如动机、管理能力等）[21]。这意味着，农业保险采纳变量存在由可观测偏误和不可观测偏误导致的内生问题，这进一步导致农业保险对化肥使用及其他因变量影响的高估或低估。因此，解决内生性问题是本研究计量分析的首要任务。

对于截面数据，学界常用的用于解决二元核心解释变量内生性问题的方法包括倾向得分匹配法

表2 组间差异检验

Table 2 Inter-group difference test

变量 Variable	农业保险 Agricultural insurance		均值差 Mean difference	t值 t-statistic
	采纳户 Adopter	非采纳户 Non-adopter		
化肥使用量	6.15	6.12	0.03(0.26)	0.10
有机肥使用量	0.30	0.24	0.06(0.05)	1.21
化肥使用劳动投入	1.69	2.89	−1.20(0.17)***	−6.92
化肥使用效率	1.05	1.11	−0.06(0.10)	−0.65
户主年龄	55.16	56.48	−1.32(0.73)**	−1.82
户主性别	0.97	0.95	0.02(0.01)	1.06
户主受教育水平	2.71	2.61	0.11(0.07)*	1.59
户主健康状况	1.85	1.91	−0.06(0.04)*	−1.41
家庭规模	3.16	3.28	−0.11(0.10)	−1.09
老年人口比例	0.24	0.31	−0.07(0.03)***	−2.62
资产拥有	0.23	0.20	0.03(0.03)	1.10
金融状况	0.60	0.56	0.04(0.03)	1.27
种植规模	6.88	3.35	3.53(0.61)***	5.82
自然灾害	0.35	0.26	0.10(0.03)***	3.12
土壤肥沃度	0.51	0.58	−0.08(0.03)**	−2.23
灌溉可得性	0.68	0.57	0.12(0.03)***	3.44
东部地区	0.20	0.08	0.11(0.02)***	4.89
中部地区	0.42	0.26	0.15(0.03)***	4.86
西部地区	0.39	0.65	−0.26(0.03)***	−7.97
农业保险普及率(Ⅳ)	0.61	0.22	0.40(0.02)***	18.70
样本量	329	580	909	

注:括号内为标准误。***<0.01,**<0.05,*<0.10。下同。

Note: Values in parentheses are standard errors. ***<0.01, **<0.05, *<0.10. The same below.

(PSM)[22]、逆概率加权回归调整法(IPWRA)[23]、内生处理效应模型(ETR)[24]和条件混合过程模型(CMP)[25]。具体而言,PSM和IPWRA模型仅能处理由可观测因素(如性别、收入等)导致的内生性问题,故其内生性处理效力有限。相对而言,ETR和CMP模型能够同时处理由可观测因素和不可观测因素导致的内生性问题。但需要指出的是,ETR模型要求被解释变量为连续性分布指标。与之相比,CMP模型则放松了对被解释变量分布的限制,允许连续、分类、删截、二元等分布形式,故其适用性更强。鉴于农业保险采纳变量同时受到可观测和不可观测内生性问题的影响,且本研究的被解释变量包含多种分布形式(包括连续变量和左删截变量),CMP模型于本研究极为适用。

CMP模型包含两个估计阶段。以化肥使用量为被解释变量,CMP模型的两个估计阶段为:第一阶段,CMP模型估计一个Probit模型以描述农户是否采纳农业保险的过程。第二阶段,对于有机肥使用量(左删截变量)、化肥使用效率(连续变量)、化肥使用劳动投入(连续变量),CMP模型的第二估计阶段则分别采用Tobit模型、OLS法回归,以识别农业保险对农户化肥使用量的影响。以上估计过程可用如下公式表述:

阶段1:

$$AI_i^* = \alpha_1 X_i + \alpha_2 IV_i + \mu_i,\ AI_i = \begin{cases} 1 \text{ if } AI_i^* > 0 \\ 0 \text{ otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

阶段2:

$$Y_i = \beta_1 AI_i + \beta_2 X_i + \varepsilon_i \quad (2)$$

式中:AI_i表示农户i的农业保险采纳情况,并由潜变量AI_i^*决定;Y_i表示农户i的亩均化肥使用量(10 kg·667 m^{-2});X_i为所选控制变量;IV_i为农业保险变量的工具变量;α_1、α_2、β_1和β_2为待估系数向量;μ_i和ε_i为误差项。

CMP模型通过估计农业保险采纳方程(第一阶段)与结果方程(第二阶段)的误差项相关系数($\rho_{\mu\varepsilon}$)来控制内生性问题。为提高估计效率,CMP模型的两个阶段采用最大似然估计法(ML)估计。对应地,$\rho_{\mu\varepsilon}$亦可由ML法估计。若$\rho_{\mu\varepsilon}$显著,则表明核心解释变量存在由不可观测因素导致的内生性问题——此可证明选择CMP模型的合理性。

CMP模型解决内生的效力依赖于适用的工具变量(Ⅳ)。众所周知,工具变量需同时满足相关性和外生性假定,即其须与内生变量相关、与被解释变量不相关。由于CRRS数据未提供可用作农业保险的工具变量的直接指标,参照Attanasio等[26]的研究,本研究构造村级层面农业保险采纳率(不包含样本户)作为工具变量。理论上,该工具变量的有效性在于:首先,根据同伴效应理论,农户的行为和技术采纳深受其周边人(如邻居、朋友、亲戚等)的深刻影响。具体而言,通过信息扩散、技术溢出和示范效应,他人的行为对农户具体行为的产生具有驱动作用。例如,Zheng等[27]发现邻居的采纳行为是农户采纳抗旱作物品种的关键因素。梁巧等[12]发现新型经营主体推动了小农户采纳绿色种植技术。故可以预见,一个村的农业保险采纳率越高,受访者采纳农业保险的可能性越大,即所构造工具变量与农业保险采纳变量正向相关。其次,他人的农业保险采纳仅能影响采纳者的化肥投入和农业生产,而无法直接影响受访者的化肥使用。因此,该工具变量与受访户的化肥投入不相关。综上,本研究所构造工具变量理论上是有效的。

本研究同时使用多种指标从数理上验证工具变量的有效性。首先，伪证检验证实（表3），工具变量与农业保险变量显著相关，而与所有被解释变量不相关，这说明工具变量同时满足相关性和外生性假定。工具变量有效性检验结果显示，Anderson canon. corr. LM statistic统计量值为173.61，在1%水平上显著（$P<0.01$），说明该工具变量不存在不可识别问题。同时，Cragg-Donald Wald F statistic统计量值为212.57，远大于经验值（10），在1%水平上显著（$P<0.01$），说明不存在弱工具变量问题。综合以上检验可知，本研究所用工具变量是有效的。

表3 伪证检验结果

Table 3 Estimates of the falsification test

变量 Variable	$\chi^2(1)$	P值 P-value
化肥使用量	0.04	0.84
有机肥使用量	2.38	0.13
化肥使用劳动投入	1.69	0.20
化肥使用效率	0.25	0.62
农业保险	93.16***	<0.01

2 结果与分析

表4统计结果表明，$\rho_{\mu\varepsilon}$显著>0，说明农业保险变量存在由不可观测因素导致的内生性问题，故选择CMP模型分析农业保险对化肥使用量的影响是合适的。本文将：①讨论农户采用农业保险的影响因素；②讨论农业保险及控制变量对化肥使用量的影响；③重点关注不同耕地规模和金融状况下，农业保险对化肥使用的影响；④阐释农业保险对有机肥使用、化肥使用劳动投入和化肥使用效率的影响。

2.1 农户采用农业保险的影响因素

表4第2列为农户是否采纳农业保险的影响因素。结果显示，家庭老年人口比例对农业保险采纳有显著负向影响，即老年人口比例越大的农户越不倾向于采纳农业保险。原因有二：一是老年人观念和行为趋于保守，其对农业保险的作用往往持怀疑态度，进一步阻碍了农户对农业保险的采纳；二是家庭老年人口比例越大，其医疗和营养支出越高，进而挤出了农业保险购置费用。金融状况变量的影响显著为正，表明良好的金融状况促进了农户对农业保险的采纳。这与任天驰等[28]的观点一致，即良好的金融状况增强了农户对农业保险的支付能力。种植规模扩大显著促进了农户采纳农业保险。种植面积越大，农业生产遭受灾害损失的概率越高。因此，农户趋于采纳农业保险以减少灾损。其他控制变量不变，灌溉可得性与农业保险显著正向相关，说明改善灌溉条件可以促进农业保险的普及。其内在逻辑为：良好的灌溉条件需要较高的设备购置和维护成本[29]。为保护前期投入免受损失，农户趋于采纳农业保险以对冲潜在风险。

表4 农业保险采纳及化肥使用量影响因素分析结果

Table 4 Analysis results of influencing factors on agricultural insurance adoption and chemical fertilizer application rate

变量 Variable	农业保险 Agricultural insurance	化肥使用量(ln) Fertilizer application rate (ln)
农业保险		-0.58(0.14)***
户主年龄	<-0.01(0.01)	<0.01(<0.01)
户主性别	-0.16(0.25)	0.13(0.12)
户主受教育水平	0.05(0.05)	0.01(0.03)
户主健康状况	-0.09(0.08)	-0.10(0.04)***
家庭规模	<-0.01(0.03)	-0.02(0.02)
老年人口比例	-0.31(0.16)*	-0.06(0.08)
资产拥有	<-0.01(0.12)	0.13(0.06)**
金融状况	0.26(0.10)**	0.04(0.05)
种植规模	0.13(0.04)***	0.05(0.02)**
自然灾害	0.16(0.11)	-0.02(0.06)
土壤肥沃度	0.05(0.10)	0.02(0.05)
灌溉可得性	0.20(0.10)*	0.09(0.05)
东部地区	0.51(0.16)***	0.14(0.09)
中部地区	0.29(0.12)**	-0.03(0.06)
农业保险普及率(Ⅳ)	1.44(0.21)***	
常数项	-1.12(0.48)**	1.80(0.24)***
$\rho_{\mu\varepsilon}$	0.67(0.09)***	
Log-likelihood	-1,300.97	
Wald $\chi^2(30)$	327.26, $P<0.001$	
样本量	909	909

注：对照地区为西部地区。

Note: The comparison area is the western region.

地区虚拟变量的影响表明：相对于西部地区，东部、中部地区的农户更有可能采纳农业保险。该结果与现实相符，即与西部地区相比，东部和中部地区的农业保险市场相对完善且农村居民可支配收入较高。因此，不难看到农业保险采纳具有显著地区异质性。村级农业保险普及率对农户采纳农业保险有促进作用，这证明了工具变量的有效性。

2.2 农户化肥使用的影响因素

表4第3列为农业保险及控制变量对化肥使用量的影响。结果表明，农业保险对化肥使用量的影响显著为负，即农业保险的采纳有效降低了样本玉米种植户的化肥使用量。具体而言：首先，良好的作物生长状况能够有效抵消自然灾害的不利影响[12]。因此，为

应对由不可预期风险导致的作物减产，农户倾向于增加化肥使用。农业保险有效对冲了风险导致的损失，保证了农户的农业收益，这从客观上降低了增加化肥使用的必要性。例如，当农户获知农业保险可以赔偿其作物灾损时，其趋于减少当下为应对风险而增加的化肥投入。其次，农业保险通过对冲灾损保证了农户的收益预期，这增强了农户进行农业投资的信心[30]。例如，在预期收益有托底的情况下，农户往往增加当期投入以扩大预期收益。因而，农业保险可以推动农户增加化肥替代型要素和设备的投入，这亦有效减少了玉米种植中的化肥投入。综上，本研究证实普及农业保险是控制化肥过量使用的有效路径。

回归结果（表4）同时显示：健康水平变量对化肥使用量有负向显著影响，说明健康户主趋于使用更少的化肥。其原因在于：健康的户主更容易获得非农就业机会。权衡劳动边际收益，健康的户主往往减少其农业要素投入。财产所有的影响显著为正，即拥有电脑的农户往往使用更多的化肥。拥有电脑表明农户经济状况较好，有助于其支付化肥使用的相关成本[31]。此外，种植规模的系数显著为正，种植面积扩大虽然会产生规模效应，但在劳动价格高涨的当下，农业生产者会采取粗放的施肥方式以降低劳动成本[32]。

2.3 稳健性检验

本研究同时采用替换计量模型和子样本回归法验证主要回归结果的稳健性。具体而言，本研究采用ETR模型重新回归农业保险对化肥使用量的影响。同时，鉴于东部地区在经济发展、农业保险市场构建方面的领先地位（异质性），本研究在稳健性分析中剔除了东部地区的样本户，仅分析了中部、西部地区的农户。

由表5结果可知，基于ETR模型（模型1）和基于中部和西部地区子样本回归（模型2）的分析结果均显示农业保险显著负向影响了化肥使用量，这与表4结果一致。说明CMP模型的回归结果是稳健的，所得结论是可靠的。

2.4 基于种植规模和农户经济状况分组分析

需要指出，表4结果仅证实了农业保险化肥减施的平均效应，精准政策的制定需基于具体情景下的实证分析结果。为此，本文进一步以耕地规模和家庭金融状况分组，识别农业保险对化肥使用量的异质性影响，结果见表6。

表6为基于种植规模的异质性分析结果。农业保险仅对小规模玉米种植农户的化肥使用量具有显著负向影响，而对其他分组的影响不显著。整体而言，相对于中等和大规模种植户，小规模种植户风险抗性较弱。具体表现为：一是小规模种植户无法通过不同地块的差异化产出抵消灾损，生产可持续性差；二是因收益有限且缺乏规模效应，小规模地块往往缺乏完备的抗风险设施和要素投入。为应对风险，小规模种植户倾向于采用要素密集型的农业生产模式[14]，期望通过增加化肥投入来促进作物的生长以抵消自然灾害的影响。可见，相对于中等和大规模种植户，小种植规模的化肥减施空间更大。因此，不难理解农业保险仅显著降低了小规模种植户的化肥使用量。

基于农户金融状况的分析（表6）表明，农业保险仅显著减少了财务宽松的农户的化肥使用量。宽松的财务状况表明农户具有较强的购买力。在农业生产要素价格上涨的当下，宽松的财务状况无疑能够促进农户购买并使用更多的化肥。故相对于财务困难户，财务宽松的农户更容易过量使用化肥。因此，农业保险的化肥减施效应主要表现在财务宽松农户的

表5 稳健性检验分析结果

Table 5 Analysis results of robustness test

变量 Variable	模型（1）Model（1）		模型（2）Model（2）	
	农业保险 Agricultural insurance	化肥使用量（ln）Fertilizer application rate（ln）	农业保险 Agricultural insurance	化肥使用量（ln）Fertilizer application rate（ln）
农业保险		−0.698（0.105）***		−0.632（0.139）***
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes
常数项	−1.116（0.473）**	1.823（0.250）***	−1.164（0.497）**	1.838（0.255）***
$\rho_{\mu\varepsilon}$	0.736（0.060）***		0.701（0.088）***	
Log-likelihood	−1,273.092		−1,148.924	
Wald χ^2（15）	59.51，P<0.001			
Wald χ^2（28）			295.74，P<0.001	
样本量	909		796	

表6 基于种植规模和家庭金融状况的异质性分析结果

Table 6 Analysis results of heterogeneity based on planting scale and household financial status

分组 Group		化肥使用量(ln) Fertilizer application rate(ln)
种植规模	小规模	−0.817(0.141)***
	中等规模	0.080(0.156)
	大规模	−0.036(0.244)
家庭金融状况	财务宽松	−0.508(0.181)***
	财务困难	0.293(0.151)***

玉米种植中。需要引起注意的是，农业保险显著提高了财务困难户的化肥使用量。其内在逻辑为：我国小农生产高度依赖化肥这一刚性投入[33]，而财务紧张户由于资金约束，其化肥使用往往低于正常水平。农业保险在提供风险保障后，缓解了其对灾害或市场冲击的担忧，使其敢于把有限的资金更多投向化肥，从而弥补原有的投入不足。这一现象并非农户“盲目增加投入”，而是其生产逻辑下的“补足性投资”，旨在保障基本产量和收益。该发现说明，农业保险化肥减施效应的实现具有人群针对性，且需要一定的辅助条件。

2.5 拓展分析

为深入探索农业保险对化肥使用的影响，本研究进一步分析了农业保险对有机肥使用、化肥使用效率和化肥使用劳动投入的影响，结果如表7所示。农业保险显著提高了玉米种植户的有机肥使用量。具体而言，相对于非采纳户，农业保险采纳户的亩均有机肥使用量要高270 kg。众所周知，相对于化肥，有机肥使用见效慢且面临较高不确定性。农业保险有效规避了有机肥使用带来的不确定性，提高了玉米种植户的使用信心。由此可知，农业保险促进了有机肥对化肥的替代，进一步推动了玉米种植的可持续性。

表7 农业保险对有机肥使用量、化肥使用效率和化肥使用劳动投入的影响分析结果

Table 7 Analysis results of impact of agricultural insurance on organic fertilizer application rate, chemical fertilizer use efficiency and labor input for fertilizer application

变量 Variable	有机肥使用量 Organic fertilizer application rate	化肥使用效率 Fertilizer use efficiency	化肥使用劳动投入 Labor Input for fertilizer application
农业保险	0.270(0.141)*	1.340(0.159)***	−0.807(0.394)**
控制变量	Yes	Yes	Yes
常数	0.318(0.343)	0.327(0.502)	5.649(0.731)***
$\rho_{\mu\varepsilon}$	−0.081(0.092)	−0.673(0.047)***	0.187(0.122)
Wald $\chi^2(30)$	398.09, P<0.001	332.32, P<0.001	583.43, P<0.001
样本量	909	909	909

表7同时显示，农业保险对化肥使用效率的影响正向显著。该结果证实，农业保险的化肥减施效应并非以牺牲玉米产量为代价。过量使用化肥引发了烧苗、土壤板结、农田生态退化等问题，进一步降低了玉米产量。农业保险的采纳使农户的化肥使用量趋于合理，从而提高了单位化肥使用量的玉米产量，即化肥使用效率。此外，农业保险显著减少了化肥使用的劳动投入量。鉴于当前劳动价格高，该发现表明农业保险的推广可有效降低农业生产成本、提高农业生产的利润水平。同时，该发现亦表明农业保险可促进农业生产释放更多劳动力，优化农户的劳动配置。

3 结论与政策建议

3.1 结论

(1)农业保险采纳显著减少了化肥使用量，普及农业保险可加速实现玉米种植中的化肥减施。进一步分析表明，农业保险对化肥使用量的影响具有明显的异质性：农业保险对小规模玉米种植户和财务宽松农户的化肥减施效应更加显著。

(2)农业保险显著提高了化肥使用效率，说明农业保险的化肥减施效应并非以牺牲玉米产量实现。

(3)农业保险可以显著提高有机肥使用量，加速了玉米生产中养分投入向可持续发展演进。

(4)农业保险可以减少化肥使用的劳动投入，有助于缓解劳动力短缺问题并优化农业资源配置。

3.2 政策建议

(1)强化农业保险普惠性推广，夯实化肥减量基础。一是提高农业保险参保率与覆盖面。加大保费财政补贴力度，重点向中西部粮食主产区倾斜，进一步提升三大主粮作物完全成本保险覆盖率。建立保险+信贷联动机制，对参保农户提供绿色信贷额度，解决财务困难农户的参保资金瓶颈。开发“化肥减量专项险种”，对采用有机肥或高效施肥技术的农户额外给予保费。二是创新宣传与服务模式。开展“保险大篷车”入村巡回宣讲，通过可视化案例(如减产理赔对比)破除老年农户认知障碍。推行手机端“一键参保”服务，简化高龄农户操作流程，支持子女远程代缴保费。

(2)分层分类精准施策，破解异质性难题。一是根据农户特征采取差异化的农业保险政策。对于小规模农户，鼓励组建农民专业合作社，整合地块连片参保，降低承保成本。对合作社统一提供测土配方施肥服务，配套小型智能施肥设备租赁补贴。对于

财务困难农户，探索“保险凭证质押融资”试点，允许农户凭保单申请化肥购置专项资金，定向用于高效缓释肥或有机肥采购。对于老年人口比例高的家庭，强化农业保险功能宣传，消除保守观念障碍。二是根据地区特点采取差异化的农业保险政策。对于中部和西部地区，省级财政设立“保险推广专项债”，完善基层服务网点，优先在高标准农田项目区实现保险全覆盖。对于东部地区，探索“农业碳交易”机制，将化肥减量折算为碳积分纳入碳排放权交易市场，实现环境效益货币化。

（3）强化有机肥和化肥高效使用的技术培训。一是开展有机肥替代技术实操培训。面向农户开展如堆肥制作、秸秆还田等有机肥替代技术，配套发放有机肥使用指南和设备补贴。二是融合保险与技术推广机制。将技术培训纳入农业保险参保服务，要求承保机构联合农业技术推广部门，在定损理赔时同步提供施肥优化方案。三是建立示范基地与案例库。在农业保险覆盖率高的区域建设绿色施肥示范田，展示有机肥替代和高效施肥的实际效益；收集农户应用新技术后的减施案例，通过短视频、田间观摩会等形式扩散，降低农户对新技术的不确定性感知，增强其采纳信心。

（4）健全配套机制建设，优化政策实施环境。一是探索农业保险与绿色生产联动机制。建立农业保险保费差异化补贴制度，对采用有机肥替代、测土配方施肥等绿色技术的农户给予额外保费优惠，将化肥减量成效与保险理赔额度挂钩。二是强化基层服务与监管能力。依托乡镇农业服务中心，建立保险+技术一站式服务站，协助农户办理参保、获取施肥指导；加强化肥使用监测，利用物联网技术建立农户施肥档案，为保险定损和政策评估提供数据支撑，确保政策精准落地。三是建立跨部门协同推进机制。整合农业农村、财政、生态环境等部门资源，成立专项工作组，统筹农业保险推广、化肥减量政策制定与执行。定期开展联合调研，动态监测农业保险覆盖率、化肥使用量、有机肥替代率等关键指标，及时协调解决政策实施中的堵点问题。四是建立政策效果评估反馈机制，邀请科研机构、农户代表参与评估，根据评估结果动态调整保费补贴标准、技术推广重点等，确保政策适配性和可持续性，形成多方合力推动农业绿色发展的良好格局。

参考文献：

[1] 王宏州，黄季焜. 农民的风险和共担风险偏好研究[J]. 农业经济问题，2016，37(11)：86-94. WANG H Z，HUANG J K. A study on farmers′ risk and risk-sharing preferences[J]. *Journal of Agricultural Economics*，2016，37(11)：86-94.

[2] XU P，LI G，ZHENG Y，et al. Fertilizer management for global ammonia emission reduction[J]. *Nature*，2024，626(8000)：792-798.

[3] 阎建军，吴学明，邱剑. 迈向“十五五”时期的农业保险：应对新挑战：2025H1保险业运行[R/OL]. 北京：中国社会科学院国家金融与发展实验室，2025-08-28[2025-9-11]. http://www.nifd.cn/Home/About. YAN J J，WU X M，QIU J. Agricultural insurance towards the "the 15th Five-Year Plan" period：addressing new challenges-insurance industry operation in the first half of 2025[R/OL]. Beijing：National Institution for Finance & Development，Chinese Academy of Social Sciences，2025-08-28[2025-9-11]. http://www.nifd.cn/Home/About.

[4] 仇焕广，栾昊，李瑾，等. 风险规避对农户化肥过量使用行为的影响[J]. 中国农村经济，2014(3)：85-96. QIU H G，LUAN H，LI J，et al. The impact of risk aversion on farmers′ excessive chemical fertilizer application behavior[J]. *Chinese Rural Economy*，2014(3)：85-96.

[5] 江生忠，沈芳，付爽. 农业保险助推农业绿色发展的效果研究：基于化肥减量增效的视角[J]. 华北金融，2023(2)：51-59. JIANG S Z，SHEN F，FU S. A study on the effect of agricultural insurance promoting green agricultural development-from the perspective of chemical fertilizer reduction and efficiency improvement[J]. *North China Finance*，2023(2)：51-59.

[6] 秦国庆，杜宝瑞，贾小虎，等. 政策性农业保险的化肥、农药、农膜减量效应分析[J]. 中国农业大学学报，2023，28(1)：237-251. QIN G Q，DU B R，JIA X H，et al. Analysis on the reduction effect of policy-oriented agricultural insurance on chemical fertilizer，pesticide and agricultural plastic film[J]. *Journal of China Agricultural University*，2023，28(1)：237-251.

[7] 燕菲儿，易福金，张齐家. 农业保险的化肥减量效应分析：基于信贷与信息双约束视角的再考察[J]. 中国农村经济，2024(10)：20-41. YAN F E，YI F J，ZHANG Q J. The reducing effect of agricultural insurance on the use of chemical fertilizer：a re-examination from the perspective of dual constraints of credit and information[J]. *Chinese Rural Economy*，2024(10)：20-41.

[8] 徐雯，张锦华. 农业保险风险转移与化肥减量[J]. 华南农业大学学报(社会科学版)，2024，23(3)：110-122. XU W，ZHANG J H. Risk transfer of agricultural insurance and fertilizer reduction[J]. *Journal of South China Agricultural University*(*Social Science Edition*)，2024，23(3)：110-122.

[9] HOROWITZ J K，LICHTENBERG E. Insurance，moral hazard，and chemical use in agriculture[J]. *American Journal of Agricultural Economics*，1993，75(4)：926-935.

[10] HE J，ZHENG X Y，REJESUS R M，et al. Moral hazard and adverse selection effects of cost-of-production crop insurance：evidence from the Philippine[J]. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*，2019，63(1)：166-197.

[11] 钟甫宁，宁满秀，邢鹏，等. 农业保险与农用化学品使用关系研究：对新疆玛纳斯河流域农户的经验分析[J]. 经济学(季刊)，2007(1)：291-308. ZHONG F N，NING M X，XING L，et al. A study on the relationship between crop insurance and agrochemical uses：an empirical analysis of the Manas watershed，Xinjiang，China[J]. *China Economic Quarterly*，2007(1)：291-308.

[12] 梁巧, 马康伟. 新型农业经营主体能推动农户绿色生产吗？以化学投入品减量为例[J]. 浙江大学学报(人文社会科学版), 2025, 55(3): 5-26. LIANG Q, MA K W. Can new agricultural operating entities promote farmers' green production? Based on the reduction of agricultural chemical inputs[J]. *Journal of Zhejiang University (Humanities and Social Sciences)*, 2025, 55(3): 5-26.

[13] LI H, YUAN K, CAO A, et al. The role of crop insurance in reducing pesticide use: evidence from rice farmers in China[J]. *Journal of Environmental Management*, 2022, 306: 114456.

[14] VATSA P, MA W, ZHENG H, et al. Climate-smart agricultural practices for promoting sustainable agrifood production: yield impacts and implications for food security[J]. *Food Policy*, 2023, 121: 102551.

[15] LI J, VATSA P, MA W. Can mechanized pesticide application help reduce pesticide use and increase crop yield? Evidence from rice farmers in Jiangsu Province, China[J]. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 2023, 21: 1-14.

[16] 邹伟, 崔益邻, 周佳宁. 农地流转的化肥减量效应：基于地权流动性与稳定性的分析[J]. 中国土地科学, 2020, 34(9): 48-57. ZOU W, CUI Y L, ZHOU J N. The impact of farmland transfer on farmers' fertilizer reduction: an analysis of transferability and security of land rights[J]. *China Land Science*, 2020, 34(9): 48-57.

[17] 黄季焜. 农业供给侧结构性改革的关键问题：政府职能和市场作用[J]. 中国农村经济, 2018(2): 2-14. HUANG J K. Key issues on supply-side structural reform in agriculture: government functions and market roles[J]. *Chinese Rural Economy*, 2018(2): 2-14.

[18] 张露, 罗必良. 农业减量化：农户经营的规模逻辑及其证据[J]. 中国农村经济, 2020(2): 81-99. ZHANG L, LUO B L. Agricultural chemical reduction: the logic and evidence based on farmland operation scale of households[J]. *Chinese Rural Economy*, 2020(2): 81-99.

[19] 姜梦, 罗小锋, 李雨柯, 等. 可行能力、风险感知与农户化肥减量技术采纳行为[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2025, 33(6): 1207-1218. JIANG M, LUO X F, LI Y K, et al. Capability approach, risk perception, and farmers' fertilizer-reduction technology adoption behavior[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2025, 33(6): 1207-1218.

[20] 张童朝, 胡原. 保险是否"保险"：主动型气候灾害适应策略对农户收入的影响以三大主粮作物保险为例[J]. 农村经济, 2024(9): 93-100. ZHANG T C, HU Y. Is insurance "secure": the impact of proactive climate disaster adaptation strategies on farmers' income: taking the insurance of three major grain crops as an example[J]. *Rural Economy*, 2024(9): 93-100.

[21] MENSAH N O, OWUSU-SEKYERE E, ADJEI C. Revisiting preferences for agricultural insurance policies: insights from cashew crop insurance development in Ghana[J]. *Food Policy*, 2023, 118: 102496.

[22] 李鑫杰, 陆迁. 产品差异化策略会提升农户销售议价能力吗？来自猕猴桃主产区的微观证据[J]. 经济经纬, 2025, 42(2): 42-54. LI X J, LU Q. Can product differentiation strategies enhance farmers' bargaining power in sales? Micro-evidence from a major kiwi fruit producing area[J]. *Economic Survey*, 2025, 42(2): 42-54.

[23] 李俊鹏, 张言彩, 冯中朝, 等. 油菜多功能开发提高了油菜种植收益吗？基于油菜观光视角的实证分析[J]. 中国油料作物学报, 2022, 44(2): 257-267. LI J P, ZHANG Y C, FENG Z C, et al. Does the multi-functional development of rape improve the income of rape planting: an empirical analysis from the perspective of rape tourism [J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2022, 44(2): 257-267.

[24] 胡祎, 张正河. 职业培训对农民非农就业行为及特征的影响：基于内生处理效应模型的净效应估计[J]. 改革, 2022(4): 110-126. HU Y, ZHANG Z H. The influence of vocational training on farmers' off-farm employment behavior and characteristics: net effect estimation based on endogenous treatment effect model[J]. *Reform*, 2022(4): 110-126.

[25] 柳松, 魏滨辉, 苏柯雨. 互联网使用与农户农业机械化选择：基于非农就业的中介效应视角[J]. 劳动经济研究, 2021, 9(3): 101-122. LIU S, WEI B H, SU K Y. Internet use and farmers' choice of agricultural mechanization: based on the perspective of intermediary effect of non-agricultural employment[J]. *Journal of Labor Economics*, 2021, 9(3): 101-122.

[26] ATTANASIO O, CATTAN S, FITZSIMONS E, et al. Estimating the production function for human capital: results from a randomized controlled trial in Colombia[J]. *The American Economic Review*, 2020, 110(1): 48-85.

[27] ZHENG H, MA W, LI G. Learning from neighboring farmers: does spatial dependence affect adoption of drought-tolerant wheat varieties in China?[J]. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, 2021, 69: 519-537.

[28] 任天驰, 张洪振, 杨晓慧, 等. 农业保险保障水平与农户生产投资：一个"倒U型"关系：基于鄂、赣、川、滇四省调查数据[J]. 中国农村观察, 2021(5): 128-144. REN T C, ZHANG H Z, YANG X H, et al. Agricultural insurance security level and farmers' production investment: evidence from the survey data of Hubei, Jiangxi, Sichuan and Yunnan Provinces[J]. *China Rural Survey*, 2021(5): 128-144.

[29] STOEFFLER Q, CARTER M, GUIRKINGER C, et al. The spillover impact of index insurance on agricultural investment by cotton farmers in Burkina Faso[J]. *World Bank Economic Review*, 2022, 36: 114-140.

[30] 张长征, 李嘉雯, 孙杰. 农田水利基础设施投资缺口对粮食生产效率损失的影响[J]. 资源科学, 2022, 44(1): 169-180. ZHANG C Z, LI J W, SUN J. Influence of investment gap in farmland water conservancy infrastructure on the loss of grain production efficiency [J]. *Resources Science*, 2022, 44(1): 169-180.

[31] YUAN F, TANG K, SHI Q. Does Internet use reduce chemical fertilizer use? Evidence from rural households in China[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, 28(5): 6005-6017.

[32] 吴银毫, 徐珂怡, 刘瑞峰, 等. 地块特征差异视角下农业生产规模对化肥使用影响：基于河南省637个小麦种植户调查数据[J]. 农业技术经济, 2024(9): 37-48. WU Y H, XU K Y, LIU R F, et al. Effects of agricultural production scale on fertilizer use from the perspective of plot characteristic differentiation: based on the survey data of 637 wheat farmers in Henan Province[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2024(9): 37-48.

[33] SUN J L, TAO R, WANG J, et al. Do farmers always choose agricultural insurance against climate change risks? [J]. *Economic Analysis and Policy*, 2024, 81: 617-628.