

DOI:10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2025.04.001

<https://xuebao.xaut.edu.cn>

引文格式: 许海娟, 叶春明, 李芳. 政府补贴机制下乡村振兴供应链系统演化博弈[J]. 西安理工大学学报, 2025, 41(4): 451-461.

XU Haijuan, YE Chunming, LI Fang. Evolutionary game of rural revitalization supply chain system under government subsidy mechanism[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2025, 41(4): 451-461.

政府补贴机制下乡村振兴供应链系统演化博弈

许海娟, 叶春明, 李芳

(上海理工大学 管理学院, 上海 200093)

摘要: 为研究如何通过智慧平台助力巩固脱贫攻坚成果、实现乡村全面振兴问题,构建了由政府、合作社和智慧平台组成的乡村振兴供应链决策模型,运用演化博弈方法,分析政府补贴机制下各主体策略的演化过程,通过数值模拟,探讨相关参数对各主体策略选择的影响。研究表明政府补贴力度的增加能够加快合作社选择“合作”策略的速度,但会降低智慧平台选择“合作”策略的速度,智慧平台对智慧中心的投入有助于供应链达到理想的稳定状态。

关键词: 乡村振兴; 合作社; 智慧平台; 演化博弈

中图分类号: F272.3 文献标志码: A 文章编号: 1006-4710(2025)04-0451-11

Evolutionary game of rural revitalization supply chain system under government subsidy mechanism

XU Haijuan, YE Chunming, LI Fang

(Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: To explore how smart platforms support the consolidation of poverty alleviation achievements and promote comprehensive rural revitalization, a rural revitalization supply chain decision-making model consisting of the government, cooperatives and smart platforms is constructed. Using the evolutionary game theory, the study analyzes the strategy evolution of these entities under a government subsidy mechanism. Through numerical simulations, the impact of key parameters on each entity's strategy selection is investigated. The results show that increased government subsidies accelerate cooperatives' adoption of a "cooperation" strategy but reduce the speed at which smart platforms choose the same strategy. Investment by smart platforms in smart centers contributes to the supply chain reaching an optimal stable state.

Key words: rural revitalization; cooperative; smart platform; evolutionary game

我国如期完成脱贫攻坚任务,全面推进乡村振兴,在现有帮扶政策上进行延续、优化、调整,确保政策的连续性^[1]。在脱贫攻坚时期,智慧平台就是一项有效的扶贫途径。在巩固拓展脱贫攻坚成果同乡村振兴有效衔接的过渡期,智慧平台仍然不可或缺。对智慧平台的进一步建设,是巩固网络帮扶成果、补齐农村现代化短板的重要举措^[2]。

由于贫困地区农业生产技术和基础设施仍然缺乏先进性,合作社与农户合作继续帮扶,智慧平台与合作社合作,构建智慧平台供应链,有利于进一步提高农产品市场竞争力。因此,政府监督下,合作社与智慧平台组成的多主体参与的乡村振兴模式下的决策具有重要意义。

合作社具有天然的益贫性^[3-4],对于企业、合作

收稿日期: 2024-05-10; 网络首发日期: 2024-10-17

网络首发地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1294.N.20241017.1433.002.html>

基金项目: 上海市哲学社会科学资助项目(2022BGL010)

第一作者: 许海娟,女,博士生,研究方向为供应链管理。E-mail: xu20209420@163.com

通信作者: 叶春明,男,博士,教授,研究方向为智能算法、生产调度、生产运作与管理。E-mail: yechm6464@163.com

社和消费者参与的帮扶问题,不少学者进行了深入研究。刘明月等^[5]分析了党支部、产业基地、龙头企业、贫困地区资源与合作社及农户之间的运行模式,研究分以政府、市场、社会力量为核心的运行机制,分析欠发达地区应如何根据实际情况选择发展模式。熊春林等^[6]对我国 31 个省域农村电商合作社进行案例研究,揭示了政策、设施投资等因素对农村电商合作社高质量发展的联动作用与路径选择,发现政策驱动型与设施驱动型路径对高质量发展的解释力最强。Mei 等^[7]构建了政府、农民合作社和消费者之间的三方博弈模型,分析各方在合作社数字化转型中的决策与影响,结果表明合作社的数字化转型在短期内依赖政策驱动,而长期则需要市场推动,并指出关键参数如数字补贴系数和消费升级宣传的阈值范围。毛敏等^[8]研究了“公司+合作社+农户”组成的供应链,研究发现优化供应链参与成员的数量时,可以获得最优效率,并扩大合作社的益贫性。

将具有大数据优势的电商智慧平台引入供应链早在全面脱贫攻坚战中就已为脱贫攻坚提供了新动力。许多学者也对引入平台的供应链进行了相关研究。雷明等^[9]基于基于拼多多“多多农园”的案例,研究指出该平台通过产业链一体化帮扶,从农产品培育、种植、加工到销售的各环节入手,创新帮扶模式,助力乡村产业振兴。该模式不仅拓宽了农产品销售渠道,还重塑了价值链分配结构,增强了农村的内生发展动力,并为进一步巩固脱贫成果和实现共同富裕提供了新的思路。罗胜等^[10]基于中国乡村振兴调查的微观数据,实证分析了数字技能对小农户利用数字发展机会及参与电商市场的影响及其实现机制。结果表明,数字技能的掌握显著提升了小农户参与电商市场的概率,并通过乡村环境优化、技能提升和电商氛围营造等机制促进了其对接电商市场。刘帅成等^[11]基于演化博弈的视角研究了家电企业和电商平台之间的合作模型,分析相关参数对双方策略选择的影响,提出政府应完善利用双方的合作秩序,推动新经济的发展。Mogotlhwane 等^[12]指出信息技术能有效推动反贫工作的开展,通过网络平台能够提高大众的关注度,并带动基础社会服务的发展。

以上研究并没有过多关注政府监管的作用,政府监管对供应链策略选择影响深远,包春兵等^[13]研究环保刚性约束下中小企业的合作策略问题,分析政府限产力度、激励补贴效果、惩罚等参数对供应链系统演化结果的影响。许多学者对政府参与下的智

慧平台供应链模型进行了研究。万晓乐等^[14]研究了政府补贴政策下农户、批发商和智慧供应链平台参与的扶贫模式,探讨了不同模式下生产规模不经济状况。Kang 等^[15]研究了政府补贴和公平问题对“农户+核心企业”供应链的决策和协调影响,证明了将贫困农户企业嵌入到核心企业为主导的供应链中,可以有效实现脱贫。胡振华等^[16]研究了电商平台-农户、电商平台-政府之间的博弈模型,探讨不同模型下各利益主体的成本、收益和相关效用。Wan 等^[17]研究了有无政府金融平台激励的“合作社+智慧平台”供应链模式,分析了风险、消费者偏好和价格等对参与主体决策的影响。

综上所述,现有研究表明,通过电商智慧平台助力脱贫地区发展,对推动乡村振兴具有一定指导意义,但仍存在局限性。分析文献可以发现,现有研究多聚焦于供应链内部的协调,即合作社与各主体之间的博弈,对政府等外部力量作为供应链成员的影响缺乏探讨,仅考虑智慧平台与单一主体间的合作策略。

鉴于此,本文基于三方演化博弈,考虑了政府作为供应链主要组成成员参与决策,构建了政府、合作社与智慧平台的演化博弈模型,分析相关参数对三方行为策略的影响,研究在全面推进乡村振兴的衔接时期,政府领导下加快构建新发展格局,为助力乡村振兴提供政策建议。

1 问题描述与模型构建

1.1 问题描述

博弈模型的参与者为政府、合作社和智慧平台,三方的决策选择是有限理性的动态演化过程,通过长期的博弈,最终达到演化稳定,本文给出如下几个假设。

1) 参与主体的策略选择。以振兴乡村智慧决策为目标,政府通过补贴政策促进合作社与智慧平台的合作。政府的博弈策略为(补贴,不补贴),设 x 代表政府补贴的概率,则 $1-x$ 代表其不补贴的概率。合作社与智慧平台的博弈策略均为(合作,不合作),设 y, z 分别代表合作社与智慧平台参与合作的概率,则 $1-y, 1-z$ 分别代表其不参与合作的概率。其中, $x, y, z \in [0, 1]$ 。

2) 收益。设政府的正常税收收益为 P ,政府补贴合作社及智慧平台所获的补贴收益分别为 G, Q ,包括上级表彰,政府声誉等。智慧平台的日常经营收益为 W ,当智慧平台选择“合作”策略时,获得额外收益 T 。合作社的日常经营收益为 R_2 ,当合作社

选择“合作”策略时收益为 R_1 。合作社选择“合作”策略时,智慧平台不参与合作获得的“搭便车”收益为 Δ_w ; 同理,合作社“搭便车”时的收益为 Δ_r 。

3) 成本。合作社的日常经营投入为 D_2 , 当合作社选择“合作”策略时,经营投入为 D_1 , 其入驻智慧平台,需支付平台一定的佣金 f , 可视为固定成本。智慧平台为合作社提供销售服务,还向其收取一定的动态成本 αR_1 , 其中, $0 < \alpha < 1$, 且 $f + \alpha R_1 > \Delta_w$, $T > \Delta_w$, 表示智慧平台选择合“合作”策略时的收益大于“搭便车”收益。智慧平台选择“合作”策略时,建立专门的智慧中心,负责数据预测、智慧营销、客户

服务等业务,建立智慧中心的投入为 D , $T > D$ 。

4) 补贴。政府为合作社分补贴机制,当合作社选择“合作”策略时,政府对合作社给予收益规模补贴 cR_1 , 其中 $c \in [0, 1]$ 为规模补贴力度,当合作社选择“不合作”策略时与智慧平台一样,补贴 s 作为智慧中心的建设成本。政府选择“补贴”策略时,若合作社与智慧平台选择“不合作”策略,政府税收入会有一定损失,损失分别为 M, N 。

1.2 三方演化模型构建

由上述假设可得政府,合作社及智慧平台的博弈支付矩阵见表 1。

表 1 三方演化博弈支付矩阵

Tab. 1 Payment matrix of tripartite evolutionary game

策略选择			政府	
			补贴 x	不补贴 $1 - x$
合作社	智慧平台	合作	$P + G + Q - cR_1 - s$	P
		z	$R_1 - D_1 - f - \alpha R_1 + cR_1$	$R_1 - D_1 - f - \alpha R_1$
		$1 - z$	$W + T + f + \alpha R_1 + s - D$	$W + T + f + \alpha R_1 - D$
合作社	智慧平台	不合作	$P + G - cR_1 - N$	$P - N$
		z	$R_1 - D_1 - f - \alpha R_1 + cR_1$	$R_1 - D_1 - f - \alpha R_1$
		$1 - z$	$W + \Delta_w$	$W + \Delta_w$
合作社	智慧平台	合作	$P - 2s + Q - M$	$P - M$
		z	$R_2 - D_2 + \Delta_r + s$	$R_2 - D_2 + \Delta_r$
		$1 - z$	$W + T + s - D$	$W + T - D$
合作社	智慧平台	不合作	$P - M - N - s$	$P - M - N$
		z	$R_2 - D_2 + s$	$R_2 - D_2$
		$1 - z$	W	W

2 模型分析

2.1 政府博弈均衡分析

由表 1 可知政府在博弈时选择“补贴”策略的期望收益为 U_{x1} , 选择“不补贴”策略时的期望收益为 U_{x2} , 平均期望收益为 \bar{U}_x , 则 U_{x1}, U_{x2} 及 \bar{U}_x 分别为:

$$\begin{aligned} U_{x1} &= yz(P + G + Q - cR_1 - s) + \\ &\quad y(1 - z)(P + G - cR_1 - N) + \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} &\quad (1 - y)z(P - 2s + Q - M) + \\ &\quad (1 - y)(1 - z)(P - M - N - s) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_{x2} &= yzP + y(1 - z)(P - N) + \\ &\quad (1 - y)z(P - M) + \end{aligned} \quad (2)$$

$$(1 - y)(1 - z)(P - M - N)$$

$$\bar{U}_x = xU_{x1} + (1 - x)U_{x2} \quad (3)$$

政府策略的复制动态方程为:

$$F(x) = \frac{dx}{dt} = x(U_{x1} - \bar{U}_x) = x(1 - x)[y(G - cR_1 + s) + z(Q - s) - s] \quad (4)$$

为便于讨论,令

$$z_0 = \frac{s - y(G - cR_1 + s)}{Q - s} \quad (5)$$

1) 当 $z = z_0$ 时,此时无论 x 取何值,政府的选择都趋于稳定状态。

2) 当 $z \neq z_0$ 时,令 $F(x) = 0$, 可得 $x = 0, x = 1$ 两个稳定点。

对 $F(x)$ 求导得:

$$F'(x) = (1 - 2x)[y(G - cR_1 + s) + z(Q - s) - s] \quad (6)$$

若 $z > z_0$, 当 $x = 0$ 时, $F'(x) > 0$, 当 $x = 1$ 时, $F'(x) < 0$, 故 $x = 1$ 为演化稳定策略。同理,若 $z < z_0$, 则 $x = 0$ 为演化稳定策略。

由对政府的演化博弈均衡分析可以发现,当政府补贴合作社与智慧平台所获补贴收益 G 、 Q 增大时, z_0 减小, 说明补贴收益越大, 政府越倾向于进行“补贴”策略。 y 越大, 即合作社选择“合作”策略的概率越大, 政府越倾向于实施“补贴”策略。

2.2 合作社博弈均衡分析

由表 1 可知合作社在博弈时选择“合作”策略的期望收益为 U_{y1} , 选择“不合作”策略时的期望收益为 U_{y2} , 平均期望收益为 \bar{U}_y , 则 U_{y1} , U_{y2} 及 \bar{U}_y 分别为:

$$\begin{aligned} U_{y1} = & xz(R_1 - D_1 - f - \alpha R_1 + cR_1) + \\ & (1-x)z(R_1 - D_1 - f - \alpha R_1) + \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} & x(1-z)(R_1 - D_1 - f - \alpha R_1 + cR_1) + \\ & (1-x)(1-z)(R_1 - D_1 - f - \alpha R_1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_{y2} = & xz(R_2 - D_2 + \Delta_r + s) + \\ & x(1-z)(R_2 - D_2 + s) + \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} & (1-x)z(R_2 - D_2 + \Delta_r) + \\ & (1-x)(1-z)(R_2 - D_2) \end{aligned}$$

$$\bar{U}_y = yU_{y1} + (1-y)U_{y2} \quad (9)$$

合作社策略的复制动态方程为:

$$\begin{aligned} F(y) = & \frac{dy}{dt} = y(U_{y1} - \bar{U}_y) = \\ & y(1-y)[D_2 - D_1 - f + (1-\alpha)R_1 - \end{aligned} \quad (10)$$

$$R_2 + x(cR_1 - s) - z\Delta_r]$$

为便于讨论, 令

$$\begin{aligned} z_0 = & \frac{D_2 - D_1 - f + (1-\alpha)R_1 - R_2 + x(cR_1 - s)}{\Delta_r} \end{aligned} \quad (11)$$

对 $F(y)$ 求导可得:

$$\begin{aligned} F'(y) = & (1-2y)[D_2 - D_1 - f + \\ & (1-\alpha)R_1 - R_2 + x(cR_1 - s) - z\Delta_r] \end{aligned} \quad (12)$$

1) 当 $z_0 < 0$, 即 $D_2 - D_1 - f + (1-\alpha)R_1 - R_2 + x(cR_1 - s) < 0$ 时, 此时 $z > z_0$, 当 $y = 0$ 时, $F'(y) < 0$, 当 $y = 1$ 时, $F'(y) > 0$, 故 $y = 0$ 为演化稳定策略。

2) 当 $z_0 > 0$, 即 $D_2 - D_1 - f + (1-\alpha)R_1 - R_2 + x(cR_1 - s) > 0$ 时, 若 $z = z_0$, 复制动态方程 $F(y) = 0$, 此时无论 y 取何值, 合作社的策略选择都处于稳定; 若 $z \neq z_0$, $y = 0$ 或 $y = 1$ 为合作社策略的稳定状态。此时, 若 $z > z_0$, 当 $y = 0$ 时, $F'(y) < 0$, 当 $y = 1$ 时, $F'(y) > 0$, 故 $y = 0$ 为演化稳定策略; 若 $z < z_0$, 则 $y = 1$ 为演化稳定策略。

由对合作社的演化均衡分析可知, 当 Δ_r 增大

时, z_0 减少, 说明当合作社“搭便车”收益越多, 合作社越不倾向于合作策略。当政府对合作社的规模补贴小于建设智慧中心的平台建设补贴时, 随着政府补贴意愿的增大, z_0 越小, 合作社越不倾向于选择“合作”策略。

2.3 智慧平台博弈均衡分析

由表 1 可知智慧平台在博弈时选择“合作”策略的期望收益为 U_{z1} , 选择“不合作”时的期望收益为 U_{z2} , 平均期望收益为 \bar{U}_z , 则 U_{z1} , U_{z2} 及 \bar{U}_z 分别为:

$$\begin{aligned} U_{z1} = & xy(W + T + f + \alpha R_1 + s - D) + \\ & x(1-y)(W + T + s - D) + \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} & (1-x)y(W + T + f + \alpha R_1 - D) + \\ & (1-x)(1-y)(W + T - D) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_{z2} = & xy(W + \Delta_w) + x(1-y)W + \\ & (1-x)y(W + \Delta_w) + (1-x)(1-y)W \end{aligned} \quad (14)$$

$$\bar{U}_z = zU_{z1} + (1-z)U_{z2} \quad (15)$$

智慧平台策略的复制动态方程为:

$$\begin{aligned} F(z) = & \frac{dz}{dt} = z(U_{z1} - \bar{U}_z) = \\ & z(1-z)[T + sx - D + y(f + \alpha R_1 - \Delta_w)] \end{aligned} \quad (16)$$

为便于讨论, 令

$$y_0 = \frac{D - T - sx}{f + \alpha R_1 - \Delta_w} \quad (17)$$

对 $F(z)$ 求导可得:

$$\begin{aligned} F'(z) = & (1-2z)[T + sx - D + y(f + \alpha R_1 - \Delta_w)] \end{aligned} \quad (18)$$

1) 当 $y_0 < 0$, 即 $D - T - sx < 0$ 时, 此时 $y > y_0$, 当 $z = 0$ 时, $F'(z) > 0$, 当 $z = 1$ 时, $F'(z) < 0$, 故 $z = 1$ 为演化稳定策略。

2) 当 $y_0 > 0$, 即 $D - T - sx > 0$ 时, 分两种。

若 $y = y_0$, 复制动态方程 $F(z) = 0$, 此时无论 z 取何值, 智慧平台的策略选择都处于稳定。

若 $y \neq y_0$, $z = 0$ 或 $z = 1$ 为智慧平台策略的稳定状态。此时, 若 $y > y_0$, 当 $z = 0$ 时, $F'(z) > 0$, 当 $z = 1$ 时, $F'(z) < 0$, 故 $z = 1$ 为演化稳定策略; 若 $y < y_0$, 则 $z = 0$ 为演化稳定策略。

由对智慧平台的演化均衡分析可知, 当 $f + \alpha R_1 - \Delta_w$ 增大时, y_0 减小, 说明智慧平台选择“合作”策略带来的收益大于“搭便车”收益时, 智慧平台倾向于实施“合作”策略。 x 越大, 即政府补贴意愿越大时, 智慧平台参与合作的概率越大, 有利于提高智慧平台参与合作的积极性。

2.4 三方演化系统均衡分析

上面分析了政府、合作社和智慧平台各自演化策略的临界条件与演化路径,探究相关因素对三者演化稳定策略的影响。下面分析政府、合作社及智慧平台共同作用下的演化稳定策略及不同均衡状态。

联立三者的复制动态方程,可得政府、合作社与智慧平台的复制动态方程系统为:

$$\begin{cases} F(x) = x(1-x)[y(G-cR_1+s)+z(Q-s)-s] \\ F(y) = y(1-y)[D_2-D_1-f+(1-\alpha)R_1-R_2+x(cR_1-s)-z\Delta_r] \\ F(z) = z(1-z)[T+sx-D+y(f+\alpha R_1-\Delta_w)] \end{cases} \quad (19)$$

Ritzberger 等^[18]和 Selten^[19]指出,多种群演化

博弈中的稳定解为严格纳什均衡。而严格纳什均衡一定为纯策略。因此,仅需对三方演化博弈中的纯策略的 8 个局部均衡点的稳定性进行分析。故仅需讨论 $E_1(0,0,0)$, $E_2(0,0,1)$, $E_3(0,1,0)$, $E_4(0,1,1)$, $E_5(1,0,0)$, $E_6(1,0,1)$, $E_7(1,1,0)$, $E_8(1,1,1)$ 的渐进稳定性。

系统的雅可比矩阵为:

$$J = \begin{bmatrix} \partial F(x)/\partial x & \partial F(x)/\partial y & \partial F(x)/\partial z \\ \partial F(y)/\partial x & \partial F(y)/\partial y & \partial F(y)/\partial z \\ \partial F(z)/\partial x & \partial F(z)/\partial y & \partial F(z)/\partial z \end{bmatrix} \quad (20)$$

将 8 个均衡点分别代入(20),可分别得到均衡点所对应的雅可比矩阵的特征值,特征值见表 2。

表 2 雅可比矩阵的特征值
Tab. 2 Eigenvalues of Jacobian matrix

均衡点	特征值 λ_{ij}			稳定条件
$E_1(0,0,0)$	$\lambda_{11} = -s$	$\lambda_{12} = D_2 - D_1 - f + (1 - \alpha)R_1 - R_2$	$\lambda_{13} = T - D$	条件 1
$E_2(0,0,1)$	$\lambda_{21} = Q - 2s$	$\lambda_{22} = D_2 - D_1 - f + (1 - \alpha)R_1 - R_2 - \Delta_r$	$\lambda_{23} = -(T - D)$	条件 2
$E_3(0,1,0)$	$\lambda_{31} = G - cR_1$	$\lambda_{32} = -[D_2 - D_1 - f + (1 - \alpha)R_1 - R_2]$	$\lambda_{33} = T - D + f + \alpha R_1 - \Delta_w$	条件 3
$E_4(0,1,1)$	$\lambda_{41} = G + Q - cR_1 - s$	$\lambda_{42} = -[D_2 - D_1 - f + (1 - \alpha)R_1 - R_2 - \Delta_r]$	$\lambda_{43} = -(T - D + f + \alpha R_1 - \Delta_w)$	条件 4
$E_5(1,0,0)$	$\lambda_{51} = s$	$\lambda_{52} = D_2 - D_1 - f + (1 + c - \alpha)R_1 - R_2 - s$	$\lambda_{53} = T - D + s$	条件 5
$E_6(1,0,1)$	$\lambda_{61} = -(Q - 2s)$	$\lambda_{62} = D_2 - D_1 - f + (1 + c - \alpha)R_1 - R_2 - \Delta_r - s$	$\lambda_{63} = -(T - D + s)$	条件 6
$E_7(1,1,0)$	$\lambda_{71} = -(G - cR_1)$	$\lambda_{72} = -[D_2 - D_1 - f + (1 + c - \alpha)R_1 - R_2 - \Delta_r - s]$	$\lambda_{73} = T - D + f + \alpha R_1 - \Delta_w + s$	条件 7
$E_8(1,1,1)$	$\lambda_{81} = -(G + Q - cR_1 - s)$	$\lambda_{82} = -[D_2 - D_1 - f + (1 + c - \alpha)R_1 - R_2 - s]$	$\lambda_{83} = -(T - D + f + \alpha R_1 - \Delta_w + s)$	条件 8

注:稳定条件 i : $\lambda_{ij} < 0$ ($i = 2, 3, 4, \dots, 8$; $j = 1, 2, 3$)。

由于平衡点 $E_1(0,0,0)$ 、 $E_3(0,1,0)$ 、 $E_5(1,0,0)$ 和 $E_7(1,1,0)$ 的特征值 λ_{13} 、 λ_{33} 、 λ_{53} 和 λ_{73} 为正,条件 1、条件 3、条件 5 和条件 7 不满足,所以平衡点 $E_1(0,0,0)$ 、 $E_3(0,1,0)$ 、 $E_5(1,0,0)$ 和 $E_7(1,1,0)$ 不为 ESS。因此考虑以下四种情形。

1) 情形 1

当 $Q < 2s$ 且 $(1 - \alpha)R_1 - D_1 - f < R_2 - D_2 + \Delta_r$ 时,点 $E_2(0,0,1)$ 为演化稳定策略。即政府采取“不补贴”策略,合作社采取“不合作”策略,智慧平台依然采取“合作”策略。为满足以上条件,令 $Q = 0.3$, $s = 0.6$, $\alpha = 0.2$, $R_1 = 1.15$, $D_1 = 0.8$, $f = 0.1$, $R_2 = 1$, $D_2 = 1.1$, $\Delta_r = 0.5$, $T = 0.2$, $D = 0.12$, $P = 0.5$, $c = 0.04$, $\Delta_w = 0.1$, $W = 1.5$, $G = 0.2$ 。如图 1(a)所示,无论政府、合作社和智慧平台的初始意愿如何变化,系统最终都演化稳定于点 $E_2(0,0,1)$ 。此时,合作社的合作收益小于不合作时的收益与“搭便车”收益之和,智慧平台合作时额外收益大于智慧中心平台建设成本,合作社实施“不合作”

策略,智慧平台实施“合作”策略。政府进行补贴时通过智慧平台获得的额外收益小于补贴金额时,政府选择“不补贴”策略。这一系列条件的满足反映市场竞争和自主决策的结果。合作社和智慧平台在市场条件下做出自主选择,不依赖于政府的补贴。这表明市场机制在此情景下更加有效,市场参与者更愿意根据自身的经济利益做出决策。

2) 情形 2

当 $G + Q < cR_1 + s$ 且 $(1 - \alpha)R_1 - D_1 - f > R_2 - D_2 + \Delta_r$ 时,点 $E_4(0,1,1)$ 为演化稳定策略。即政府采取“不补贴”策略,合作社和智慧平台采取“合作”策略。为满足以上条件,令 $Q = 0.3$, $s = 0.6$, $\alpha = 0.08$, $R_1 = 1.15$, $D_1 = 0.69$, $f = 0.01$, $R_2 = 1$, $D_2 = 1.75$, $\Delta_r = 0.3$, $T = 0.2$, $D = 0.12$, $P = 0.5$, $c = 0.04$, $\Delta_w = 0.1$, $W = 1.5$, $G = 0.2$ 。如图 1(b)所示,无论三方的初始意愿如何变化,系统最终都演化稳定于点 $E_4(0,1,1)$ 。此时,合作社的合作收益大于不合作时的收益与“搭便车”收益之

和,智慧平台合作时的额外收益减去智慧中心平台建设的成本大于“搭便车”收益,政府实施补贴政策下的额外收益小于补贴支出,则合作社与智慧平台均会实施“合作”策略,政府则会实施“不补贴”策略。这些条件的满足说明市场在特定情况下能够自发实

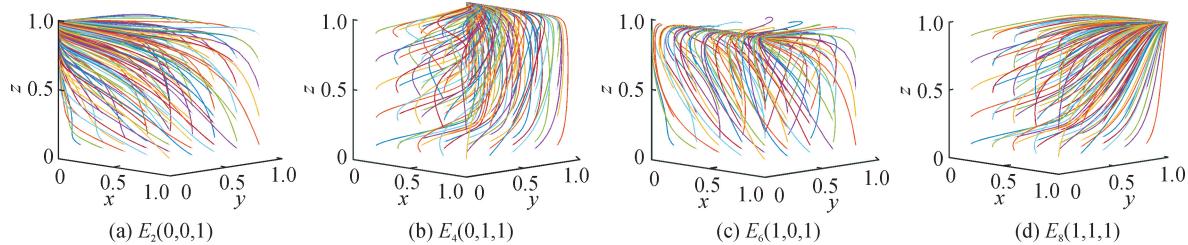


图1 政府、合作社、智慧平台的决策行为演化过程

Fig. 1 Evolution process of decision-making behavior of government, cooperatives and smart platforms

3) 情形 3

当 $Q > 2s$ 且 $(1 - \alpha - c)R_1 - D_1 - f < R_2 - D_2 + \Delta_r$ 时,点 $E_6(1,0,1)$ 为演化稳定策略。即政府采取“补贴”策略,合作社采取“不合作”策略,智慧平台采取“合作”策略。为满足以上条件,令 $Q = 0.9$, $s = 0.4$, $\alpha = 0.2$, $R_1 = 1.15$, $D_1 = 0.8$, $f = 0.1$, $R_2 = 1$, $D_2 = 1.1$, $\Delta_r = 0.5$, $T = 0.2$, $D = 0.12$, $P = 0.5$, $c = 0.04$, $\Delta_w = 0.1$, $W = 1.5$, $G = 0.2$ 。如图1(c)所示,无论三方的初始意愿如何变化,系统最终演化稳定于点 $E_6(1,0,1)$ 。此时,合作社合作时的收益小于不合作下的收益与“搭便车”收益之和,智慧平台合作时的额外收益与所受补贴之和大于建立智慧中心的投入,合作社实施“不合作”策略,智慧平台实施“合作”策略,政府进行补贴时智慧平台为其带来的额外收益大于补贴金额时,政府选择“补贴”策略。这一系列条件的满足意味着在特定情境下,合作社选择不合作,而智慧平台选择合作。政府通过补贴政策鼓励智慧平台提供高质量的服务,同时认为这将为政府带来经济回报。政府的补贴政策则旨在支持智慧农业的发展,从而促进农村经济的增长。

4) 情形 4

当 $G + Q > cR_1 + s$ 且 $(1 - \alpha - c)R_1 - D_1 - f > R_2 - D_2 + \Delta_r$ 时,点 $E_8(1,1,1)$ 为演化稳定策略。即政府采取“补贴”策略,合作社和智慧平台均采取“合作”策略。为满足以上条件,令 $Q = 0.9$, $s = 0.6$, $\alpha = 0.08$, $R_1 = 1.15$, $D_1 = 0.69$, $f = 0.01$, $R_2 = 1$, $D_2 = 1.75$, $\Delta_r = 0.3$, $T = 0.2$, $D = 0.12$, $P = 0.5$, $c = 0.04$, $\Delta_w = 0.1$, $W = 1.5$, $G = 0.2$ 。如图1(d)所示,无论三方的初始意愿如

何变化,系统最终都演化稳定于点 $E_8(1,1,1)$ 。此时,合作社合作时的收益大于不合作下的收益与“搭便车”收益之和,智慧平台合作时获得的收益与补贴减去建设智慧中心的成本大于“搭便车”收益,合作社与智慧平台均选择“合作”策略,政府实施“补贴”政策下的额外收益大于补贴支出,政府选择“补贴”策略。这一系列条件的满足表明政府、合作社和智慧平台之间形成一种合作生态系统,为农村经济发展和智慧化提供积极的助力,实现多方共赢的局面。

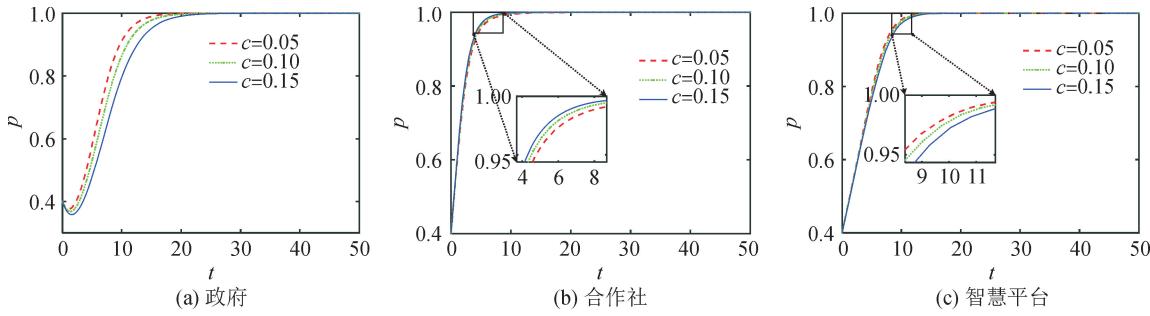
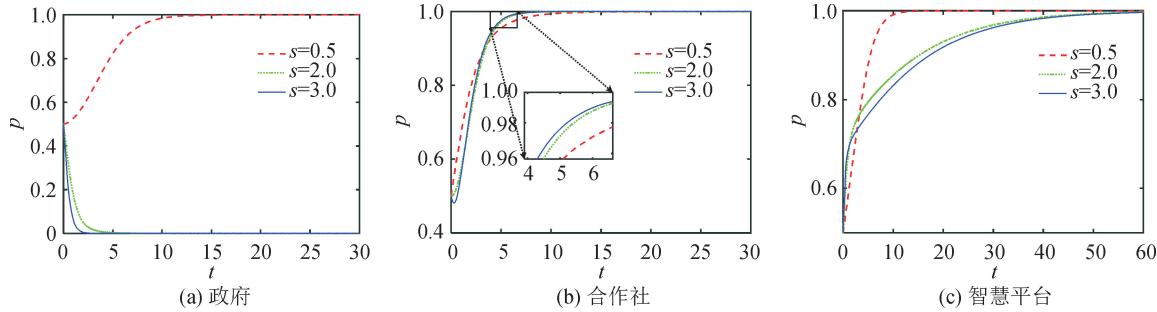
何变化,系统最终都演化稳定于点 $E_8(1,1,1)$ 。此时,合作社合作时的收益大于不合作下的收益与“搭便车”收益之和,智慧平台合作时获得的收益与补贴减去建设智慧中心的成本大于“搭便车”收益,合作社与智慧平台均选择“合作”策略,政府实施“补贴”政策下的额外收益大于补贴支出,政府选择“补贴”策略。这一系列条件的满足表明政府、合作社和智慧平台之间形成一种合作生态系统,为农村经济发展和智慧化提供积极的助力,实现多方共赢的局面。

3 数值模拟

在智慧平台与合作社合作的初期,由于双方合作积极性不高,政府的介入显得尤为重要。政府实施补贴机制,旨在激励合作社和智慧平台积极参与合作,以实现博弈系统的理想稳定状态(点 $E_8(1,1,1)$)。为此,对乡村振兴系统利益相关者实现演化稳定策略所需满足的条件进行数值模拟分析。下文中,参数取值同情形 4,即政府选择“补贴”策略,合作社和智慧平台均选择选择“合作”策略。

3.1 政府补贴

政府补贴在供应链乡村振兴系统中能有效促进合作,提升服务质量,并增强竞争力。在政府的引导下,这些补贴有助于推动农村地区的可持续发展。政府补贴政策应该根据具体情况制定,为进一步探索政府补贴对政府、合作社、智慧平台三方决策行为演化的影响,通过数值模拟进行敏感性分析,分别令 c 等于 0.05、0.10、0.15,令 s 等于 0.5、2.0、3.0,结果见图2 和图3。图中横轴表示时间的变化,纵轴表示政府选择“补贴”策略的概率、合作社及智慧平台选择“合作”策略的概率,其它图同样。

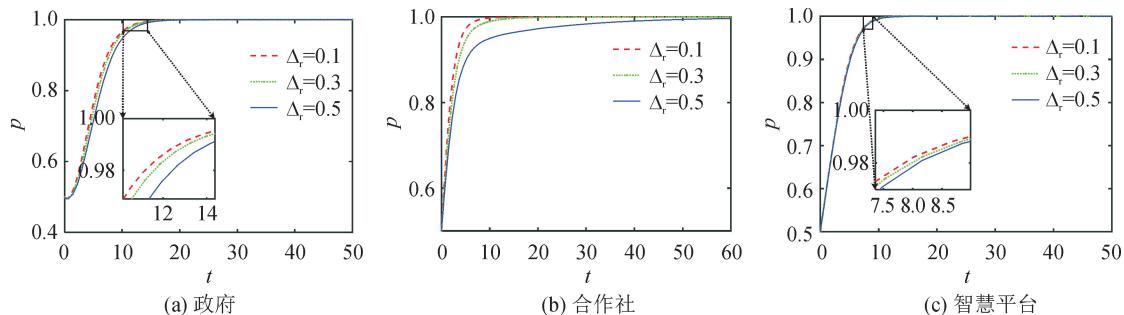
图 2 政府、合作社、智慧平台对参数 c 的敏感性Fig. 2 Sensitivity of government, cooperatives and smart platforms to parameter c 图 3 政府、合作社、智慧平台对参数 s 的敏感性Fig. 3 Sensitivity of government, cooperatives and smart platforms to parameter s

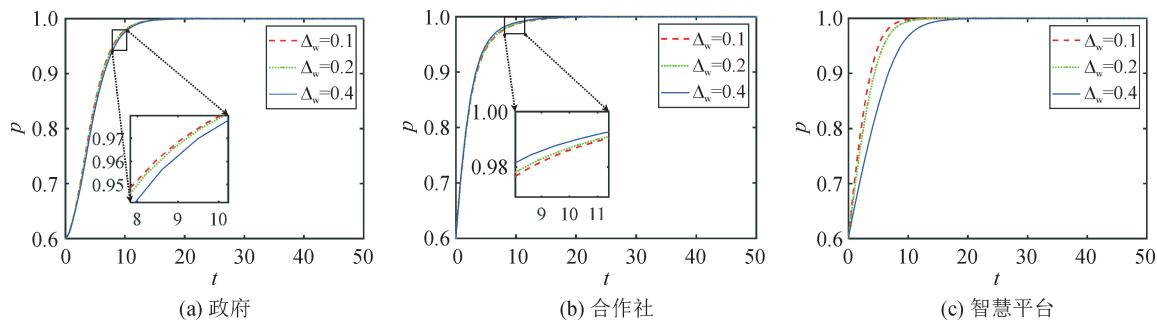
由图 2 和图 3 可知,政府对合作社的规模补贴力度越高,政府选择“补贴”策略的演化速度越慢,合作社选择“合作”策略的演化速度越快,此补贴措施无法激励智慧平台的合作行为,这表明政府对合作社的补贴提供强烈的经济激励,使合作社更愿意迅速采用合作策略。而政府对智慧中心建设补贴力度越高,智慧平台选择“合作”策略的速度越慢。这表明政府补贴在一定程度上减轻了智慧平台的财务压力,使其不迫切地需要合作。因此,智慧平台更倾向于谨慎地评估风险和潜在回报,导致较慢的策略演化速度。政府对智慧中心建设补贴力度加大时,政府选择“补贴”策略的演化速度越慢,当补贴过高时,政府甚至会选择“不补贴”策略。政府补贴政策可以有效促进合作社参与合作,却降低智慧平台合作的

积极性,这种结果反映了不同市场参与者对经济激励和风险的反应差异。政府的补贴政策可以在一定程度上引导市场行为,但最终的决策取决于各方的具体情况和策略选择。因此,政府在制定补贴政策时,应根据市场参与者的具体行为和激励机制来制定补贴政策,并灵活调整政策以应对不同的市场情况,更好推动合作和智慧平台的发展,促进乡村振兴和经济增长。

3.2 “搭便车”收益

当合作社与智慧平台中仅一方选择“合作”策略而另一方选择“不合作”策略时,不参与合作的一方往往因为“搭便车”行为而获益,“搭便车”收益影响着博弈主体行为策略的演化,分别令合作社“搭便车”收益 Δ_r 为 0.1、0.3、0.5,令智慧平台“搭便车”收益 Δ_w 为 0.1、0.2、0.4,结果见图 4 和图 5。

图 4 政府、合作社、智慧平台对参数 Δ_r 的敏感性Fig. 4 Sensitivity of government, cooperatives and smart platforms to parameter Δ_r

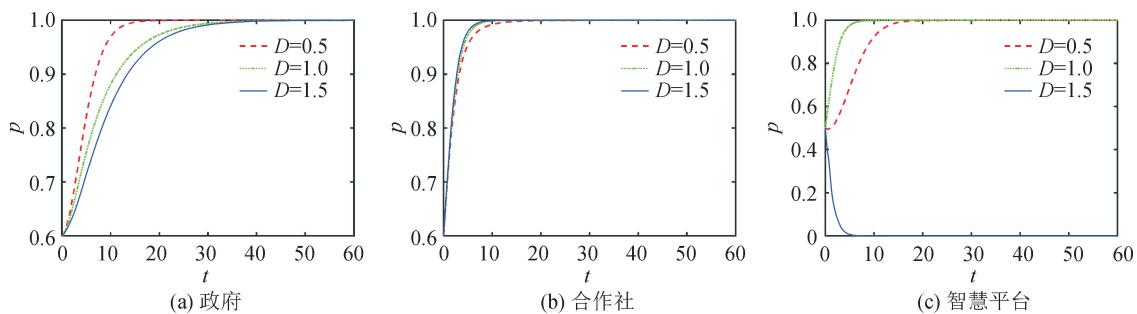
图 5 政府、合作社、智慧平台对参数 Δ_w 的敏感性Fig. 5 Sensitivity of government, cooperatives and smart platforms to parameter Δ_w

由图 4 和图 5 可知,合作社“搭便车”收益越高,合作社选择“合作”策略的演化速度越慢,政府选择“补贴”策略的演化速度也越慢,这表明“搭便车”收益越高,合作社越不倾向于与智慧平台进行合作,此时也不能激励政府实施补贴策略。而当智慧平台“搭便车”收益提高时,智慧平台选择“合作”策略的演化速度变慢,政府选择“补贴”策略的演化速度变慢,这表明“搭便车”收益越高,智慧平台越不倾向于合作,此时同样不能激励政府实施补贴策略。需要注意的是,合作社“搭便车”收益增加,智慧平台选择“合作”策略的速度变慢,而智慧平台“搭便车”收益增加,合作社选择“合作”策略的速度变快,这表明相比智慧平台,合作社更希望与智慧平台达成合作,希望通过合作获得收益。当市场参与者的策略演化速

度变慢时,政府会调整补贴政策的实施速度,以与市场的实际发展情况保持一致。这种情况表明市场参与者之间的策略选择和竞争关系较为复杂,取决于各方的收益和成本。政府需要密切监测市场动态,灵活调整政策,以推动合作和可持续发展。

3.3 智慧平台的投入

智慧平台建立智慧中心的投入关系到供应链系统的效率和创新。成本合理、可控的智慧中心建设可以为供应链系统提供更多优势,提高市场竞争力,促进乡村振兴和经济增长。平台应根据具体情况考虑建设成本,以制定合适的政策和战略。为进一步探索建立智慧中心的投入对政府、合作社、智慧平台三方决策行为演化的影响,通过数值模拟进行敏感性分析,分别令 D 等于 0.5、1.0、1.5,结果见图 6。

图 6 政府、合作社、智慧平台对参数 D 的敏感性Fig. 6 Sensitivity of government, cooperatives and smart platforms to parameter D

由图 6 可知,智慧平台对智慧中心的投入越高,合作社选择“合作”策略的演化速度越快,政府选择“补贴”策略的演化速度越慢,这表明当智慧平台投入更多资源和资金来建设和改进智慧中心时,合作社更容易被吸引与智慧平台合作,智慧平台可以提供更高质量的服务、更准确的数据分析、更广泛的信息共享等。这些改进增强其合作的吸引力,从而推动合作社选择“合作”策略的速度。对智慧平台而言,智慧中心的投入越高,其选择“合作”策略的速度越快,而当智慧中心投入过高时,智慧平台选择“不合作”策略,

智慧平台策略的变化可以平衡投入与回报、管理风险以及维护竞争优势等因素,这强调了投资决策和平衡的重要性,以实现持续的合作和可持续的发展。

3.4 相关利益方的初始意愿

政府、合作社和智慧平台的初始意愿将共同塑造博弈系统的演化轨迹。政府补贴力度可以在一定程度上引导合作社和智慧平台的决策,但也需要考虑市场参与者的初始态度和意愿。在设计乡村振兴政策时,需要充分考虑各方的初期期望和动力,以实现协同合作和系统的稳定发展。为进一步分析初始

意愿对三方决策行为演化的影响,通过数值模拟进行敏感性分析,分别令 x_0 等于 0.2、0.6、0.9,令 y_0

等于 0.2、0.6、0.9,令 z_0 等于 0.2、0.6、0.9,结果见图 7~9。

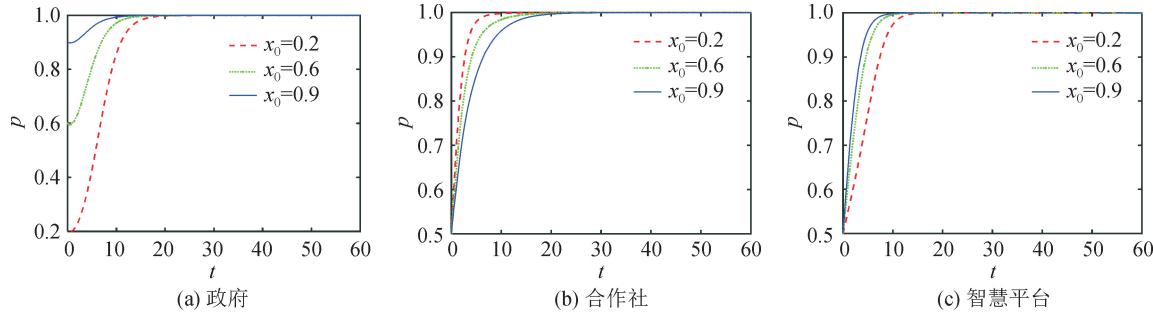


图 7 政府、合作社、智慧平台对参数 x_0 的敏感性

Fig. 7 Sensitivity of government, cooperatives and smart platforms to parameter x_0

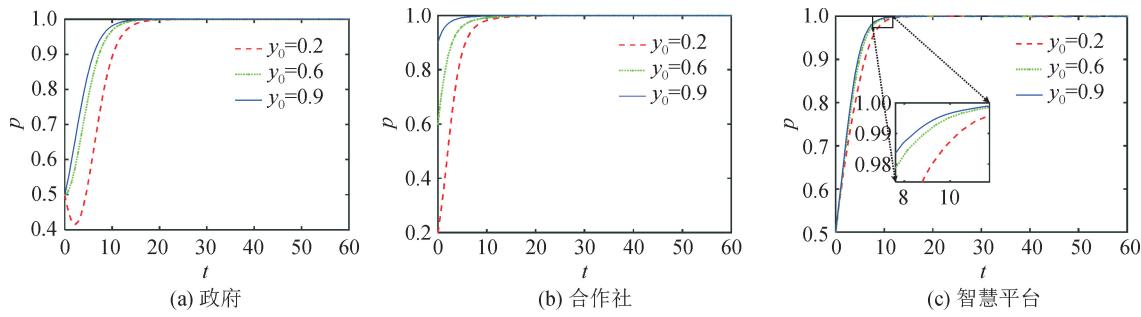


图 8 政府、合作社、智慧平台对参数 y_0 的敏感性

Fig. 8 Sensitivity of government, cooperatives and smart platforms to parameter y_0

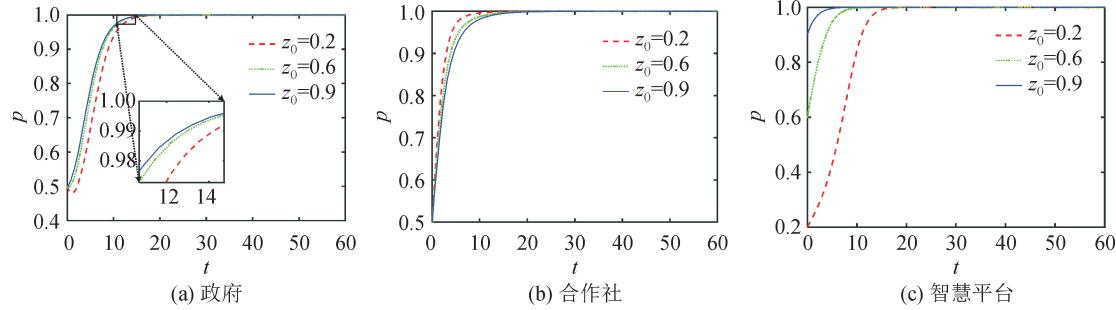


图 9 政府、合作社、智慧平台对参数 z_0 的敏感性

Fig. 9 Sensitivity of government, cooperatives and smart platforms to parameter z_0

由图 7,政府补贴的初始意愿 x_0 越大,政府选择“补贴”策略的演化速度越快,智慧平台选择“合作”策略的演化速度越快,合作社选择“合作”策略的演化速度越慢。这表明政府积极地愿意提供资金支持,以鼓励合作社与智慧平台之间的合作。与此同时,智慧平台合作的演化速度也越快,这表明智慧平台看到与合作社的合作机会,并且政府的补贴政策对其合作策略有吸引力。但政府的补贴政策导致合作社的依赖性,使得合作社更倾向于等待政府提供更多的资金支持,而不积极主动与智慧平台合作。对此,政府可以加强宣传,让合作社了解与智慧平台合作的潜在益处,鼓励其更快采纳合作策略。这将

有助于提高合作社的积极性,促进合作的快速发展。

由图 8,合作社合作的初始意愿 y_0 越大,政府选择“补贴”策略的演化速度越快,合作社选择“合作”策略的演化速度越快,智慧平台选择“合作”策略的演化速度越快。这表明合作社合作的初始意愿越大,政府更愿意对其进行补贴,以推动合作的快速发展,政府愿意激励和支持合作社在乡村振兴中发挥更大作用。同时,合作社能够为智慧平台提供有吸引力的合作机会和利益,促使智慧平台更迅速地做出合作决策。合作社在乡村振兴中的积极参与和愿意合作的初衷,有助于政府、合作社和智慧平台之间形成良性互动,推动乡村振兴事业的协同发展。

由图 9,智慧平台合作的初始意愿 z_0 越大,政府选择“补贴”策略的演化速度越快,合作社选择“合作”策略的演化速度越慢,智慧平台选择“合作”策略的演化速度越快。这表明政府对于智慧平台的积极合作意愿作出了快速响应,选择更快地提供补贴,以支持智慧平台的合作决策。而对合作社而言,其需要更多时间评估潜在的风险和回报,以确保合作对自身业务和乡村振兴目标具有积极影响。这一情况反映在乡村振兴过程中各利益相关者之间的决策动态,需要政府、智慧平台和合作社之间的密切合作与协调,以实现共同目标。政府仍需采取一些措施来鼓励和支持合作社更快地做出合作决策,以确保整个系统更好地运作。

4 结语

4.1 研究结论

本文在巩固拓展脱贫攻坚成果助力乡村振兴的背景下,基于有限理性的行为假设,构建了由政府、合作社、智慧平台构成的三方演化博弈模型,分析了政府补贴机制下各主体策略的演化过程,探索了政府补贴行为及“搭便车”行为等对合作社及智慧平台策略的影响,主要得出以下结论。

1) 在不同的初始条件下,供应链系统可以达到 4 种不同的稳定状态,而在这 4 个稳定点中,合作社和智慧平台基于自身利益,存在采取“不合作”策略的可能,也就是说此时供应链不能达到理想的稳定状态。

2) 在政府补贴政策下,随着政府对合作社规模和智慧平台建设的补贴力度增加,合作社选择“合作”策略的演化速度提高,但智慧平台的“合作”策略演化速度却减慢。此外,政府补贴初始意愿的增大提高了智慧平台选择“合作”策略的演化速度,却降低了合作社选择“合作”策略的演化速度。

3) 随着智慧平台对智慧中心投入的增加,合作社和智慧平台选择“合作”策略的演化速度加快,有利于供应链达到理想的稳定状态。然而,当对智慧中心的投入过高时,智慧平台可能会选择“不合作”策略。合作社和智慧平台的“搭便车”收益的增加,都会降低政府选择“补贴”策略的演化速度。此外,合作社“搭便车”收益的增加,会减缓智慧平台选择“合作”策略的演化速度;而智慧平台“搭便车”收益的增加,则会加快合作社选择“合作”策略的演化速度。

4.2 管理启示

本文的研究为多主体参与的乡村振兴模式下的

供应链决策提供了一定的理论依据,通过前面的分析,为政府的管理实践带来一些管理启示。

1) 政府需做好市场监管,创造良好的市场经营环境,给予合作社与智慧平台开展合作创新必要的政策支持。以振兴乡村为目标,提前对市场情况进行调查,及时把握合作社及智慧平台的发展动态与需求,合理配置市场资源,减轻政府财政投入压力,提升市场主体的参与程度。

2) 政府应强化对合作社及智慧平台的合作过程、合作效果和信息安全的监管能力。合作社及智慧平台在政府统一规划和相关标准规范指引下参与投资、建设和运营。政府可以建立信息共享平台,使市场参与者分享数据和信息,以提高生产效率,优化资源配置,促进农村产业的升级。

3) 政府应加强对乡村智慧平台的标准化建设和规范化管理,建立起完善的智慧平台评估和认证机制,引导和规范智慧平台的发展方向和运营模式。通过制定统一的技术标准和数据交换协议,提高整个乡村振兴供应链的协同效率和透明度,为乡村经济发展营造良好的环境。

4) 投资农村地区的数字化基础设施,以便远程农村地区也能访问智慧平台。提供培训和教育计划,提供在线和线下培训课程,以培养农村地区的数字技能。制定农村数字素养教育计划,包括学校和社区教育,提高农村居民的数字素养水平。

参考文献:

- [1] 陈智. 巩固拓展脱贫攻坚成果同乡村振兴有效衔接——论国家治理的“有效”与“长效机制”[J]. 西部论坛, 2022, 32(6):97-110.
CHEN Zhi. Consolidating and expanding the achievements of poverty alleviation and rural revitalization: on the “effective” and “long-term mechanism” of national governance[J]. Western Forum, 2022, 32(6): 97-110.
- [2] 董云. 乡村振兴战略下构建电商扶贫效果体系研究[J]. 商场现代化, 2023(2): 42-44.
- [3] 任笔墨,任晓冬,熊康宁. 集体行动理论视角下农民合作社益贫机理与益贫效果提升路径[J]. 农村经济, 2020,38(5):42-49.
- [4] 刘同山,苑鹏. 农民合作社是有效的益贫组织吗?[J]. 中国农村经济,2020,36(5):39-54.
LIU Tongshan, YUAN Peng. Are farmers' cooperatives effective pro-poor organizations? [J] China Rural Economy, 2020,36 (5): 39-54.
- [5] 刘明月,冯晓龙,冷淦潇,等. 从产业扶贫到产业兴旺:制约因素与模式选择[J]. 农业经济问题, 2021, 41 (10):51-63.

- LIU Mingyue, FENG Xiaolong, LENG Ganxiao, et al. From poverty-alleviation-based industry development to thriving business: constraint factors and mode selection[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2021, 41 (10): 51-63.
- [6] 熊春林,吴振宇. 农村电商合作社高质量发展的影响因素及路径探索—基于清晰集定性比较分析[J]. 西部经济管理论坛,2024,35(5):44-53.
- XIONG Chunlin, WU Zhenyu. Exploration of influencing factors and paths for the high-quality development of rural e-commerce cooperatives: based on a qualitative comparative analysis of clear sets[J]. *Western Forum on Economy and Management*, 2024, 35 (5): 44-53.
- [7] MEI Linfeng, ZHENG Yangyang, TIAN Mengling, et al. Driven by the policy or bent by the market? Cracking the digital transformation code of farmer cooperatives[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2024, 208: 123659.
- [8] 毛敏,贾乐林,鲍震天.“公司+合作社+农户”型供应链竞争与结构研究[J]. *系统科学学报*,2022,30(2): 59-64.
- MAO Min, JIA Lelin, BAO Zhentian. Research on the competition and structure of “company & cooperative & farmer” supply chain[J]. *Chinese Journal of Systems Science*, 2022, 30 (2): 59-64.
- [9] 雷明,陈亚宁,王钰晴,等. 行动者网络视角下多元主体参与电商助农帮扶模式研究—以拼多多“多多农园”为例[J]. *广西社会科学*,2024(3):122-134.
- [10] 罗胜,韦永贵,王水连. 小农户何以对接电商市场? 基于数字技能与机会利用的研究视角[J]. *科学决策*, 2024(8): 33-54.
- LUO Sheng, WEI Yonggui, WANG Shuilian. How can smallholder farmers connect with e-commerce markets? A research perspective based on digital skills and opportunity utilization[J]. *Scientific Decision-Making*, 2024(8): 33-54.
- [11] 刘帅成,王小芳. 家电企业和电商平台合作秩序的演化博弈分析[J]. *运筹与管理*,2020,29(10):76-83.
- LIU Shuaicheng, WANG Xiaofang. Evolutionary game analysis of cooperation order between appliance enterprises and ecommerce platforms[J]. *Operations Research and Management Science*, 2020, 29 (10): 76-83.
- [12] MOGOTLHWANE T, TALIB M, MOKWENA M. Role of ICT in reduction of poverty in developing countries: Botswana as an evidence in SADC Region[M]. Springer Berlin Heidelberg: Digital Information and Communication Technology and Its Applications, 2011.
- [13] 包春兵,金宗凯,戎晓霞,等. 环保刚性约束下中小企业污染共治策略演化博弈分析[J]. *中国管理科学*, 2023,31(9):137-147.
- BAO Chunbing, JIN Zongkai, RONG Xiaoxia, et al. Evolutionary game analysis of pollution co-governance strategies for SMEs under rigid environmental constraints [J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2023,31 (9): 137-147.
- [14] 万骁乐,王茜,孟庆春,等. 生产规模不经济性条件下考虑消费者偏好的智慧供应链扶贫模型研究[J]. *中国管理科学*,2020,28(2):153-165.
- WAN Xiaole, WANG Qian, MENG Qingchun, et al. Research on a smart supply chain poverty alleviation model considering consumer preferences under ineconomic production scale conditions[J]. *China Management Science*, 2020,28 (2): 153-165.
- [15] KANG Kai, WANG Mengzhuo, LUAN Xinfeng. Decision-making and coordination with government subsidies and fairness concerns in the poverty alleviation supply chain[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2021,152(9):107058.
- [16] 胡振华,彭凯敏. 基于演化博弈视角下农村电商精准扶贫机制研究[J]. *数学的实践与认识*,2021,51(9): 72-79.
- HU Zhenhua , PENG Kaimin. Research on targeted poverty alleviation mechanism of rural e-commerce from the perspective of evolutionary game[J]. *Mathematics in Practice and Theory*, 2021,51 (9): 72-79
- [17] WAN Xiaole, QIE Xiaoqian. Poverty alleviation ecosystem evolutionary game on smart supply chain platform under the government financial platform incentive mechanism[J]. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 2020, 372:112595.
- [18] RITZBERGER K, WEIBULL J W. Evolutionary selection in normal-form games[J]. *Econometrica*, 1995, 63(6):1371-1399.
- [19] SELTEN R. A note on evolutionarily stable strategies in asymmetric animal conflicts[J]. *Journal of Theoretical Biology*,1980,84(1):93-101.

(责任编辑 王绪迪)