

直播电商供应链的质量控制与可追溯性研究

——基于区块链视角的三方演化博弈分析

王瑞鹏, 台玉红

上海理工大学管理学院, 上海

收稿日期: 2023年10月6日; 录用日期: 2023年11月20日; 发布日期: 2023年11月27日

摘要

直播电商供应链存在产品质量不稳定和可追溯性不高的问题。本研究构建电商平台、品牌商和消费者的三方演化博弈模型, 探讨均衡策略的稳定性和参数的敏感性, 并通过仿真分析验证了研究命题的可靠性和有效性, 为直播电商供应链领域的决策者提供了决策参考, 可作为保护品牌声誉、维护消费者权益, 以及促进市场稳定和可持续发展的有力支持。研究表明: 电商平台佣金过高会增强品牌商生产低质量产品的意愿, 在消费者负面反馈过多时应主动选择区块链技术。品牌商的产品质量策略受成本、电商平台技术选择和消费者反馈影响, 应根据成本和收益调整产品质量, 建立良好品牌形象, 积极化解消费者的负面反馈带来的不利影响。消费者产品质量感知影响其反馈策略, 应提高维权意识并积极反馈, 推动电商平台严格监管商品质量。在品牌商策略中引入自播和代播, 并与电商平台、政府、消费者构建四方博弈进行分析, 将是下一步研究的方向。

关键词

直播电商供应链, 区块链, 可追溯性, 演化博弈

Quality Control and Traceability in Live Streaming E-Commerce Supply Chain

—A Tripartite Evolutionary Game Analysis from a Blockchain Perspective

Ruipeng Wang, Yuhong Tai

Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Abstract

The live e-commerce supply chain suffers from unstable product quality and low traceability. This study constructs a tripartite evolutionary game model of e-commerce platforms, brands and consumers, explores the stability of the equilibrium strategy and the sensitivity of the parameters, and verifies the reliability and validity of the research propositions through simulation analyses, which provides decision-making references to policymakers in the field of live e-commerce supply chain, and serves as a powerful support for protecting brand reputation, safeguarding consumer rights and interests, and promoting market stability and sustainable growth. The study shows that excessive commissions on e-commerce platforms enhance the willingness of brands to produce low-quality products, and that blockchain technology should be chosen proactively when there is too much negative consumer feedback. Brand owners' product quality strategies are affected by costs, e-commerce platform technology choices, and consumer feedback, and they should adjust product quality according to costs and revenues, build a good brand image, and positively resolve the adverse effects of negative consumer feedback. Consumers' perception of product quality affects their feedback strategy, and they should raise their awareness of rights protection and give positive feedback to push the e-commerce platform to strictly supervise the quality of goods. Introducing self-broadcasting and vicarious broadcasting in the brand's strategy, and constructing a four-way game with e-commerce platforms, government and consumers for analysis will be the direction of the next research.

Keywords

Live Streaming E-Commerce Supply Chain, Blockchain, Traceability, Evolutionary Game

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

近年来, 随着短视频平台的兴起和移动通信技术的升级, 我国直播电商迎来了新的发展机遇。相较于传统的“文字性”电商, 直播电商作为一种“视”“听”“说”结合为一体的电商模式, 为消费者获取信息提供了更广阔的途径。据第51次《中国互联网络发展状况统计报告》, 截至2022年12月, 我国短视频用户规模已达10.12亿, 占网民整体的94.8% [1]。此外, 根据网经社电子商务研究中心发布的《2022年度中国网络零售市场数据报告》直播电商市场规模达到3.5万亿元, 同比增长48.21%, 用户规模也已突破5.15亿户[2]。然而, 由于平台和消费者之间存在着信息不对称的现象, 产品质量的稳定性受到挑战。2021年北京市消费者协会共接到有关直播带货的消费者投诉2026件, 较2020年增加了98.43%。消费者投诉主要涉及商品质量问题, 虚假宣传以及售后服务难保障等方面, 反映了直播电商供应链仍存在信息失真、产品质量较低、监管不力的问题亟待解决。

直播电商作为一个新兴的、闭环的销售生态系统, 其供应链的核心主体包括品牌商、直播平台以及消费者等[3], 它通过有效链接供应商和消费者, 缩短供应链路, 实现精准供需匹配, 促进C2B(消费者对

销售商)和C2M(消费者对制造商)产业链路建构[4]。目前学者对直播电商的研究主要聚焦于供应链主体、供应链机制以及供应链主体的博弈问题。

直播电商在消费者中备受欢迎,因为它能够提供高情感体验,激发冲动性消费[5]。研究表明,直播间中的促销优惠、主播特征和活跃度对消费者情感体验产生重要影响。此外,消费者的个人特征,如年龄和受教育水平,也对其购买意愿产生影响[6]。消费者主观购买因素以及对食品安全的态度在直播电商中起着重要作用。然而,高互动性并不总是能够降低退货率[7],因此需要对在线评论排序进行改进。消费者短期忠诚度较高[8],但长期忠诚度却较低,与传统电商的二次消费策略[9]和退货策略[10]也存在差异。

直播电商供应链的运行机制涉及互动营销、协调和成本分担、融资模式选择和供应链主体决策。供应链中的互动和社交属性对消费者购买意愿有正向影响[11]。物流服务供应链中的协调和成本分担问题需要特别关注[12]。融资模式选择在资金有限的情况下是一个重要议题[13]。此外,强势主播如何影响供应链决策也需要研究[14]。

供应链主体之间的博弈问题需要更深入的研究。学者们研究了品牌商、MCN机构和电商平台之间的主体博弈行为,以及政府补贴机制如何解决搭便车问题[15][16][17]。然而,当前的研究尚未涉及供应链核心主体消费者的维权和反馈对其他主体产生的影响。在不同治理措施情境下,供应链企业社会责任决策也是一个值得研究的领域。

综上所述,现有文献涵盖了直播电商对消费者消费行为的影响因素、直播电商供应链的运行机制以及供应链主体之间的博弈问题。这些研究为直播电商的供应链的发展、优化和管理提供了重要的理论支持。然而,在直播电商领域,当前的研究对可追溯性技术的应用以及厂商、平台和消费者之间互动关系的优化策略方面的研究仍存在缺失。

本文旨在利用演化博弈,研究电商平台、品牌商和消费者之间的互动关系和优化策略,从而探讨供应链可追溯性技术在直播电商供应链中的应用。该研究可为直播电商供应链在产品质量、消费者满意度、商家和平台信誉等方面的可持续发展和协作效率提供优解方案,以促进直播电商的运作模式在信息化时代健康、稳定地发展。

2. 演化博弈模型的构建

直播电商供应链主体间存在着一个错综复杂的博弈关系,如图1所示。

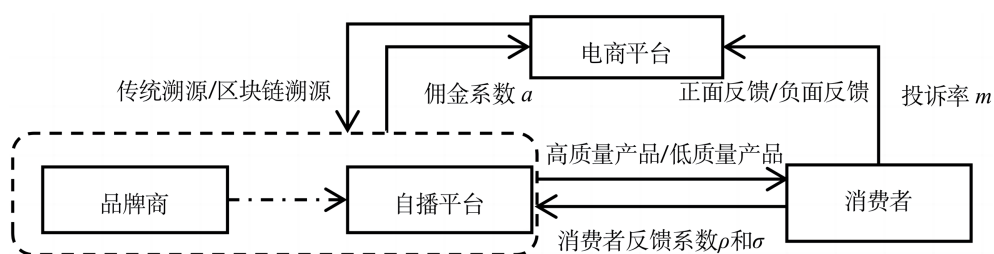


Figure 1. Supply chain game model of direct broadcast e-commerce

图 1. 直播电商供应链博弈模型

在直播电商供应链中,品牌商、电商平台和消费者共同构建了一个协作的生态系统。品牌商透过自播平台展示产品并与消费者互动,电商平台提供监管和溯源技术以保障产品质量和声誉,消费者参与直播互动购买商品并提供反馈。由于品牌商产品质量参差不齐,电商平台在溯源技术上选择的差异,以及消费者反馈的多样性和不确定性等多方面因素的影响。

假设1: 在由品牌商自播的直播电商供应链中, 主要涉及电商平台、品牌商和消费者三个主体。电商平台策略选择有提供传统溯源技术或提供区块链溯源技术, 概率分别为 x 和 $(1-x)$; 品牌商策略选择有提供高质量产品或低质量产品, 概率分别为 y 和 $(1-y)$; 消费者策略选择有正面反馈或负面反馈, 概率分别为 z 和 $(1-z)$ 。

假设2: 品牌商的收益由 w 表示, 其生产高质量产品和低质量产品的成本分别为 C_{bh} , C_{bl} , 这些成本包括运营、原材料、营销和诱导等多方面, 且 $C_{bh} > C_{bl}$ 。消费者的反馈影响品牌商产品的销售。消费者购买产品后, 所进行的正面反馈可提升产品美誉度而促进销量的增长, 比例为 ρ ; 反之, 负面反馈则会影响品牌形象而导致销量下降, 比例为 σ 。正面反馈将会收到品牌商的有将好评收益 q ; 当购买到低质量产品时, 将蒙受效用损失 I 。消费者进行投诉和退换货申请, 则会获得 G 的补偿收入。特别地, 在高透明度的有区块链嵌入的供应链中, 消费者购买高质量产品后的负面反馈不会获得此收入。

假设3: 电商平台通过提供技术支持和监管, 提高供应链的透明度, 保障消费者合法权益, 其收益来源为品牌商的佣金, 比例为 a , 且 $0 < a < 1$ 。提供传统溯源技术和区块链溯源技术的成本分别为 C_t 和 C_b , 且 $C_t < C_b$ 。区块链溯源技术下, 供应链的透明度和可追溯性大幅提高, 消费者对品牌商的信任度上升, 品牌商的收益也有所提升, 比例为 δ 。

假设4: 不同溯源技术下, 消费者的反馈情况呈现出差异性。在传统溯源技术下, 消费者倾向于进行退换货或投诉的比例较低, 为 m 。然而, 在区块链技术下, 由于产品透明度的上升, 消费者的维权意识提高, 比例为 k , 因此退货为消费者所带来的收益为 $mG(1+k)$ 。在区块链溯源的环境中, 消费者购买低质量产品趋于减少, 比例为 j , 则消费者在购买低质量产品效用损失为 $I(1-j)$ 。此外, 由于区块链技术提高了供应链的透明性, 消费者更容易辨别虚假的正面评价, 因此品牌商无法因虚假好评而获得额外的销售收益。

3. 三方博弈模型演化策略分析

3.1. 符号说明

根据上文假设, 列举文中出现的符号并加以说明, 如表1所示。

Table 1. Illustration of the notation of the parameters of the three-way evolutionary game

表 1. 三方演化博弈参数符号说明

符号	描述	符号	描述
x	电商平台采取提供传统溯源技术策略的概率	ρ	正面反馈增长系数
y	品牌商采取提供高质量产品策略的概率	σ	负面反馈降低系数, 由消费者负面反馈产生销量下降的比例系数
z	消费者选择正面反馈的概率	δ	信任溢价系数, 区块链技术下, 消费者对供应链的信任而产生销量上升的比例系数
w	品牌商的基本收益	I	效用损失, 消费者因产品质量而产生的效用损失
a	品牌商向电商平台缴纳的佣金比例	m	维权系数, 负面反馈的消费者进行退换货或投诉的比例
C_t	电商平台采取传统溯源技术策略时的技术成本	k	区块链技术下, 消费者购买到低质量产品的退换货和投诉率上升的比例系数

Continued

C_b	采取区块链溯源技术策略时的技术成本	j	区块链技术下, 消费者减少购买低质量产品的比例系数
C_{bh}	品牌商采取提供高质量产品策略时的成本	q	消费者进行好评返现的收益
C_{bl}	品牌商采取提供低质量产品策略时的成本	E	期望收益
G	消费者负面反馈产生的维权收益	\bar{E}	平均期望收益

3.2. 三方博弈矩阵

根据上文假设, 构建三方主体博弈矩阵, 如表2所示。

Table 2. Tripartite subject game matrix

表 2. 三方主体博弈矩阵

电商平台	品牌商	消费者	
		正面反馈 z	负面反馈 $1-z$
传统溯源 x	提供高质量产品 y	$a(1+\rho)w-C_i,$ $(1+\rho)w(1-a)-C_{bh},$ q	$a(1-\sigma)w-C_i,$ $(1-\sigma)w(1-a)-C_{bh}-Gm,$ Gm
	提供低质量产品 $1-y$	$a(1+\rho)w-C_i,$ $(1+\rho)w(1-a)-C_{bl},$ $q-I$	$a(1-\sigma)w-C_i,$ $(1-\sigma)w(1-a)-C_{bl}-Gm,$ $-I+Gm$
区块链溯源 $1-x$	提供高质量产品 y	$a(1+\delta)w-C_b,$ $(1+\delta)w(1-a)-C_{bh},$ q	$a(1+\delta)w-C_b,$ $(1+\delta)w(1-a)-C_{bh},$ 0
	提供低质量产品 $1-y$	$a(1+\delta)w-C_b,$ $(1+\delta)w(1-a)-C_{bl},$ $q-I(1-j)$	$a(1+\delta)w-C_b,$ $(1-\sigma+\delta-j)w(1-a)-C_{bl}-Gm(1+k),$ $-I(1-j)+Gm(1+k)$

3.3. 电商平台的策略稳定性分析

根据表2中的三方博弈矩阵, 可得到电商平台采取提供传统溯源技术策略和提供区块链溯源技术策略下的期望收益:

$$E_{p1} = aw(1-\sigma+\rho z+\sigma z)-C_i; E_{p2} = aw(1+\delta)-C_b$$

由此, 可以得到电商平台的复制动态方程及关于 x 的一阶导数:

$$F(x) = \frac{dx}{dt} = x(E_{p1} - \bar{E}_p) = x(x-1)[C_i - C_b + (\sigma + \delta)aw - (\rho + \sigma)awz];$$

$$\frac{dF(x)}{dx} = (2x-1)[C_i - C_b + (\sigma + \delta)aw - (\rho + \sigma)awz]$$

根据微分方程稳定性定理, 电商平台选择提供区块链溯源技术的概率处于稳定状态需满足:

$$F(x) = 0, \text{ 且 } \frac{dF(x)}{dx} < 0.$$

命题1: 当 $z < z_0$ 时, 电商平台的稳定策略是提供区块链溯源技术; 当 $z > z_0$ 时, 其稳定策略是提供传统溯源技术; 当 $z = z_0$ 时, 不能确定稳定策略; 其中,

$$z_0 = \frac{C_t - C_b + (\sigma + \delta)aw}{(\sigma + \rho)aw}$$

证明: 记 $G(z) = C_t - C_b + (\sigma + \delta)aw - (\sigma + \rho)aw$, 则 $\frac{dG(z)}{dz} = -(\sigma + \rho)aw$, 且 $\rho, \sigma, a, w > 0$, 因此 $\frac{dG(z)}{dz} < 0$, $G(z)$ 为关于 z 的减函数。当 $z < z_0$ 时, $G(z) > 0$, $F(x)|_{x=0} = 0$ 且 $\frac{dF(x)}{dx}|_{x=0} < 0$, 则 $x=0$ 具有

稳定性; 当 $z > z_0$ 时, $G(z) < 0$, $F(x)|_{x=1} = 0$ 且 $\frac{dF(x)}{dx}|_{x=1} < 0$, 则 $x=1$ 具有稳定性; 当 $z = z_0$ 时, $G(z) = 0$,

$F(x) = 0$, 此时电商平台不能确定稳定策略, 证毕。

命题1表明: 消费者的负面反馈在电商平台的技术选择中起到了引导和制衡的作用。平台会根据负面评价的变化, 灵活地调整技术策略, 以实现长期的经济利益和市场份额的稳固。当消费者的负面评价低于特定阈值时, 电商平台更倾向于采用传统的溯源技术, 以较低的技术成本维持较高的收益。随着负面评价逐渐增多直至高于特定阈值时, 区块链溯源技术逐渐成为电商平台更为稳定和合理的选择。区块链技术的引入, 将会提高电商平台的技术成本, 但能为消费者提供了更高的透明度和信任度, 使其能够更准确地了解产品信息, 并自信地做出购买决策, 促进直播电商供应链生态系统的良性发展。

3.4. 品牌商的策略稳定性分析

根据表2中的三方博弈矩阵, 可得到品牌商采取提供高质量产品和提供低质量产品策略下的期望收益:

$$E_{B1} = [Gm + (\sigma + \rho)w(1-a)] - [Gm + (\sigma + \rho)w(1-a)]x + (1 + \delta)w(1-a) - C_{bh};$$

$$E_{B1} = [(p - j)w(1-a) - Gkm]xz + [(\delta - j)w(1-a) - Gkm]x + [(\sigma + j)w(1-a) + Gm(1+k)]z + (\delta - \sigma)w(1-a) - Gm(1+k) + (1 - j)w(1-a) - C_{bl}.$$

由此, 可以得到品牌商的复制动态方程及关于 y 的一阶导数:

根据微分方程稳定性定理, 品牌商选择提供高质量产品的概率处于稳定状态需满足:

$$F(y) = 0, \text{ 且 } \frac{dF(y)}{dy} < 0.$$

$$F(y) = \frac{dy}{dt} = y(E_{B1} - \bar{E}_B) = y(y-1)\{[(\sigma + j)w(1-a) + Gm(1+k)](x-1)(1-z) + C_{bh} - C_{bl}\},$$

$$\frac{dF(y)}{dy} = (2y-1)\{[(\sigma + j)w(1-a) + Gm(1+k)](x-1)(1-z) + C_{bh} - C_{bl}\}.$$

命题2: 当 $x < x_0$ 时, 品牌商的稳定策略是提供高质量产品; 当 $x > x_0$ 时, 其稳定策略是提供低质量产品; 当 $x = x_0$ 时, 不能确定稳定策略; 其中, 阈值:

$$x_0 = \frac{[C_{bl} - C_{bh} + (\sigma + j)w(1-a) + Gm(1+k)](1-z)}{[(\sigma + j)w(1-a) + Gm(1+k)](1-z)}$$

证明: 记 $H(x) = [(\sigma + j)w(1-a) + Gm(1+k)](x-1)(1-z) + C_{bh} - C_{bl}$, 则有

$$\frac{dH(x)}{dx} = [(\sigma + j)w(1-a) + Gm(1+k)](1-z), \quad 0 < m, a, k, z < 1.$$

$\frac{dH(x)}{dx} > 0$, $H(x)$ 为关于 x 的增函数。 $x < x_0$ 时, $H(x) < 0$, $F(y)|_{y=1} = 0$ 且 $\left. \frac{dF(y)}{dy} \right|_{y=1} > 0$, 则 $y=1$

具有稳定性; $x > x_0$ 时, $H(x) > 0$, $F(y)|_{y=0} = 0$ 且 $\left. \frac{dF(y)}{dy} \right|_{y=0} < 0$, 则 $y=0$ 具有稳定性; $x = x_0$ 时, $H(x) > 0$,

$F(y) = 0$, 此时品牌商不能确定稳定策略, 证毕。

命题2阐述了品牌商在制定稳定的产品质量策略时, 受电商平台选择的溯源技术和其他参数的显著影响。存在一个关键阈值 x_0 , 表示电商平台采取传统溯源技术的概率。当电商平台倾向于提供传统溯源技术的概率低于 x_0 时, 品牌商的稳定策略是提供高质量产品; 然而, 当电商平台倾向于提供传统溯源技术的概率高于 x_0 时, 品牌商的稳定策略则转向提供低质量产品。这表明不同技术选择和产品质量策略对消费者行为、品牌商利润以及供应链的整体稳定性所带来的潜在影响。因此, 区块链技术的应用提升了产品质量的透明度, 减少了低质量产品被掩盖的可能性。

3.5. 消费者的策略稳定性分析

根据表2中的三方博弈矩阵, 可得到消费者采取提供正面反馈和负面反馈策略下的期望收益:

$$E_{C1} = Ij(xy - x - y + 1) + Iy + q - I;$$

$$E_{C2} = (Ij + Gm + Gjm)(xy - y + 1) + I(y - jx - 1) - Gjmx$$

因此,

$$F(z) = \frac{dF(z)}{dz} = z(z-1)[(1+j)Gm(xy - y + 1) - jGmx - q];$$

$$\frac{dF(z)}{dz} = (2z-1)[(1+j)Gm(xy - y + 1) - jGmx - q].$$

根据微分方程稳定性定理, 消费者选择正面反馈的概率处于稳定状态需满足: $F(z) = 0$, 且 $\frac{dF(z)}{dz} < 0$ 。

命题3: 当 $y > y_0$ 时, 消费者的稳定策略是正面反馈; 当 $y < y_0$ 时, 其稳定策略是提供负面反馈; 当 $y = y_0$ 时, 不能确定稳定策略; 其中, 阈值: $y_0 = \frac{Gjm + q - Gm(1+j)}{(Gm + Gjm)(x-1)}$ 。

证明: 记 $V(y) = (1+j)Gm(xy - y + 1) - jGmx - q$

$\frac{dV(y)}{dy} = (1+j)Gm(x-1)$, 由于 $0 < x < 1$ 且 $N, Gm, Gmj > 0$ 。因此 $\frac{dV(y)}{dy} < 0$, $V(y)$ 是关于 y 的减函数。

当 $y < y_0$ 时, $V(y) < 0$, $F(z)|_{z=0} = 0$ 且 $\left. \frac{dF(z)}{dz} \right|_{z=0} > 0$, 则 $z=0$ 具有稳定性; 当 $y > y_0$ 时, $V(y) > 0$,

$F(z)|_{z=1} = 0$ 且 $\left. \frac{dF(z)}{dz} \right|_{z=1} < 0$, 则 $z=1$ 具有稳定性; 当 $y = y_0$ 时, $V(y) > 0$, $F(z) = 0$, 此时消费者不能

确定稳定策略。证毕。

命题3阐述了消费者的正面反馈和负面反馈策略与品牌商提供的产品质量之间的密切关系。当品牌商倾向于提供更多的低质量产品时, 消费者更可能选择负面反馈策略, 以抵消这些低质量产品可能带来的负面影响; 反之, 当品牌商提供更多高质量的产品时, 消费者更可能倾向于选择正面反馈策略。消费者根据品牌商所提供的产品质量水平来调整其反馈策略, 以达到个人效用的最大化。消费者的反馈决策根据品牌商的产品质量变化进行调整, 进而在一定程度上对品牌商低产品质量的生产起到抑制作用。

3.6. 系统均衡点的稳定性分析

在非对称动态博弈中, 混合策略均衡并非全是演化稳定均衡, 因此只对演化博弈系统中的纯策略均衡点进行分析, 当 $F(x) = 0, F(y) = 0, F(z) = 0$ 时, 可得到8个系统均衡点: $E_1(0, 0, 0), E_2(0, 0, 1), E_3(0, 1, 0), E_4(0, 1, 1), E_5(1, 0, 0), E_6(1, 0, 1), E_7(1, 1, 0), E_8(1, 1, 1)$ 。根据Friedman提出的方法可知[18], 微分方程的演化稳定策略(ESS)可由该系统的Jacobian矩阵局部稳定性分析得到。系统Jacobian矩阵为:

$$J = \begin{bmatrix} (2x-1) \begin{bmatrix} C_i - C_b + (\sigma + \delta)aw - \\ (\sigma + \rho)awz \end{bmatrix} & 0 & x(1-x)(\sigma + \rho) \\ y(y-1)(1-z) \begin{bmatrix} (1+j)w(1-a) + \\ Gm(1+k) \end{bmatrix} & (2x-1) \begin{bmatrix} (\sigma + j)w(1-a)(x-1)(1-z) + \\ Gm(1+k)(x-1)(1-z) + C_{bh} - C_{bl} \end{bmatrix} & y(y-1)(1-x) \begin{bmatrix} (1+j)w(1-a) + \\ Gm(1+k) \end{bmatrix} \\ z(z-1)(y + jy - j)Gm & z(z-1)(1+j)(x-1)Gm & (2z-1) \begin{bmatrix} (1+j)Gm(xy - y + 1) - \\ jGmx - q \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

根据Lyapunov第一法(间接法) [19]可知, 当Jacobian矩阵的所有特征值都为负时, 此均衡点为演化稳定点; 当所有特征值都为正时, 此均衡点为不稳定点; 当有1或2两个特征值为正时, 则此点为鞍点。矩阵特征值及其实部符号如表3所示。

Table 3. Eigenvalues and real part symbols of the Jacobian matrix
表 3. Jacobian 矩阵的特征值及实部符号

均衡点	特征值			实部符号
	λ_1	λ_2	λ_3	
$E_1(0, 0, 0)$	$-C_i + C_b - (\sigma + \delta)aw$	$C_{bl} - C_{bh} + (\sigma + j)w(1-a) + Gm(1+k)$	$q - Gm$	(×, ×, ×)
$E_2(0, 0, 1)$	$-C_i + C_b - (\delta - \rho)aw$	$C_{bl} - C_{bh}$	$Gm - q$	(×, -, ×)
$E_3(0, 1, 0)$	$-C_i + C_b - (\sigma + \delta)aw$	$C_{bh} - C_{bl} - [(\sigma + j)w(1-a) + Gm(1+k)]$	q	(×, ×, +)
$E_4(0, 1, 1)$	$-C_i + C_b - (\rho - \delta)aw$	$C_{bh} - C_{bl}$	$-q$	(×, +, -)
$E_5(1, 0, 1)$	$C_i - C_b + (\delta - \rho)aw$	$C_{bl} - C_{bh}$	$Gm - q$	(×, -, ×)
$E_6(1, 0, 0)$	$C_i - C_b + (\sigma + \delta)aw$	$C_{bl} - C_{bh}$	$q - Gm$	(×, -, ×)
$E_7(1, 1, 0)$	$C_i - C_b + (\sigma + \delta)aw$	$C_{bh} - C_{bl}$	$q - Gm$	(×, +, ×)
$E_8(1, 1, 1)$	$C_i - C_b + (\delta - \rho)aw$	$C_{bh} - C_{bl}$	$Gm - q$	(×, +, ×)

注: 实部符号中“+”代表特征值为正, “-”代表特征值为负, “×”代表特征值符号取决于具体的参数值。

通过对表3的观察与分析, 可以得到以下命题及结论:

命题4: 当 $C_b - C_t < (\sigma + \delta)aw$, $C_{bh} - C_{bl} > (\sigma + j)w(1-a) + Gm(1+k)$ 且 $q < (1+j)Gm$ 时, 系统演化的稳定点为 $E_1(0, 0, 0)$ 。

命题4表明: 当区块链技术引起的销量增长效应超过不同溯源技术的成本差额, 不同质量生产的成本差额大于消费者正面反馈收益和维权收益, 且有奖好评收益小于维权收益时, 系统将保持稳定状态。具体而言, 区块链溯源技术与传统溯源技术成本接近, 表明纯粹的成本因素不再是技术选择的主要动力, 因此, 电商平台会更加关注消费者信任和销量增长效应的关键作用, 从而采用区块链技术。高质量产品的生产成本较高, 品牌商会采取低质量策略以维持收益。消费者好评返现的收益小于维权收益时, 将在购买决策中更注重产品质量和维权, 以激励品牌商更加关注产品质量和消费者满意度。

命题5: 当 $C_b - C_t < (\delta - \rho)aw$, 且 $q > Gm$ 时, 系统演化的稳定点为 $E_2(0, 0, 1)$; 当 $C_b - C_t < (\delta - \rho)aw$, 且 $q > Gm$ 时, 系统演化的稳定点为 $E_5(1, 0, 1)$ 。

命题5表明: 在消费者有奖好评收益高于维权收益的前提下, 若区块链溯源技术的成本略高于传统溯源技术成本, 且其成本差额小于区块链技术和消费者反馈带来的正面效应收益时, 电商平台趋向于选择区块链溯源技术; 反之, 当成本差额较大时, 电商平台趋向于选择传统溯源技术。消费者会受到高正面反馈收益的引导, 趋于给予正面评价以获取奖励。品牌商受到消费者正面反馈经济效益的驱动、低产品生产成本的影响, 更趋于提供低质量产品。

命题6: 当 $C_b - C_t > (\sigma + \delta)aw$, 且 $q < Gm$ 时, 系统演化的稳定点为 $E_6(1, 0, 0)$ 。

命题6表明: 当区块链技术引起的销量增长效应不足以弥补不同溯源技术的成本差额, 且消费者从有奖好评收益小于维权收益时, 系统将保持在稳定状态。在这个情况下, 电商平台会选择传统的溯源技术, 而不会采用区块链技术。消费者的好评收益不足以抵消他们可能获得的维权收益, 因此他们可能更加关注产品质量和维权, 从而促使品牌商提高产品质量, 以保持市场竞争力。

4. 数值仿真分析

为更加清晰地呈现电商平台、品牌商和消费者策略选择的演化过程, 了解相关因素如何影响三方主体的策略选择, 利用Matlab_R2022a软件对各主体的均衡策略模拟仿真。

其中, 参数值的选取考虑了两个方面: 第一, 成本参数的确定。根据变量限制条件和专家学者对电商平台[20]和区块链[21][22]领域的研究中所蕴含的赋值思想, 结合直播电商行业现状, 即新技术的应用尚未成熟, 需要克服更多的技术困难并协调各主体的利益, 因此电商平台应用传统溯源技术的成本要低于区块链溯源技术的成本, 即 $C_t < C_b$; 高质量产品的生产成本高于低质量产品的生产成本即 $C_{bh} > C_{bl}$ 。第二, 比例系数参数的确定。直播电商中消费者对于好评的敏感度要低于差评[23], 因此设定 $\rho < \sigma$; 根据Contini Caterina等[24]对在区块链技术下对消费者信任研究的基础上, 结合现实电商环境分析以及该领域专家学者的建议对 m , δ , k 和 j 的参数进行了确定。

根据上述条件, 确定了初始数组的取值: $C_t = 20$, $C_b = 30$, $C_{bh} = 60$, $C_{bl} = 20$, $k = 0.2$, $j = 0.1$, 在初始数组的基础上, 分析 w , a , G , ρ , σ , δ , m , q 的变化对博弈演化过程的影响。

4.1. 参数敏感性仿真分析

首先, 分析 w 和 a 对演化过程的影响, 对 w 赋以 $w = 50, 80, 160$, 复制动态系统的演化过程和结果如图2所示; 对 a 赋以 $a = 0.2, 0.4, 0.5$, 复制动态系统的演化过程和结果如图3所示。

由图2可知, 在系统逐步演化到稳定点的过程中, 品牌商收益 w 的增加能够延缓品牌商采取低质量产品策略的进程, 品牌商在保证高收益水平的情况下更有可能生产高质量产品, 因此, 品牌商要通过开源节流

等措施保证充足的收益, 提高产品质量和消费者满意度, 进而促进直播电商供应链的持续和稳定发展。

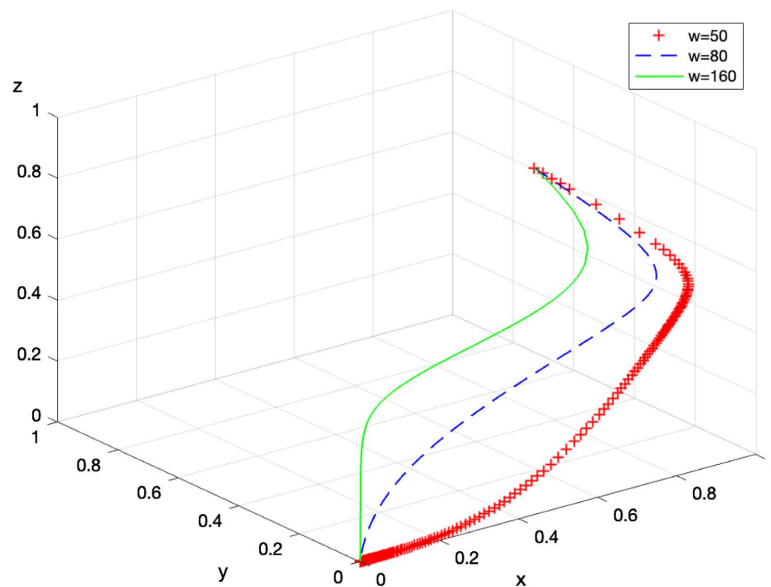


Figure 2. Impact of brand owner's revenue
图 2. 品牌商收益对博弈结果的影响

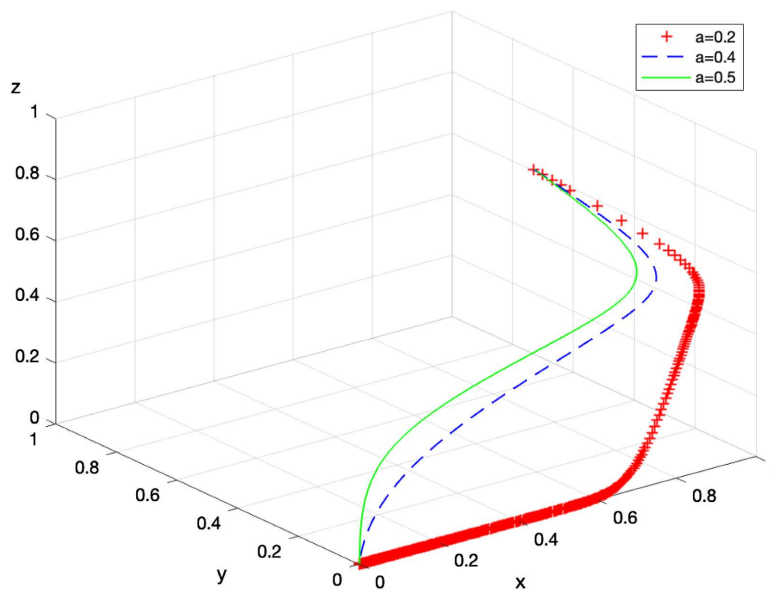


Figure 3. Impact of the commission factor
图 3. 佣金系数对博弈结果的影响

由图3可知, 在演化过程中, 佣金系数 a 的增加能够提升品牌商采取生产高质量产品策略的概率, 并且促进消费者负面反馈的概率下降。佣金系数 a 的增加意味着品牌商需要支付更高的佣金, 这可能会促使品牌商更倾向于选择生产高质量产品, 因为高质量产品的销售价格通常更高, 以覆盖更高的佣金成本。因此, 在高佣金的情境下, 品牌商应采取生产高附加值的高质量产品, 保证较大的利润空间, 注重产品质量和消费者体验, 以提高消费者满意度和减少负面反馈的可能性。

再者, 分析 G 和 q 对演化过程的影响, 对 G 赋以 $G = 15, 20, 25$, 复制动态系统的演化过程和结果如图4所

示; 对 q 赋以 $2, 6, 10$, 复制动态系统的演化过程和结果如图5所示。

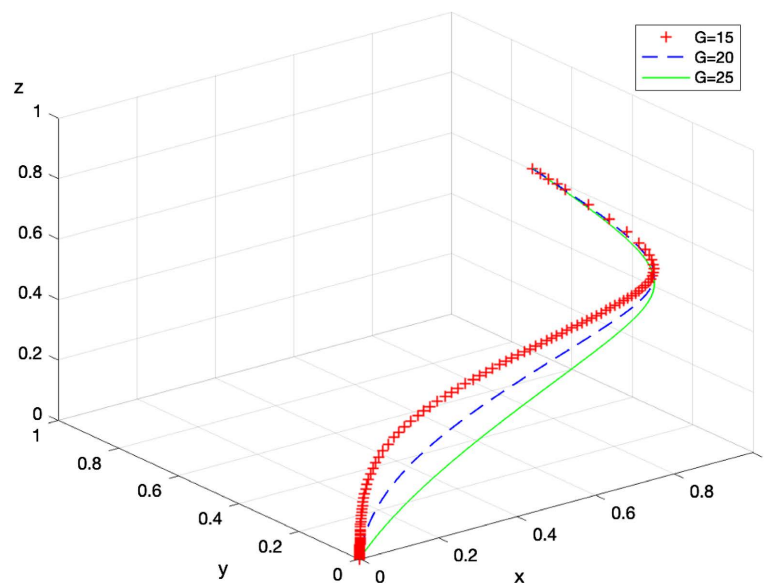


Figure 4. Impact of the benefits of customer advocacy
图 4. 维权收益对博弈结果的影响

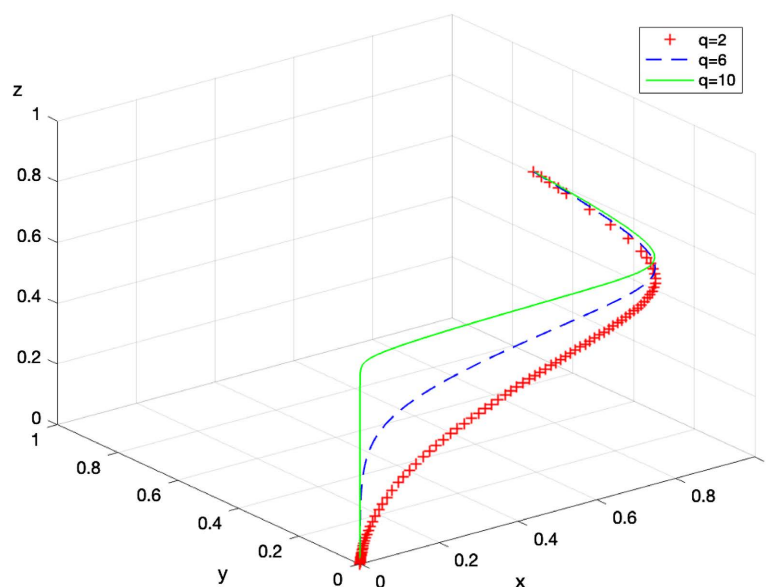


Figure 5. Impact of rewarded favourable feedback earnings
图 5. 有奖好评收益对博弈结果的影响

由图4可知, 在演化过程中, 维权收益 G 的提升促使消费者进行负面反馈的概率下降。消费者通过投诉所获得的收益增加是使其更愿意进行负面反馈来维护自身权益。由图5可知, 在演化过程中, 有奖好评收益 q 的提升能够加速消费者采取正面反馈策略的进程。有奖好评收益的提升可以增加消费者对产品或服务的认同感和满意度, 从而增强消费者采取正面反馈策略的动机。因此, 品牌商需要采取措施来提高消费者的维权收益, 例如提供更好的售后服务和纠纷处理机制, 提高消费者的满意度和信任度, 降低消费者进行负面反馈的概率, 设立奖励机制, 对给予好评的消费者提供一定的奖励。

然后, 分析 σ 和 ρ 对演化过程的影响, 对 σ 赋以 $\sigma = 0.1, 0.3, 0.5$, 复制动态系统的演化过程和结果如图6所示; 对 ρ 赋以 $\rho = 0.1, 0.3, 0.5$, 复制动态系统的演化过程和结果如图7所示。

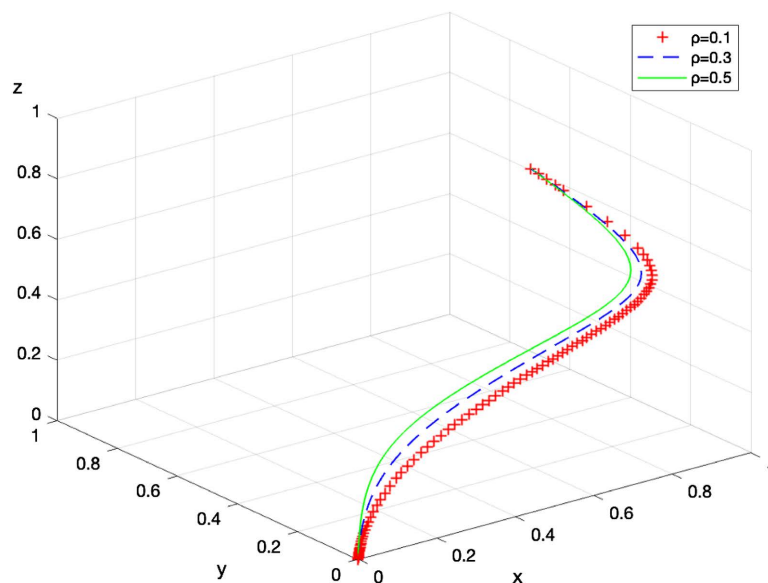


Figure 6. Impact of positive feedback coefficients
图 6. 正面反馈系数对博弈结果的影响

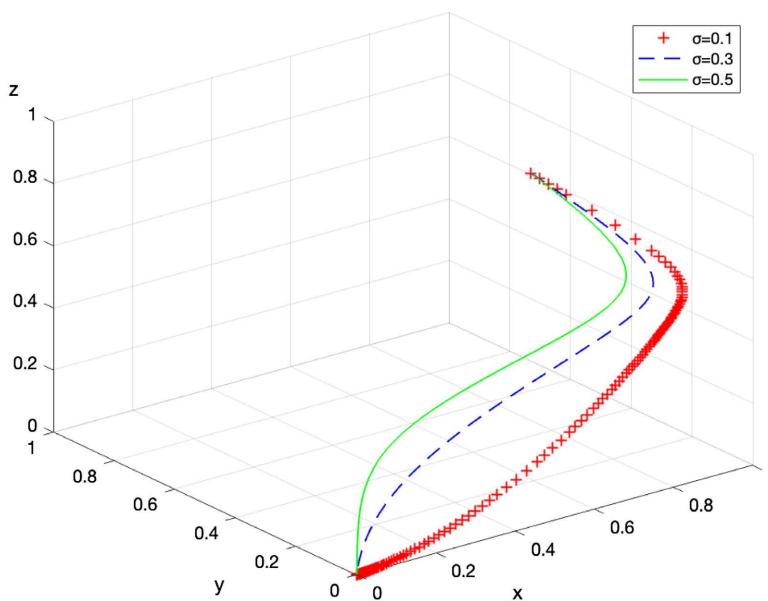


Figure 7. Impact of negative feedback coefficients
图 7. 负面反馈系数对博弈结果的影响

由图6和图7可知, 在演化过程中, 正面反馈影响因子 ρ 和负面反馈因子 σ 的上升都能促进品牌商选择生产高质量产品的概率上升, 即消费者对商品评价的重视度越高, 品牌商选择生产高质量产品的概率就越高, 且消费者对负面反馈的敏感性更高。因此, 品牌商可以通过提供更好的产品和服务来提高消费者的满意度和信任度, 从而增加消费者给予好评和正面反馈的概率, 也可以提供奖励机制或者提供方便快捷的反馈渠道来鼓励消费者进行正面反馈。同时, 品牌商应积极回应和处理消费者的投诉和问题, 以减

少负面反馈的发生和扩散。

最后, 分析 m 和 δ 对演化过程的影响, 对 m 赋以 $m = 0.2, 0.5, 0.8$, 复制动态系统的演化过程和结果如图8所示; 对 δ 赋以 $\delta = 0.1, 0.4, 0.7$, 复制动态系统的演化过程和结果如图9所示。

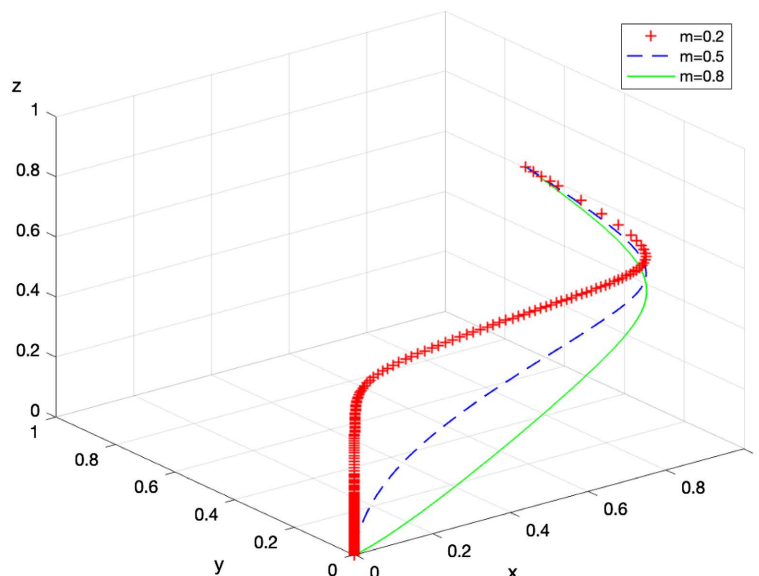


Figure 8. Impact of consumer advocacy coefficients

图 8. 消费者维权系数对博弈结果的影响

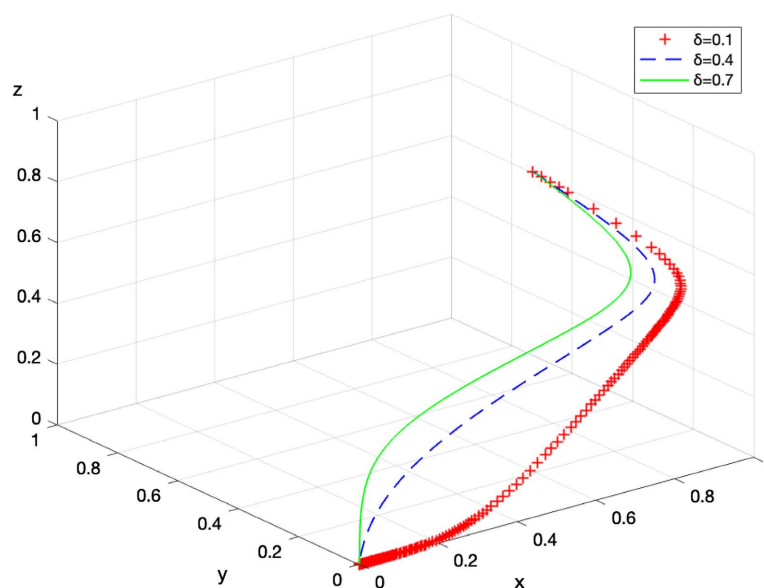


Figure 9. Impact of consumer's blockchain sensitivity coefficients

图 9. 消费者的区块链敏感系数对博弈结果的影响

由图8可知, 维权系数 m 的上升加速了电商平台采取区块链溯源技术策略选择的进程, 也降低了消费者进行正面反馈的概率。消费者会更关注产品的质量和售后服务, 对于购买到低质量产品的概率会更加敏感。当购买到低质量产品时, 他们更有可能进行负面反馈, 以维护自己的权益。电商平台受到消费者负面反馈上升的影响, 更有迅速地采取区块链溯源策略来维护市场秩序。因此, 消费者应该关注产品质

量和售后服务, 提高维权意识, 积极参与反馈, 以促进产品质量的提高和市场的健康发展。

由图9可知, 区块链信任因子 δ 的上升促进消费者选择正面反馈的概率上升, 即当消费者对供应链的透明度的敏感性越高, 区块链实施的效果越好, 消费者进行正面反馈的可能性也会越高。因此, 电商平台在采取溯源技术前需要进行充分的调查和研究, 了解消费者的需求和关注点, 进行市场研究和竞争分析, 并与品牌商和供应商建立良好的合作关系, 以实现更好的经营绩效和消费者满意度。

4.2. 数组演化仿真

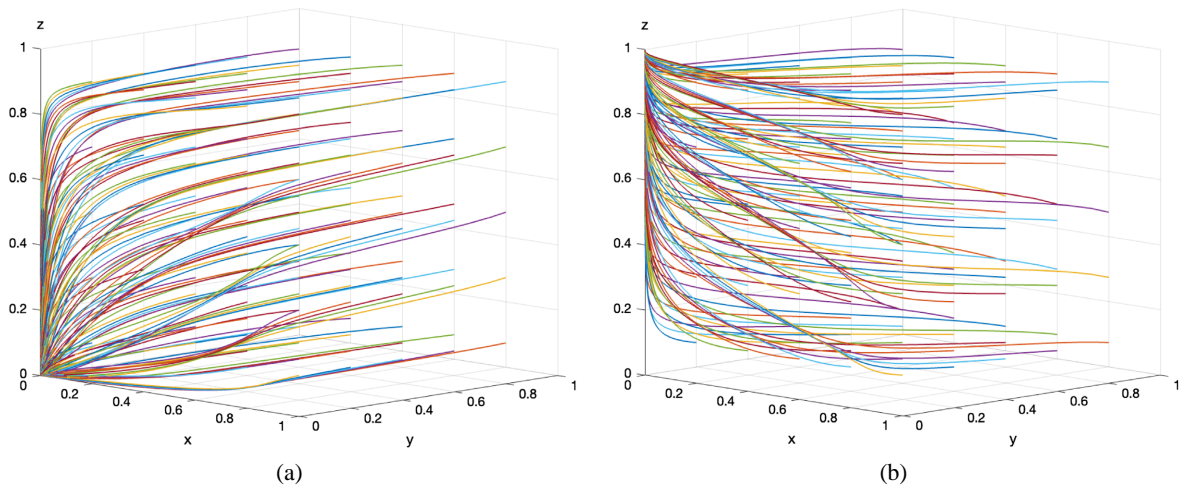
根据变量的限制条件: 当 $C_b - C_t < (\sigma + \delta)aw$, $C_{bh} - C_{bl} > (H + j)w(1 - a) + Gm(1 + k)$ 且 $q < (1 + j)Gm$ 时, 稳定点为 $E_1(0, 0, 0)$ 时; 当 $C_b - C_t < (\delta - \rho)aw$, 且 $q > Gm$ 时, 稳定点为 $E_2(0, 0, 1)$; 当 $C_b - C_t < (\delta - \rho)aw$, 且 $q > Gm$ 时, 稳定点为 $E_5(1, 0, 1)$; 当 $C_b - C_t > (\sigma + \delta)aw$, 且 $q < Gm$ 时, 稳定点为 $E_6(1, 0, 0)$ 。设置参数如表4所示:

Table 4. Table of array parameter values

表 4. 数组参数值表

ESS	w	a	C_t	C_b	C_{bh}	C_{bl}	G	ρ	σ	δ	m	k	j	q
(0, 0, 0)	80	0.4	20	30	60	20	20	0.1	0.3	0.4	0.5	0.2	0.1	2
(0, 0, 1)	80	0.4	20	25	60	20	10	0.1	0.3	0.4	0.5	0.2	0.1	15
(1, 0, 1)	80	0.4	20	65	60	20	10	0.1	0.3	0.4	0.5	0.2	0.1	15
(1, 0, 0)	80	0.4	20	60	30	20	20	0.1	0.3	0.4	0.5	0.2	0.1	2

在表4中给定的参数取值下, 通过对不同均衡点的初始数组进行演化分析, 得到了三方主体的策略演化图, 如图10所示。在演化过程中, 不同数组的演化趋势呈现差异。图10(a)展示了电商平台、品牌商和消费者在不同演化次数下的策略选择变化。在演化次数不断增多时, 它们的策略逐渐趋于(0, 0, 0), 即三方采取{区块链溯源技术、低质量商品, 负面反馈}的策略, 符合命题4的分析。图10(b)和图10(c)表明在演化次数不断增多时, 电商平台、品牌商和消费者的策略分别逐渐趋于(0, 0, 1)和(1, 0, 1), 即三方分别采取{区块链溯源技术、低质量商品, 正面反馈}的策略和{传统溯源技术、低质量商品, 正面反馈}的策略, 验证了命题5的分析, 图10(d)表明在演化次数不断增多时, 电商平台、品牌商和消费者的策略逐渐趋于(1, 0, 0), 即三方分别采取{区块链溯源技术、低质量商品, 负面反馈}的策略, 验证了命题6的分析。



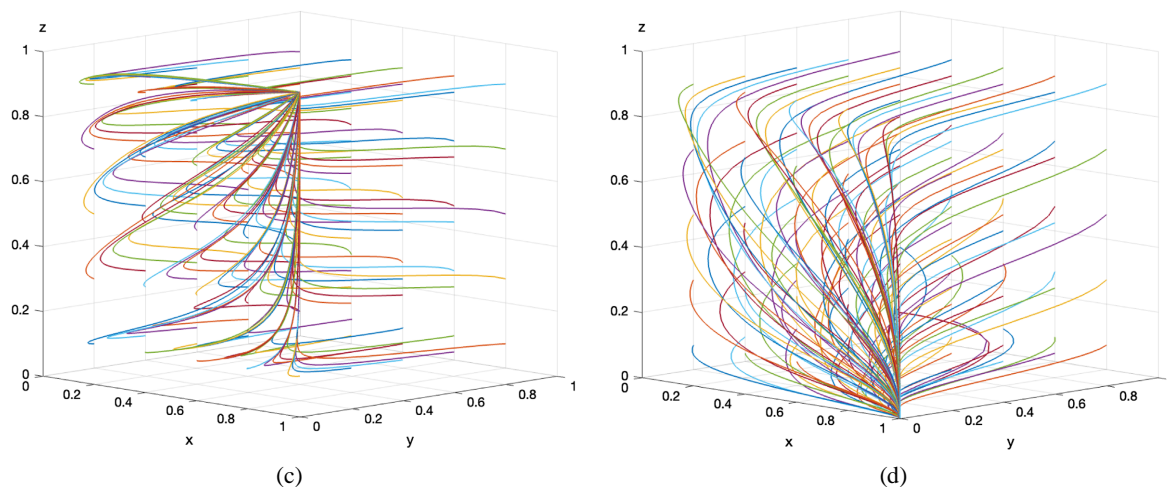


Figure 10. Strategy selection after 50 evolutions of the E_1 , E_2 , E_5 and E_6 arrays

图 10. E_1 、 E_2 、 E_5 和 E_6 数组演化 50 次后的策略选择

5. 结论

在直播电商供应链中,可能存在产品质量不稳定和可追溯性不高的问题。本文通过建立电商平台、品牌商和消费者的三方演化博弈模型,深入分析了各方策略选择的稳定性、博弈系统均衡策略组合的稳定性,以及在不同稳定点下相关因素变动对策略选择的影响。通过仿真分析验证了命题的可靠性和有效性。总结上述研究,得出以下结论和管理启示:

首先,电商平台应选择技术时注重消费者信任和销量增长,尤其是区块链技术,它提高透明度和信任度,鼓励明智购买决策。同时,降低佣金率鼓励品牌商提供高质量产品。在消费者负面评价高时,应采用区块链技术维护信任。技术改进应降低成本,销量增长应超过技术成本的增长。

其实,品牌商需要降低高质量产品成本,根据电商平台的技术和消费者反馈来调整产品质量策略。售后服务和纠纷解决机制的改进降低消费者负面反馈的风险。

最后,消费者应提高自身权益保护意识,积极参与反馈和投诉,促使品牌商提供更好的产品和服务。他们也应了解相关法律法规,特别是维权机制和投诉渠道,以保护自身权益。

本文仅考虑了直播电商供应链主体的运作问题,而未考虑政府的监管机制及其作用,同时也仅考虑了品牌商进行自播时的收益,未考虑与MCN机构(Multi-Channel Network,多频道网络)合作的代播化运营。因此,在品牌商策略中引入自播和代播的选择,与电商平台、政府、消费者构建四方博弈进行分析,将是下一步研究的方向。

参考文献

- [1] 黄楚新. 2022年中国短视频发展报告[J]. 人民论坛·学术前沿, 2023(13): 78-85.
- [2] 陈凯, 常皓媛. 品牌专场直播对消费者购买意愿的影响机制[J]. 中国流通经济, 2023, 37(6): 40-50.
- [3] 苏郁锋, 周翔. “直播电商”情境下数字机会共创机制研究: 基于数字可供性视角的质性研究[J]. 南开管理评论, 2023, 26(1): 106-117.
- [4] 王宝义. 直播电商的本质、逻辑与趋势展望[J]. 中国流通经济, 2021, 35(4): 48-57.
- [5] 孙凯, 刘鲁川, 刘承林. 情感视角下直播电商消费者冲动性购买意愿[J]. 中国流通经济, 2022, 36(1): 33-42.
- [6] 史彦泽, 费威, 王阔. 直播电商背景下消费者食品购买意愿影响因素分析[J]. 经济与管理, 2022, 36(6): 77-83.
- [7] 刘启华, 吴嘉雯, 许立扬, 等. 直播电商中在线评论对消费者退货意愿的影响研究[J]. 海南大学学报(人文社会

- 科学版), 2023, 41(5): 165-175.
- [8] 邹玉凤, 卢向华, 李凤瑶. 网红直播电商能带来忠诚消费者吗?——来自某化妆品品牌消费者购买的证据[J]. 外国经济与管理, 2023, 45(5): 134-152.
- [9] 吴国英, 闫建钢. “趋利”还是“避害”?——直播电商退换货服务对消费者行为的影响研究[J]. 现代财经(天津财经大学学报), 2021, 41(12): 65-77.
- [10] 张鹏, 王慧娟, 张津玲. 基于有限理性消费者的网络零售商退货运费险策略研究[J]. 管理评论, 2023, 35(4): 156-171.
- [11] 袁海霞, 黄丽雯. 电商直播互动模式对消费者购买意愿的影响研究[J]. 哈尔滨商业大学学报(社会科学版), 2022(6): 19-30.
- [12] Zhu, L.Y. and Liu, N. (2021) Game Theoretic Analysis of Logistics Service Coordination in a Live-Streaming E-Commerce System. *Electronic Commerce Research*, **23**, 1049-1087. <https://doi.org/10.1007/s10660-021-09502-y>
- [13] Huang, S., Du, B.Z., Fang, Z.P. and Liu, Z.X. (2023) E-Commerce Platform Financing versus Trade Credit Financing: Financing Mode Selection for Online Retailer Considering Live-Stream Selling in China. *Frontiers in Psychology*, **13**, Article 1078369. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.1078369>
- [14] Zhu, X.D., Zhu, H.T., Guo, Y.J. and Ding, L. (2023) Live Streaming E-Commerce Supply Chain Decisions Considering Dominant Streamer under Agency Selling and Reselling Formats. *Electronic Commerce Research*. <https://doi.org/10.1007/s10660-023-09718-0>
- [15] 霍红, 钟海岩. 农产品供应链质量安全中区块链技术投入的演化分析[J]. 运筹与管理, 2023, 32(1): 15-21.
- [16] 何鹏, 尚琦, 王先甲, 等. “直播+”背景下考虑平台监管的电商供应链演化博弈分析[J]. 系统工程理论与实践, 2023, 43(8): 2366-2379.
- [17] 程慧锦, 丁浩. 供应链企业社会责任治理决策研究——基于 SD-演化博弈分析法[J]. 运筹与管理, 2022, 31(5): 14-22.
- [18] Park, J.H. and Lin, M.L. (2020) The Effects of Match-Ups on the Consumer Attitudes toward Internet Celebrities and Their Live Streaming Contents in the Context of Product Endorsement. *Journal of Retailing and Consumer Services*, **52**, Article ID: 101934. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2019.101934>
- [19] Lyapunov, M.A. (2007) The General Problem of the Stability of Motion. *International Journal of Control*, **55**, 531-534. <https://doi.org/10.1080/00207179208934253>
- [20] 李春发, 曹颖颖, 王聪, 等. 平台规制下直播电商三方策略演化博弈与仿真[J]. 复杂系统与复杂性科学, 2022, 19(1): 34-44.
- [21] 周雷, 邓雨, 张语嫣. 区块链赋能下供应链金融服务小微企业融资博弈分析[J]. 金融理论与实践, 2021(9): 21-31.
- [22] 于晓辉, 何明珂, 张强, 等. 区块链驱动下快递“最后一公里”共同配送的博弈分析[J]. 运筹与管理, 2020, 29(1): 17-22.
- [23] 沈超, 刘士伟, 徐滔. 电商平台商家诱导评论的特征与对策研究[J]. 电子商务, 2019(5): 47-49.
- [24] Caterina, C., Fabio, B., Giovanna, P., Scozzafava, G. and Casini, L. (2023) Can Blockchain Technology Strengthen Consumer Preferences for Credence Attributes? *Agricultural and Food Economics*, **11**, Article No. 27. <https://doi.org/10.1186/s40100-023-00270-x>