

信息共享下绿色供应链金融的三方演化博弈

徐嫒嫒, 黄小庆*

江西理工大学商学院(南昌校区), 江西 南昌

收稿日期: 2024年7月9日; 录用日期: 2024年8月19日; 发布日期: 2024年8月26日

摘要

优化中小企业融资环境, 以缓解其面临的资金瓶颈问题, 对于推动中小企业向绿色经济模式转型, 进而实现其可持续与健康的长期发展, 具有至关重要的意义。核心企业以自身强大的资金支持作支撑, 为中小企业提供信贷担保支持, 可以有效地为中小企业绿色转型进行赋能。本文从供应链金融的视角切入, 考虑信息共享因素, 通过建立商业银行、核心企业及中小企业的三方演化博弈模型, 分析各主体策略的选择。研究发现: 在供应链金融的框架下, 中小企业、核心企业及商业银行初始选择积极策略的比例若呈显著增长态势, 则博弈系统趋向帕累托最优状态的概率将显著提升。进一步分析表明, 有效降低各博弈主体的参与成本, 是驱动整个系统向帕累托最优状态演化的关键策略。

关键词

供应链金融, 演化博弈, 中小企业, 绿色转型

The Tripartite Evolutionary Game of Green Supply Chain Finance under Information Sharing

Yuanda Xu, Xiaoqing Huang*

Business School, Jiangxi University of Science and Technology, Nanchang Campus, Nanchang Jiangxi

Received: Jul. 9th, 2024; accepted: Aug. 19th, 2024; published: Aug. 26th, 2024

Abstract

Optimizing the financial environment for small and medium-sized enterprises to ease their funding constraints is crucial for advancing their transition to a green economy model and attaining

*通讯作者。

文章引用: 徐嫒嫒, 黄小庆. 信息共享下绿色供应链金融的三方演化博弈[J]. 运筹与模糊学, 2024, 14(4): 620-629.
DOI: 10.12677/orf.2024.144430

sustainable and robust long-term growth. Core enterprises, supported by their strong financial support, provide credit guarantee support for small and medium-sized enterprises, which can effectively empower their green transformation. This article commences by examining supply chain finance, takes into accounts information sharing variables, and formulates a tripartite evolutionary game model involving commercial banks, key enterprises, and small and medium-sized enterprises to evaluate strategy preferences of each participant. Research has indicated that within the scope of supply chain finance, a notable increase in the adoption of active strategies by small and medium-sized enterprises, core enterprises, and commercial banks at the initial stage leads to a higher likelihood of the game system moving closer to Pareto optimality. Moreover, in-depth analysis highlights that reducing the participation costs for all stakeholders is a crucial tactic in driving the overall system towards a state of Pareto optimality.

Keywords

Supply Chain Finance, Evolutionary Game, Small and Medium-Sized Enterprises, Green Transformation

Copyright © 2024 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

党的二十大报告明确指出, 促进经济社会的绿色转型与低碳发展, 是构筑高质量发展模式的核心要义与关键环节。中国各级政府非常重视利用经济政策引导资金流向生态环保等绿色领域, 并逐步建立起“自上而下”的中央顶层设计和“自下而上”的区域试点相结合的绿色经济政策体系, 特别是加强财政与金融政策的协调配合[1]。一直作为国家社会经济发 展的有力基础和有效支撑力量的中小企业, 对国家发展影响十分显著; 国家大力支持鼓励其顺应绿色发展理念, 继续创新发展, 从而实现经济全面均衡发展的目标; 然而大部分中小企业以自有资金支持其经营, 资金实力相对较弱, 且经营规模较小, 因此银行放贷困难较大、资金短缺问题成为发展一大障碍[2]; 而核心企业作为市场中的“称霸者”, 拥有雄厚的资金及丰富的市场资源, 可以使自身成为中小企业的绿色金融担保对象, 让担保变成合作, 共同获益。供应链中的银行、核心企业及中小企业的决策处于集成的信息环境下, 信息分享过程中会出现滞后性, 难免会存在信息扭曲的情况, 供应链中信息共享的风险会导致企业在金融贷款中处于劣势地位, 也会使提供担保的企业在担保过程中损害自身的利益, 故需要考虑信息共享因素对商业银行、核心企业及中小企业的决策影响。

本文将阅读的相关研究成果总结分为以下几个方面: 信息共享、绿色供应链金融及演化博弈。信息共享方面, 吴江与杨亚璇等人[3]构建了一种创新的区块链技术驱动的农业供应链金融信息共享平台原型, 该原型旨在高效联结农业供应链的各个环节、政府机构及金融机构, 通过区块链的不可篡改性 与分布式特性, 实现了信息的无缝共享与透明化, 为农业供应链金融的深化发展奠定了坚实基础。薛小龙与王要武等[4]在建筑供应链管理的实践基础上, 深入探索并构建了一套信息共享价值的量化评估模型, 该模型为优化信息流通策略、提升供应链整体效能提供了科学依据。林凯和王璐等[5]从信号博弈的角度探讨制造商对定价顺序的决策以及不同情景下零售商的信息共享策略。Wei 等[6]考虑一个由制造商和零售商组成的供应链, 并采用微分博弈论研究动态需求信息共享对供应链绿色技术创新和利润的影响。但上述文献在研究供应链上下游企业的信息共享问题时, 忽视了金融市场中核心企业面临

担保选择时的信息滞后问题。

绿色供应链金融方面, 徐鹏和孙宁等[7]认为供应链金融是为供应链成员提供融资、实现纵向一体化的金融服务方式, 通过整合物流、信息流和资金流, 降低供应链风险, 提高金融服务效率, 形成核心企业、上下游企业和资金方互利共赢的良性产业生态。王玉林和周亚虹等[8]深刻指出, 绿色金融作为一种促进经济与环境和谐共生的金融工具, 通过系统剖析绿色金融在我国的当前发展态势, 深入探究其对企业创新活动的影响路径与内在机制, 旨在为绿色金融的进一步推进提供坚实的理论支撑与实践指导。薛小飞[9]认为绿色供应链金融是绿色金融理念植根于供应链金融的一个细分方向。Zhao [10]认为绿色供应链金融是一种以企业重组为核心, 促进企业资金流动和环境保护事业发展的新型融资方式。徐荣贞和王森等[11]立足于绿色供应链金融的创新视角, 精心构筑了一个集企业绿色供应链管理、供应链金融运作与环境保护策略于一体的综合协调发展框架。本文的绿色供应链金融是一种从企业绿色创新的角度出发, 核心企业为“第三方担保机构”, 保证资金正常运转的一种融资方式。

演化博弈方面, 詹江和吴嘉儿等[12]围绕创业企业、政策性融资担保机构和贷款机构三个主体构造演化博弈模型, 通过不断试验、模仿及学习进行决策选择和调整, 有效促进企业与政策性融资担保机构、银行等三方的积极合作与协调。在非主动恶意违约的情境下, 文学舟和蒋海芸等[13]精心构建了一个涵盖担保机构、商业银行及违约小微企业三方的动态演化博弈模型, 深入剖析了在新一轮融资周期中, 各参与主体的策略选择行为及其背后的影响因素, 并结合实际案例对理论分析的结果进行了验证。王先甲和顾翠伶等[14]构建了金融机构、核心企业及中小微企业三方博弈主体的演化博弈模型, 确定演化稳定策略。Wang 等[15]构建了上下游企业间的演化博弈模型, 首先通过演化均衡分析, 探讨信用销售与绿色技术创新之间的互动关系; 其次, 通过数值模拟分析了信用销售与绿色技术创新决策的影响因素。上述文献主要是考虑各主体之间的博弈选择, 没有将信息共享的不对称性考虑在内, 而本文涉及的是一个引入信息共享因素的由绿色创新的中小企业、具有雄厚市场基础的核心企业以及可以提供金融支持的商业银行组成的三方博弈模型。

在此背景下, 本文基于演化博弈论的视角[16], 聚焦于信息共享程度这一核心要素, 深入探究中小企业、核心企业及商业银行在追求各自利益最大化过程中的稳定合作机制。通过构建理论模型, 本文旨在分析不同信息共享水平下, 三方主体的策略选择与利益回报之间的动态关系, 并系统考察关键因素的变动如何影响三方的决策行为。在此基础上, 结合当前信息共享实践的发展态势, 本文提出了一系列针对性建议, 旨在促进三方合作关系的持续优化与升级, 为构建更加高效、稳定的供应链金融生态体系提供理论支撑与实践指导。

2. 信息共享下绿色金融担保模式的模型构建

绿色供应链金融模式, 作为商业银行金融服务的一种创新形式, 旨在通过构建供应链金融网络, 将核心企业与众多中小企业紧密联结, 形成一条以绿色发展为导向的融资链条[17]。为了使自身及供应链利益最大化, 核心企业往往选择利用自身信用作为担保, 帮助中小企业获得商业银行的贷款, 并通过签订违约责任书或终止合作等方式对中小企业的经营行为进行监督和约束[18], 并通过引入信息共享因子分析对商业银行、核心企业及中小企业决策产生的影响, 从而维持住供应链的整体信用及后续的长期稳定发展。本文借助演化博弈论的理论框架, 构建了涉及中小企业、核心企业以及商业银行三方的绿色供应链金融动态演化模型, 剖析系统在不同条件下的演化路径与均衡状态, 进一步地探讨系统演化至稳定点所蕴含的意义, 并据此提出了一系列针对性建议。

2.1. 基本条件假设

假设 1 供应链上的中小企业、核心企业及商业银行为博弈的三个主体, 三个主体所构成的绿色供应

链金融为研究对象。绿色供应链金融表示为进行绿色生产的中小企业通过货物及其他产品进行抵押, 寻求核心企业合作, 向商业银行进行担保, 中小企业拿到担保凭证去商业银行贷款。三个利益主体皆为有限理性, 且从自身利益最大化角度出发, 在策略选择过程中依据自身能力及博弈结果逐步对策略进行调整。此外, 在博弈过程中, 各方在分析和判断等方面存在差异性, 且需要考虑到合作主体的信息共享程度。

假设 2 三个主体的策略选择分别为: 商业银行的策略空间为{提供贷款, 不提供贷款}; 核心企业的策略空间为{进行担保, 不进行担保}; 中小企业的策略空间为{守信, 不守信}。

假设 3 假设商业银行选择为中小企业提供贷款策略的概率为 x , 选择不为中小企业提供贷款策略的概率为 $1-x$; 核心企业选择进行担保策略的概率为 y , 选择不进行担保策略的概率为 $1-y$; 中小企业在收到商业银行的贷款后选择守信策略的概率为 z , 收到商业银行的贷款后选择不守信策略的概率为 $1-z$ 。其中 $x, y, z \in [0, 1]$, 且 x, y, z 都属于时间函数。

假设 4 假设商业银行、核心企业和中小企业在进行博弈的过程中存在一定的机会损失。考虑到时间成本的因素, 商业银行的机会损失为贷款利息, 而对于核心企业和中小企业来讲, 主要的机会损失为贷款未获批后导致供应链无法运转所造成的损失。

假设 5 假设在商业银行、核心企业及中小企业进行博弈的过程中需要考虑信息共享的作用, 商业银行、核心企业与中小企业对待信息共享都必须承担相应的损失, 包括收集信息、丰富自身的信息等, 信息共享系数为 b ; 当各主体在进行策略选择时, 信息共享的程度会影响其做出决策, 信息共享程度高, 获得认可或者选择的机会大, 信息共享程度低, 其他主体可能考虑风险因素, 对自身的负面影响较大。

假设 6 假设在核心企业为中小企业进行金融贷款担保的前提下, 可以对中小企业的经营活动做出监督, 也需要为中小企业的经营活动承担相应的连带责任; 当中小企业存在违规行为, 违反与核心企业所签订的合同时, 核心企业可以对中小企业进行惩罚或提出直接解约。

2.2. 三方主体损益系数及收益矩阵设定

基于上述假设, 对商业银行、核心企业及中小企业的损益变量进行设定, 之后构建三方收益矩阵。

(1) 影响商业银行决策的损益变量

商业银行提供贷款所获得的投资收益为 R_1 。当中小企业策略选择为守信, 核心企业进行担保时, 后续银行与该企业的合作会带来潜在收益 I_1 ; 当中小企业策略选择守信, 核心企业不进行担保时, 商业银行若要选择给中小企业提供金融贷款时, 需要对中小企业进行经营状况的调查, 所要支出的成本为 C_1 ; 当中小企业策略选择为不守信, 核心企业进行担保时, 核心企业根据担保合同按比例对风险进行偿还时, 商业银行存在的损失为 C_2 ; 当中小企业的策略选择为不守信, 核心企业不选择担保时, 商业银行在对中小企业追责后存在的损失为 C_3 。商业银行不提供贷款的情况下, 商业银行所获得的收益为基本收益 I_2 , 所代表的是银行存款利息。

(2) 影响核心企业决策的损益变量

当中小企业策略选择为守信, 商业银行提供贷款时, 核心企业为中小企业担保所带来的保费收入为 R_{21} , 核心企业不选择为中小企业担保所带来的收入为 R_{22} , 担保成本为 C_4 ; 当中小企业策略选择为守信, 商业银行不提供贷款时, 核心企业选择进行担保时需要承担由于贷款未到账供应链运转中的损失 C_{51} ; 当中小企业策略选择为不守信, 商业银行提供贷款时, 核心企业选择进行担保时需要按合同比例进行偿还的成本为 C_6 ; 商业银行不提供贷款时, 核心企业需要根据担保合同对供应链运转中的损失承担一定的比率, 损失为 C_{52} 。而在中小企业选择不守信而核心企业选择担保时, 核心企业会获得中小企业违约所造成的赔偿 R_6 。

(3) 影响中小企业决策的损益变量

在商业银行提供贷款, 核心企业为中小企业提供担保时, 中小企业选择守信时的收益为 R_{31} , 中小企业选择不守信所获得的投机收益为 R_4 , 中小企业选择不守信的违约成本为 C_7 , 不守信所损失的潜在收益 C_8 ; 在商业银行提供贷款, 核心企业不选择为中小企业提供担保时, 中小企业选择守信时的收益为 R_{32} , 争取贷款所需要花费的所有成本为 C_9 , 中小企业选择不守信所获得的投机收益为 R_5 , 不守信所需要付出的成本为 C_{10} 。中小企业进行日常生产的成本为 T 。当商业银行不提供贷款, 核心企业提供担保的情况下, 中小企业由于缺乏资金无法维持供应链的正常运转, 所造成的损失为 C_{11} ; 若中小企业选择不守信, 则还需要支付核心企业的赔偿 R_6 。

(4) 其他影响因素

中小企业在进行绿色创新时, 需要考虑绿色创新成本, 绿色创新影响因素为 a , 而中小企业绿色生产成本为 aT , 而绿色创新成本投入可以为中小企业提供技术担保; 信息共享可以成为商业合作的重要因素, 当商业银行、核心企业及中小企业在面对商业决策中, 不考虑信息的及时性, 就会造成损失, 信息共享的影响因素为 b , 主要表示信息共享程度, 取值范围: $0 \sim 1$ 。

基于上述的假设及参数设定, 可以列出具体的收益矩阵, 如表 1 所示。

Table 1. Benefit matrix of tripartite evolutionary game

表 1. 三方演化博弈收益矩阵

策略组合	商业银行收益	核心企业收益	中小企业收益
(提供贷款, 进行担保, 守信)	$R_1 + I_1$	$R_{21} - C_4$	$R_{31} - aT$
(提供贷款, 进行担保, 不守信)	$R_1 - C_2$	$R_{21} - C_4 - C_6$	$R_4 - C_7 - C_8 - aT$
(提供贷款, 不进行担保, 守信)	$R_1 - (1-b)C_1$	R_{22}	$R_{32} - (1-b)C_9 - aT$
(提供贷款, 不进行担保, 不守信)	$R_1 - (1-b)C_1 - C_3$	R_{22}	$R_{32} + R_5 - (1-b)C_9 - C_{10} - aT$
(不提供贷款, 进行担保, 守信)	I_2	$-C_{51}$	$-C_{11} - aT$
(不提供贷款, 进行担保, 不守信)	I_2	$R_6 - C_{52}$	$-C_{11} - aT - R_6$
(不提供贷款, 不进行担保, 守信)	I_2	0	$-C_{11} - aT - C_{52}$
(不提供贷款, 不进行担保, 不守信)	I_2	0	$-C_{11} - aT - C_{52}$

2.3. 复制动态方程

2.3.1. 商业银行复制动态方程

商业银行选择“提供贷款”的期望收益:

$$E_{x1} = yz(R_1 + I_1) + y(1-z)(R_1 - C_2) + (1-y)z(R_1 - (1-b)C_1) + (1-y)(1-z)(R_1 - (1-b)C_1 - C_3) \quad (1)$$

商业银行选择“不提供贷款”的期望收益:

$$E_{x2} = yzI_2 + y(1-z)I_2 + (1-y)zI_2 + (1-y)(1-z)I_2 \quad (2)$$

商业银行复制动态方程:

$$F_x = \frac{dx}{dt} = x(1-x)(R_1 - C_3 - I_2 - C_1 + bC_1 + (C_1 - C_2 + C_3)y + C_3z - bC_1y + C_2yz - C_3yz + I_1yz) \quad (3)$$

F_x 的一阶导数和给定的 $G(y)$ 分别为:

$$\frac{d(F_x)}{dx} = (1-2x)(R_1 - C_3 - I_2 - C_1 + bC_1 + (C_1 - C_2 + C_3)y + C_3z - bC_1y + C_2yz - C_3yz + I_1yz) \quad (4)$$

$$G(y) = (R_1 - C_3 - I_2 - C_1 + bC_1 + (C_1 - C_2 + C_3)y + C_3z - bC_1y + C_2yz - C_3yz + I_1yz) \quad (5)$$

根据微分方程稳定性定理, 商业银行选择提供贷款的概率处于稳定状态必须满足: $F_x = 0$ 且 $\frac{d(F_x)}{dx} < 0$ 。由于 $\frac{\partial G(y)}{\partial y} > 0$, 故 $G(y)$ 为关于 y 的增函数。则: 当 $y = \frac{R_1 - C_3 - I_2 - C_1 + bC_1 + C_3z}{(b-1)C_1 + (1-z)(C_2 - C_3) - I_2z} = y^*$ 时, $G(y) = 0$, 此时 $\frac{d(F_x)}{dx} \equiv 0$, 商业银行不能确定稳定策略; 当 $y < y^*$ 时, $G(y) < 0$, 此时 $\left. \frac{d(F_x)}{dx} \right|_{x=0} < 0$, $x = 0$ 为商业银行的演化稳定策略(Evolutionarily Stable Strategy, ESS); 反之, $x = 1$ 为 ESS。

2.3.2. 核心企业复制动态方程

核心企业选择“进行担保”的期望收益:

$$E_{y1} = xz(R_{21} - C_4) + x(1-z)(R_{21} - C_4 - C_6) - (1-x)zC_{51} + (1-x)(1-z)(R_6 - C_{52}) \quad (6)$$

核心企业选择“不进行担保”的期望收益:

$$E_{y2} = xR_{22} \quad (7)$$

核心企业复制动态方程、一阶导数及 $T(z)$ 分别为:

$$F_y = \frac{dy}{dt} = y(1-y)(R_6 - C_{52} - C_4x - C_6x + C_{52}x - C_{51}z + C_{52}z - R_6x + R_{21}x - R_{22}x - R_6z + C_6xz + C_{51}xz - C_{52}xz + R_6xz) \quad (8)$$

$$\frac{d(F_y)}{dy} = (1-2y)(R_6 - C_{52} - C_4x - C_6x + C_{52}x - C_{51}z + C_{52}z - R_6x + R_{21}x - R_{22}x - R_6z + C_6xz + C_{51}xz - C_{52}xz + R_6xz) \quad (9)$$

$$T(z) = R_6 - C_{52} - C_4x - C_6x + C_{52}x - C_{51}z + C_{52}z - R_6x + R_{21}x - R_{22}x - R_6z + C_6xz + C_{51}zC_{52}xz + R_6xz \quad (10)$$

根据微分方程稳定性定理, 核心企业选择进行担保的概率处于稳定状态必须满足: $F_y = 0$ 且 $\frac{d(F_y)}{dy} < 0$ 。 $T(z)$ 为增函数。

$$\text{当 } z = \frac{R_6 - C_{52} - C_4x - C_6x + C_{52}x - R_6x + R_{21}x - R_{22}x}{(1-x)(C_{51} - C_{52}) - (C_6 + R_6)x} = z^* \text{ 时, } T(z) = 0, \frac{d(F_y)}{dy} \equiv 0, \text{ 核心企业不能确}$$

定演化稳定策略; 当 $z < z^*$ 时, $T(z) < 0$, $\left. \frac{d(F_y)}{dy} \right|_{y=0} < 0$, 则 $y = 0$ 。为 ESS; 当 $z > z^*$ 时, $y = 1$ 为 ESS。

2.3.3. 中小企业复制动态方程

中小企业选择“守信”的期望收益:

$$E_{z1} = xy(R_{31} - aT) + x(1-y)(R_{32} - (1-b)C_9 - aT) - (1-x)y(C_{11} + aT) - (1-x)(1-y)(C_{11} + aT + C_{52}) \quad (11)$$

中小企业选择“不守信”的期望收益:

$$E_{z2} = xy(R_4 - C_7 - C_8 - aT) + x(1-y)(R_{32} + R_5 - (1-b)C_9 - C_{10} - aT) - (1-x)y(C_{11} + aT + R_6) - (1-x)(1-y)(C_{11} + aT + R_6) \quad (12)$$

中小企业复制动态方程:

$$F_z = \frac{dz}{dt} = z(1-z)(R_6 - C_{52} + C_{10}x + C_{52}x + C_{52}y - R_5x - R_6x + C_7xy + C_8xy - C_{10}xy - C_{52}xy - R_4xy + R_5xy + R_{31}xy) \quad (13)$$

F_z 的一阶导数和给定的 $H(y)$ 分别为:

$$\frac{d(F_z)}{dz} = (1-2z)(R_6 - C_{52} + C_{10}x + C_{52}x + C_{52}y - R_5x - R_6x + C_7xy + C_8xy - C_{10}xy - C_{52}xy - R_4xy + R_5xy + R_{31}xy) \quad (14)$$

$$H(y) = R_6 - C_{52} + C_{10}x + C_{52}x + C_{52}y - R_5x - R_6x + C_7xy + C_8xy - C_{10}xy - C_{52}xy - R_4xy + R_5xy + R_{31}xy \quad (15)$$

中小企业选择守信的概率处于稳定状态需满足: $F_z = 0$ 且 $\frac{d(F_z)}{dz} < 0$ 。 $H(y)$ 为增函数。当

$$y = \frac{R_6 - C_{52} + C_{10}x + C_{52}x - R_5x - R_6x}{(x-1)C_{52} - (C_7 + C_8 - C_{10} + R_4 - R_5 - R_{31})x} = y^*, \quad H(y) = 0, \quad \frac{d(F_z)}{dz} \equiv 0, \quad \text{不能确定 ESS; 当 } y < y^*,$$

$$H(y) > 0, \quad \left. \frac{d(F_z)}{dz} \right|_{z=0} < 0, \quad \text{则 } z = 0 \text{ 为 ESS; 反之, } z = 1 \text{ 为 ESS。}$$

2.4. 三方演化均衡分析

联立(3)、(6)、(9)式, 从而得出复制动态方程组:

$$\begin{cases} F_x = x(1-x)(R_1 - C_3 - I_2 - C_1 + bC_1 + (C_1 - C_2 + C_3)y + C_3z - bC_1y + C_2yz - C_3yz + I_1yz) \\ F_y = y(1-y)(R_6 - C_{52} - C_4x - C_6x + C_{52}x - C_{51}z + C_{52}z - R_6x + R_{21}x - R_{22}x - R_6z + C_6xz + C_{51}xz - C_{52}xz + R_6xz) \\ F_z = z(1-z)(R_6 - C_{52} + C_{10}x + C_{52}x + C_{52}y - R_5x - R_6x + C_7xy + C_8xy - C_{10}xy - C_{52}xy - R_4xy + R_5xy + R_{31}xy) \end{cases} \quad (16)$$

令 $F_x = 0, F_y = 0, F_z = 0$, 可得出系统均衡点: $D_1(0,0,0), D_2(1,0,0), D_3(0,1,0), D_4(0,0,1), D_5(1,0,1), D_6(1,1,0), D_7(0,1,1), D_8(1,1,1)$ 。三方演化博弈的雅可比矩阵为:

$$J = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 & J_3 \\ J_4 & J_5 & J_6 \\ J_7 & J_8 & J_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_x}{\partial x} & \frac{\partial F_x}{\partial y} & \frac{\partial F_x}{\partial z} \\ \frac{\partial F_y}{\partial x} & \frac{\partial F_y}{\partial y} & \frac{\partial F_y}{\partial z} \\ \frac{\partial F_z}{\partial x} & \frac{\partial F_z}{\partial y} & \frac{\partial F_z}{\partial z} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} (1-2x)[R_1 - C_3 - I_2 - C_1 + bC_1 + (C_1 - C_2 + C_3)y + C_3z - bC_1y + C_2yz - C_3yz + I_1yz] & x(1-x)[(C_2 + I_1 - C_3)z + C_1 - C_2 + C_3 - bC_1] & x(1-x)[(C_2 + I_1 - C_3)y + C_3] \\ y(1-y)[(C_6 + C_{51} + R_6 - C_{52})z - C_4 - C_6 + C_{52} - R_6 + R_{21} - R_{22}] & (1-2y)(R_6 - C_{52} - C_4x - C_6x + C_{52}x - C_{51}z + C_{52}z - R_6x + R_{21}x - R_{22}x - R_6z + C_6xz + C_{51}xz - C_{52}xz + R_6xz) & y(1-y)[(C_6 + C_{51} + R_6 - C_{52})x - C_{51} - R_6 + C_{52}] \\ z(1-z)[(C_7 + C_8 - C_{10} - C_{52} - R_4 + R_5 + R_{31})y + C_{10} + C_{52} - R_5 - R_6] & z(1-z)[(C_7 + C_8 + R_5 + R_{31} - C_{10} - C_{52} - R_4)x + C_{52}] & (1-2z)(R_6 - C_{52} + C_{10}x + C_{52}x + C_{52}y - R_5x - R_6x + C_7xy + C_8xy - C_{10}xy - C_{52}xy - R_4xy + R_5xy + R_{31}xy) \end{bmatrix} \quad (17)$$

根据李雅普诺夫(Lyapunov)第一法则: 雅可比矩阵的所有特征值均为负实部, 则均衡点为渐进稳定点; 雅可比矩阵的特征值至少有一个具有正实部, 则均衡点为不稳定点, 雅可比矩阵除实部为零的特征

值外, 其余特征值都具有负实部, 则均衡点处于临界状态, 稳定性不能由特征值符号确定。表 2 为各均衡点的稳定性分析。

Table 2. Benefit matrix of tripartite evolutionary game

表 2. 三方演化博弈收益矩阵

均衡点	特征值		稳定性
	$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$	实部符号	
$D_1(0,0,0)$	$R_6 - C_{52}, R_6 - C_{52}, R_1 + bC_1 - C_3 - I_2 - C_1$	$(\times, \times, \times)$	不稳定
$D_2(1,0,0)$	$C_{10} - R_5, R_{21} - C_6 - C_4 - R_{22}, C_1 + C_3 + I_2 - R_1 - bC_1$	$(\times, -, \times)$	不稳定
$D_3(0,1,0)$	$R_6, C_{52} - R_6, R_1 - I_2 - C_2$	$(+, -, \times)$	不稳定
$D_4(0,0,1)$	$C_{52} - R_6, -C_{52}, R_1 - I_2 - C_1 + bC_1$	$(\times, -, \times)$	不稳定
$D_5(1,0,1)$	$R_5 - C_{10}, R_{21} - C_4 - R_{22}, C_1 + I_2 - R_1 - bC_1$	$(\times, \times, \times)$	不稳定
$D_6(1,1,0)$	$C_2 + I_2 - R_1, C_7 + C_8 + R_{31} - R_4, C_4 + C_6 - R_{21} + R_{22}$	$(\times, \times, \times)$	不稳定
$D_7(0,1,1)$	$C_{51}, -R_6, I_1 - I_2 + R_1$	$(+, -, \times)$	不稳定
$D_8(1,1,1)$	$C_4 - R_{21} + R_{22}, I_2 - I_1 - R_1, R_4 - C_8 - C_7 - R_{31}$	$(\times, \times, \times)$	不稳定

根据表 2 所得出的雅可比矩阵特征值, 对以下情况进行讨论:

(1) 当 $C_1 + C_3 + I_2 - R_1 - bC_1 < 0$, 即商业银行提供贷款所获得的收益大于所要付出的调查成本和损失, 在 $R_4 - C_8 < 0$ 且 $R_1 - I_2 > 0$, 即中小企业不守信所获得的投机收益小于不守信所损失的潜在收益时, 核心企业选择提供担保主要考虑 $C_4 - R_{21} + R_{22} < 0$, 即进行担保所获得的收入大于支出和不进行担保所获得的收益之和, 如果符合, 演化稳定点位于 $D_8(1,1,1)$ 。

在 $R_{21} - C_4 < 0$, 即核心企业所需要的担保成本大于所获得的保费收益时, 中小企业是否选择守信主要关注是否满足 $C_{10} > R_5$, 即中小企业不守信所获得的投机收益大于不守信所造成的损失时, 演化稳定点位于 $D_5(1,0,1)$; 否则演化稳定点位于 $D_2(1,0,0)$, 这一点中小企业不守信所获得的随机收益小于所带来的损失。

结论 1 商业银行选择贷款、中小企业选择守信及核心企业选择进行担保的策略选择皆与自身利益是否得到满足相关。当商业银行提供贷款所获得的收益足够高、中小企业不守信的成本高以及核心企业提供担保所获得的收益足够高时, 策略组合稳定于(提供贷款, 进行担保, 守信)。当核心企业的担保成本较高时, 若中小企业不守信的投机收益较高时, 稳定点位于(提供贷款, 不进行担保, 守信); 否则演化稳定点为(提供贷款, 不进行担保, 不守信)。

(2) 当 $R_1 - I_2 < 0$, 即商业银行提供贷款所获得的收益小于不贷款时获得的收益时, 当 $C_{52} - R_6 < 0$, 即核心企业收到中小企业违约赔偿金高于需要承担的合同赔偿时, 演化稳定点位于 $D_4(0,0,1)$; 否则演化稳定点位于 $D_1(0,0,0)$, 这一点核心企业需要承担的合同赔偿高于收到中小企业的违约金, 商业银行提供贷款所获得的收益低于不贷款所获得的收益。商业银行倾向于不贷款, 核心企业倾向于不提供担保, 中小企业倾向于不守信。

结论 2 商业银行提供贷款的收益、核心企业获得的担保收益及中小企业收益必须高于自身的经营收益, 才能有效防止三方博弈系统出现(不提供贷款, 不进行担保, 不守信)的稳定策略组合。

3. 结论及建议

3.1. 主要结论

本文以现代供应链金融模式为基础, 充分发挥核心企业的担保能力, 建立商业银行、核心企业以及

中小企业之间的三方演化博弈模型, 求解出 8 个均衡点并分析其局部稳定性, 其主要结论如下:

(1) 当且仅当各参数满足 $C_1 + C_3 + I_2 - R_1 - bC_1 < 0, R_4 - C_8 < 0, C_4 - R_{21} + R_{22} < 0$ 时, 博弈系统才可能会演化到商业银行选择“提供贷款”策略、核心企业选择“进行担保”策略、中小企业选择“守信”策略的帕累托最优策略。参与主体选择积极策略的初始比例将影响博弈系统演化的结果, 前者越高则后者向帕累托最优状态演化的概率亦越高。

(2) 中小企业进行绿色生产进行绿色转型的有效运作受到核心企业担保成本、商业银行进行贷款前所付出的调查费用以及合同共担成本的影响。在合理的主体博弈中, 提高信息的共享程度, 降低博弈主体的参与成本能够促使各参与主体选择积极策略, 进而促使博弈系统收敛到帕累托最优稳定状态。

3.2. 政策启示

(1) 降低各方主体参与融资的成本。成本是影响中小企业绿色转型融资赋能机制最终效果的关键因素。核心企业、中小企业和商业银行之间需要增进沟通交流, 精准对接需求, 在前期搭建数字服务平台期间加强对未来行业趋势与企业发展需求的预判, 避免出现项目成果不符合现实需求的情况, 以控制不必要的成本支出。

(2) 提高各方主体的参与积极性。中小企业绿色转型融资赋能机制将数字化服务平台与供应链金融进行结合, 既能在基础设施和技术层面帮助中小企业进行数字化转型, 又能为中小企业面临的融资困境打开突破口, 该融资赋能机制的顺利实现与各方主体的参与积极性紧密相关, 需要各方的积极参与。

基金项目

江西省教育厅科学技术项目(基于 BP-ER 的双碳政策引领下中国能源安全影响与风险评估)(GJJ2200843); 江西省社会科学基金(“1269”行动计划下江西省新能源产业链政策影响测算及提升路径探究)(24GL47); 江西理工大学博士科研启动基金项目。

参考文献

- [1] 洪祥骏, 林娴, 陈丽芳. 地方绿色信贷贴息政策效果研究——基于财政与金融政策协调视角[J]. 中国工业经济, 2023(9): 80-97.
- [2] 张范忠. 普惠金融背景下小微企业融资的 SWOT 分析[J]. 山西财经大学学报, 2019, 41(S2): 27-28.
- [3] 吴江, 杨亚璇, 邹柳馨, 等. 基于区块链的面向小农主体的农业供应链金融信息共享模型研究[J]. 情报科学, 2023, 41(9): 97-106.
- [4] 薛小龙, 王要武, 沈岐平. 信息共享在建筑供应链决策中的价值测度[J]. 土木工程学报, 2011, 44(8): 132-138.
- [5] 林凯, 王璐, 陈丽华. 双渠道绿色供应链定价和信息共享策略研究[J]. 工业工程与管理, 2023, 28(5): 161-172.
- [6] Wei, J. and Wang, C. (2023) A Differential Game Analysis on Green Technology Innovation in a Supply Chain with Information Sharing of Dynamic Demand. *Kybernetes: The International Journal of Systems & Cybernetics*, 52, 362-400.
- [7] 徐鹏, 孙宁, 敖雨. 供应链金融与企业创新投入[J]. 外国经济与管理, 2023, 45(11): 49-61.
- [8] 王玉林, 周亚虹. 绿色金融发展与企业创新[J]. 财经研究, 2023, 49(1): 49-62.
- [9] 薛小飞. 商业银行绿色供应链金融的实践思考: 模式、问题及对策[J]. 新金融, 2022(3): 41-47.
- [10] Zhao, H. (2023) Risk Management of Supply Chain Green Finance Based on Sustainable Ecological Environment. *Sustainability*, 15, Article 7707. <https://doi.org/10.3390/su15097707>
- [11] 徐荣贞, 王森, 何婷婷. 绿色供应链金融视角下中小企业可持续发展的动力机制研究[J]. 金融理论与实践, 2022(1): 76-86.
- [12] 詹江, 吴嘉儿, 庄艺灵, 等. 创业企业融资担保问题的三方演化博弈研究[J]. 财务与金融, 2021(3): 21-28.
- [13] 文学舟, 蒋海芸, 张海燕. 多方博弈视角下违约小微企业融资担保圈各主体间信任修复策略研究[J]. 预测, 2020, 39(2): 76-83.

-
- [14] 王先甲, 顾翠伶, 何奇龙, 等. 供应链金融信贷市场三方演化博弈动态[J]. 运筹与管理, 2022, 31(1): 30-37.
- [15] Wang, L., Wang, Z., Tian, L. and Li, C. (2022) Evolutionary Game and Numerical Simulation of Enterprises' Green Technology Innovation: Based on the Credit Sales Financing Service of Supply Chain. *Sustainability*, **15**, Article 702. <https://doi.org/10.3390/su15010702>
- [16] 彭频, 何旭, 刘怡君, 等. 基于博弈分析的车用动力电池回收问题研究[J]. 江西理工大学学报, 2020, 41(2): 47-50+89.
- [17] 贾扬蕾, 刘亦晴. 制造企业绿色供应链管理绩效评价研究——以南康家具企业为例[J]. 江西理工大学学报, 2016, 37(6): 28-32.
- [18] 吴一丁, 王晶. 寻租视角下融资约束对企业投资的影响研究——基于沪深 A 股非金融上市公司的经验证据[J]. 江西理工大学学报, 2020, 41(4): 37-44.