

政府监管与农户碳行为响应： 农村环境共治的演化稳定性仿真

高艳红 刘桂林

(重庆师范大学 经济与管理学院,重庆 401331)

摘要:我国农村生态环境呈现多重污染交织状态,且政府、企业与村民存在不同的利益诉求和行为动机冲突,严重制约了农村可持续发展。在共治视角下,考虑将村民视为核心治理力量,并引入碳奖惩机制,建立村镇企业、地方人民政府和当地村民三方协同治理的农村环境演化博弈模型,运用数值仿真分析各演化博弈主体的行为策略选择和稳定性条件。研究结果显示:地方人民政府、村镇企业与村民在共同治理农村环境中相互影响、相互制约,对村民制定合理的碳奖惩机制最终会达成三方协同合作的理想治理模式。在合理的碳奖惩机制下,村镇企业和村民能积极地参与到农村环境治理中,当奖惩力度超过了某一“临界值”时,其合作行为会逐渐演化为企业严格减排和村民主动参与治理的稳定策略。

关键词:农村环境治理;政府监管;协同治理;演化博弈;仿真分析

中图分类号:X322;F323;F224

文献标识码:A

文章编号:1673-0429(2025)05-0118-16

DOI:10.19742/j.cnki.50-1164/C.250511

一、引言

党的二十大报告提出,到2035年将广泛形成绿色生产生活方式,碳排放达峰后稳中有降,生态环境根本好转。美丽中国建设的关键阶段性目标是改善城乡人居环境,协同推进降碳减污,推进绿色低碳发展。美丽乡村建设旨在实现农村社会、经济与生态环境的协同发展^[1-2]。改革开放以来,农村经济发展伴随环境问题凸显^[3],这不仅影响农民福祉,更关系到国家的长远发展^[4-6]。目前,农村污染主要源于资源利用不当^[7]、工业影响^[8-9]及村民不良生活习惯^[10-12]。由于环境问题的多元性^[13]和复杂性^[14-15],单一主体治理已难以应对,亟待构建制度协同与行为激励下的帕累托最优协同治理机制^[16-17]。

目前学界对于“农村环境治理”的研究可归为三类。第一,自上而下的政府主导型治理模式,政府需承担最主要的治理责任^[18],还需积极引导其他主体参与到农村环境治理^[19-20]。在这种模式下能在短期内集中人力财力解决突出的环境问题^[21],但过分依赖财政投入,使村民形成“等靠要”心态,缺乏内

收稿日期:2025-04-03

作者简介:高艳红,女,管理学博士,重庆师范大学经济与管理学院副教授,主要研究方向:农村环境管理、资源环境管理。

基金项目:重庆市教委科技重点项目“电动汽车废旧动力电池循环网络层级间信任合作机制研究”(KJZD-K202300508)。

生动力^[22]。第二,农民参与式模式,在这一视角下则强调发挥村民主体作用,加强公民赋权与自主治理是实现农民参与环境治理的内在机制^[23-24]。村民直接参与环境治理决策,具有显著的内生动力^[25],但这种模式应当避免陷入“要么政府包办,要么村民自生自灭”的二元对立^[26]。第三,探讨多元主体互动解决农村环境治理难题,当今面临的农村环境问题具有复杂性,需建立一个多元协同治理体系^[27-28],全面提高环境治理成效^[29-30]。多元协同治理是破解农村环境治理难题的关键路径^[31]。如沈贵银等构建了“政府—企业—农户”三维治理框架,通过责任边界界定与协同机制设计,实现了行政规制、市场激励与社区自治的有机整合^[32]。该模式突破了单一主体治理的局限性,在治理效能提升与制度创新方面具有显著价值。碳奖惩机制是指通过经济激励与约束手段,调节组织与个人碳排放行为的一系列政策与法规,旨在降低高能耗和减少环境污染。政府通过构建碳交易、碳税及碳补贴等机制,可有效激励企业实施低碳生产^[33];陆秋琴等引入动态惩罚与补贴政策,分析政企互动机制,发现碳税与补贴政策协同能够提升企业减排积极性^[34]。近年来,国内外广泛探索此类机制,如日本的环保积分、荷兰的绿色回馈制度,以及我国部分城市推行的低碳行为兑换绿色积分的活动^[35-36]。然而,现有研究多聚焦于政府与企业层面,村民常被视为监督者而非参与主体^[37],且机制设计多围绕企业减排和城市居民的环保行为,针对农村环境治理中的村民碳奖惩机制研究仍较为不足。

在研究方法上,演化博弈突破了传统博弈论的完全理性假设,以有限理性为基础构建动态分析框架,揭示系统均衡的形成路径^[38]。该理论在环境治理研究中展现出独特价值,在政企互动层面,汤弘茜等构建的博弈模型揭示了政府规制如何激励企业主动治污^[39];企业间博弈研究则聚焦碳排放治理的协同机制^[40]。值得注意的是,多主体参与模式成为研究新趋势^[41-43],如廖卫东等构建的三方博弈框架系统解析了农村污染治理难题^[44]。更具创新性的是,何奇龙等将村民评价纳入绩效体系,通过演化博弈揭示了环境治理众筹的内生动力机制,为基层环境共治提供了新思路^[45]。

综上所述,学界日益关注环境政策在农村治理中的作用,然而现有研究多集中于其对企业的规制效应,较少探讨环境政策对村民参与行为的引导作用。引入针对村民的碳奖惩机制,有助于拓展农村环境治理的研究维度。由此,本文构建包含“地方人民政府—村镇企业—当地村民”的三方演化博弈模型,将村民作为独立主体,引入碳补贴与碳惩罚等参数,分析三方策略互动与行为选择。进一步通过数值仿真,量化环境政策强度,识别政府对村民与企业实施碳奖惩的临界条件,直观比较不同政策的效果,以期在农村环境治理提供理论参考与实践依据。

二、农村环境治理机理分析

(一)农村环境治理的利益相关者分析

利益相关者分析需从理性层面与过程层面双向展开,理性层面聚焦治理主体间的权益关系,过程层面关注利益协调机制的动态运行及其与预设治理模式的契合度。在农村环境治理系统中,地方人民政府、污染企业、村民等差异化治理主体通过参与环境资源分配,其行为直接影响环境质量,并受环境变化的反向作用,构成复杂的治理互动关系^[46-47]。从利益相关者角度,对地方人民政府在农村环境治理中的角色定位、村镇企业的理性特性以及村民的环境权益三个方面进行分析,三者的关系如图1所示。

在图1中,地方人民政府为追求财政收入最大化,弱化环境监管职责,通过简化审批程序、降低准入门槛等手段,主动引入高污染高能耗企业入驻农村^[48]。村镇企业通过高污染原始加工实现短期盈利。同时,村民在环境治理中既是利益共享者,也是责任规避者,基于对环境公共物品的“机会主义认知偏差”分析,村民倾向于将环境治理责任外部化,但共享治理成果。环境效益的长期性与个体理性决策的

冲突,进一步强化了“搭便车”行为。

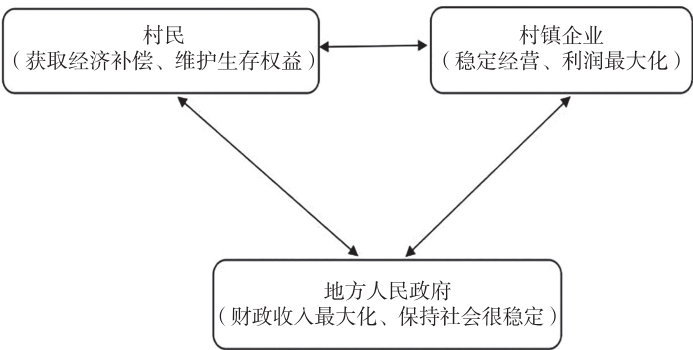


图 1 农村环境治理中的利益相关者关系

(二)农村环境治理行为决策分析

在农村环境治理中,地方人民政府、村镇企业与村民形成动态耦合关系。地方人民政府通过构建碳奖惩体系,运用碳税、碳补贴等政策工具引导村镇企业实施低碳生产,并对违规排放行为进行生态修复干预。同时,通过发放碳补贴与开展环保教育,引导村民践行绿色生活方式。村镇企业作为地方财政支柱与环境破坏主体,在享受碳补贴激励的同时,面临因道德风险引发的投机行为。村民作为环境改善的最大受益者,其参与可推动政府与村镇企业环境治理观念的转变,并通过政府激励机制享受环境改善的正向收益。基于各主体的行为策略分析,构建了农村环境治理三方演化博弈之间的行为策略关系图,如图 2 所示。

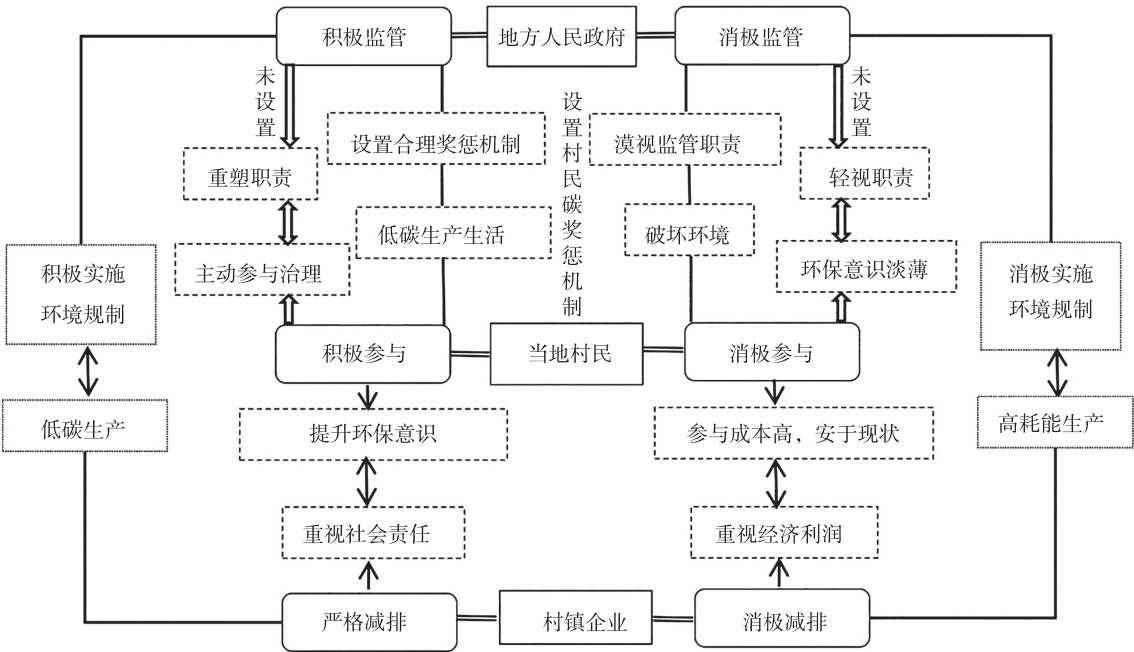


图 2 共治视角下农村环境治理演化博弈模型逻辑关系图

基于上述利益相关者行为和决策分析框架,本文构建包含“政府监管成本—村镇企业减排成本—村民参与成本”的三方支付函数,将“村民碳奖惩”作为关键调节变量纳入模型,量化分析其对演化路径的影响。

三、农村环境治理演化博弈模型构建与分析

(一)基础模型:未引入村民碳奖惩机制的博弈模型

1. 模型设计与假设

为构建农村环境治理博弈模型,提出以下假设:

假设 1:我国农村环境治理决策是一种在不确定情境下,由政府、村镇企业与村民构成共同参与的风险决策行为。各主体均为有限理性的,遵循着信息不完全对称的基本假设。

假设 2:地方人民政府的策略集合为{积极监管;消极监管};村镇企业的策略集合为{严格减排;消极减排};村民的策略集合为{积极参与;消极参与}。村镇企业采取严格减排的概率为 x ,消极减排的概率 $1-x$;政府采取积极监管的概率为 y ,消极监管的概率 $1-y$;村民选择积极参与的概率为 z ,消极参与的概率 $1-z$ 。满足: $x,y,z \in [0,1]$ 。

假设 3:当地方人民政府采取积极监管策略时,需要承担相应的监督和治理成本 C_g ,但能够获得显著的声誉收益 G_g 。这种积极监管行为通过提高环境治理绩效,向公众和上级政府传递出较强的执政能力信号,从而增强政府的公信力。反之,若地方人民政府选择消极监管,虽可减少短期内的监管成本,但可能因环境事故或环境相关项目失败而损害政府形象,造成严重的声誉损失 L_g 。

假设 4:村镇企业的生产经营收益为 R_e ,当村镇企业选择积极减排策略时,需承担减排成本 C_e ,但可获得政府环保补贴 H_e 。若村镇企业选择消极减排策略,虽然可获得额外收益 E_e ,但同时面临两种风险:一是政府监管带来的碳税罚款 NT (其中 N 为超额排放量, T 为单位碳税税额),二是村民积极参与环境治理可能带来的其他成本。

假设 5:村民在维持正常生产活动时可获得基础收益 R_v 。若选择主动参与环境治理,需承担参与成本 C_v ,但能有效改善村庄生态环境质量,并创造更优质的公共环境 W_v ;反之,若村镇企业实施消极减排策略,村民将面临环境污染导致的农业生产效率下降、生活品质降低等一系列负面效应 N_v ,这将直接损害村民的长期福利。

表 1 模型参数及其含义

符号	含义
R_e	村镇企业的生产经营收益
C_e	村镇企业购买净化设备以及投入维护设备和人员管理费用
H_e	村镇企业得到的碳减排补贴
E_e	村镇企业超标排放得到的额外收益
NT	村镇企业缴纳的碳税
R_g	地方人民政府的基本收益
C_g	地方人民政府的监督管理与治理的成本
G_g	地方人民政府选择加强监管并积极治理环境获得的声誉收益
L_g	地方人民政府消极监管时造成的声誉损失
R_v	当地村民正常的生产收益
C_v	当地村民参与环境治理的参与成本
W_v	环境收益,直接或间接获得的经济、生态和社会福利改善
N_v	负面效益,损害村民健康和生计可持续性的隐性负面影响

2. 支付函数构建

根据上述假设,可以得出模型 1 在不同策略下博弈的支付矩阵(见表 2)。

表 2 三方博弈的收益支付矩阵

村镇企业/地方人民 政府/当地村民	积极监管		消极监管
	积极参与	消极参与	积极参与
严格减排	$R_e - C_e + H_e$	$R_e - C_e + H_e$	$R_e - C_e$
	$R_g - C_g - H_e + G_g$	$R_g - C_g - H_e + G_g$	$R_g - L_g - H_v$
	$R_v - C_v + W_v$	R_v	$R_v - C_v + W_v + H_v$
消极减排	$R_e + E_e - NT$	$R_e + E_e - NT$	$R_e + E_e$
	$R_g - C_g + G_g + NT$	$R_g - C_g + G_g + NT$	$R_g - L_g$
	$R_v - C_v + W_v$	$R_v - N_v$	$R_v - C_v + W_v - N_v$

村镇企业选择“严格减排”、“消极减排”的期望收益与平均期望收益分别为:

$$\begin{aligned}
 U_{e1} &= yz(R_e - C_e + H_e) + y(1-z)(R_e - C_e + H_e) + (1-y)z(R_e - C_e) + (1-y)(1-z)(R_e - C_e), \\
 U_{e2} &= yz(R_e + E_e - NT) + y(1-z)(R_e + E_e - NT) + (1-y)z(R_e + E_e) + (1-y)(1-z)(R_e + E_e), \\
 U_e &= xU_{e1} + (1-x)U_{e2} = E_e + R_e - xC_e - xE_e - yNT + xyH_e + xyNT).
 \end{aligned}$$

村镇企业的复制动态方程为:

$$F_{e(x)} = dx/dt = x(1-x)(-E_e - C_e + yH_e + yNT), \quad (1)$$

地方人民政府的复制动态方程为:

$$F_{g(y)} = dy/dt = y(1-y)(G_g - C_g + L_g + NT - xH_e - xNT), \quad (2)$$

当地村民的复制动态方程为:

$$F_{v(z)} = dz/dt = z(1-z)(W_v - C_v + yN_v - xyN_v). \quad (3)$$

3. 演化稳定策略分析

要达到均衡稳定,根据 Friedman 提出的理论,则需要满足 $F_{e'(x)} < 0, F_{g'(y)} < 0, F_{v'(z)} < 0$ 。对 $F_{e(x)}, F_{g(y)}, F_{v(z)}$ 分别求一阶导数得:

$$F'_e(x) = (1-2x)(-E_e - C_e + yH_e + yNT), \quad (4)$$

$$F'_g(y) = (1-2y)(G_g - C_g + L_g + NT - xH_e - xNT), \quad (5)$$

$$F'_v(z) = (1-2z)(W_v - C_v + yN_v - xyN_v). \quad (6)$$

(1) 村镇企业的演化稳定策略

由式(4)可知, $yH_e + yNT - E_e - C_e = 0$ 是村镇企业演化稳定状态分界线。当 $yH_e + yNT - E_e - C_e = 0$ 时,表示村镇企业任何行为选择均是稳定策略。当 $yH_e + yNT - E_e - C_e < 0$ 时,则有 $F_{e'(0)} < 0, F_{e'(1)} > 0, x = 0$ 是演化稳定策略。同理,当 $yH_e + yNT - E_e - C_e > 0$ 时, $x = 1$ 是演化稳定策略,则表示村镇企业积极减排是稳定状态。

(2) 地方人民政府的演化稳定策略

由式(5)可知, $G_g - C_g + L_g + NT - xH_e - xNT = 0$ 是政府演化稳定状态分界线。当 $G_g - C_g + L_g + NT - xH_e - xNT = 0$ 时,表示地方人民政府任何行为选择均是稳定策略。当 $G_g - C_g + L_g + NT - xH_e - xNT < 0$ 时,则有 $F_{g'(0)} < 0, F_{g'(1)} > 0, y = 0$ 是演化稳定策略。同理,当 $G_g - C_g + L_g + NT - xH_e - xNT > 0$ 时, $y = 1$ 是演化稳定策略,则表示地方人民政府积极监管是稳定状态。

(3) 村民的演化稳定策略

由式(6)可知, $W_v - C_v + yN_v - xyN_v = 0$ 是当地村民演化稳定状态分界线。当 $W_v - C_v + yN_v - xyN_v = 0$ 时, 表示村民任何行为选择均是稳定策略。当 $W_v - C_v + yN_v - xyN_v < 0$ 时, 则有 $F_{v(0)}' < 0, F_{v(1)}' > 0, z = 0$ 是演化稳定策略。同理, 当 $W_v - C_v + yN_v - xyN_v > 0$ 时, $z = 1$ 是演化稳定策略, 则表示村民积极参与是稳定状态。

4. 平衡点稳定性分析

联立上述三个主体的复制动态方程式(1)~(3), 令 $F_{e(x)} = 0, F_{g(y)} = 0, F_{v(z)} = 0$, 可得八个纯策略系统均衡点。根据 Friedman 提出的方法, 通过雅可比矩阵来分析均衡点的局部稳定性, 雅可比矩阵如下:

$$J = \begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} & J_{13} \\ J_{21} & J_{22} & J_{23} \\ J_{31} & J_{32} & J_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_{e(x)}}{\partial x} & \frac{\partial F_{e(x)}}{\partial y} & \frac{\partial F_{e(x)}}{\partial z} \\ \frac{\partial F_{g(y)}}{\partial x} & \frac{\partial F_{g(y)}}{\partial y} & \frac{\partial F_{g(y)}}{\partial z} \\ \frac{\partial F_{v(z)}}{\partial x} & \frac{\partial F_{v(z)}}{\partial y} & \frac{\partial F_{v(z)}}{\partial z} \end{bmatrix},$$

求得:

$$\begin{cases} J_{11} = (1-2x)(-E_e - C_e + yH_e + yNT), \\ J_{12} = -x(x-1)(H_e + NT), \\ J_{13} = 0, \\ J_{21} = y(y-1)(H_e + NT), \\ J_{22} = (1-2y)(G_g - C_g + L_g + NT - xH_e - xNT), \\ J_{23} = 0, \\ J_{31} = z(z-1)yN_v, \\ J_{32} = -z(z-1)(H_v - xN_v), \\ J_{33} = (1-2z)(H_v - C_v + W_v + yN_v - xyN_v). \end{cases}$$

根据李雅普诺夫第一法则可知, 若雅可比矩阵所有特征值均具有负实部时, 该均衡点是渐进稳定点; 反之, 则是非稳定点。其行列式的特征值稳定性结果如下表 3 所示。

表 3 雅可比矩阵特征值

平衡点	特征值 λ_1	特征值 λ_2	特征值 λ_3	稳定性结论
$E_1(0,0,0)$	$-C_e - E_e$	$G_g - C_g + L_g + NT$	$-C_v + W_v$	情形 1
$E_2(0,0,1)$	$-C_e - E_e$	$G_g - C_g + L_g + NT$	$C_v - W_v$	不稳定点
$E_3(0,1,0)$	$H_e - E_e - C_e + NT$	$C_g - G_g - L_g - NT$	$-C_v + N_v + W_v$	情形 2
$E_4(1,0,0)$	$C_e + E_e$	$G_g - C_g - H_e + L_g$	$-C_v + W_v$	不稳定点
$E_5(1,1,0)$	$C_e + E_e - H_e - NT$	$C_g - G_g + H_e - L_g$	$-C_v + W_v$	情形 3
$E_6(1,0,1)$	$C_e + E_e$	$G_g - C_g - H_e + L_g$	$C_v - W_v$	不稳定点
$E_7(0,1,1)$	$H_e - E_e - C_e + NT$	$C_g - G_g - L_g - NT$	$C_v - N_v - W_v$	情形 4
$E_8(1,1,1)$	$C_e + E_e - H_e - NT$	$C_g - G_g + H_e - L_g$	$C_v - W_v$	不稳定点

情形 1: 当 $G_g + L_g + NT < C_g$ 时, 此时, $E_1(0,0,0)$ 的特征值都为负, 此情境下 E_1 为均衡稳定点。该情境下会使得农村环境受到较大污染。

情形 2: 当 $H_e + NT < E_e + C_e, C_g < G_g + L_g + NT, N_v + W_v < C_v$ 时, E_3 为均衡稳定点, 政府监督可有效抑制村镇企业的消极减排行为, 而村民参与的缺失将显著削弱环境治理成效。此情形揭示了政府规制与公众参

与在环境治理中的互补性与协同的必要性。

情形 3:当 $C_e + E_e < H_e + NT$ 、 $C_g + H_g < G_g + L_g$ 时, E_5 为均衡稳定点, 该策略组合下村镇企业积极减排, 并且政府积极监督, 但村民没有积极参与, 环境改善程度较小。

情形 4:当 $H_e + NT < E_e + C_e$ 、 $C_g < G_g + L_g + NT$ 、 $C_v < N_v + W_v$ 时, E_7 为均衡稳定点, 在政府监管框架下, 环境恶化趋势已初步遏制, 但村镇企业制度约束不足与执行力缺失, 使得环境质量提升仍面临瓶颈, 故而环境治理需强化政策工具的刚性约束。

(二) 优化模型: 引入村民碳奖惩机制的博弈模型

1. 模型设计与假设

为考虑设置村民碳奖惩机制, 提出新的假设:

假设 6:村民的正常生产收益为 R_v 。若其积极参与环境治理(如使用清洁能源、有机肥料或举报排污企业), 需承担额外成本 C_v , 但同时可获得环境改善效益 W_v 。若村镇企业超标排污, 将造成环境恶化, 对村民产生负面效益 N_v 。政府将对村民的低碳行为或举报行为给予奖励 H_v , 涉事企业亦须支付赔偿 S_v ; 反之, 若村民采取高碳行为且被政府发现, 将面临碳惩罚 P_v 。

表 4 模型参数及其含义

符号	含义
R_v	村民正常的生产收益
C_v	村民参与环境治理的参与成本
W_v	环境收益, 直接或间接获得的经济、生态和社会福利改善
N_v	负面效益, 损害村民健康和生计可持续性的隐性负面影响
H_v	村民积极参与环境治理得到地方人民政府的奖励
S_v	村民得到村镇企业的赔偿
P_v	村民消极参与环境治理接受惩罚

2. 支付函数构建

根据上述假设, 可以得出模型 II 的支付矩阵(见表 5)。

表 5 三方博弈的收益支付矩阵

村镇企业/地方人民 政府/当地村民	积极监管		消极监管	
	积极参与	消极参与	积极参与	消极参与
严格减排	$R_e - C_e + H_e$	$R_e - C_e + H_e$	$R_e - C_e$	$R_e - C_e$
	$R_g - C_g - H_e + G_g$	$R_g - C_g - H_e + G_g + P_v$	$R_g - L_g - H_v$	$R_g - L_g$
	$R_v - C_v + W_v + H_v$	$R_v - P_v$	$R_v - C_v + W_v + H_v$	R_v
消极减排	$R_e + E_e - NT - S_v$	$R_e + E_e - NT$	$R_e + E_e$	$R_e + E_e$
	$R_g - C_g - H_v + G_g + NT$	$R_g - C_g + G_g + NT + P_v$	$R_g - L_g - H_v$	$R_g - L_g$
	$R_v - C_v + W_v + S_v + H_v$	$R_v - N_v - P_v$	$R_v - C_v + W_v - N_v + H_v$	$R_v - N_v$

村镇企业、地方人民政府和当地村民的复制动态方程分别为:

$$F_{e(x)} = x(1-x)(-E_e - C_e + yH_e + yNT + yzS_v), \quad (7)$$

$$F_{g(y)} = y(1-y)(G_g - C_g + L_g + NT - xH_e - xNT), \quad (8)$$

$$F_{v(z)} = z(1-z)(H_v - C_v + W_v + yN_v + yP_v + yS_v - xyN_v - xyS_v). \quad (9)$$

3. 演化稳定策略分析

要达到均衡稳定,根据 Friedman 提出的理论,则需要满足 $F_{e'(x)} < 0$ 、 $F_{g'(y)} < 0$ 和 $F_{v'(z)} < 0$ 。对 $F_{e(x)}$ 、 $F_{g(y)}$ 、 $F_{v(z)}$ 分别求一阶导数得:

$$F'_e(x) = (1-2x)(-E_e - C_e + yH_e + yNT + yzS_v), \quad (10)$$

$$F'_g(y) = (1-2y)(G_g - C_g + L_g + NT + P_v - xH_e - xNT - zP_v + xzH_v), \quad (11)$$

$$F'_v(z) = (1-2z)(H_v - C_v + W_v + yN_v + yP_v + yS_v - xyN_v - xyS_v)。 \quad (12)$$

(1) 村镇企业的演化稳定策略

由式(10)可知, $yH_e + yNT + yzS_v - E_e - C_e = 0$ 是村镇企业演化稳定状态分界线,令 $a = yH_e + yNT + yzS_v - E_e - C_e$ 。当 $a=0$ 时,表示村镇企业任何行为选择均是稳定策略。当 $a<0$ 时,则有 $F_{e'(0)} < 0$, $F_{e'(1)} > 0$, $x=0$ 是演化稳定策略。同理,当 $a>0$ 时, $x=1$ 是演化稳定策略,表示村镇企业积极减排是稳定状态。

(2) 地方人民政府的演化稳定策略

由式(11)可知, $G_g - C_g + L_g + NT + P_v - xH_e - xNT - zP_v + xzH_v = 0$ 是政府演化稳定状态分界线,令 $b = G_g - C_g + L_g + NT + P_v - xH_e - xNT - zP_v + xzH_v$ 。当 $b=0$ 时,表示地方人民政府任何行为选择均是稳定策略。当 $b<0$ 时,则有 $F_{g'(0)} < 0$, $F_{g'(1)} > 0$, $y=0$ 是演化稳定策略。同理,当 $b>0$ 时, $y=1$ 是演化稳定策略,表示地方人民政府积极监管是稳定状态。

(3) 村民的演化稳定策略

由式(12)可知, $H_v - C_v + W_v + yN_v + yP_v + yS_v - xyN_v - xyS_v = 0$ 是当地村民演化稳定状态分界线,令 $c = H_v - C_v + W_v + yN_v + yP_v + yS_v - xyN_v - xyS_v$ 。当 $c=0$ 时,表示村民任何行为选择均是稳定策略。当 $c<0$ 时,则有 $F_{v'(0)} < 0$, $F_{v'(1)} > 0$, $z=0$ 是演化稳定策略。同理,当 $c>0$ 时, $z=1$ 是演化稳定策略,表示村民积极参与是稳定状态。

4. 平衡点稳定性分析

由上述主体的复制动态方程式(7)~(9),得出雅可比矩阵如下:

$$J = \begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} & J_{13} \\ J_{21} & J_{22} & J_{23} \\ J_{31} & J_{32} & J_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_{e(x)}}{\partial x} & \frac{\partial F_{e(x)}}{\partial y} & \frac{\partial F_{e(x)}}{\partial z} \\ \frac{\partial F_{g(y)}}{\partial x} & \frac{\partial F_{g(y)}}{\partial y} & \frac{\partial F_{g(y)}}{\partial z} \\ \frac{\partial F_{v(z)}}{\partial x} & \frac{\partial F_{v(z)}}{\partial y} & \frac{\partial F_{v(z)}}{\partial z} \end{bmatrix},$$

求得:

$$\begin{cases} J_{11} = (1-2x)(-E_e - C_e + yH_e + yNT + yzS_v), \\ J_{12} = -x(x-1)(H_e + NT + zS_v), \\ J_{13} = -xy(x-1)S_v, \\ J_{21} = y(y-1)(H_e + NT - zH_v), \\ J_{22} = (1-2y)(G_g - C_g + L_g + NT + P_v - xH_e - xNT - zP_v - xzH_v), \\ J_{23} = y(y-1)(P_v + xH_v), \\ J_{31} = z(z-1)(yN_v + yS_v), \\ J_{32} = -z(z-1)(H_v + P_v + S_v - xN_v - xS_v), \\ J_{33} = (1-2z)(H_v - C_v + W_v + yN_v + yP_v + yS_v - xyN_v - xyS_v)。 \end{cases}$$

求其行列式的特征值稳定性结果如表 6 所示。

表6 雅可比矩阵特征值

平衡点	特征值 λ_1	特征值 λ_2	特征值 λ_3	稳定性结论
$E_1(0,0,0)$	$-C_e - E_e$	$G_g - C_g + L_g + NT + P_v$	$H_v - C_v + W_v$	情形 1
$E_2(0,0,1)$	$-C_e - E_e$	$G_g - C_g + L_g + NT$	$C_v - H_v - W_v$	情形 2
$E_3(0,1,0)$	$H_e - E_e - C_e + NT$	$C_g - G_g - L_g - NT - P_v$	$H_v - C_v + N_v + P_v + S_v + W_v$	情形 3
$E_4(1,0,0)$	$C_e + E_e$	$G_g - C_g - H_e + L_g + P_v$	$H_v - C_v + W_v$	不稳定点
$E_5(1,1,0)$	$C_e + E_e - H_e - NT$	$C_g - G_g + H_e - L_g - P_v$	$H_v - C_v + P_v + W_v$	情形 4
$E_6(1,0,1)$	$C_e + E_e$	$G_g - C_g - H_e + H_v + L_g$	$C_v - H_v - W_v$	不稳定点
$E_7(0,1,1)$	$H_e - E_e - C_e + NT + S_v$	$C_g - G_g - L_g - NT$	$C_v - H_v - N_v - P_v - S_v - W_v$	情形 5
$E_8(1,1,1)$	$C_e + E_e - H_e - NT - S_v$	$C_g - G_g + H_e - H_v - L_g$	$C_v - H_v - P_v - W_v$	情形 6

情形 1:当满足 $G_g + L_g + NT + P_v < C_g$, $H_v + W_v < C_v$ 时,地方人民政府在碳治理中的监管成本超过其综合收益;村民参与的成本高于其直接收益。此时, $E_1(0,0,0)$ 的特征值都为负, E_1 为均衡稳定点。该情形下,农村环境会受到很大的污染。

情形 2:当 $G_g + L_g + NT < C_g$, $C_v < H_v + W_v$ 时,村民积极参与与获得的收益高于其参与成本。此时, $E_2(0,0,1)$ 为均衡稳定点,尽管村民积极性很高,但村镇企业消极,政府不作为,也会使得环境受到较大污染。

情形 3:当 $H_e + NT < E_e + C_e$, $C_g < G_g + L_g + NT + P_v$, $H_v + N_v + P_v + S_v + W_v < C_v$ 时,村镇企业消极减排的额外收益与规避的成本之和,若大于其所获碳补贴与所缴碳税之和,即构成其选择消极策略的临界条件。此时, $E_3(0,1,0)$ 为均衡稳定点。在情形下,尽管政府积极进行监督,环境不会加剧恶化,但环境也难以得到改善。

情形 4:当 $C_e + E_e < H_e + NT$, $C_g + H_e < G_g + L_g + P_v$, $H_v + P_v + W_v < C_v$ 时,若村镇企业的减排净收益为正,地方人民政府的监管净收益超过成本,而村民的参与成本高于其总收益,则构成一个稳定均衡 E_5 ,此时环境改善程度有限。

情形 5:当 $H_e + NT + S_v < E_e + C_e$, $C_g < G_g + L_g + NT$, $C_v < H_v + N_v + P_v + S_v + W_v$ 时,村镇企业的减排净收益需大于总补贴与成本,地方人民政府的监管净收益需大于声誉损失,村民参与净收益需大于惩罚成本。此时,该组合策略为均衡稳定点 E_7 ,但因村镇企业不作为,非帕累托最优组合,未能实现环境改善与经济激励的协同优化。

情形 6:当 $C_e + E_e < H_e + NT + S_v$, $C_g + H_e < G_g + H_v + L_g$, $C_v < H_v + P_v + W_v$ 时,即村镇企业减排净成本小于政策激励总和,政府监管净支出小于监管综合收益,村民参与成本小于综合收益时,该组合策略构成均衡稳定点 E_8 。在该均衡状态下,三方主体均采用最优策略,形成帕累托最优的协同治理机制,能有效破解农村环境治理中的集体行动困境。

四、仿真分析

(一) 基础博弈模型仿真

1. 系统稳定性检验

为更直观地揭示参数对系统演化的影响,在博弈理论分析的基础上,本文进一步采用 Matlab2021a 进行数值仿真,分析各方策略选择。参考既有文献^[49-50]的赋值方法,结合参数间的约束关系与实际情况,对模型变量予以合理赋值。后文图 3 至图 10 中, x 、 y 、 z 轴分别表示村镇企业严格减排概率、政府积

极监管概率与村民积极参与概率。

设数组 1: $R_g = 35, C_g = 25, G_g = 25, L_g = 30, R_e = 50, C_e = 45, H_e = 18, E_e = 16, NT = 28, R_v = 25, C_v = 26, W_v = 9, N_v = 7$ 。

各参数满足模型 I 情形 2 中的参数条件。在初始阶段,政府面临着舆论和环境退化的压力,当村镇企业倾向于消极减排时,政府对其采取措施,引导各方积极参与环境治理。政府开始选择监管策略时,由于奖惩力度小或渠道不完善等因素,村镇企业和村民仍会选择参与治理,最终三方在 $E_3(0,1,0)$ 达到平衡后,结果如图 3 所示。

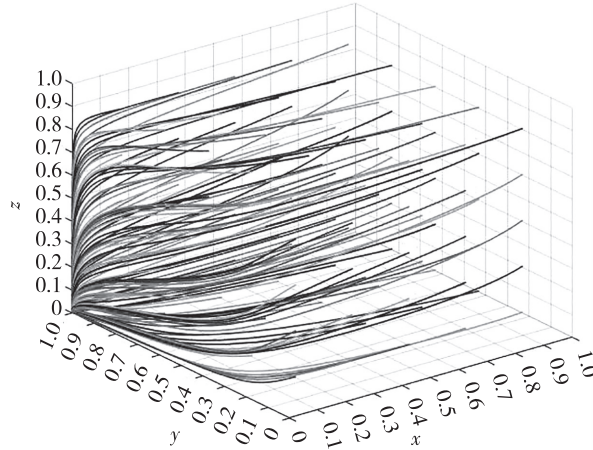


图 3 $E_3(0,1,0)$ 的稳定性检验

数组 2: $R_g = 35, C_g = 30, G_g = 25, L_g = 30, R_e = 50, C_e = 45, H_e = 24, E_e = 16, NT = 38, R_v = 25, C_v = 26, W_v = 9, N_v = 7$ 。

在满足模型 I 情形 3 的参数条件下,结果表明(图 4):系统经过 100 次演化后,无论初始策略如何,最终均稳定收敛于均衡点 E_5 ,验证了理论模型的正确性。具体表现为,政府提升对村镇企业的奖惩力度,且监管成本较低时,其监管意愿显著增强,进而促使企业减排概率提升。该结论揭示了政策强度与监管成本对政企行为的协同影响机制。

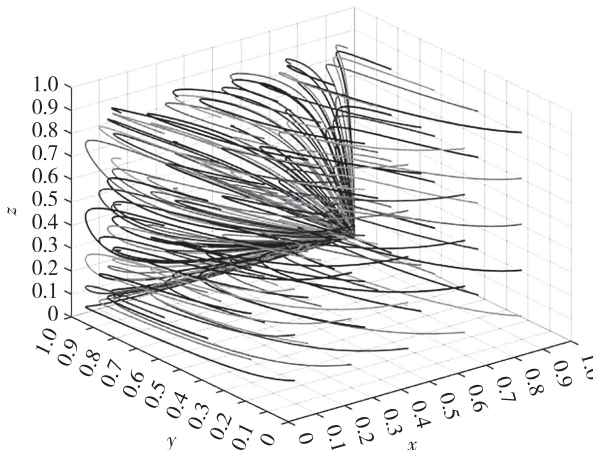


图 4 均衡点 $E_5(1,1,0)$ 的稳定性检验

2. 地方人民政府对村镇企业严格减排时的碳补贴 H_e

基于初始策略概率 $(0.5, 0.5, 0.5)$, 本研究通过控制变量法考察碳补贴强度对系统演化的影响。

分析模型 I 在情形 3 下政府对村镇企业严格减排时激励补贴力度的变化对系统演化结果的影响,改变碳补贴 H_e 的取值,设置两组实验参数:第一组梯度变化(5~25),第二组精细调节(21~25)。参照文献^[22-23]方法,设定 50 次演化周期(下同),仿真结果如图 5 所示。

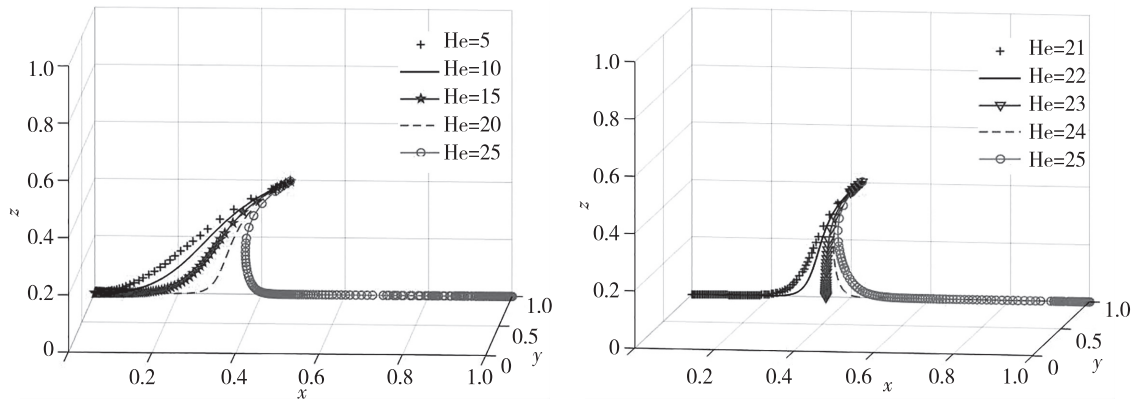


图 5 H_e 对系统演化结果的影响

仿真结果表明(图 5),碳补贴强度存在 22~24 的临界区间。当 H_e 小于 22 时,系统稳定于 E_3 ;当 H_e 大于 24 时,则收敛至 E_5 。这一非线性突变特征揭示了环境治理中“最小有效补贴”机制的存在,只有当补贴强度突破阈值($H_e \approx 23$)时,方能触发企业减排策略的质变。该发现为制定精准化环境激励政策提供了重要理论依据。

3. 村镇企业消极减排时,政府对其的碳税罚款 NT

为分析模型 I 情形 3 下碳税惩罚力度对系统演化的影响,固定其余参数,分别对碳税惩罚 NT 赋予两组数值:第一组为 10~50,第二组为 41~45,并进行 50 次演化迭代,仿真结果如图 6 所示。

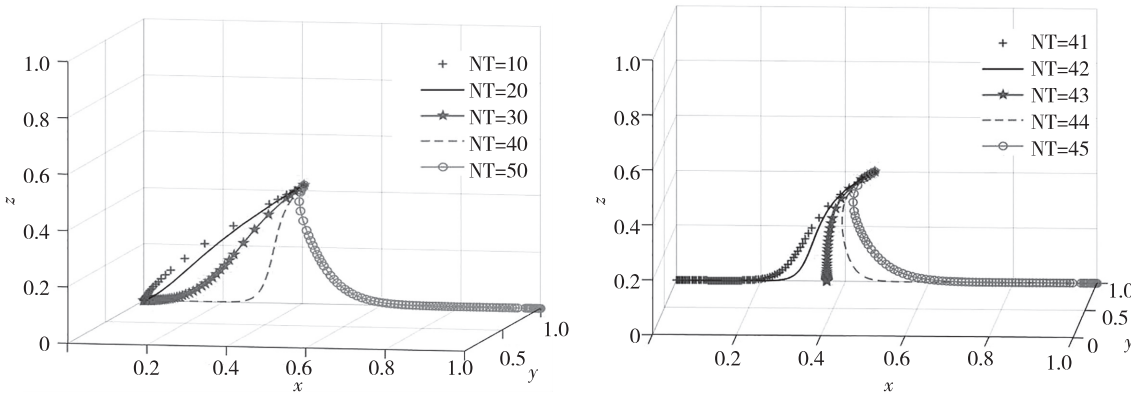


图 6 NT 对系统演化结果的影响

如图 6 所示,随着碳税惩罚力度的提高,系统演化稳定点由 E_3 逐渐转向 E_5 。碳税惩罚的临界值处于 42~44 之间,若惩罚力度低于该阈值,系统将收敛于 E_3 ,即企业消极减排、政府积极监管、村民消极参与。此时,较低的惩罚无法对企业形成有效约束,企业仍倾向于维持原有策略。一旦惩罚超过该临界值,系统则稳定于 E_5 。较高惩罚显著增加排放成本,促使企业为规避罚款而选择严格减排,同时政府也因罚款收入部分抵销监管成本而更加积极地进行监管。演化速率随惩罚力度增大而加快,反映出碳税政策具有明显的行为引导效果。研究表明,合理设置碳税阈值对激励企业减排至关重要,建议对违规企业施以较高税率,以有效提升其减排积极性,并对达标企业给予税率优惠以实现最优减排激励效果。

(二) 优化博弈模型仿真分析

1. 系统稳定性检验

设定数组 3: $R_g=35, C_g=30, G_g=25, L_g=30, R_e=50, C_e=45, H_e=24, E_e=16, NT=38, R_v=25, C_v=26, W_v=9, N_v=7, H_v=3, S_v=1, P_v=2$ 。

在模型 II 情形 4 的参数条件下, 仿真结果显示: 当村镇企业和村民初始选择不参与策略时, 政府实施监管策略。值得注意的是, 由于对村民的奖惩力度不足, 未能突破其参与阈值, 三方博弈最终稳定于 E_5 均衡点。这一现象揭示了环境治理中“激励失灵”问题, 表明现有奖惩机制对村民行为的影响存在显著的门槛效应。

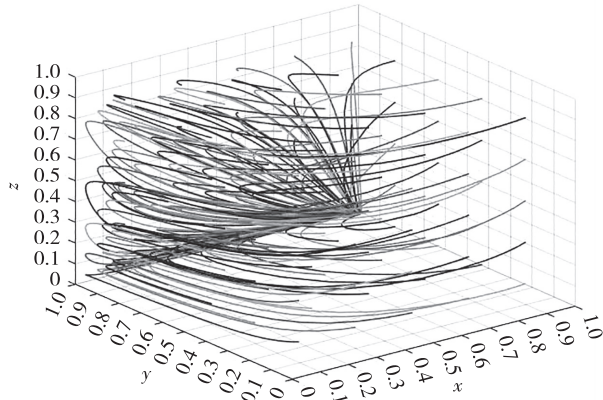


图 7 $E_5(1, 1, 0)$ 的稳定性检验

数组 4: $R_g=35, C_g=30, G_g=25, L_g=30, R_e=50, C_e=45, H_e=24, E_e=16, NT=38, R_v=25, C_v=26, W_v=9, N_v=7, H_v=13, S_v=8, P_v=8$ 。

在模型 II 情形 6 的参数条件下, 将设定参数代入并进行 100 次演化迭代, 仿真结果如图 8 所示, 与演化稳定性分析一致, 验证了模型的有效性。此阶段政府通过加大对村民的奖励与惩罚力度, 并以较低的监管成本实现更有效的监管, 显著提高了村民积极参与环境治理的概率。

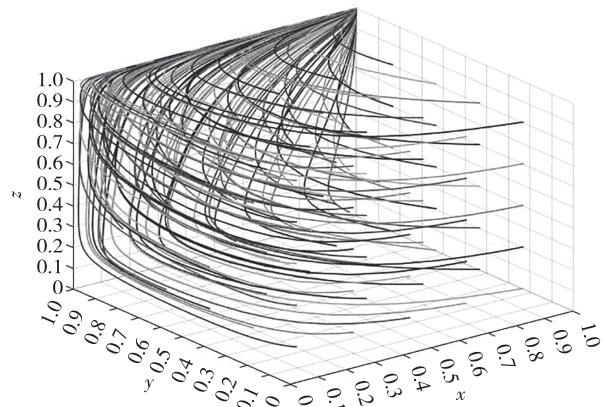


图 8 均衡点 $E_8(1, 1, 1)$ 的稳定性检验

2. 地方人民政府对村民积极参与环境治理时的碳补贴 H_v

为分析模型 II 情形 4 下碳补贴力度对系统演化的影响, 在保持其他参数不变的条件下, 分别对碳补贴 H_v 赋予两组数值: 第一组为 1、3、5、7、9, 第二组为 8~12。对复制动态方程进行 50 次迭代仿真, 结果如图 9 所示。

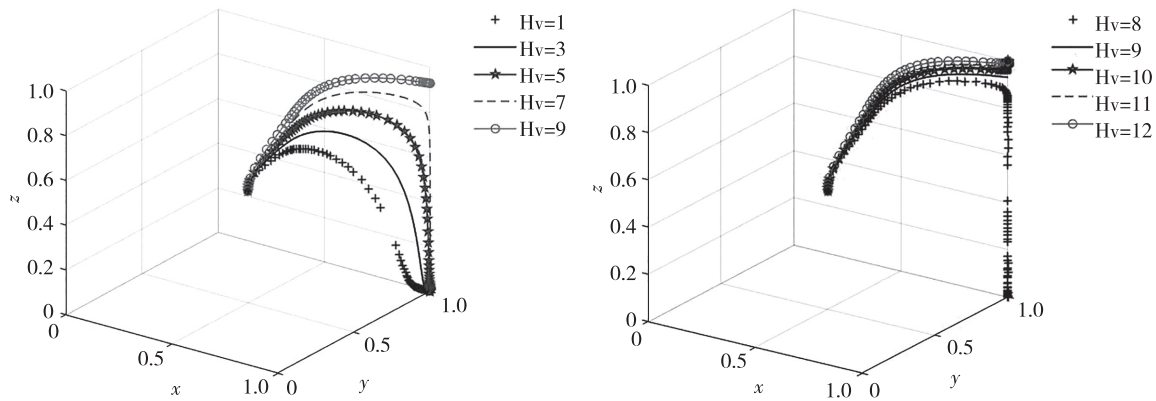


图9 H_v 对系统演化结果的影响

如图9所示,村民参与意愿与补贴水平呈显著正相关,碳补贴临界值处于8~10之间。补贴低于该阈值时,系统收敛于消极均衡 E_5 ,表明补贴不足以覆盖参与成本;超过阈值后,村民参与概率显著提升,此时环境收益与补贴之和大于成本。为实现共治目标,政府需提供足够补贴以激励村民参与。然而,鉴于环境治理的正外部性,应构建“激励—约束”协同机制,结合动态补贴与长效监督,以保障治理效果的可持续性。

3. 村民消极参与环境治理时,政府对其的惩罚 P_v

为探究情形4下地方政府碳惩罚力度对村民消极参与环境治理行为的影响,保持其他参数不变,只改变碳惩罚 P_v 的取值,进行两组赋值:第一组1,2,3,4,5;第二组5,7,9,11,13。基于复制动态方程组的50次仿真结果如图10所示。

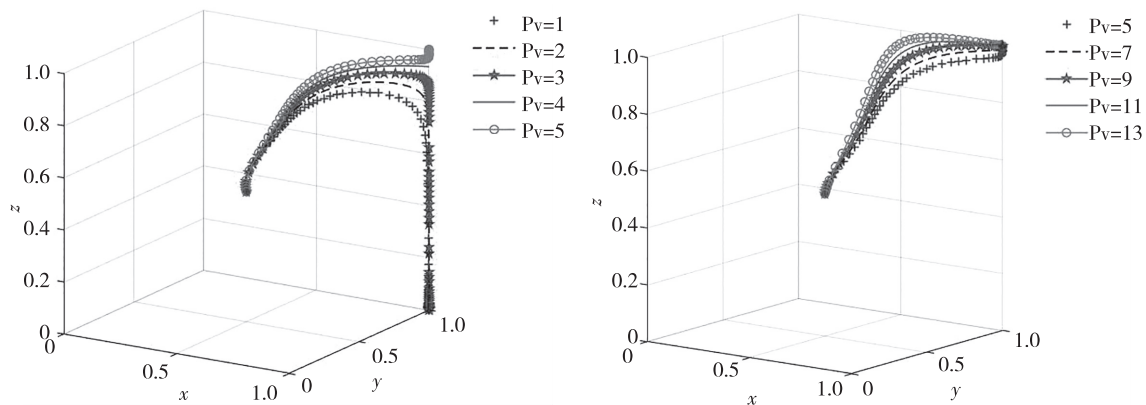


图10 P_v 对系统演化结果的影响

当村民消极参与环境治理时,地方政府对其施加的碳惩罚临界值处于3~5之间。若惩罚力度低于该阈值,系统将收敛于均衡点 E_5 ,反映了监管失效下村民的“成本—收益”理性选择。因惩罚不足时违规成本低于治理成本,村民仍倾向于消极行为。适度的惩罚配合监管可显著提升参与意愿,故而建立分级惩罚机制是有必要的,将惩罚强度与违规程度动态关联,以形成可持续的行为约束作用。

仿真研究表明,当环境治理惩罚力度突破临界值后,系统将趋向最优稳定状态 E_8 。定量分析揭示,惩罚强度每提升一个单位,村民参与意愿相应提高,这一效应通过双重机制实现,既显著降低政府监管压力,又大幅增加村民消极行为的预期成本。然而,惩罚效果呈现明显的收益递减规律,后期每单位惩罚带来的参与率提升逐渐减弱。

五、研究结论与政策建议

(一) 研究结论

在共治视角下,本文考虑将村民视为核心治理力量,并引入碳奖惩机制,建立村镇企业、地方人民政府和当地村民三方协同治理的农村环境演化博弈模型,运用数值仿真分析各演化博弈主体的行为策略选择和稳定性条件。研究结论如下:(1)政府、企业与村民在共同治理农村环境中相互影响、相互制约,村镇企业严格减排,地方人民政府积极监管,当地村民积极参与是系统演化稳定策略。这表明,对村民制定合理的碳奖惩机制,最终会达成三方协同合作的理想治理模式。(2)政府对村镇排污企业设置合理的碳奖惩措施,可以促进企业积极减排策略。当政府对村镇企业的奖惩力度超过了某一“临界值”,村镇企业的行为会逐渐趋向采取参与策略。随着奖惩力度的提高,演化速率加快,这促使村镇企业演化为严格减排的稳定策略。(3)在没有设置村民碳奖惩机制的农村环境治理模式中,村民是否积极参与治理更大程度取决于自身的环保意识,在合理的碳奖惩机制下,可以使村民积极地参与到农村环境治理中,且奖惩力度对村镇企业和村民的行为演化具有显著影响。

(二) 政策建议

基于以上研究结论,提出如下政策建议:(1)在政府层面,以排放“临界值”为划分标准,对企业碳排放实施差异化的税收和罚款政策;同时,量化分类污染源,并依托数字化平台整合部门数据,制定跨部门环境执法权责清单,明确联合执法职责。(2)在企业层面,构建“临界值—工艺—监管”三位一体管控模式:对企业碳排放实施动态管控,推动高排放企业实现清洁生产工艺改造,中低排放企业分阶段推进;建立动态排污许可制度,实施企业分类管理;开发企业环境信息双公开系统,实现排放数据共享。(3)在村民层面,构建“碳账户+行为激励”体系:通过家庭碳核算系统全面监测碳排放指标,建立“基础分+超额奖”碳积分制度,开展“黄—橙—红”预警机制,并将碳绩效作为“文明家庭”评选的核心指标。

[参 考 文 献]

- [1] 张军. 乡村价值定位与乡村振兴[J]. 中国农村经济, 2018(1): 2-10.
- [2] 闵继胜. 改革开放以来农村环境治理的变迁[J]. 改革, 2016(3): 84-93.
- [3] 韩冬梅, 刘静, 金书秦. 中国农业农村环境保护政策四十年回顾与展望[J]. 环境与可持续发展, 2019(2): 16-21.
- [4] 胡文婧. 公众参与视域下我国农村生态环境治理政策研究[J]. 农业经济, 2015(10): 89-90.
- [5] 王宾, 于法稳. “十四五”时期推进农村人居环境整治提升的战略任务[J]. 改革, 2021(3): 111-120.
- [6] 程会强. 农村环境保护体系的构建策略[J]. 改革, 2017(11): 50-53.
- [7] 白凌婷, 徐嘉辉, 谢小军. 乡村振兴背景下农村生态环境污染治理的不足与对策[J]. 农业经济, 2023(8): 34-37.
- [8] 苏淑仪, 周玉玺, 蔡威熙. 农村生活污水治理中农户参与意愿及其影响因素分析——基于山东 16 地市的调研数据[J]. 干旱区资源与环境, 2020(10): 71-77.
- [9] 赵素燕. 村落环境污染溯源发凡[J]. 重庆社会科学, 2015(8): 58-62.
- [10] 王永生, 刘彦随. 中国乡村生态环境污染现状及重构策略[J]. 地理科学进展, 2018(5): 710-717.
- [11] 唐洪松. 农村人居环境整治中居民垃圾分类行为研究——基于四川省的调查数据[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2020(11): 1-8.
- [12] 曾睿. 农村环境保护和农民参与的关联度[J]. 重庆社会科学, 2017(2): 61-69.
- [13] 高原. 乡村多元主体协同治理格局的演进: 基于“社会中的国家”视角[J]. 东南学术, 2023(3): 152-164.

- [14] 文宇, 竺乾威. 农村生态环境共生治理: 机理、演进及挑战[J]. 广西大学学报(哲学社会科学版), 2021(5): 93-101.
- [15] 罗必良. 村庄环境条件下的组织特性、声誉机制与关联博弈[J]. 改革, 2009(2): 72-80.
- [16] 王成, 梁鑫, 徐爽. 重庆市农村人居环境整治的政策作用导向与提升路径[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2022(11): 114-123.
- [17] 李志榕, 张佐鹏. 互信、互动、互联: 培育农村环境治理共同体的可行路径研究[J]. 中南大学学报(社会科学版), 2024(3): 159-169.
- [18] 张新文, 冯林林. 政社合作、结构嵌入与农村环境治理——基于 D 县 H 镇环境治理的案例考察[J]. 农村经济, 2023(4): 65-72.
- [19] 曲延春. 农村环境治理中的政府责任再论析: 元治理视域[J]. 中国人口·资源与环境, 2021(2): 71-79.
- [20] 张志胜. 多元共治: 乡村振兴战略视域下的农村生态环境治理创新模式[J]. 重庆大学学报(社会科学版), 2020(1): 201-210.
- [21] 杜焱强, 苏时鹏, 孙小霞. 农村水环境治理的非合作博弈均衡分析[J]. 资源开发与市场, 2015(3): 321-326.
- [22] 杜焱强, 刘诺佳, 陈利根. 农村环境治理的农民集体不作为现象分析及其转向逻辑[J]. 中国农村观察, 2021(2): 81-96.
- [23] 于水, 鲁光敏, 任莹, 等. 从政府管控到农民参与: 农村环境治理的逻辑转换和路径优化[J]. 农业经济问题, 2022(8): 32-40.
- [24] 胡洋. 农村人居环境合作治理的制度优势与实现路径[J]. 云南社会科学, 2021(2): 84-91.
- [25] 唐丽霞, 冯瑞英. 农民参与乡村治理的“双重认同”逻辑——以云村人居环境治理实践为例[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2023(5): 100-108.
- [26] 黄森慰, 唐丹, 郑逸芳, 等. 农村环境污染治理中的公众参与研究[J]. 中国行政管理, 2017(3): 55-60.
- [27] 鞠昌华, 张慧. 乡村振兴背景下的农村生态环境治理模式[J]. 环境保护, 2019(2): 23-27.
- [28] 温暖. 多元共治: 乡村振兴背景下的农村生态环境治理[J]. 云南民族大学学报(哲学社会科学版), 2021(3): 115-120.
- [29] 李君. 我国农村生态环境的协同治理机制创新[J]. 农业经济, 2016(12): 17-18.
- [30] 张文明. “多元共治”环境治理体系内涵与路径探析[J]. 行政管理改革, 2017(2): 31-35.
- [31] 杜焱强, 王亚星, 陆万军. PPP 模式下农村环境治理的多元主体何以共生? ——基于演化博弈视角的研究[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2019(6): 89-96+163-164.
- [32] 沈贵银, 孟祥海. 多元共治的农村生态环境治理体系探索[J]. 环境保护, 2021(20): 34-37.
- [33] 孟凡生, 韩冰. 政府环境规制对企业低碳技术创新行为的影响机制研究[J]. 预测, 2017(1): 74-80.
- [34] 陆秋琴, 于思颖, 黄光球. 政府碳规制与重污染企业碳减排策略的动态演化博弈仿真分析[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2022(1): 255-267.
- [35] 魏琦, 丁亚楠. 计及消费领域的碳补贴政策演化博弈[J]. 中国环境科学, 2022(3): 1456-1465.
- [36] 王辉, 金子健, 张继容, 等. 激励性技术动员: 积分制何以动员村民参与人居环境治理[J]. 中国行政管理, 2024(8): 65-79.
- [37] 曲国华, 杨柳, 曲卫华, 等. 第三方国际环境审计下考虑政府监管与公众监督策略选择的演化博弈研究[J]. 中国管理科学, 2021(4): 225-236.
- [38] 罗福周, 李静. 农村生态环境多主体协同治理的演化博弈研究[J]. 生态经济, 2019(10): 171-176+199.
- [39] 汤弘茜, 何寿奎. 基于累积前景理论的农村环境治理决策行为演化博弈研究[J]. 生态经济, 2021(2): 195-201.
- [40] 王先甲, 何奇龙, 全吉, 等. 阈值风险下的多企业合作治理污染的演化博弈分析[J]. 运筹与管理, 2017(12): 17-22+45.
- [41] 许秀川, 吴彦德. 农户风险规避、羊群效应与农业绿色生产转型——基于“企业+合作社+农户”模式的演化博弈分析[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2024(3): 103-115.
- [42] 高艳红, 黎振东, 刘游第. 政府与再生资源企业二次污染防治行为的演化博弈分析[J]. 重庆师范大学学报(社会科学版), 2021(4): 28-39.

- [43] 文枚, 陈天庆, 张连刚, 等. 农民合作社与村“两委”协同参与乡村治理演化博弈与仿真分析[J]. 农林经济管理学报, 2024(4): 508-517.
- [44] 廖卫东, 刘森. 自治、博弈与激励: 我国农村人居环境污染治理的制度安排[J]. 生态经济, 2020(5): 194-199.
- [45] 何奇龙, 罗兴, 陈力朋, 等. 基于演化博弈的农村环境治理众筹机制研究[J]. 中国管理科学, 2022(11): 170-181.
- [46] 郭兆晖, 魏杨. 环境规制下的财政支出与农业污染治理[J]. 农业技术经济, 2021(4): 73-84.
- [47] 康艳青, 毛柯予, 朱高宏, 等. 基于非对称演化博弈的多元主体乡村环境协同治理研究[J]. 生态经济, 2023(6): 189-196.
- [48] 沈费伟, 刘祖云. 农村环境善治的逻辑重塑——基于利益相关者理论的分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2016(5): 32-38.
- [49] 朱立龙, 荣俊美, 张思意. 政府奖惩机制下药品安全质量监管三方演化博弈及仿真分析[J]. 中国管理科学, 2021(11): 55-67.
- [50] 李玲燕, 赵景阳. 农村生态环境治理的演化博弈仿真分析——基于政府—企业—村民三方常态化协同治理视角[J]. 数学的实践与认识, 2023(7): 89-101.

Government Regulation and Farmers' Carbon Behavioral Response: An Evolutionary Stability Simulation of Co-Management in Rural Environment

Gao Yanhong Liu Guilin

(School of Economics and Management, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

Abstract: China's rural ecological environment presents pollution intertwined state, and the government, enterprises and villagers have different interests and conflicting behavioral motives, which seriously restricts the sustainable development of rural areas. Under the perspective of shared governance, considering villagers as the core governance force and introducing carbon reward and punishment mechanisms, we establish a game model of rural environmental evolution in which village enterprises, local people's governments and local villagers collaborate in governance, and use numerical simulation to analyze the behavioral strategy choices and stability conditions of each evolutionary game subject. The results of the study show that local people's governments, village enterprises and villagers have mutual influence and constraints in the joint governance of the rural environment, and a reasonable carbon incentive and penalty mechanism for villagers will eventually achieve the ideal governance mode of tripartite cooperation. Under a reasonable carbon incentive and penalty mechanism, village enterprises and villagers can actively participate in rural environmental governance, and when the intensity of incentives and penalties exceeds a certain "critical value", their cooperative behaviors will gradually evolve into a stable strategy in which enterprises strictly reduce emissions and villagers actively participate in governance.

Keywords: rural environmental governance; government regulation; collaborative governance; evolutionary game; simulation analysis

[责任编辑: 邹柳馨]