

考虑零售商公平关切的绿色供应链 主体行为演化博弈研究

邵必林, 崔梦桦

(西安建筑科技大学 管理学院, 陕西 西安 710055)

摘要: 基于演化博弈的相关理论, 在绿色供应链运营过程中考虑零售商公平关切行为, 构建供应商、零售商与政府的演化博弈模型并进行稳定性分析, 结合数值仿真动态研究政府干预成本、补贴与惩罚力度、供应商绿色成本、零售商公平关切系数的变化对供应链成员策略行为演化结果的影响, 以期为实现三方利益平衡提供参考。结果表明, 供应商绿色成本与零售商公平关切系数对绿色供应链构建的影响呈正相关; 政府监管成本对绿色供应链构建的影响呈负相关; 政府补贴与惩罚力度对绿色供应链构建的影响具有阶段差异性。

关键词: 绿色供应链; 多主体; 公平关切; 三方博弈

中图分类号: F274

文献标志码: A

文章编号: 1007-7375(2021)05-0124-08

A Research on Evolutionary Game Behavior of Different Stakeholders in Green Supply Chain with the Fairness Concern of the Retailer

SHAO Bilin, CUI Menghua

(School of Management, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: Based on the relevant theory of evolutionary game, considering the fairness concern behavior of retailers in the process of green supply chain operation, an evolutionary game model of suppliers, retailers and the government is constructed and a stability analysis is conducted, and combining with numerical simulation, the effects of changes in government intervention costs, subsidies and penalties, supplier green costs, and retailer fairness of concern coefficients on the evolution of the strategic behavior of supply chain members are dynamically studied. It is expected to provide a reference for achieving a balance of interests among the three parties. The results show that the supplier's green cost and the retailer's fairness concern coefficient are positively related to the impact on the green supply chain. The government's regulatory cost is negatively related to the impact on the green supply chain. The effects of government subsidies are different from the penalties in different stages on the green supply chain.

Key words: green supply chain; multi-agent; fairness concern; tripartite game

随着信息技术的发展和社会分工的细化, 企业间掀起“横向一体化”的供应链管理热潮, 该模式将各节点企业依次连接起来, 以此实现对信息流、物流及资金流的整体把控, 在制造活动中占据强有力的竞争优势。与此同时, 供货网络的日益复杂和社会各界对环境绩效的重视, 又使得企业不断寻求新的供应链模式, 以弥补传统供应链在环境绩效上的

不足。绿色供应链是在传统供应链的基础上, 纳入对资源效率、环境影响的综合考虑, 有效解决我国制造业结构不合理、资源配置效率低的困境。因此, 成功构建绿色供应链、提升主体成员决策效率成为我国制造企业高质量发展的主要途径。

在对供应链参与主体的行为研究中, 学者们首先考虑的是成员行为偏好, 各成员间的利润分配会

收稿日期: 2020-05-12

基金项目: 住房和城乡建设部软科学研究资助项目(2019-R-022)

作者简介: 邵必林(1965—), 男, 云南省人, 教授, 硕士, 主要研究方向为数据挖掘、复杂系统决策智能研究、供应链管理。

触发公平关切机制发生作用, 从而影响行为选择。公平关切行为的出现突破了已有成果多是假设供应链成员均处于完全理性的局限性, 使决策结果和市场需求趋势的预测更加准确, 有利于维系主体利益平衡, 实现绿色供应链系统稳定发展。通过文献梳理发现, 公平关切对于绿色供应链主体行为的实际影响已成为近期学术界的研究热点。李帅伟等^[1]基于Nash讨价还价公平关切框架, 借助银行和交易信用两种融资方式, 研究公平关切对供应链融资及运营决策的影响。黄芳等^[2]证实零售商公平偏好将导致自身利润的提高和制造商利润的降低, 但供应链总利润不发生变化。与之略有不同的是, 林志炳等^[3]却得出零售商公平偏好对于供应链整体是不利的结论, 对比分析发现是后者综合考虑公平关切和搭便车两种系数所致。也有一些学者将公平关切纳入供应链主体定价策略和收益协调的研究中, 如范定翔等^[4]运用Stackelberg博弈理论, 探究产品性价比差异和双渠道商双向行为关切对供应链定价决策及主体效用的影响; 林强等^[5]在旅游供应链中考虑两种权势结构分别是景区主导和旅行社主导, 借此讨论公平偏好信息对称与不对称情况下供应链的最优定价策略; 王永明等^[6]分别在分散和集中决策下构建收益共享契约效用模型, 探讨零售商和供应商同时具有公平偏好和风险规避双因素行为下, 供应链订货量的决策优化及协调性问题; 王垒等^[7]则将公平中性与公平偏好下的定价策略进行对比, 得出制造商与零售商之间可通过三方收益共享契约实现收益协调。

近几年, 国内外一些学者对绿色供应链主体成员的利益均衡问题进行了研究, 大部分聚焦于找寻不同条件下博弈主体的利益平衡点^[8-9], 以达成利益相对均衡的目标, 进而维系绿色供应链的稳定。Hu等^[10]针对零售业中强势零售商限制供应商批发价的不公平现象, 考虑利润分配的公平性, 得出零售商的最佳批发价格和供应商的最佳产量。周永圣等^[11]从时间维度分析绿色信贷视角下政府、银行与企业三方主体的演化稳定策略, 发现政府的监管与引导是维系绿色供应链利益平衡的关键。但考虑到绿色供应链初期投入成本高, 企业自主意识差, 需要政府干预手段助力推广, 部分学者^[12-14]开始重点关注政府如何合理制定补贴政策, 从而推动绿色供应链

建设及企业绿色化发展。Hafezalkotob^[15]以政府作为研究导向, 利用政府和供应链间的Stackelberg博弈, 建立多个数学规划模型, 直观反映社会效用和干预程度是政府决策的两个重要标准; 江世英等^[16]建立多主体三阶段博弈模型, 发现政府补贴系数越大, 制造商研发绿色产品的积极性越高。

总体而言, 学者们对于绿色供应链的研究已经较为充分, 但基于公平关切视角研究的深度和广度明显不足。实际情况中, 绿色供应链涉及利益主体众多, 市场环境复杂多变, 将公平关切行为与演化博弈论相结合无疑更能够真实地反映行为主体的动态决策, 以及公平关切对合理构建绿色供应链的客观影响。然而, 现有的博弈研究多为两方博弈^[17], 例如兰梓睿等^[18]建立供应链上下游企业之间的演化博弈模型, 分析内部管理对绿色创新投入的作用; 左志平等^[19]研究集群供应链跨链绿色合作与政府管制行为之间的关系。也有部分学者将多个参与主体置于绿色供应链系统中进行博弈分析^[20], 如汪万等^[21]探索政府、创新企业和公众三方在责任式创新中的演化博弈关系, 但大多未充分考虑公平关切这一心理因素在绿色供应链中的作用。鉴于此, 本文在考虑零售商公平关切行为的前提下, 基于演化博弈理论将供应商、零售商和政府置于绿色供应链系统下, 综合分析绿色供应链多方主体行为策略的演化过程, 旨在实现三方利益平衡, 以此向政府提出针对性建议。

1 博弈模型的假设与构建过程

本文将绿色供应链的主体划分为供应商、零售商和政府。其中, 供应商是绿色供应链的发起方; 零售商是绿色供应链的推广方; 政府是绿色供应链市场的监管方。我国制造企业的绿色理念尚不深入, 供应商缺乏先进的绿色技术, 零售商受成本压力推广绿色供应链的积极性弱, 需要借助政府干预手段进行约束引导。基于以上研究作出如下假设。

H1: 供应商作为供应链的源头, 是绿色产品的提供者, 其选择策略分别为实行绿色供应链和不实行绿色供应链。供应商指的是直接向零售商提供产品的企业, 为避免过多中间环节, 本文不再将其详细区分为制造商、经销商和其他中介商。

1) 实行绿色供应链是指供应商为满足顾客的绿色消费需求, 在提升企业形象的同时获取更多的利益而自主研制绿色产品的策略行为。供应商实行绿色供应链, 需支付一定的产品研发费、设备更新费及废旧产品回收费, 总和记为 a , 即 a 为供应商实行绿色供应链的相关成本费用。此时, 供应商可获得的收益为 r_1 。

2) 不实行绿色供应链是指供应商沿用传统的技术或生产方法。供应商不实行绿色供应链, 可获得收益为 r_2 。

H2: 零售商作为绿色产品的分销方, 位于供应商的后端节点, 选择策略包括销售绿色产品和不销售绿色产品。

1) 销售绿色产品是指零售商愿意将供应商研发的绿色产品在市场上进行推广, 并协助供应商进行废旧产品的回收。零售商在绿色供应链市场上可获得的利润为 l , 当零售商愿意销售绿色产品且供应商实行绿色供应链时, 零售商可通过回收废旧产品从供应商手中获取相应的报酬 e 。

2) 由于绿色产品批发价格高于传统产品, 零售商受前期成本投入等因素的影响不愿意推广销售绿色产品。此时, 若供应商实行绿色供应链, 零售商所销售的传统产品可能会面临被市场淘汰的风险, 造成一定的利润损失 g 。

H3: 政府作为绿色供应链市场的监管方, 其选择策略涉及干预和不干预。

政府为激励制造企业积极实行绿色供应链, 向实行绿色供应链的供应商提供绿色技术补贴 A , 对不实行绿色供应链的供应商收取相应的罚款 B ; 与此同时, 绿色供应链的应用将会带来相应的环境和社会效益, 记作 E , 传统技术带来的环境破坏记为 P 。对销售绿色产品的零售商给予优惠政策 M , 针对不销售绿色产品的零售商, 可适当提高其市场准入门槛, 零售商因此将会产生一定的利润损失 G , 政府为以上干预行为需付出的干预成本为 C 。

H4: 设供应商可得利润为 π_s , 零售商可得利润为 π_r 。综合多种因素发现, 零售商对市场的主导能力相对较弱, 在供应链系统中更易对公平表现出强烈的关注, 即除了关心自身利润外, 也会关注供应商的利润, 以此判断自身是否处于利润分配公平状态, 进而修正自身效用。当供应商与零售商采取不同策略时, 零售商对供应商的公平关切程度为 λ ,

通过借鉴吕俊娜等^[22]公平关切下的效用函数, 可将零售商的效用函数表示为 $Q_i = \pi_i + \lambda(\pi_s - \pi_i)$ 。

H5: 假设博弈过程中, 供应商实行绿色供应链的概率为 x , 不实行绿色供应链的概率为 $1-x$; 零售商推广销售绿色产品的概率为 y , 不推广销售绿色产品的概率为 $1-y$; 政府对绿色供应链市场进行干预的概率为 z , 不干预的概率为 $1-z$ 。

模型涉及参与主体较多, 各个主体之间的关系较为复杂。根据假设以及供应商、零售商和政府绿色供应链市场中的关系构建出三方博弈支付矩阵, 如表1所示。

表 1 政府、供应商和零售商间的博弈支付矩阵

Table 1 Game payment matrix between government, suppliers and retailers			
战略选择		零售商销售绿色产品y	零售商不销售绿色产品1-y
政府干预z	供应商实行绿色供应链x	$r_1+A-a-e$	r_1+A-a
		$l+e+M$	$l-G+\lambda(r_1-a-l)$
	供应商不实行绿色供应链1-x	$E-C-A$	$-C-A$
		r_2-B	r_2-B
政府不干预1-z	供应商实行绿色供应链x	$l-g+M+\lambda(r_2-l+g)$	$l-G$
		$B-C$	$B-C-P$
	供应商不实行绿色供应链1-x	r_1-e-a	r_1-a
		$l+e$	$l+\lambda(r_1-a-l)$
		E	0
		r_2	r_2
$l-g+\lambda(r_2-l+g)$	l		
0	$-P$		

2 模型求解及稳定性分析

2.1 供应商的策略求解及稳定性分析

根据演化博弈的支付矩阵, 供应商实行绿色供应链的期望收益为

$$U_1 = y[z(r_1 + A - a - e) + (1 - z)(r_1 - e - a)] + (1 - y) \times [z(r_1 + A - a) + (1 - z)(r_1 - a)] = -ye + zA + r_1 - a。 \tag{1}$$

不实行绿色供应链的期望收益为

$$U_2 = y[z(r_2 - B) + (1 - z)r_2] + (1 - y)[z(r_2 - B) + (1 - z)r_2] = -zB + r_2。 \tag{2}$$

供应商选择策略的平均期望收益

$$\overline{U} = xU_1 + (1 - x)U_2。$$

供应商选择策略的复制动态方程为

$$F(x) = \frac{dx}{dt} = x(U_1 - U) = x(1-x)(U_1 - \bar{U}_2) = x(1-x)[z(A+B) - ye + r_1 - r_2 - a]. \quad (3)$$

供应商的渐近稳定性分析如下。

$$\frac{dF(x)}{dx} = (1-2x)[z(A+B) - ye + r_1 - r_2 - a]. \quad (4)$$

则 $z(A+B) - ye + r_1 - r_2 - a = 0$ 表示稳定状态的分界线。

若 $z(A+B) - ye + r_1 - r_2 - a > 0$, 即 $y < [z(A+B) + r_1 - r_2 - a]/e$ 时, 则有 $\frac{dF(x)}{dx}|_{x=0} > 0$, $\frac{dF(x)}{dx}|_{x=1} < 0$, 此时 $x=1$ 是均衡点, 表明对于供应商而言, 自愿实行绿色供应链的策略是稳定状态, 非自愿实行绿色供应链的策略是不稳定状态。

若 $z(A+B) - ye + r_1 - r_2 - a < 0$, 即 $y > [z(A+B) + r_1 - r_2 - a]/e$ 时, 则有 $\frac{dF(x)}{dx}|_{x=0} < 0$, $\frac{dF(x)}{dx}|_{x=1} > 0$ 。此时 $x=0$ 是均衡点, 表明对于供应商而言, 不实行绿色供应链的策略是稳定状态, 实行绿色供应链的策略是不稳定状态。

2.2 零售商的策略求解及稳定性分析

零售商销售绿色产品的期望收益为

$$V_1 = x[z(l+e+M) + (1-z)(l+e)] + (1-x)\{z[l-g+M+\lambda(r_2-l+g)] + (1-z)[l-g+\lambda(r_2-l+g)]\} = x(e+g-\lambda r_2+\lambda l-\lambda g)+z M+l-g-\lambda l+\lambda g+\lambda r_2. \quad (5)$$

不销售绿色产品的期望收益为

$$V_2 = x\{z[l-G+\lambda(r_1-a-l)] + (1-z)[l+\lambda(r_1-a-l)]\} + (1-x)\{z(l-G) + (1-z)l\} = x(\lambda r_1-\lambda a-\lambda l)-zG+l. \quad (6)$$

零售商选择策略的平均期望收益为

$$\bar{V} = yV_1 + (1-y)V_2.$$

故零售商选择策略的复制动态方程为

$$F(y) = \frac{dy}{dt} = y(V_1 - \bar{V}) = y(1-y)(V_1 - V_2) = y(1-y) \times [x(e+g-\lambda r_1-\lambda r_2+2\lambda l-\lambda g+\lambda a)+z(M+G)-\lambda l+\lambda g+\lambda r_2-g]. \quad (7)$$

零售商的渐近稳定性分析如下。

$$\frac{dF(y)}{dy} = (1-2y)[x(e+g-\lambda r_1-\lambda r_2+2\lambda l-\lambda g+\lambda a)+z(M+G)-\lambda l+\lambda g+\lambda r_2-g]. \quad (8)$$

则 $x(e+g-\lambda r_1-\lambda r_2+2\lambda l-\lambda g+\lambda a)+z(M+G)-\lambda l+\lambda g+\lambda r_2-g=0$ 表示稳定状态的分界线。

若 $x(e+g-\lambda r_1-\lambda r_2+2\lambda l-\lambda g+\lambda a)+z(M+G)-\lambda l+\lambda g+\lambda r_2-g > 0$, 即 $z > [-x(e+g-\lambda r_1-\lambda r_2+2\lambda l-\lambda g+\lambda a)+\lambda l-\lambda g-\lambda r_2+g]/(M+G)$, 则有 $\frac{dF(y)}{dy}|_{y=0} > 0$, $\frac{dF(y)}{dy}|_{y=1} < 0$ 。此时 $y=1$ 是均衡点, 表明对于零售商而言, 销售绿色产品的策略是稳定状态, 不销售绿色产品的策略是不稳定状态。

若 $x(e+g-\lambda r_1-\lambda r_2+2\lambda l-\lambda g+\lambda a)+z(M+G)-\lambda l+\lambda g+\lambda r_2-g < 0$, 即 $z < [-x(e+g-\lambda r_1-\lambda r_2+2\lambda l-\lambda g+\lambda a)+\lambda l-\lambda g-\lambda r_2+g]/(M+G)$, 则有 $\frac{dF(y)}{dy}|_{y=0} < 0$, $\frac{dF(y)}{dy}|_{y=1} > 0$ 。此时 $y=0$ 是均衡点, 表明对于零售商而言, 不销售绿色产品的策略是稳定状态, 销售绿色产品的策略是不稳定状态。

2.3 政府的策略求解及稳定性分析

政府进行干预的期望收益为

$$W_1 = x[y(E-C-A) + (1-y)(-C-A)] + (1-x)\{y(B-C) + (1-y)(B-C-P)\} = xyE - xyP + xP - xA - xB + yP + B - C - P. \quad (9)$$

不进行干预的期望收益为

$$W_2 = xyE + (1-x)(1-y)(-P) = xyE - xyP + xP + yP - P. \quad (10)$$

政府选择策略的平均收益为

$$\bar{W} = zW_1 + (1-z)W_2.$$

故政府选择策略的复制动态方程为

$$F(z) = \frac{dz}{dt} = z(W_1 - \bar{W}) = z(1-z)(W_1 - W_2) = z(1-z)[x(-A-B) + B-C]. \quad (11)$$

政府的渐近稳定性分析如下。

$$\frac{dF(z)}{dz} = (1-2z)(-xA - xB + B - C). \quad (12)$$

则 $-xA - xB + B - C = 0$ 表示稳定状态的分界线。

若 $-xA - xB + B - C > 0$, 则有 $\frac{dF(z)}{dz}|_{z=0} > 0$, $\frac{dF(z)}{dz}|_{z=1} < 0$, $\frac{x(-A-B)}{C-B} > 0$ 。此时 $z=1$ 是均衡点, 表明对于政府而言, 进行市场干预的策略是稳定状态, 不进行市场干预的策略是不稳定状态。

若 $-xA - xB + B - C < 0$, 则有 $\frac{dF(z)}{dz}|_{z=0} < 0$, $\frac{dF(z)}{dz}|_{z=1} > 0$ 。

0, $\frac{x(-A-B)}{C-B} < 0$ 。此时 $z=0$ 是均衡点, 表明对于政府而言, 不进行市场干预的策略是稳定状态, 进行市场干预的策略是不稳定状态。

此时求三方演化博弈的均衡点, 令

$$\begin{cases} F(x)=0; \\ F(y)=0; \\ F(z)=0. \end{cases}$$

则在空间 $R=\{(x,y,z)|0\leq x\leq 1; 0\leq y\leq 1; 0\leq z\leq 1\}$ 上存在 8 个均衡点: $S_1(0,0,1)$, $S_2(0,1,0)$, $S_3(1,0,0)$, $S_4(1,0,1)$, $S_5(1,1,1)$, $S_6(1,1,0)$, $S_7(0,0,0)$, $S_8(0,1,1)$, 构成博弈均衡解域的边界, R 为博弈均衡解域的集合, $T(x^*,y^*,z^*)$ 为另一个稳定点。其中, $x^*=(B-C)/(A+B)$; $y^*=[z(A+B)+r_1-r_2-a]/e$; $z^*=[-x(e+g-\lambda r_1-\lambda r_2+2\lambda l-\lambda g+\lambda a)+\lambda l-\lambda g-\lambda r_2+g]/(M+G)$ 。

其中, x^* 代表供应商实行绿色供应链的概率, 由表达式可知供应商实行绿色供应链的概率与政府监管成本、补贴、罚金及供应商绿色成本有关; y^* 代表零售商销售绿色产品的概率, 它与供应商实行绿色供应链的概率及政府干预概率等因素有关; z^* 代表政府的干预概率, 它与政府监管成本、补贴及罚金及供应商实行绿色供应链的概率有关。

三方演化博弈系统均衡的稳定分析结果如表 2 所示。

表 2 三方演化博弈系统均衡解的稳定分析

Table 2 Stability analysis of the equilibrium solution of the tripartite evolutionary game system			
序号	均衡点	特征根符号	稳定性
1	$S_1(0,0,1)$	有正值	不稳定点
2	$S_2(0,1,0)$	有正值	不稳定点
3	$S_3(1,0,0)$	有正值	不稳定点
4	$S_4(1,0,1)$	有正值	不稳定点
5	$S_5(1,1,1)$	有正值	不稳定点
6	$S_6(1,1,0)$	均为负值	渐进稳定点
7	$S_7(0,0,0)$	当 $B < C$, 且 $r_1-r_2-a < 0$, $g+r_2-1 < 0$, 均为负值	渐进稳定点
8	$S_8(0,1,1)$	当 $B > C$, 且 $r_1-r_2-a-e < -A-B$, $g < M+G$, 均为负值	渐进稳定点

3 演化博弈的数值模拟与价值分析

通过上述理论及模型分析可知, 供应商、零售商以及政府在绿色供应链市场中有着极为密切的联系, 且绿色供应链的稳定性随着参数的变化而改

变。为了更直观地探求三方主体在绿色供应链系统中的关系以及各参数的变化对绿色供应链整体稳定性的影响, 本文借助 Matlab 基于复制动态方程进行仿真, 并结合现实状况进行数值分析。

3.1 供应商不同绿色成本对绿色供应链稳定性的影响

通过调整供应商绿色成本的大小进而观察供应商对绿色供应链稳定性的影响, 设置 $a=4$, $a=6$ 和 $a=8$ 进行仿真, 结果如图 1 所示。

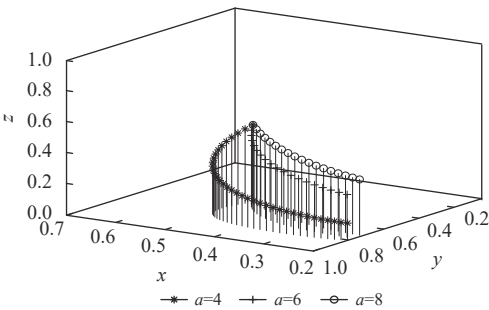


图 1 不同绿色成本下供应链三方博弈演化轨迹
Figure 1 Evolutionary trajectory of tripartite game in supply chain under different green costs

由图 1 可知, 随着绿色成本的降低, 供应商实行绿色供应链的比例增加, 供应商实行绿色供应链的成本降低促使绿色供应链的接纳率逐渐增大。但零售商因销售绿色产品带来的利润偏低且过低的绿色成本易吸收大量潜在竞争者的涌入, 因此零售商销售绿色产品的比例逐渐减小。所以绿色成本应尽量控制在一个合理阈值内, 以确保供应商和零售商实现共赢局面, 使得绿色供应链三方主体演化到一个较为稳定的状态。

3.2 零售商不同公平关切程度对绿色供应链稳定性的影响

通过调整零售商公平关切程度考察零售商行为策略对绿色供应链稳定性的影响, 设置 $\lambda=0.1$, $\lambda=0.5$ 和 $\lambda=0.9$ 进行仿真, 结果如图 2 所示。

由图 2 可知, 1) 零售商公平关切程度主要影响供应商和零售商的策略选择, 政府是否选择干预策略与零售商公平关切程度之间的联系不明显; 2) 零售商公平关切程度越大, 供应商实行绿色供应链的意愿越大, 零售商销售绿色产品的意愿也就越大。随着绿色供应链市场机制的不断成熟, 供应商实行绿色供应链的利润相较于传统供应链稳步增加, 零售商出于维护自身利润分配公平的原则逐渐采纳销售绿色产品的策略。

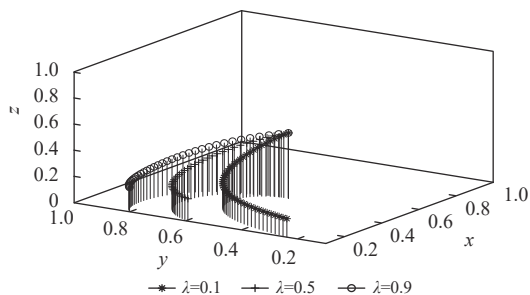


图2 零售商不同公平关切下供应链三方博弈演化轨迹

Figure 2 The evolutionary trajectory of the tripartite game in the supply chain under different fairness concerns of retailers

3.3 政府不同奖惩机制对绿色供应链稳定性的影响

通过补贴变化探究不同的奖励机制对绿色供应链稳定性的影响, 将补贴设置为 $A=1$, $A=3$ 和 $A=5$ 进行对比, 仿真结果如图3所示。

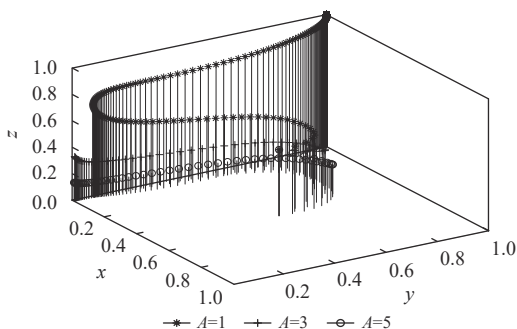


图3 政府不同补贴下供应链三方博弈演化轨迹

Figure 3 Evolutionary trajectory of tripartite game in supply chain under different government subsidies

通过调整罚金的数额反映处罚机制对绿色供应链稳定性的影响, 设置 $B=1$, $B=5$ 和 $B=9$, 仿真结果如图4所示。

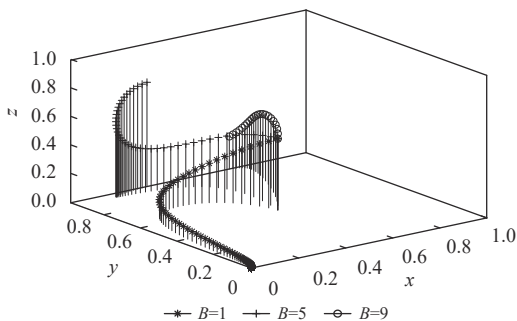


图4 政府不同罚金下供应链三方博弈演化轨迹

Figure 4 Evolutionary trajectory of tripartite game in supply chain under Different government penalties

由图3可知, 政府不同补贴下, 供应商和零售商的策略不是一成不变的。补贴机制对于供应商有较为明显的激励作用, 随着补贴力度的加大, 供应商实行绿色供应链的积极性更高涨, 但补贴机制对

于零售商的激励作用却是有限的。当补贴过高时, 政府对供应商绿色行为的支持一定程度上给零售商施加了竞争压力, 此时零售商采取不销售绿色产品的策略更有利于保证自身利润分配公平。因此, 合理的补贴值更有助于绿色供应链的推广应用。

由图4可知, 不同惩罚力度对供应商和零售商的策略选择有着直接影响, 供应商实行绿色供应链和零售商销售绿色产品的概率均随政府惩罚力度的增大而增大, 罚金越高, 效果越明显。这是由于罚金较低时, 企业不采纳绿色策略所付出的代价较小, 出于利益最大化原则, 供应商和零售商往往会选择忽视惩罚沿用传统供应链; 较高的罚金则会对企业利益造成威胁, 此时, 企业会首选实行绿色供应链的策略。

综上所述, 补贴与惩罚机制的设置均有利于推动企业实行绿色供应链, 但两种机制的作用并非是完全正向的, 当补贴与惩罚力度超过一定阈值, 激励效果明显减弱。因此, 补贴与惩罚机制要设置一个合适的临界点, 否则只会事倍功半。

3.4 政府不同干预成本对绿色供应链稳定性的影响

通过调整干预成本的大小考察政府管制对绿色供应链稳定性的影响, 设置 $C=1$, $C=2$ 和 $C=5$ 进行仿真, 结果如图5所示。

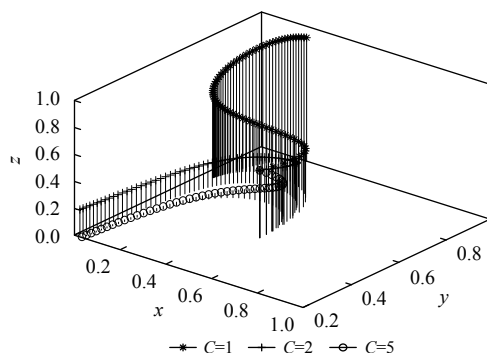


图5 政府不同干预成本下供应链三方博弈演化轨迹

Figure 5 Evolutionary trajectory of three-party game in supply chain under different government intervention costs

由图5可知如下结果。1) 政府不同干预成本对供应商和零售商的策略影响不同。随着政府干预成本的增加, 政府进行干预的概率有所下降, 供应商实行绿色供应链和零售商销售绿色产品的概率也随之下降。由此可见, 政府在保证监管力度的前提下尽可能地降低干预成本, 有利于提升企业绿色供应链的采纳率。2) 政府干预行为所产生的激励作用是有限度的。干预初期, 监管成本的变化对企业实行

绿色供应链的影响较为深刻,当干预程度达到一定阈值,政府即使投入再多的监管成本,也是收效甚微。因此,在绿色供应链体系中,政府干预行为主要起引导功能,随着该体系的逐渐完善,政府将逐渐退出博弈系统。

4 结论

本文将供应链成员中的发起方、推广方以及监管方统一于绿色供应链系统下,基于演化博弈理论进行模型的构建及稳定性分析,并进一步仿真研究参数变化对三方选择策略的影响,最终达到绿色供应链三方主体利益相对均衡的目的。研究表明,1)随着绿色成本的降低,供应商实行绿色供应链的意愿会显著增强,但零售商销售绿色产品的比例会相应减小,绿色成本应尽量控制在一个合理阈值内,实行绿色供应链的各方利益才会得到有效保证。2)零售商公平关切程度主要影响企业的策略选择,零售商公平关切程度越大,供应商实行绿色供应链的意愿越大,零售商销售绿色产品的意愿也就越大。3)政府的补贴惩罚机制对绿色供应链的推广作用具有阶段差异性。政府的补贴奖惩机制在一定范围内有助于提高供应商与零售商采纳绿色策略的概率,但并非补贴与罚金越高采纳率越高,补贴与罚金发挥的激励作用有限。4)政府初期的干预概率越大,供应商实行绿色供应链和零售商销售绿色产品的良性互动效果越好;随着政府干预成本的增加,政府选择干预策略的概率越低,供应商和零售商采纳绿色策略的意愿逐渐减小,绿色供应链的推广速度也会因此受到阻碍。

基于以上研究及结论给出如下建议。

1) 政府应从源头出发对供应商绿色产品研发进行补贴,并完善绿色专利制度,以此实现绿色成本的降低。这使得供应商有条件将更多资金投入绿色科研中,同时也能保障绿色原材料和零部件的采购,实现产品绿色度的提升;完善的专利制度能够鼓励企业进行绿色研发,并提供相关法律保障,从而增强供应商与零售商的绿色意愿,形成全面绿色的良好局面,在助力绿色供应链在企业间推广应用的同时有效保证各方主体利益。

2) 率先培养具有核心竞争力的供应商,采取多元化干预手段宣传绿色供应链的积极效应。利用利润分配机制提高零售商公平关切程度,达到供应商

与零售商共同进步及维系绿色供应链稳定性的效果;鼓励消费者积极购买绿色产品、举报不实行绿色供应链的企业,从需求端出发牵制并监督企业行为。

3) 由于补贴惩罚机制具有阶段差异性,政府在绿色供应链推行前期要致力于强化干预程度,后期则应当简政放权。可通过增加处罚金额对不实行绿色供应链的企业进行强制管控,大力补贴实行绿色供应链的企业;在推行后期,随着绿色供应链市场机制的逐渐成熟,政府的干预程度应逐渐减弱,在保证绿色供应链系统稳定性的同时争取实现绿色市场的自我调节。

本文通过构建绿色供应链演化博弈模型,探索多方主体策略行为的演化过程,验证供应商、零售商和政府绿色供应链系统内部的稳定策略,但博弈是在零售商考虑公平关切的前提下展开的,而在供应商考虑公平关切的情况下是否会对绿色供应链主体行为的演化产生影响仍有待考察,这将成为下一步的研究方向。

参考文献:

- [1] 李帅伟,韩瑞珠.考虑资金约束零售商公平关切的融资模式研究[J]. *工业工程*, 2019, 22(4): 79-86.
LI Shuaiwei, HAN Ruizhu. A research on financing model with the capital constrained retailer's fairness-concern[J]. *Industrial Engineering Journal*, 2019, 22(4): 79-86.
- [2] 黄芳,郑循刚,代应.零售商公平偏好对代发货模式下双渠道供应链决策的影响[J]. *系统管理学报*, 2019, 28(3): 560-568.
HUANG Fang, ZHENG Xungang, DAI Ying. Impact of retailer's fairness preference on decision-making of dual-channel supply chain in drop shipping[J]. *Systems Engineering-Theory Methodology Application*, 2019, 28(3): 560-568.
- [3] 林志炳,周伟涛.公平偏好下零售商绿色推广策略研究[J]. *工业工程与管理*, 2021, 26(3): 150-159.
LIN Zhibing, ZHOU Weitao. Retailer's green promotion strategy with fairness concern[J]. *Industrial Engineering and Management*, 2021, 26(3): 150-159.
- [4] 范定祥,李重莲.基于产品性价比差异和双渠道商双向公平关切的供应链定价与效用研究[J]. *工业工程与管理*, 2020, 25(4): 150-158.
FAN Dingxiang, LI Chonglian. Research on supply chain pricing and utility based on product price performance difference and dual-channel bidirectional fairness preference[J]. *Industrial Engineering and Management*, 2020, 25(4): 150-158.
- [5] 林强,陈林,甯清万,等.不同主导力量下考虑公平偏好的旅游供应链定价策略[J]. *工业工程*, 2020, 23(1): 87-95.
LIN Qiang, CHEN Lin, NING Qingwan, et al. A research on pricing strategy of tourism supply chain based on different dominant forces and fairness preference[J]. *Industrial Engineering*

- Journal, 2020, 23(1): 87-95.
- [6] 王永明, 余小华, 尹红丽. 基于风险规避和公平偏好的供应链收益共享契约协调研究[J/OL]. (2020-03-18). <https://10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2018.1312>.
- [7] 王垒, 曲晶, 刘新民. 考虑横向公平的双渠道销售闭环供应链定价策略与协调研究[J]. 工业工程, 2018, 21(3): 21-31.
WANG Lei, QU Jing, LIU Xinmin. Pricing strategy and coordination of closed-loop supply chain considering horizontal fairness under dual channel sales[J]. Industrial Engineering Journal, 2018, 21(3): 21-31.
- [8] YUAN Baiyun, HE Longfei, GU Bingmei et al. The evolutionary game theoretic analysis for emission reduction and promotion in low-carbon supply chains[J]. Applied Sciences, 2018, 8(10): 1965.
- [9] ZHANG Suyong, WANG Chuanxu, YU Chao. The evolutionary game analysis and simulation with system dynamics of manufacturer's emissions abatement behavior under cap-and-trade regulation[J]. Applied Mathematics and Computation, 2019, 355: 343-355.
- [10] HU B Y, MENG C, XU D, et al. Supply chain coordination under vendor managed inventory-consignment stocking contracts with wholesale price constraint and fairness[J]. International Journal of Production Economics, 2018, 202: 21-31.
- [11] 周永圣, 梁淑慧, 刘淑芹. 绿色信贷视角下建立绿色供应链的博弈研究[J]. 管理科学学报, 2017, 20(12): 87-98.
ZHOU Yongsheng, LIANG Shuhui, LIU Shuqin. The game study of establishing green supply chain from the perspective of green credit[J]. Journal of Management Sciences in China, 2017, 20(12): 87-98.
- [12] 杨朝均, 刘冰, 毕克新. 政府管制下内外资企业绿色创新扩散的演化博弈研究[J]. 软科学, 2019, 33(12): 86-91.
YANG Chaojun, LIU Bing, BI Kexin. Evolutionary game research on the diffusion of green innovation of domestic and foreign enterprises under government control[J]. Soft Science, 2019, 33(12): 86-91.
- [13] 尚文芳, 滕亮亮. 考虑政府补贴和销售努力的零售商主导型绿色供应链博弈策略[J]. 系统工程, 2020, 38(2): 1-15.
SHANG Wenfang, TENG Liangliang. Game strategy considering government subsidies and sales efforts in retailer-led green supply chain[J]. Systems Engineering, 2020, 38(2): 1-15.
- [14] 王新林, 胡盛强, 刘晓斌. 考虑政府激励政策的绿色供应链博弈模型及契约协调研究[J]. 工业工程, 2019, 22(6): 17-26.
WANG Xinlin, HU Shengqiang, LIU Xiaobin. Green supply chain game models and contract coordination with government incentives[J]. Industrial Engineering Journal, 2019, 22(6): 17-26.
- [15] HAFEZALKOTOB A. Modelling intervention policies of government in price-energy saving competition of green supply chains[J]. Computers & Industrial Engineering, 2018, 119: 247-261.
- [16] 江世英, 方鹏骞. 基于绿色供应链的政府补贴效果研究[J]. 系统管理学报, 2019, 28(3): 594-600.
JIANG Shiying, FANG Pengqian. Effect of government subsidies on manufacturers based on green supply chain[J]. Systems Engineering-Theory Methodology Application, 2019, 28(3): 594-600.
- [17] 李文龙. 契约博弈结合下农产品O2O二级供应链协调[J]. 工业工程, 2020, 23(1): 126-133.
LI Wenlong. An interest coordination of double-channel two-level supply chain for fresh agricultural products under contract game[J]. Industrial Engineering Journal, 2020, 23(1): 126-133.
- [18] 兰梓睿, 孙振清, 蔡琳琳. 低碳背景下上下游企业绿色创新投入的演化博弈[J]. 科技管理研究, 2019, 39(16): 257-263.
LAN Zirui, SUN Zhenqing, CAI Linlin. Evolutionary game of green-innovation investment in supply chains under low-carbon development[J]. Science and Technology Management Research, 2019, 39(16): 257-263.
- [19] 李志平, 刘春玲. 集群供应链绿色合作行为演化博弈分析[J]. 科技管理研究, 2015, 35(12): 220-223.
ZUO Zhiping, LIU Chunling. Evolution analysis on cluster supply chain green cooperation and the role playing by governments[J]. Science and Technology Management Research, 2015, 35(12): 220-223.
- [20] 曲国华, 刘雪, 曲卫华, 等. 公众参与下政府与游戏企业发展策略的演化博弈分析[J]. 中国管理科学, 2020, 28(4): 1-12.
QU Guohua, LIU Xue, QU Weihua, et al. Evolutionary game analysis of development strategies of government and game enterprises under public participation[J]. Chinese Journal of Management Science, 2020, 28(4): 1-12.
- [21] 汪万, 杨坤. 责任式创新下多主体协同机制演化博弈研究[J]. 软科学, 2020, 34(6): 17-25.
WANG Wan, YANG Kun. The evolutionary game research on multi-agent collaborative mechanism in responsible innovation [J]. Soft Science, 2020, 34(6): 17-25.
- [22] 吕俊娜, 刘伟, 邹庆, 等. 考虑公平关切的工程总承包合作利益分配模型[J]. 系统工程, 2014(12): 62-66.
LYU Junna, LIU Wei, ZOU Qing, et al. Distribution of cooperation benefits in EPC projects considering fairness concerns[J]. Systems Engineering, 2014(12): 62-66.

(责任编辑: 刘敏仪)