

演化博弈视角下国家审计防控涉农绿色补贴欺诈的时空动态机制

——基于 CA-ABM 的仿真分析

戴莹^{a,b}, 赵琛^{a,b}

(南京审计大学 a. 国家审计学院; b. 自然资源与环境审计研究院, 江苏 南京 211815)

[摘要]在加快推动农业绿色转型的背景下,以绿色生态为导向的农业补贴政策在实施中面临农业主体“绿色欺诈”与基层监管人员监管松懈的双重风险,严重制约政策目标的实现。为系统解析国家审计在风险防控与政策执行保障中的作用机制,构建包含审计机关-基层监管人员-农业主体三方的演化博弈模型,并融合元胞自动机(CA)与多主体建模(ABM)方法,对各方策略演化的时空动态机制进行仿真分析。研究发现:(1)审计策略对系统收敛具有关键驱动作用,其决策逻辑因覆盖能力而异,有限覆盖时以查处违规、追回资金为驱动,全覆盖时则以公共价值为核心决策依据;(2)审计覆盖率上限对农业主体合规的影响存在阈值效应,对监管人员合规构成结构性约束,在覆盖率给定的前提下,风险导向的审计空间布局优于分散抽查,集中分布的治理效果相对最弱;(3)审计威慑的持续性比单次覆盖强度更为关键,审计间隔过长将引发系统周期性振荡,即便提高单次覆盖率上限也难以根治违规行为反复的问题;(4)单一政策的调整难以突破演化博弈系统困境,实现理想均衡依赖审计机关、监管人员与农业主体三方激励条件的同时满足。

[关键词]绿色欺诈;国家审计;乡村振兴;农业补贴;农业农村审计;绿色生产;国家治理

[中图分类号]F239.44 **[文献标志码]**A **[文章编号]**1004-4833(2026)05-0051-11

一、引言

以绿色生态为导向的农业补贴政策是促进农业经营主体绿色生产、推动农业发展绿色转型的关键制度安排。然而,该项政策在实践中面临严峻的“绿色欺诈”挑战:在绿色补贴的申报、审核与发放中形成了“政府-基层监管人员-农业经营主体”之间的多重委托代理链条,农业主体作为信息优势方,可能实施虚报信息以套取补贴的“绿色欺诈”行为;负有属地监管职责的基层监管人员亦可能因激励不足、成本考量或个人利益而监管松懈。近年来,虚标价格、伪造交易、合谋套取等骗补行为时有发生^[1],严重侵蚀财政资金效能与政策公信力。《“十四五”全国绿色农业发展规划》及农业农村部 2024 年发布的《农业农村部关于加快农业发展全面绿色转型促进乡村生态振兴的指导意见》均强调健全激励约束、强化监督管理,凸显了防控补贴欺诈、保障政策精准落地的紧迫性。

面对上述治理困境,国家审计作为国家治理体系的重要组成部分,凭借其独立的经济监督地位显示出显著的介入价值。制度层面,审计署先后印发《审计署关于在乡村振兴战略实施中加强审计监督的意见》《“十四五”国家审计工作发展规划》等文件,将农业农村审计作为重点领域,要求聚焦惠农政策落实和涉农资金安全绩效,为国家审计保障涉农补贴资金安全合规提供了明确依据。实践层面,已有实证研究表明审计对财政支农效能、农业高质量发展以及乡村振兴具有积极影响^[2-3]。然而,在有限的审计资源约束下,如何科学设定审计介入策略以提升审计治理效率和风险防控效果?这一问题仍有待深入研究,具体包括以下三个仍需进一步解决的问题:第一,审计介入如何影响基层监管者与农业经营主体的行为策略?第二,审计资源约束及其时空配置如何影响审计治理效果?第三,影响各方策略收敛于最优均衡的关键参数及条件是什么?

[收稿日期]2025-07-26

[基金项目]江苏高校哲学社会科学研究一般项目(2024SJYB0271);南京审计大学高教研究项目(2025JG018);推进黄山市资源环境审计高质量发展局校合作项目(2023HX028)

[作者简介]戴莹(1988—),女,江苏南通人,南京审计大学国家审计学院/自然资源与环境审计研究院讲师,从事资源环境审计理论与实务研究,E-mail:kelly_dai_ying@sina.com;赵琛(1991—),女,江苏淮安人,南京审计大学国家审计学院/自然资源与环境审计研究院讲师,从事资源环境审计理论与实务研究。

演化博弈模型已被广泛用于分析此类多元主体策略互动,但既有研究存在两方面的显著局限:其一,在研究议题上,针对涉农绿色补贴欺诈风险与审计监督机制的系统性探讨尚显薄弱;其二,在研究方法上,多数模型建立在“瞬时决策”与“完全混合”的理想化假设之上,普遍忽视了政策执行中的决策时滞以及地理邻近区域间的策略学习与行为扩散效应。上述不足限制了现有模型对政策执行的动态节奏与空间异质性的精准刻画,也制约了其对于审计资源时空配置策略的指导价值。

为弥补上述缺口,本文聚焦涉农绿色补贴欺诈风险审计,构建审计机关-基层监管人员-农业主体三方演化博弈模型。本文主要创新在于将空间交互与决策时滞效应嵌入经典博弈框架,旨在揭示时空维度下国家审计防控涉农绿色补贴欺诈的内在机制,为优化审计资源的策略性部署提供理论依据。为明确研究对象,本文对博弈主体的界定如下:“审计机关”作为涉农绿色补贴资金的审计监督方,亦是政府与公众的监督代理人,其策略为审计强度的动态设定;“基层监管人员”为补贴申报审核与属地监管的具体执行者;“农业主体”为补贴承接者与绿色农业生产实施者,特指农业企业、农民专业合作社、家庭农场等规模化、组织化的新型农业经营主体,该类主体是绿色补贴的主要对象,策略性更强,“绿色欺诈”的潜在影响也更大。

二、文献综述

关于农业主体绿色生产决策,研究表明其受经济理性、社会网络与外部治理的共同影响,成本收益权衡构成决策基础^[4],农业补贴可通过成本补偿与收益激励引导生产方式转型,但效果受补贴强度与农业主体异质性的显著影响^[5]。在社会网络层面,邻里效应通过示范效应^[6]、知识扩散^[7]和社会监督^[8]等机制影响绿色行为扩散。在外部治理层面,政府约束执行不足与市场信号扭曲^[9-10]共同构成绿色转型政策执行的深层困境。

审计监督作为国家治理体系中的经济监督工具,是防范与化解农业生态治理中各类委托代理风险的重要手段^[11-12],相关研究沿以下脉络展开:理论构建层面,通过剖析农业环境治理中的委托代理结构、相关主体行为博弈,构建审计理论体系^[13-14];实践方法层面,探讨政策、资金等的审计重点、方法、常见问题及问责整改^[15];治理效应层面,实证研究表明审计能够提升财政支农效能、促进农业高质量发展与乡村振兴^[2-3],并具有显著的空间溢出效应,可通过审计结果公告与舆论渠道对邻近区域形成非正式警示与横向软性约束^[16-17]。但面向涉农绿色补贴欺诈风险防控的国家审计研究仍然薄弱,少数研究仅关注市场与社会力量驱动的审计模式^[18],尚未充分回应绿色农业补贴政策在精准落实与效能提升方面对国家审计提出的深层需求。

演化博弈理论为理解绿色补贴执行中的策略互动提供了分析框架,多被用于刻画政府、企业、农户等多主体间的协同与博弈^[19-20];在审计监督领域,相关研究聚焦审计介入如何改变被审计主体的策略选择与行为演化^[21-22]。但既有审计博弈研究多基于“完全混合”与“瞬时决策”假设,忽略了主体的空间结构和决策时滞。近年来,时滞研究证实信息传递与政策响应中的时间延迟会显著改变演化路径与均衡稳定性^[23-24]。空间维度上,学者们发现空间邻近性与网络拓扑结构亦会显著影响合作行为的演化与策略集群的形成^[25-26];审计监督的空间溢出效应^[24-25]、农业主体生产的邻里模仿效应^[6-8]以及监管行为的邻域趋同特征^[27]均表明空间互动机制对政策执行效能具有复合影响,但当前审计监督领域的博弈研究尚未有效整合上述时空维度。

综上,既有研究缺乏对农业绿色补贴中“绿色欺诈”风险的演化机理与审计防控机制的系统性研究,且多数审计博弈研究忽视了主体决策的时滞与空间交互。本文将决策时滞与异质策略的空间扩散机制嵌入演化博弈模型,刻画审计机关、基层监管人员与农业主体之间的动态策略互动,以揭示时空约束对审计效能的影响。

三、理论分析和模型假设

(一)理论分析与实际案例

本文基于公共受托责任理论构建三方演化博弈框架。政府受社会公众委托管理和运用公共资源,绿色农业补贴资金的投放与使用正是其履行公共受托责任的具体体现,由此形成多层次委托代理链条:公众将权力委托给政府;政府通过财政补贴将绿色生产责任委托给农业主体,并将监管权赋予基层官员。经典的委托代理问题随之产生,农业主体追求利润最大化,与公共资金使用的真实性、合规性、效益性目标存在固有冲突;基层官员作为政策的执行与监管者,同样存在行政便利、人情关系乃至寻租等独立的个人利益,进而偏离政策目标。同时,农业主体和基层官员在农业生产和监管环节分别占据信息优势,这种信息不对称为机会主义行为提供了空间,催生了农业主体

“绿色欺诈”与基层监管松懈等代理风险^[28]。实践中,上述代理风险已衍生出多种形态^{①②[1]};2006—2021 年,审计署累计发布 44 份财政涉农资金审计结果公告,揭示惠农政策重复申报、虚报、骗取套取问题,涉及资金 25.93 亿元^[29]。

审计正是为应对代理风险而生的制度安排,其核心功能是通过独立的监督、评价与鉴证缓解信息不对称,确保公共受托责任的有效履行^[30]。在本文的博弈框架中,审计机关作为政府与公众的监督代理人,与基层监管人员、农业主体进行策略交互(如图 1),其效用函数以审计视角度量监督治理绩效,既包括挽回的财政损失、没收的违规处罚等直接成效,也涵盖提升政府公信力、促进农业绿色转型等隐性治理收益。审计决策的本质是在公共治理绩效与审计运行成本之间进行综合权衡。

(二) 博弈模型假设

根据上述理论分析,本文提出如下模型假设:审计机关、基层监管人员和农业主体均为有限理性。审计机关针对任意一个绿色补贴项目的策略组合为{审计,不审计},审计概率 $x \in [0,1]$ 为审计强度或审计覆盖比例, $1-x$ 是不审计的概率。基层监管人员策略组合为{积极监管,放松监管},积极监管概率 $y \in [0,1]$, $1-y$ 代表放松监管的概率。农业主体的策略组合为{绿色生产,绿色欺诈},绿色生产概率 $z \in [0,1]$, $1-z$ 代表绿色欺诈的概率。 x, y, z 均为时间 t 的函数。

农业主体绿色生产时,承担较高成本 C_H ,其预期收入包括农产品出售的基本收入 R_f 、补贴 S_f 以及实施绿色生产带来的预期额外收益 R_e (主要包括对绿色农产品市场溢价的预期和对减少化学品投入带来环境改善的认同)。只有真正实施绿色生产的农业主体才会形成对 R_e 的预期并将其纳入决策考量。若农业主体实施绿色欺诈,其产品按传统方式生产并出售,生产成本为 C_L ,仅能获得基本收入。为套取补贴,农业主体通常向基层监管者行贿 B 以换取监管默许;一经查实,补贴会被追回,并处罚款 P_f 。

基层监管人员积极监管时,需付出额外的监管成本 C_d ,获得绩效奖励 R_d ;若选择放松监管,仍可能虚报业绩骗取奖励,若默许农业主体欺诈并受贿,则额外收获 B 。一旦被审计查实失职或舞弊,奖励将被追回,并面临处罚与声誉损失 P_{dl} ;若查实受贿,违法所得 B 将被没收,并面临更严厉的惩处 P_{dh} 。

审计机关收益以监督治理绩效度量。审计需承担成本 C_a ,能够有效揭示绿色补贴欺诈与合谋行为,追回被骗取的补贴资金 S_f 与绩效奖励 R_d ,并收缴对农业主体的罚款 P_f 与基层监管人员的受贿所得 B 。此外,审计监督价值不仅体现为对已发生问题的揭示与纠偏,更在于其公共价值,发挥规范权力运行、保障政策目标实现、增强政府公信力等隐性治理成效 R_a ^[31-32],此类收益虽难以货币量化,却是审计作为国家治理基石的价值体现。

模型关键参数及其含义如表 1 所示,各方支付函数如表 2 所示。

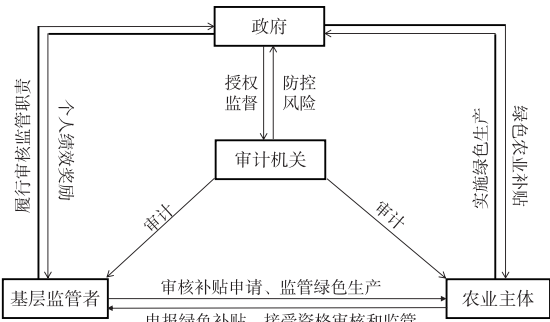


图 1 审计机关-基层监管者-农业主体三方关系

表 1 模型参数描述

参数	参数描述
R_f	农业主体出售农产品的基本收入
R_e	绿色农产品市场溢价与环境改善预期
S_f	农业绿色生产补贴
C_H	绿色农业生产成本
C_L	传统农业生产成本, $C_L < C_H$
B	农业主体向基层监管人员的寻租行贿, $B < S_f$ 且 $B < C_H - C_L$
P_f	对农业主体绿色欺诈行为的罚款
C_a	审计成本
C_d	基层监管人员积极监管相对于放松监管所增加的监管成本
R_d	政府对于基层监管人员的绩效奖励
P_{dl}	基层监管人员疏于监管的处罚
P_{dh}	基层监管人员收受受贿并默许农业主体绿色欺诈的处罚, $P_{dh} > P_{dl}$
R_a	审计隐性收益,如增强政府公信力、保障政策目标实现等非货币化治理成效

表 2 不同策略组合下各方支付函数

		绿色生产(z)	绿色欺诈($1-z$)
审计 x	积极监管(y)	$\pi_{a1} = -C_a + R_a; \pi_{d1} = R_d - C_d; \pi_{f1} = R_f + R_e + S_f - C_H$	$\pi_{a2} = -C_a + R_a; \pi_{d2} = R_d - C_d; \pi_{f2} = R_f - P_f - C_L$
	放松监管($1-y$)	$\pi_{a3} = -C_a + R_a; \pi_{d3} = -P_{dl}; \pi_{f3} = R_f + R_e + S_f - C_H$	$\pi_{a4} = P_f + B - C_a + R_a; \pi_{d4} = -P_{dh}; \pi_{f4} = R_f - C_L - B - P_f$
不审计 ($1-x$)	积极监管(y)	$\pi_{a5} = 0; \pi_{d5} = R_d - C_d; \pi_{f5} = R_f + R_e + S_f - C_H$	$\pi_{a6} = 0; \pi_{d6} = R_d - C_d; \pi_{f6} = R_f - P_f - C_L$
	放松监管($1-y$)	$\pi_{a7} = -R_d; \pi_{d7} = R_d; \pi_{f7} = R_f + R_e + S_f - C_H$	$\pi_{a8} = -S_f - R_d; \pi_{d8} = R_d + B; \pi_{f8} = R_f + S_f - C_L - B$

①资料来自 https://lysj.longyan.gov.cn/xxgk/gzdt/yw/202509/t20250923_2246675.htm。
②资料来自 https://lyj.dg.gov.cn/gkmlpt/content/4/4240/post_4240854.html#1231。

四、演化博弈模型构建

(一) 基准模型构建

基准模型将审计机关、基层监管人员、农业主体均视作完全混合群体而忽略群体内部差异性,是目前大多数演化博弈研究所采取的模式假设。本文根据表2所列支付矩阵进一步计算各方收益函数如下:

(1) 审计机关收益函数:记审计和不审计策略的期望收益分别是 π_a^A 和 π_a^{NA} , 平均收益为 $\bar{\pi}_a$ 。

$$\pi_a^A = yz(-C_a + R_a) + y(1-z)(-C_a + R_a) + (1-y)z(-C_a + R_a) + (1-y)(1-z)(P_f + B - C_a + R_a)$$

$$\pi_a^{NA} = yz(0) + y(1-z)(0) + (1-y)z(-R_d) + (1-y)(1-z)(-S_f - R_d)$$

$$\bar{\pi}_a = x\pi_a^A + (1-x)\pi_a^{NA}$$

(2) 基层监管人员收益函数:记积极监管和放松监管的期望收益分别是 π_d^S 和 π_d^{NS} , 平均收益为 $\bar{\pi}_d$ 。

$$\pi_d^S = xz(R_d - C_d) + x(1-z)(R_d - C_d) + (1-x)z(R_d - C_d) + (1-x)(1-z)(R_d - C_d)$$

$$\pi_d^{NS} = xz(-P_{dl}) + x(1-z)(-P_{dh}) + (1-x)z(R_d) + (1-x)(1-z)(R_d + B)$$

$$\bar{\pi}_d = y\pi_d^S + (1-y)\pi_d^{NS}$$

(3) 农业主体收益函数:记绿色生产和绿色欺诈策略的期望收益分别是 π_f^G 和 π_f^F , 平均收益为 $\bar{\pi}_f$ 。

$$\pi_f^G = xy(R_f + R_e + S_f - C_H) + x(1-y)(R_f + R_e + S_f - C_H) + (1-x)y(R_f + R_e + S_f - C_H) + (1-x)(1-y)(R_f + R_e + S_f - C_H)$$

$$\pi_f^F = xy(R_f - C_L - P_f) + x(1-y)(R_f - C_L - P_f - B) + (1-x)y(R_f - C_L - P_f) + (1-x)(1-y)(R_f + S_f - C_L - B)$$

$$\bar{\pi}_f = z\pi_f^G + (1-z)\pi_f^F$$

由此推导出三方演化博弈的复制动态方程组为:

$$\begin{cases} A(x, y, z) = dx/dt = x(\pi_a^A - \bar{\pi}_a) = x(1-x)(\pi_a^A - \pi_a^{NA}) \\ \quad = x(1-x)[(-C_a + R_a + S_f + R_d + P_f + B - y(S_f + B + R_d + P_f) - z(S_f + P_f + B) + yz(S_f + B + P_f))] \\ D(x, y, z) = dy/dt = y(\pi_d^S - \bar{\pi}_d) = y(1-y)(\pi_d^S - \pi_d^{NS}) \\ \quad = y(1-y)[x(P_{dh} + R_d + B) + z(B) + xz(P_{dl} - P_{dh} - B) - C_d - B] \\ F(x, y, z) = dz/dt = z(\pi_f^G - \bar{\pi}_f) = z(1-z)(\pi_f^G - \pi_f^F) \\ \quad = z(1-z)[x(S_f + P_f) + y(S_f + P_f - B) - xy(S_f + P_f) - C_H + C_L + B + R_e] \end{cases} \quad (1)$$

(二) 时空效应模型构建

基准模型假设忽略了现实主体策略的两类重要特征:一是策略交互的空间异质性与空间依赖,农业主体生产决策受邻里效应影响^[6-8],基层人员监管行为呈现邻域趋同^[27],审计威慑具有空间溢出效应^[16-17];二是决策时滞,信息收集与执行等环节的延迟使主体无法瞬时响应。为此,本文将空间交互与决策时滞同时纳入演化博弈分析框架,融合元胞自动机(Cellular automata, CA)和多主体建模(Agent-Based Modeling, ABM),构建演化博弈的时空效应模型。其中,CA定义空间拓扑结构与局部交互规则,刻画邻域空间交互机制对策略演化的影响;ABM赋予各博弈主体以自适应决策能力,使其在CA定义的空间邻域内依据博弈收益进行学习策略更新。模型假设如下:

(1) 模型空间结构。将演化博弈空间概化为 $L \times L$ 个正方形网格构成的元胞空间,设定 $L \times L = 10000$ 以避免小种群效应导致的模型噪声,并采用周期性边界条件。每个元胞内分布一个农业主体和一个基层监管人员,以体现监管强度在空间上的异质性,两者的策略集合与基准博弈模型相同,但策略调整受邻域同类主体行为影响。审计强度 x 为全局变量,代表审计覆盖比例,由审计机关依据系统演化动态自适应调控,在空间网格上体现为每个元胞被审计的概率。

(2) 模型时间尺度与时滞设定。仿真以蒙特卡洛步(MCS)为基本时间单位。时滞设定考虑三种导致决策延迟的情形:①策略更新时滞,审计机关每 τ_1 步调整一次审计强度 x ,基层监管人员与农业主体分别每 τ_2 和 τ_3 步更新策略, τ 值越大则策略调整频率越低,当 $\tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = 1$ 时模型退化为无时滞模型;②信息收集时滞,基层监管人员与农业主体获取邻域信息的延迟步数分别为 τ_{-2} 和 τ_{-3} ,即策略更新时所参考的邻域收益为 τ 步之前的历史状

态;③审计间断时滞,刻画审计项目非连续、周期性开展的现实特征,设置审计窗口期和间隔期,窗口期内审计按当前强度执行抽查,间隔期内审计暂停($x=0$),两者长度可分别调节,以考察审计连续性对系统演化的影响。

(3)策略更新规则。审计强度遵循全局自适应调整规则,审计机关每个周期初汇总上一周期的审计发现及监管查处结果,计算审计范围内的监管放松比例 P_{relax} 以及监管放松且农业主体欺诈比例 P_{relax_fraud} ,按式(2)计算审计与不审计的期望收益差 Δ :

$$\Delta = -C_a + R_a + P_{relax_fraud} \times (S_f + P_f + B) + P_{relax} \times R_d \quad (2)$$

若 $\Delta > 0$ 则提高审计强度, $\Delta \leq 0$ 则适度降低审计强度。 x 在 $[x_{min}, x_{max}]$ ($x_{min} \geq 0, x_{max} \leq 1$) 区间内动态调整,上调步长为 0.05,下调步长为 0.01,该非对称调整规则使审计对风险信号保持敏感,发现欺诈时快速响应,合规率提升时谨慎放松。

农业主体与基层监管人员的策略更新借鉴 da Silva Rocha 等^[25]的局部学习规则和概率转换规则,采用冯·诺依曼邻域(上下左右四个相邻元胞),并以此为基准与摩尔邻域(八个相邻元胞)进行对照,检验模型对邻域类型的稳健性。每 τ 步各主体计算自身当期收益,并与邻域内收益最高的同类个体进行比较。若自身收益不低于邻域最高收益,则保持原策略,否则以概率 P 转换为该高收益个体的策略。转换概率如式(3)所示:

$$P = (\Pi_j - \Pi_i) / (\max \pi - \min \pi) \quad (3)$$

其中, Π_j 为邻域内同类个体的最高收益, Π_i 为自身收益, $\max \pi$ 和 $\min \pi$ 分别为该主体在博弈中能够获得的最大与最小收益。该规则以单一最大收益邻居为比较对象,反映普遍存在的上行比较心态,并突出空间结构化模型与完全混合模型的差异。策略转换通过概率机制实现,避免了同步更新可能引发的人工策略振荡。

综上所述,时空效应模型的仿真流程见图 2,主要程序伪代码留存备案。在元胞网格空间内按初始概率 x_0, y_0, z_0 随机分配各元胞的审计、监管及农业主体策略状态,初始化前固定随机种子为 42,设定策略更新周期 τ_1, τ_2 和 τ_3 。以连续 200MCSs 作为移动窗口,若窗口内 x, y, z 的标准差均小于 0.0001,判定系统收敛并终止仿真;若迭代至最大步数 4000MCSs 仍未满足收敛判据,同样终止仿真。

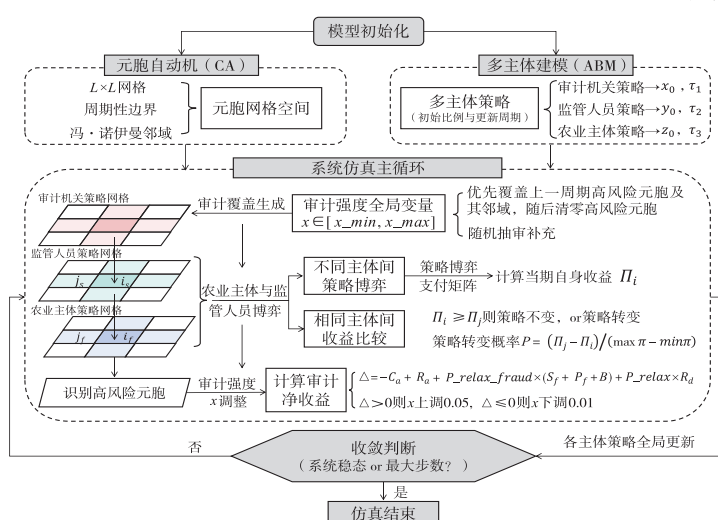


图 2 空间结构化演化博弈模型技术路线

五、研究结果与讨论

(一)稳定性分析与验证

1. 稳定性分析

根据基准模型复制动态方程组式(1),令 $A(x, y, z) = 0, D(x, y, z) = 0, F(x, y, z) = 0$, 可求得系统的动态均衡点。当 $x=0$ 或 $x=1, y=0$ 或 $y=1, z=0$ 或 $z=1$ 时,满足方程组为零,由此得到八个纯策略均衡点: $E_1 = (0, 0, 0), E_2 = (0, 0, 1), E_3 = (0, 1, 0), E_4 = (0, 1, 1), E_5 = (1, 0, 0), E_6 = (1, 1, 0), E_7 = (1, 0, 1), E_8 = (1, 1, 1)$ 。此外,令式(1)方程组中各方括号内表达式为 0,可求得混合策略均衡点 $E_9 = (x_*, y_*, z_*)$ 。

根据 Lyapunov 第一法则^[33],当某一均衡点对应的雅各比矩阵所有特征值均小于 0 时,该均衡点具有局部渐近稳定性。本文基准模型复制动态方程组的雅各比矩阵如式(4)所示,计算其在各个策略均衡点处的所有特征值以及相应的均衡条件如表 3 所示。

$$J = \begin{bmatrix} (\partial A(x, y, z)) / \partial x & (\partial A(x, y, z)) / \partial y & (\partial A(x, y, z)) / \partial z \\ (\partial D(x, y, z)) / \partial x & (\partial D(x, y, z)) / \partial y & (\partial D(x, y, z)) / \partial z \\ (\partial F(x, y, z)) / \partial x & (\partial F(x, y, z)) / \partial y & (\partial F(x, y, z)) / \partial z \end{bmatrix} \quad (4)$$

情况 1: 当 $S_f + P_f + B + R_d + R_a < C_a$ 且 $-C_H + C_L + B + R_e < 0$ 时, 系统稳定于 E_1 , 陷入监督真空状态。

情况 2: 当 $R_a + R_d < C_a$ 且 $C_H - C_L - B - R_e < 0$ 时, 系统稳定于 E_2 。此时因绿色生产的预期额外收益足够高, 农业主体自觉实施绿色生产。然而, 一旦农业主体认知或市场环境改变导致预期收益减弱, 系统就可能滑向欺诈均衡。

情况 3: 当 $C_a < S_f + P_f + B + R_d + R_a$, $P_{dh} < C_d - R_d$ 且 $S_f + P_f + R_e < C_H - C_L - B$ 时, 系统收敛于 $E_5 = (1, 0, 0)$ 。

此时仅有审计而缺乏配套激励约束, 无法将监督压力转化为基层监管人员积极监管和农业主体绿色生产的实际行动。

情况 4: 当 $C_a < R_a$, $C_d < P_{dh} + R_d$ 且 $S_f + P_f + R_e < C_H - C_L$ 时, 系统稳定于 $E_6 = (1, 1, 0)$ 。此时审计与基层监管形成协同, 但农业主体的绿色生产激励不足, 政策链条在“最后一公里”断裂。

情况 5: 当 $C_a < R_a + R_d$, $R_d + P_{dl} < C_d$ 且 $C_H - C_L - B < S_f + P_f + R_e$ 时, 系统收敛于 $E_7 = (1, 0, 1)$, 基层监管人员因激励扭曲选择放松监管, 形成审计在场而监管缺位的失衡格局。

情况 6: 当 $C_a < R_a$, $C_d < P_{dl} + R_d$ 且 $C_H - C_L < S_f + P_f + R_e$ 时, 审计在成本收益上可持续, 基层监管人员在奖励与处罚的合力下积极履职, 农业主体因绿色生产具有正向净收益而主动合规, 系统收敛于理想均衡 $E_8 = (1, 1, 1)$ 。

上述结果表明, 系统能否收敛于理想均衡, 取决于三方激励条件是否同时满足。审计激励不足则陷入监督真空(情况 1), 基层监管激励扭曲则出现监管缺位(情况 5), 农业主体合规动力缺失则政策在“最后一公里”断裂(情况 4)。只有三方激励条件同时满足, 才能引导整个治理体系突破局部最优, 实现可持续的整体最优。

2. 模拟验证

为验证上述结果, 本文基于 Python 分别对基准模型和时空效应模型进行仿真, 核心参数取值及设定依据见表 4。仿真在低初始策略比例 $(0.3, 0.3, 0.3)$ 下进行以保证结果鲁棒性。

在合理参数范围内, 稳定情况 4 至情况 6 均可复现, 系统演化动态如图 3 所示。基准模型与时空效应模型的均衡状态一致, 初始参数组满足情况 4 的均衡条件, 审计与基层监管均积极, 但农业主体因预期净收益不足而缺乏合规动力; 将处罚倍数 b 提高至 5、预期收益 R_e 提高至 3.5 千元/亩后, 农业主体预期净收益显著改善, 系统收敛于理想均衡 $(1, 1, 1)$, 即情况 6; 在此基础上将监管人员绩效奖励 R_d 降低至 0.001 千元/亩, 轻度违规处罚和绩效奖励之和不足以覆盖积极监管的额外成本, 系统滑落至情况 5, 验证了审计在场、监管缺位的失衡格局。从演化过程来看, 两种模型在收敛路径和速率上存在明显差异。基准模型基于完全混合假设, 主体依据全局信息更新策略, 其收敛速度取决于支付结构的方向, 在本文参数设定下, 放松

表 3 基准模型特征值及稳定情况

均衡点	λ_1	λ_2	λ_3	稳定性
$E_1 = (0,0,0)$	$S_f + P_f + B + R_d + R_a - C_a - C_d - B < 0$	$-C_H + C_L + B + R_e$		情况 1
$E_2 = (0,0,1)$	$-C_a + R_a + R_d$	$-C_d < 0$	$C_H - C_L - B - R_e$	情况 2
$E_3 = (0,1,0)$	$-C_a + R_a$	$C_d + B > 0$	$S_f + P_f + R_e - C_H + C_L$	不稳定
$E_4 = (0,1,1)$	$-C_a + R_a$	$C_d > 0$	$C_H - C_L - S_f - P_f - R_e$	不稳定
$E_5 = (1,0,0)$	$C_a - S_f - P_f - B - R_d - R_a$	$P_{dh} + R_d - C_d$	$S_f + P_f + R_e - C_H + C_L + B$	情况 3
$E_6 = (1,1,0)$	$C_a - R_a$	$-P_{dh} - R_d + C_d$	$S_f + P_f + R_e - C_H + C_L$	情况 4
$E_7 = (1,0,1)$	$C_a - R_a - R_d$	$R_d + P_{dl} - C_d$	$C_H - C_L - S_f - P_f - R_e - B$	情况 5
$E_8 = (1,1,1)$	$C_a - R_a$	$C_d - R_d - P_{dl}$	$C_H - C_L - S_f - P_f - R_e$	情况 6
$E_9 = (x^*, y^*, z^*)$	λ_1^*	λ_2^*	λ_3^*	不稳定

注: 对于混合策略均衡点 $E_9 = (x^*, y^*, z^*)$, 由复制动态系统的性质可知, 内部均衡点的雅各比矩阵迹 $tr(J) = \lambda_{1*} + \lambda_{2*} + \lambda_{3*} = \partial A/(\partial x_*) + \partial D/(\partial y_*) + \partial F/(\partial z_*) = 0$, 不满足所有特征值小于 0, 故 $E_9 = (x^*, y^*, z^*)$ 不具备渐近稳定性。

表 4 模型参数设定情况说明

参数符号	参数取值			取值范围	设定依据
	情况 4	情况 5	情况 6		
C_H	13	13	13	—	参考绿色生产成本收益微观调查 ^[34-35]
C_L	5.4	5.4	5.4	—	参考《全国农产品成本收益资料汇编 2022》
R_f	9	9	9	—	蔬菜数据
R_e	3	3.5	3.5	$[0, 5]$	依据绿色蔬菜市场溢价设定
S_f	0.7	0.7	0.7	$[0.2, 1.2]$	综合多地耕地保护、有机肥推广等各类农业绿色补贴政策
P_f	1.4	3.5	3.5	$b \times S_f$	参照《财政违法行为处罚处分条例》有关骗取财政资金的处罚规定
b	2	5	5	$[0.1, 5]$	按骗取补贴额的 50% 估算
B	0.35	0.35	0.35	$0.5 \times S_f$	与监管额外成本相当
R_d	0.003	0.001	0.003	$[0.001, 0.005]$	参照警告处分期间薪酬损失折算
P_{dl}	0.0005	0.0005	0.0005	$[0.0001, 0.001]$	参照开除及刑事追责的薪酬与处罚损失
P_{dh}	0.02	0.02	0.02	$[0.008, 0.1]$	根据基层监管人员额外工时与薪酬折算
C_d	0.003	0.003	0.003	$[0.001, 0.005]$	参照同类审计项目人力与时间成本估算①
C_a	0.0007	0.0007	0.0007	$[0.0005, 0.001]$	难以货币化, 按审计成本相对大小设定
R_a	0.0008	0.0008	0.0008	$[0, 0.002]$	

注: 所有参数单位均为千元/亩。

①资料来自 https://www.cncn.gov.cn/art/2025/1/22/art_1229416690_4275015.html。

监管的净收益高于积极监管,这一负向信号通过全局平均被放大,抑制了积极策略的扩散,导致监管策略收敛迟缓。时空效应模型基于局部邻域学习,策略扩散受限于邻域范围,负向信号的抑制作用被局部化,整体收敛反而更快。

(二) 三方演化博弈的时空效应分析

本文从审计覆盖率上限的约束效应、审计策略空间配置的治理效率以及决策时滞的动态影响三个维度,开展演化博弈的时空效应分析,统一基于稳定情况 6 参数组(表 4)开展仿真。

1. 审计强度上限对演化动态的影响

为检验审计覆盖率上限的约束效应,本文在审计强度上限 $x_{max} \in [0.5, 1.0]$ 范围内进行仿真, $x_{max} = 1.0$ 代表全样本审计的理想情景,审计实践中往往因资源约束而采用抽样审计,即 $x_{max} < 1.0$ 。在本文参数条件下仿真结果显示(图 4),农业主体策略对 x_{max} 的变化不敏感,在 $x_{max} \geq 0.56$ 时均能收敛至完全合规,仅收敛速率随 x_{max} 减小而略有下降。仅当 $x_{max} \leq 0.55$ 时,农业主体策略无法收敛至最优均衡,其原因是农业主体受到审计与监管双重约束,即使部分区域沦为审计盲区,盲区中的绿色欺诈仍可被积极监管者查处,审计与监管在空间上形成互补。监管策略对 x_{max} 高度敏感,其合规比例随 x_{max} 提高而上升,但始终无法突破审计强度上限。不同于农业主体,监管人员行为仅受审计单一约束,盲区中的放松监管者不受审计处罚,在邻域收益比较中持续占据优势,通过空间学习抑制积极监管的扩散,使得监管合规的上限被审计覆盖率锁定。可见,审计防控欺诈的成效不仅取决于处罚力度和激励强度,还受制于审计覆盖上限与邻域学习机制的共同约束。

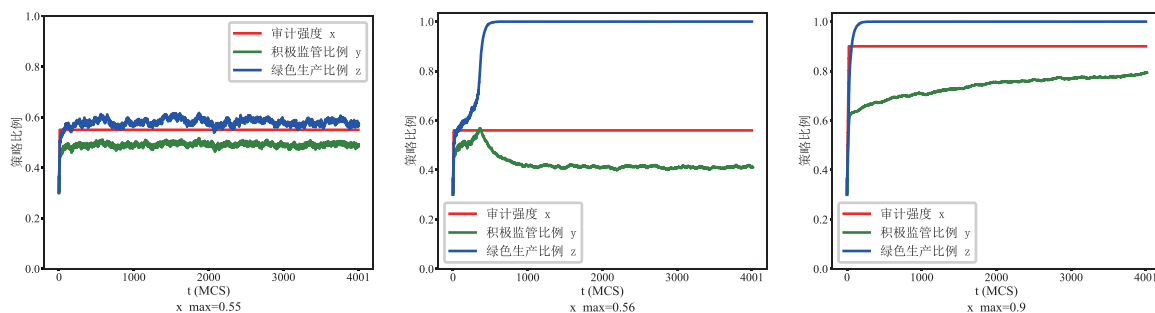


图 4 审计强度上限 x_{max} 对演化动态的影响

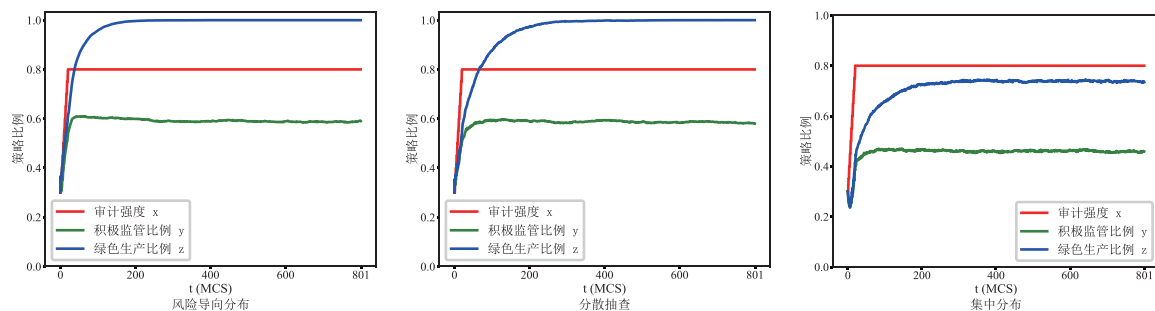


图 5 审计策略空间分布对于演化动态的影响

2. 审计策略空间配置对演化动态的影响分析

本文设定三种审计空间配置情景并分析其对演化动态的影响:一是风险导向情景,审计优先覆盖上一周期发现的欺诈元胞及其邻域,剩余审计资源随机抽选元胞实施审计,对应实践中先面上摸排、再聚焦风险的审计模式;二是分散抽查情景,每轮模拟随机抽选审计元胞,对应轮审式的例行抽查;三是集中分布情景,审计资源始终分布于中心区域,外围留有连片审计覆盖盲区,对应依据便利性或主观经验的非统计采样审计方式。

在 $x_{max} = 0.8$ 的条件下,仿真结果如图 5 所示。绿色生产与积极监管策略在风险导向情景下收敛最快;在

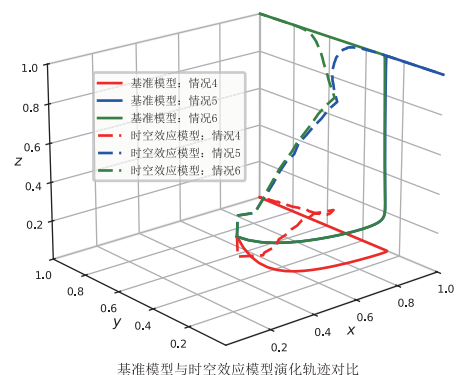


图 3 不同稳定情况的模拟验证
(基准模型 VS. 时空效应模型)

分散抽查情景中虽收敛有所减缓,但最终均衡不受影响;在集中分布情景中策略上升缓慢且最终收敛值显著下降。从策略演化的空间动态来看,集中分布情景中(图6),在审计覆盖区外围形成的连片审计盲区内,违规策略不受审计威慑约束,经邻域学习的反复强化形成稳定聚集,难以被外部合规策略同化。相比之下,风险导向审计和分散抽查通过审计资源的空间分散布局,避免了连片审计盲区的出现,使合规行为能够在各局部启动并向全局扩散。仅在 $x_{max}=1$ 时,集中分布情景中绿色生产和积极监管策略才能最终收敛至1,但收敛速度仍明显滞后于风险导向和分散抽查情景。

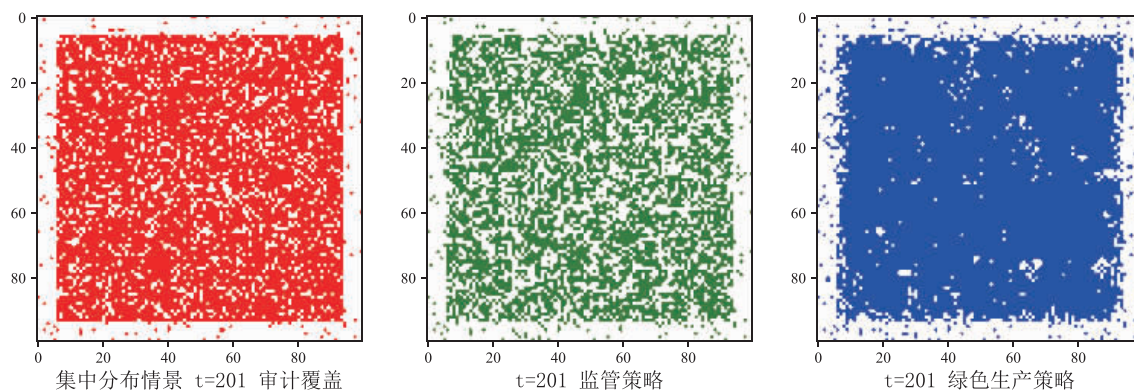


图6 集中分布情景下三方策略空间分布快照

3. 决策时滞对演化动态的影响

根据模型假设的三种时滞设定,在 $x_{max}=0.8$ 条件下分别进行仿真,分析决策时滞对系统演化动态的影响。

(1) 策略更新时滞的影响分析

本文分别以 τ_1 、 τ_2 和 τ_3 控制审计策略、监管策略以及农业主体生产策略的更新周期。当固定 τ_2 和 τ_3 时, τ_1 由1增至5,各方策略的收敛速度均明显减缓,但均衡位置基本不变。当固定 τ_1 、 τ_3 时,将 τ_2 从1增至5,积极监管策略的收敛速率与最终均衡位置明显降低,其他策略受影响较小。当固定 $\tau_1=5$ 、 $\tau_2=1$ 时,将 τ_3 从1增至5,农业主体策略收敛显著减缓;积极监管策略则先升后降,虽均衡位置基本一致,但峰值明显提高。可见,农业主体响应越迟缓,监管人员因放松监管而被审计处罚的风险越大,此时积极监管成为更安全的选择。审计对绿色欺诈的防控作用不仅体现为对农业主体的直接威慑,而且通过改变监管人员的风险环境间接督促其规范履职。

(2) 信息收集时滞的影响分析

将 τ_2 和 τ_3 分别定义为监管人员和农业主体在邻域内收集信息的延迟步数, τ_2 由1增至5,仅使积极监管策略的收敛速率略微降低,对审计与绿色生产策略基本无影响。 τ_3 由1增至5同样不影响审计策略,绿色生产策略的收敛速率有所下降,积极监管策略的收敛则略有加快。总体而言,在有限延迟范围内,系统对此类局部信息延迟具有一定的缓冲能力。

(3) 审计间断时滞的影响分析

受资源和计划的限制,农业补贴审计通常呈周期性间隔而非连续开展。为此,模型设置审计窗口期和间隔期,窗口期内审计按当前强度抽查,间隔期内暂停该类审计。通过设定不同(窗口期,间隔期)组合,分别在 $x_{max}=0.8$ 和1条件下仿真,结果如图7所示。审计一旦间断(间隔期 >0),农业主体策略便无法稳定收敛至完全合规,转而出现在波动中。审计窗口期和间隔期的相对比例决定了系统演化质量,只有当窗口期长度数倍于间隔期(本文参数条件下约为3倍)时,农业主体绿色生产策略方能在波动中逐步攀升,最终围绕接近1的水平小幅浮动。积极监管策略的演化受审计间断影响更明显,即便窗口期达到间隔期的3倍,监管策略也仅能维持中等水平的波动,难以收敛至 x_{max} 附近。造成这一现象的原因在于,审计中断后放松监管行为为立即失去约束,通过邻域学习迅速向周边扩散,其负面影响在审计重启后需要较长时间才能被逐步消除。

两种审计覆盖率约束下($x_{max}=0.8$ 、1.0),审计间断的影响差异主要体现在策略比例波动幅度上, $x_{max}=1.0$ 时波动幅度较小,但系统演化趋势基本一致,说明无论审计空间覆盖率多高,若不能在时间维度上保持连续或足够密集的覆盖,反复欺诈行为便难以根治。因此,保持审计威慑的持续性是有效防控绿色欺诈的关键。

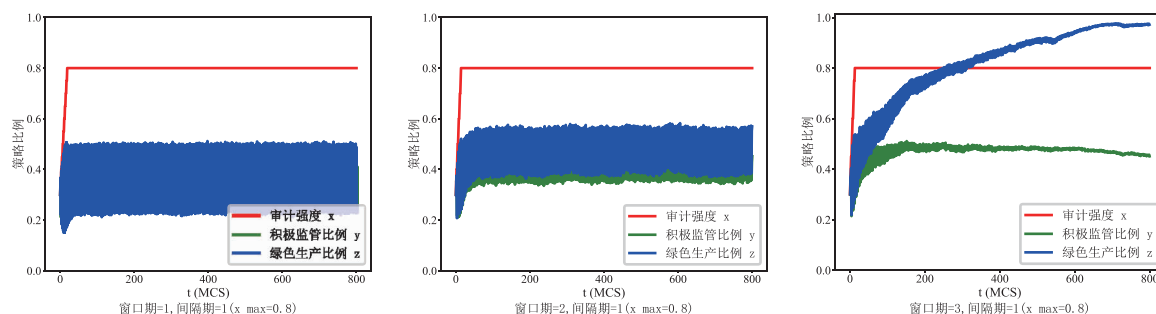


图7 审计间断时滞对演化动态的影响

(三) 参数敏感性分析

本文对时空效应模型中 R_e 、 S_f 、 b 、 C_d 、 R_d 、 P_{dl} 、 P_{dh} 、 C_a 、 R_a 共 9 个参数进行 Sobol' 全局敏感性分析,以考察参数重要性排序。生产成本 C_H 与 C_L 取决于作物类型与生产技术,在特定种植场景下相对固定,故未纳入分析。鉴于审计强度上限对系统演化存在显著影响,本文分别在 $x_{max} = 0.8$ 和 1.0 两种设定下开展参数敏感性分析,采用 Saltelli 采样法在表 4 所列参数区间内生成样本,基础样本数 $N = 128$,总运行次数为 2560 次。采样与敏感性指数计算通过 Python SALib 库实现,采样前固定随机种子为 42,分别计算各参数的一阶效应指数 $S1$ 和总效应指数 ST 。输出指标包括审计策略比例 x 、监管策略比例 y 、绿色生产比例 z 以及系统综合收敛度。其中,系统综合收敛度定义为稳态点 (x, y, z) 与理想均衡点 $(1, 1, 1)$ 的归一化欧氏距离。

结果如图 8 所示。在本文模型设定下,无论 x_{max} 如何设定, S_f 、 b 、 R_e 始终是驱动农业主体策略的核心参数,印证了农业主体决策对经济激励与惩罚的高度敏感。然而,审计策略、监管策略以及系统收敛度的参数敏感性排序在两种 x_{max} 设定下差异显著。当 $x_{max} = 0.8$ 时,即审计有限覆盖情况下, P_{dh} 是主导审计决策的首要参数,其虽未直接计入式(2)所示的审计收益函数,却通过积极监管率 y 、放松监管比例 P_{relax} 和合谋欺诈比例 P_{relax_fraud} 影响审计查处违规、追回资金的显性绩效,进而间接驱动审计策略更新。由此可见,在给定参数情景下,当审计资源有限、无法全覆盖时,审计策略演化呈现结果导向与问题驱动特征,以查处违规、追回资金为主要动力,此时,能够显著影响违规规模的参数成为关键的间接驱动力, P_{dh} 正是通过对监管合规率的强约束作用间接主导了审计决策。当 x_{max} 提升至 1(审计全覆盖)时,审计隐性收益 R_a 成为驱动审计策略与系统收敛的首要参数,且其直接效应显著, $S1$ 在 ST 中占比超 70%,审计成本 C_a 的敏感性排序亦明显前移。这表明,消除审计盲区后,在给定参数情景下审计的决策逻辑发生了转变,审计能否持续高强度介入已不取决于追回资金的多少,而在于制度是否充分认可审计的公共价值以及运行成本是否可承受。一旦隐性收益足以覆盖成本,审计便获得了超越短期经济得失的内生动力,治理逻辑由问题驱动转向价值驱动。

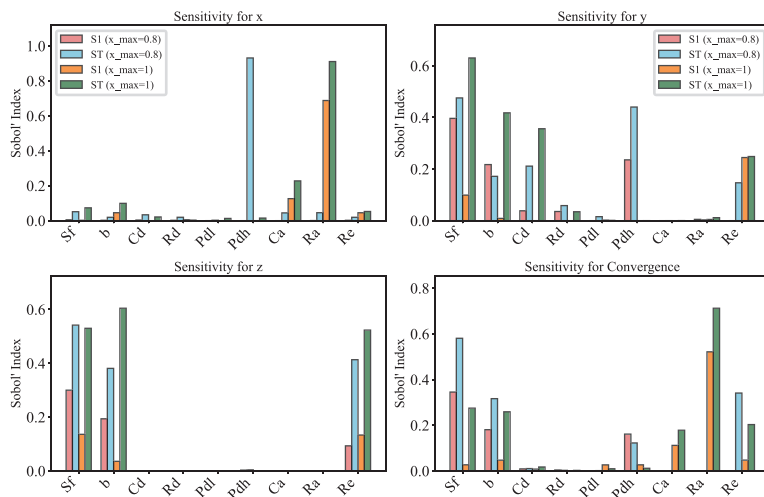


图8 时空效应模型 Sobol' 敏感性一阶效应 (S1) 和总效应 (ST)

向与问题驱动特征,以查处违规、追回资金为主要动力,此时,能够显著影响违规规模的参数成为关键的间接驱动力, P_{dh} 正是通过对监管合规率的强约束作用间接主导了审计决策。当 x_{max} 提升至 1(审计全覆盖)时,审计隐性收益 R_a 成为驱动审计策略与系统收敛的首要参数,且其直接效应显著, $S1$ 在 ST 中占比超 70%,审计成本 C_a 的敏感性排序亦明显前移。这表明,消除审计盲区后,在给定参数情景下审计的决策逻辑发生了转变,审计能否持续高强度介入已不取决于追回资金的多少,而在于制度是否充分认可审计的公共价值以及运行成本是否可承受。一旦隐性收益足以覆盖成本,审计便获得了超越短期经济得失的内生动力,治理逻辑由问题驱动转向价值驱动。

(四) 模型稳健性检验

1. 邻域类型的影响

对比冯·诺依曼邻域(4 邻域)与摩尔邻域(8 邻域)两种空间交互规则,结果表明,两种邻域下审计与绿色生产策略的演化动态基本一致;当 $x_{max} = 0.8$ 时,监管策略在摩尔邻域情景下的稳态值略低,原因是策略交互范围更广导致审计覆盖盲区中放松监管策略的影响扩大,抑制了积极监管扩散。当 x_{max} 提升至 1 时,两种邻

域下积极监管策略均收敛至1,差异消失。这表明邻域类型虽对于监管策略的扩散速率及演化稳态有一定影响,但受 x_{max} 调节,消除审计盲区后,不同邻域下的模拟结果趋同,模型稳健。

2. 初始策略比例的影响

在 $x_{max}=0.8$ 下,设置 y_0, z_0 在 $0.1 \sim 0.9$ 、 x_0 在 $0.1 \sim 0.5$ 区间变化,结果表明 x_0 和 y_0 仅影响系统初期的演化动态,对最终均衡均无明显影响; z_0 提升会使积极监管均衡比例有所下降;当 y_0, z_0 高于 x_0 时,合规策略比例在演化初期阶段性回落,之后随审计强度提升恢复并收敛。由此可见,农业主体或基层监管人员的合规意愿难以在缺乏审计监督的环境中持续。总体而言,核心结论对初始策略比例的设定具有稳健性。

六、结论与建议

本文聚焦绿色农业补贴政策执行中“绿色欺诈”与“监管松懈”并存的治理难题,从演化博弈视角分析国家审计防控农业绿色补贴欺诈的作用机制,通过复制动态方程的稳定性分析与融合CA与ABM的时空效应仿真,揭示了审计覆盖率约束、审计空间配置与时间周期对系统演化动态的影响,识别了驱动各方策略演化的关键参数,为优化审计资源配置与精准施策提供了理论依据。研究发现:(1)审计覆盖率约束与空间配置共同决定了治理效率与效果,覆盖率上限对农业主体策略的影响存在阈值效应,对监管策略比例构成结构性约束;(2)审计策略在空间上的风险导向分布优于分散抽查,集中分布的治理效果相对最弱,易形成连片审计盲区,从而为违规策略的稳定聚集提供空间;(3)审计威慑的持续性比单次审计覆盖强度更为关键,审计间隔过长将引发系统周期性振荡,即便提高单次审计覆盖率上限也难以根治违规反复问题;(4)系统能否收敛至理想均衡取决于三方激励条件是否同时满足。本文参数下,农业主体合规受补贴额度、欺诈处罚与市场溢价共同驱动,审计在有限覆盖时呈现问题驱动特征,审计全覆盖时则转向公共价值驱动,监管激励与处罚参数的治理效应高度受制于审计覆盖上限。

基于上述结论,为提升审计监督效能,本文提出以下政策建议:一是保障审计覆盖率底线,压缩监督盲区。审计机关应充分利用大数据分析、卫星遥感等技术手段,通过数据全样本扫描精准锁定高风险项目,在不显著增加现场审计成本的前提下扩大有效覆盖面;同时设定审计覆盖率最低保障线,优先覆盖补贴金额大、风险等级高的项目。二是建立风险导向的审计空间布局,优先对以往问题高发区域和项目实施重点监控,同时对其余区域保持随机抽查以维持普遍威慑,避免审计资源长期集中于特定区域而使覆盖盲区形成新的风险策源地。三是保障审计威慑的时间连续性。对无法实现年度连续审计的领域,应通过审计结果持续公开、整改跟踪问效、案例定期通报等方式,在审计间隔期保持威慑的持续性,防止系统在两次审计之间滑回劣质均衡。四是构建三方激励相容机制。鉴于本文所设监管激励不足导致其治理效应受限于审计覆盖上限,优化监管激励与处罚结构可弥补审计覆盖率约束,是突破监管合规瓶颈的关键;补贴标准的调整应同步匹配处罚力度与监管考核指标,同时,应完善绿色农产品市场流通和认证体系,使农业主体对绿色溢价的预期得以兑现,降低其对补贴的单一依赖。

参考文献:

- [1]周凯,王志,黄腾,等.“破铜烂铁”换补助条件不够钱开路[N].经济参考报,2024-05-23(4).
- [2]谢柳芳,曹亚娟,秦潇潇.政府审计、农村金融发展与乡村振兴[J].审计与经济研究,2023(1):1-10.
- [3]王文姣,钟洪霞,杨丽冰,等.财政支农、政府审计与农业高质量发展[J].会计之友,2025(14):113-120.
- [4]罗小娟,冯淑怡,石晓平,等.太湖流域农户环境友好型技术采纳行为及其环境和经济效应评价——以测土配方施肥技术为例[J].自然资源学报,2013(11):1891-1902.
- [5]李子君,宋光明,董建华.农户绿色生产技术采纳行为的影响因素研究综述[J].农业经济,2025(6):90-93.
- [6]纪金雄,谢屹.多主体治理对农户绿色生产行为的影响——基于福建省872户茶农调查数据的实证研究[J].林业经济,2023(4):5-28.
- [7]陈哲,李晓静,夏显力.参与契约农业对农户质量安全生产行为的影响研究——基于空间溢出效应视角[J].农业技术经济,2025(3):87-105.
- [8]于艳丽,李桦.社区监督、风险认知与农户绿色生产行为——来自茶农施药环节的实证分析[J].农业技术经济,2020(12):109-121.
- [9]左喆瑜,付志虎.绿色农业补贴政策的环境效应和经济效应——基于世行贷款农业面源污染治理项目的断点回归设计[J].中国农村经济,2021(2):106-121.
- [10]杨应旭,王志凌.推拉失衡与内生迟滞:农户绿色生产的行为逻辑及协同调适路径[J/OL].贵州财经大学学报,2026-02-24.
- [11]汪顺,周泽将,陈一玲.大数据能否缓解环境治理中的委托代理问题?[J].中国人口·资源与环境,2025(1):124-132.
- [12]冯素坤,岳洪江.总体国家安全观下国家审计功能的跃升:从风险揭示到安全治理[J].南京审计大学学报,2026(2):23-33.

- [13] 刘金林,谷佳璐. 农业面源污染防治审计研究——基于农业安全背景[J]. 会计之友,2023(6):120-125.
- [14] 李兆东,张倩,李雪颖. 农业环境审计:审计关系与理论要素[J]. 会计之友,2024(17):19-24.
- [15] 杨建勋. 大数据背景下农业补贴资金审计研究[J]. 中国农业会计,2026(2):90-92.
- [16] 陈永泰,单炳霖. “双碳”目标下政府审计对碳排放的空间溢出效应[J]. 经济地理,2025(3):171-180+220.
- [17] 赵丽芳,代文涛,孙洪杰. 政策跟踪审计与城市经济高质量发展——基于空间面板杜宾模型的实证研究[J]. 审计与经济研究,2026(2):58-66.
- [18] Yang X,Dai X,Liu Z. Retailers' audit strategies for green agriculture based on dynamic evolutionary game[J]. Sustainability,2023,15(4):3261.
- [19] 何奇龙,唐娟红,罗兴,等. 政企农协同治理农业面源污染的演化博弈分析[J]. 中国管理科学,2023(7):202-213.
- [20] 郑军,周宇轩. 农业保险服务乡村振兴战略的财政补贴制度创新——基于“农业经营主体-保险公司-政府”的博弈分析[J]. 南京审计大学学报,2020(5):61-71.
- [21] 李志强,张倩倩,王亚平. 环境责任与经济责任融合审计多维博弈分析[J]. 审计与经济研究,2020(2):1-12.
- [22] 孙芳城,卢萍,闫彦彦. 中央与地方政府生态环保行为的演化博弈分析[J]. 财会通讯,2022(12):92-100.
- [23] Zhang Z,Ushio T,Wang Y,et al. Asymptotic stability analysis of time delayed fractional-order replicator dynamics with government's intervention[J]. Neurocomputing,2024,608:128359.
- [24] 董雨,刘佳旭,韦玉婷,等. 碳核查合谋行为的奖惩动态性与时滞性研究[J]. 中国人口·资源与环境,2024(10):30-44.
- [25] da Silva Rocha A B,Salomão G M. Environmental policy regulation and corporate compliance in evolutionary game models with well-mixed and structured populations[J]. European Journal of Operational Research,2019,279(2):486-501.
- [26] Xu H,Shen L,Cui Y,et al. Multi-agent collaborative management of coastal pollution from land-based sources from the perspective of emissions trading: An evolutionary game theory approach[J]. Ocean and Coastal Management,2024,251:107067.
- [27] 周英男,黄赛,宋晓曼. 政策扩散研究综述与未来展望[J]. 华东经济管理,2019(5):150-157.
- [28] 王钰文,王茂福. 农村集体经济中的委托代理关系与机会主义行为研究——基于 S 省 Q 村的实地调查[J]. 农业经济问题,2022(10):72-83.
- [29] 吴勋,任轶男. 财政涉农资金审计趋势演变与问责整改研究[J]. 会计之友,2024(6):147-153.
- [30] 刘明辉,汪玉兰. 国家治理现代化视域下审计功能的演进逻辑与治理效能研究[J]. 南京审计大学学报,2026(2):13-22.
- [31] 马志娟,殷方宁. 自然资源资产离任审计、环境注意力与环境治理效率[J]. 审计与经济研究,2023(6):1-11.
- [32] 许宁宁,王佳慧. 政府环境审计、审计信息化建设与绿色新质生产力[J]. 南京审计大学学报,2026(3):36-46.
- [33] Lyapunov A M. The general problem of the stability of motion[J]. International Journal of Control,1992,55(3):531-534.
- [34] 赵晓颖. 蔬菜家庭农场绿色生产行为研究[D]. 济南:山东农业大学,2022.
- [35] 乔玉辉,李强,甄华杨,等. 京郊有机作物种植的经济效益与环境影响[J]. 中国生态农业学报,2024(11):1940-1953.

[责任编辑:刘 茜]

An Evolutionary Game Analysis of the Spatiotemporal Dynamics in Government Audit for Green Subsidy Fraud Prevention: Based on CA-ABM Simulation

DAI Ying^{a,b}, ZHAO Chen^{a,b}

(a. School of National Audit; b. Institute of Natural Resources and Environmental Auditing, Nanjing Audit University, Nanjing 211815, China)

Abstract: Amid accelerating agricultural green transformation, green-ecology-oriented subsidy policies face dual risks of “green fraud” by agricultural entities and regulatory slackness by local authorities, undermining policy goals. To analyze the role of national audit in risk prevention and policy assurance, this paper develops a tripartite evolutionary game model among audit institutions, local regulators, and agricultural entities, integrated with Cellular Automata and Agent-Based Modeling (CA-ABM) to simulate spatiotemporal strategy dynamics. The findings show: (1) Audit strategy drives system convergence; its decision logic shifts from investigating violations and recovering funds under limited coverage to pursuing public value under full coverage. (2) The audit coverage ceiling exerts a threshold effect on farmer compliance and structurally constrains regulatory compliance—given a fixed coverage level, risk-oriented spatial allocation outperforms decentralized random inspection, while centralized distribution is least effective. (3) Audit deterrence continuity matters more than single-coverage intensity; excessively long intervals trigger periodic system oscillations, thwarting the eradication of recurrent violations even with a raised coverage ceiling. (4) Single-policy adjustments cannot overcome the evolutionary game's dilemmas—ideal equilibrium requires simultaneously aligned incentives across auditors, regulators, and farmers.

Key Words: green fraud; national audit; rural revitalization; agricultural subsidy; agricultural and rural audit; green production; national governance