平台企业能促进供应链数字包容生态共建吗？

——结合绩效反馈的无标度有向网络博弈

王鼎腾，何兴均，李声明，邓钰茜

（广西城市职业大学商学院，崇左 532200）

摘要：数字化推动中国经济高质量发展，但数字鸿沟阻碍供应链数字化转型。数字包容生态建设成为解决这一问题的金钥匙。围绕供应链数字包容生态共建中企业合作困境与平台企业治理作用展开研究，基于供应链网络的无标度特征与数字包容生态的公共属性，构建了“平台企业＋无标度”有向网络的公共物品演化博弈模型，创新引入绩效反馈机制改进传统费米学习算法，揭示企业在社会期望与历史期望双重影响下的策略演化路径。通过蒙特卡罗模拟分析发现：投资回报系数与网络结构是主导合作演化的关键变量；平台企业榜样作用的发挥依赖其所处的网络结构与市场环境；最大化平台企业的积极作用，关键不仅在于实施精准化的连接策略，还得辅以强效化的赋能与激励措施；绩效反馈机制加剧了个体理性。研究进一步表明，平台企业连接策略的效果受网络密度、初始企业数与网络规模调节，呈现非线性特征。据此提出，政府营造友好的数字包容生态投资环境，平台企业应实施“精准连接＋强效赋能”组合策略，供应链企业从被动适应转向主动共建，以共同推动供应链数字包容生态的可持续共建。

关键词：平台企业；供应链；数字包容生态；绩效反馈；网络博弈

中图分类号：F224.32；F274；F224.33 **文献标志码：**A **文章编号：**1671－1807(2026)12－0266－12

数字技术的快速发展为全球带来显著的“数字红利”，然而数字经济的深化也加剧了数字鸿沟问题。这一鸿沟不仅导致中小企业面临严峻的数字投资压力和生产率困境[1]，更阻碍了供应链上下游企业在数字化建设进程与强度上的协同[2]。在此背景下，“数字包容”理念成为破解数字鸿沟的关键路径。根据中国信息通信研究院《中国数字包容发展研究报告(2024)》把数字包容定义为“让每个个体都有机会使用数字技术，并在数字化赋能经济社会各领域的过程中使相对差距缩小的一种状态”。这一理念已获得国际社会的广泛认同，联合国的《全球数字契约》明确将弥合数字鸿沟列为首要目标，强调“让数字经济具有公平、有意义的包容性”。中共中央、国务院印发的《数字中国建设整体布局规划》同样将“构建普惠便捷的数字社会”列为重要发展目标，体现了数字包容的核心要义。由此可见，推动数字包容发展已成为实现全域协同、共建共享数字化未来的必然选择。

供应链数字包容生态建设面临公共属性与企业利益多样性的结构性矛盾。数字化转型作为提升供应链韧性和培育新质生产力的关键驱动力，不仅能够促进供应商高质量发展，还能通过生产网络对下游企业产生显著的溢出效应[3]。数字新基建在这一转型过程中发挥核心支撑作用，为经济高质量发展提供重要动力[4]。然而，供应链内部存在显著的企业异质性，在规模导向的发展模式下，企业的自利倾向往往导致供需协调失衡，既制约个体发展潜力，又削弱整体竞争力[5]。这种异质性使得具有公共属性的数字新基建难以持续发展[6]。更为根本的是，企业作为理性经济主体普遍存在“搭便车”行为，倾向于将包容性公共物品的建设成本外部化，在规避投资风险的同时攫取数字生态的正外部性收益，这种个体理性与集体理性的冲突构成典型的“奥尔森困境”。

收稿日期：2026-01-13

基金项目：2024 年度广西高校中青年教师科研基础能力提升项目(2024KY1937)；2024 年度广西科技界智库重点课题(K－88)；国家大学生创新训练计划项目(202413920022)；广西城市职业大学 2023 年度思想政治工作专题研究项目(GXCU-VSZ2023B002)

作者简介：王鼎腾(1995—)，男，广西田东人，硕士，讲师，经济师，研究方向为智能商务、网络博弈；何兴均(1993—)，男，广西浦北人，硕士，讲师，研究方向为数字贸易；李声明(1964—)，男，江苏南京人，教授，研究方向为宏观经济、数字化发展；邓钰茜(2003—)，女，广东吴川人，科研助理，研究方向为企业管理。

作为供应链数字化转型的关键枢纽,平台企业占据着结构洞的"桥点"地位,其示范效应对成员行为规范内化具有决定性影响[7]。这类具备"类政府"属性的组织不仅为社会化生产提供基础设施支撑,更承担着公共物品供给和社会福利保障的双重职能[8]。尤其对中小企业而言,平台赋能已成为实现数字化追赶和业务转型的核心路径[9]。在此背景下,供应链共建数字包容生态的核心动力是什么?平台企业作为"链主",其榜样作用究竟有多大?如何在实践中最大限度地发挥好的作用、抑制坏的作用?厘清这些问题对于摆脱供应链内企业合作困境、弥合数字鸿沟、构建数字包容社会具有重要意义。

本文的边际贡献主要体现在以下三个方面:首先,构建"平台企业+无标度"有向网络的公共物品博弈分析框架。尽管现有文献已分别关注供应链网络的无标度特性和平台企业的资源整合功能[10-11],但现实中平台企业的影响力已深入供应链网络。本文首次将无标度网络的幂律分布特征与平台企业的节点影响力相结合,深入解析数据共享、技术普惠等数字公共物品的供给动态。其次,将绩效反馈机制引入改进的费米学习算法。绩效反馈机制的引入突破传统研究中费米学习算法仅考虑社会期望的局限[12],通过建立基于历史期望的自适应学习基准,更准确地刻画企业在数字生态中的"行动-反馈"决策过程。最后,考察平台企业连接策略对演化过程的影响。通过整合"平台型链主"节点的资源调配能力与无标度网络的拓扑特征[13],揭示平台企业作为市场参与者和准规制者的双重角色在促进供应链协同发展中的重要作用。

1 理论分析

1.1 供应链网络的无标度特征

Harland[14]将"供应链"与"网络"的概念结合后,供应链网络便成现代经济学与管理学的核心议题之一。他将供应链管理的系统划分为内部供应链、双元关系、外部供应链和企业间网络4个级别,是指围绕核心企业,从原材料采购开始,历经中间产品与最终产品的生产制造,通过销售网络将产品送达消费者的过程中,所涉及的供应商、制造商、分销商、零售商连接而成的一个整体性功能网链结构。

供应链网络具有明显的无标度特征。无标度网络是解释网络结构形成、统计特征和鲁棒性能的一种模型,其具有增长性和连接偏好特征[15]。在该模型中,初始网络包含 N 个节点,随着时间推移会逐步添加新节点;这些新节点在选择网络中已存在的节点时,节点被选中的概率与自身的度(节点连边数量)成正比。由于网络的节点增长和连接是非均匀的,新加入节点更倾向于连接度较高的节点,从而形成具有度幂律分布的网络结构[16]。现实中的高效供应链网络具有类似无标度网络的特征,表现为高集聚系数、短特征路径长度和幂律连接分布[17]。张纪会和徐军芹[18]构建基于节点相关度的复杂供应链网络模型,新节点根据节点间的相关度进行选取并遵从择优连接规则,并在实证网络中发现网络的无标度特征。

供应链网络的无标度特征抑制数字包容生态的共建意愿。无标度网络形态遵循偏好连接机制,不断强化节点间的马太效应,促使资源与优势持续向大型中心节点聚集[19]。在数字化环境中,占据中心地位的大型企业凭借其网络优势,持续吸纳更多资源与链接,从而加剧了小微企业在数字接入、数据获取与技术应用等方面的边缘化处境。此类企业不仅难以分享数字技术带来的发展红利,更因预期收益不足而普遍降低对具有正外部性的数字包容生态的参与和投资意愿[20]。长此以往,这种结构性失衡将进一步加深不同规模主体间的数字鸿沟,制约数字生态的整体包容性与可持续发展。

1.2 平台企业的链主地位

在数字经济中,平台企业作为重要的中介机构,通过网络平台连接不同的利益相关者,促进多方交易、交流和协作创新。数字平台被定义为一个基于软件的系统的可扩展代码库,提供与之交互操作的应用程序共享的核心功能及它们交互操作的接口[21]。平台企业通过这样一个开放的生态系统,为平台参与者提供多元化的服务,实现平台企业和参与者之间的价值共创[22]。

平台企业具有链主地位,且在供应链发展中具有重要作用。在复杂的竞合关系中,企业获得较高创新成功率的根本原因在于其处理与利用各种关系的能力[23]。无标度网络中大多数节点仅拥有少量连边,而少部分中心节点则集聚了大量连边[24]。在供应链领域,这类中心节点被称为核心企业[25]。网络内,核心企业拥有多重信息源和信息渠道,具备稀缺资源挖掘和获取优势,能够通过网络权力积极影响供应链内企业[26]。链主企业便是这类企业,其在供应链中居于核心,拥有产业主导权,能够整合产业内外资源、联动产业链上下游企业、带动供应链整体发展[27]。作为领袖的平台型链主企业具

准公共性特性，通过平台生态广泛连接上下游主体，基于投资外部性、交叉网络效应等优势，能以公共物品供给者的角色在供应链转型升级的过程中发挥重要作用[28]。

平台企业作为“链主”，通过结构性权力、资源调配能力、示范效应三方面机制，影响供应链企业的共建决策。首先，平台占据供应链网络中的“结构洞”，控制信息流、资源流与业务流的通道，通过选择性对接供应链企业策略，形成准入激励或排斥威胁，影响企业的合作预期与行为选择[29]。其次，平台通过开放数据、算力、技术接口等数字资源，鼓励奖励接入者提升其感知到的投资回报，从而改变个体理性决策阈值[30]。最后，作为高影响力节点的平台企业自身，其“投入”策略作为一种强信号，在演化博弈中容易被邻居企业模仿，形成策略扩散的“领头羊效应”。

1.3 数字包容生态的公共属性

数字包容生态的公共属性来源于，数字技术的非排他性、非竞争性。美国国家数字包容联盟将“数字包容生态”定义为满足地理集群独特和多样化需求的项目和政策的组合，其要求提供本地数字包容服务的实体、倡导者、社会服务提供商和集群领袖等协调实体在一个生态系统中共同努力，解决所有方面的数字鸿沟问题[31]。一方面，数字包容生态的核心要义在于构建普惠性数字接入体系，数字包容生态的本质是通过制度设计确保数字技术的非排他性特征得以实现。公共无线网络、开放数据接口、开源软件生态系统等数字技术，均体现了数字公共物品的普惠属性。这些设施和服务不仅降低了数字准入门槛，更为数字生态系统的数字化改革提供了支撑[32]。另一方面，数字技术与资源具有典型的非竞争性特征，这一经济学属性意味着个体消费行为不会产生边际成本，也不会减损其他使用者的效用水平[33]。以开源生态系统为例，Apache服务器支持着超过40%的网站运行，其使用规模的增长不仅不会降低单个用户的访问质量，反而通过网络效应提升了整体价值。

数字包容生态具有显著的正外部性特征。数字技术的外部性特征有利于强化数字化的溢出效应，以此增强邻地产业前向关联和后向关联效应，对供应链具有显著的空间溢出效应[34]。这种外部性通过以下机制实现：一是知识溢出。产业数字化通过知识溢出效应实现数字转型经验的跨区域传递，邻地企业吸收这些知识以优化生产流程并提升供给能力[35]，其中企业数字素养的提升通过供应链网络扩散[36]。二是技术溢出。技术溢出效应表现为本地企业的数字化创新通过合作关系直接或间接推动邻地企业技术模仿与升级，如采购先进设备或培养数字人才，从而增强供应链协同能力[37]。三是人力资本积累。数字技能培训的成果通过劳动力流动实现跨企业传播[38]。这种外部性既体现为全要素生产率提升的经济效益，也反映在数字鸿沟弥合和就业结构优化等社会效益层面。

2 模型构建

2.1 网络构建

以BA模型建立无标度有向供应链网络 $G_0=(D_0,L_0)$，其中 $D_0=\{d_1,d_2,\cdots,d_n\}$ 是节点的集合，表示 n 个企业节点，$L_0=\{l_{11},l_{12},\cdots,l_{m}\}$ 是有向边的集合。数字包容生态的投资红利具有局部溢出特征，只有网络拓扑结构中的邻近接收节点能够充分吸收系统建设的正外部性。若企业 i 有业务流向企业 j，则 $l_{ij}=1$，否则 $l_{ij}=0$。i 的接收节点总数为 $l_i=\sum_{j=1}^{n} l_{ij}$。一个平台企业嵌入网络结构，连接产业上下游，与供应链企业建立业务双向协同关系。此时，获得一个新的网络 $G=(D,L)$，其中新网络的节点集合 $D=\{d_1,d_2,\cdots,d_{n+1}\}$，新网络的连边集合 $L=\{l_{11},l_{12},\cdots,l_{n+1n+1}\}$，平台企业的网络节点表示为 d_{n+1}。

最终，网络生成的步骤如下：首先，生成一个具有延展性的二维平面，m_0 个企业作为初始节点集落在网络上。其次，每次有一个作为新增节点的新企业加入供应链网络，与已经存在的节点相连接。新节点与已存在节点 i 的连接偏好为 $q_i=\frac{\sum_{j=1}^{n}(l_{ji}+l_i)}{2L_0}$，即 i 节点度与所有节点度之和的比值，不允许重复连接和自我连接。再次，每个新增节点对原来网络中的各节点都以连接偏好概率考虑过一次连接后，得到全供应链的无标度有向网络。其间，控制网络中新增节点的平均度为 k。最后，建立平台企业节点，并使平台企业节点与网络中的节点双向连边。

2.2 博弈模型

博弈模型是指每一个时间步内个体之间进行互动的微观模型。基于数字包容生态的公共属性与正外部性特征，采用邻域公共物品博弈模型作为分析框架。该模型的核心假设包括博弈参与人可

从邻居的策略选择中获取溢出的非排他性收益,以及投入和不投入的二元策略。在无标度网络中,各企业的邻居数量和业务流的方向有所不同,因而企业间的博弈收益矩阵也有差异。企业 i 的博弈受益者数量为 $1+l_i$,即自己与下游企业数量之和。每个博弈参与者的投入成本为 $c(c>0)$,投入回报系数为 $r(r>1)$。所有参与博弈的企业策略集合为 $\lambda=\{\lambda_1,\lambda_2,\cdots,\lambda_{n+1}\}$。将企业 i 的投入策略记为 $\lambda_i=1$;不投入策略记为 $\lambda_i=0$。那么,经过一轮博弈后,企业 i 获得的实际收益 R_i 为

$$R_i=\lambda_i\left(\frac{rc}{1+l_i}-c\right)+l_{ji}\lambda_j\sum_{j=0}^{n+1}\frac{rc}{1+l_j} \tag{1}$$

式中:$\lambda_i\left(\frac{rc}{1+l_i}-c\right)$ 可理解为,企业 i 若采取投入策略,需要付出 c 成本,从自己的投入策略中获得 $\frac{rc}{1+l_i}$ 的投资回报;若企业 i 若采取不投入策略,将不会付出任何成本,也不会从自己的策略中获得投资回报。$l_{ji}\lambda_j\sum_{j=0}^{n+1}\frac{rc}{1+l_j}$ 可理解为企业 i 从采取投入策略的上游企业中获取的溢出收益。

2.3 演化规则

演化规则描述了参与主体为追求更高收益而动态调整策略的行为逻辑。基于经典性与普适性的双重考量,将费米学习纳入演化规则体系。费米学习的核心机制是博弈参与者随机选择一个邻居作为参考对象,通过费米函数进行收益比较,从而决定是否模仿该对象[39]。此外,根据组织学习理论,企业会根据社会期望和历史期望考虑自身的策略响应。社会期望是指企业源于社会同类企业的绩效目标,历史期望是指企业根据自身过去的绩效水平制定的绩效基准[40]。因此,采用结合绩效反馈的费米学习算法作为演化规则,算法的基本逻辑如图 1 所示。

为简化博弈过程,仅将企业从博弈中获得的收益作为绩效指标。具体规则如下:①随机设定首轮博弈策略并计算博弈收益,一个时间步内只更新一个企业的策略。②在开始阶段,随机选择一个企业 i 更新策略,企业 i 随机选择一个企业 j 作为参照对象。③在社会期望阶段,企业 i 以概率 $\theta_{i\leftarrow j}$ 决定是否学习参照对象的策略。企业 i 若不学习,直接进入响应层,响应层表现为维持现状。④企业 i 若学习,则进入历史期望阶段。这一阶段企业 i 尝试模仿企业 j 的策略,其他企业策略不变,并重新计算收益。⑤若企业的学后绩效低于学前绩效,则企业 i 最终将不采用企业 j 的策略;反之,若企业的学后绩效不低于学前绩效,企业 i 最终将采用企业 j 的策略。其中,概率 $\theta_{i\leftarrow j}$ 由费米函数决定。

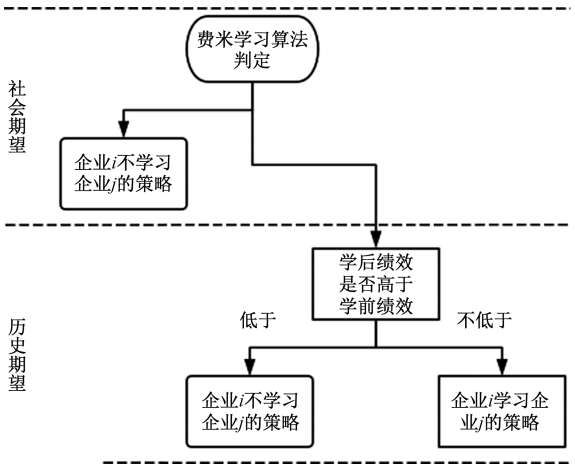


图 1 结合绩效反馈的费米学习算法基本逻辑

$$\theta_{i\leftarrow j}=\frac{1}{1+\exp\left(\frac{\pi_i-\pi_j}{\sigma}\right)} \tag{2}$$

式中:$\theta_{i\leftarrow j}$ 为企业 i 模仿企业 j 的概率;π_i、π_j 分别为企业 i 和企业 j 本轮博弈收益;σ 为噪声值。当 $\sigma\to 0$ 时,表示企业 i 趋向于理性决策,学习过程是确定的,完全由收益决定;当 $\sigma\to\infty$ 时,表示企业 i 趋向于非理性决策,学习过程不确定,与双方的收益完全无关。取 $\sigma=0.1$,表示博弈参与者的决策过程是有限理性的[41]。

2.4 蒙特卡罗模拟

蒙特卡罗模拟作为一种基于概率统计的数值计算方法,其核心在于通过构建随机抽样过程来近似求解复杂系统的行为特征。该方法通过生成大量随机样本,利用大数定律实现对目标问题的统计估计,特别适用于系统过于复杂导致难以获得解析解或问题本身不存在封闭形式的解析表达式[42]。供应链数字包容生态建设涉及多主体交互、非线性反馈、高随机性等复杂特征,为更好地模拟现实情境,在仿真过程中引入多重随机性机制:一是网络结构生成的随机性;二是初始策略合集的随机性;三是异步更新,即费米学习行为主体选择的随机性;四是费米学习参照对象选择的随机性。这些随机性会影响博弈结果,甚至导致极端情况的出现。因此,采用蒙特卡罗模拟方法,通过大量独立重复实验来消除随机性干扰,确保研究结论的稳健性与可靠性。

每通过费米学习迭代一次,便计算一次网络中采取投入策略的供应链企业占供应链企业比率,记

为 $P(x_t)$。为保证数据的可比性，平台企业的策略不计入 $P(x_t)$。经蒙特卡罗模拟后，采取投入策略的企业，即共建企业，占供应链内所有企业比例的平均值 P_y 计算公式为

$$P_y = \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T} P(x_t) \tag{3}$$

式中：x 为博弈迭代次数；t 为第 t 次蒙特卡罗模拟；T 为蒙特卡罗模拟的总次数。由大数定理、矩估计等可知，当样本容量 T 趋向无穷大时，蒙特卡罗模拟中样本的平均值将收敛于期望。

3　数值仿真及分析

3.1　网络生成

为验证理论模型的有效性与稳健性，基于 BA 无标度网络模型生成供应链网络结构，并采用渐进式方法嵌入平台企业节点。网络生成的具体参数设置参考既有文献的通例[43]，生成一组 $n = 200$、$m_0 = 20$、$k = 6$ 的大规模密集网络，另生成一组 $n = 20$、$m_0 = 3$、$k = 3$ 的小规模稀疏网络做对比。演化过程均进行 $T = 100$ 次独立的蒙特卡罗模拟以消除随机性干扰[44]。具体步骤如下：阶段 1，基于 BA 模型生成一个不包含平台企业的初始有向无标度供应链网络 G_0。网络中的每个企业节点被随机赋予“投入”（共建企业）或“不投入”（非共建企业）策略。阶段 2，为便于观察网络结构的动态变化，在保持网络拓扑结构不变的前提下，将所有节点进行环形排列，如图 2(b)所示。阶段 3，在网络中引入平台企业节点 d_{n+1}。平台企业仅与共建企业建立双向连接，如图 2(c)所示。阶段 4，将平台企业的连接范围扩展至供应链中的所有企业节点，形成博弈网络 G，如图 2(d)所示。

这种渐进式构建方法具有双重优势。一方面，通过引入随机策略分配机制，保留了现实供应链网络中企业决策的随机性特征；另一方面，通过分阶段控制平台企业的连接范围，使其作为“链主”的嵌入过程更可观测，并增强不同阶段下数据的可比性。

3.2　公共物品博弈的变量对演化的影响

公共物品博弈模型中，博弈者数量、投资回报系数和投入成本是决定演化结果的关键变量。为考查投资回报系数的影响，设置 $r = \frac{k}{2}$、$r = k+1$ 和 $r = 2k$ 三种情境。理论上，当 $1 + l_i < r = 2k$ 时，个体理性与集体理性达到协同，此时供应链企业采取投入策略不仅能够实现个体收益最大化，同时也能促进供应链整体收益的提升。当 $1 < r = \frac{k}{2} < 1 + l_i$ 时，个体理性与集体理性出现背离，企业个体倾向于采取不投入策略以实现个体收益最大化。然而从供应链整体视角来看，只有当所有企业均采取投入策略时才能实现集体收益最优，数字包容生态共建面临“囚徒困境”。当 $r = k+1$ 时，多数企业达到 $r = 1 + l_i$ 的临界值，博弈态势处于共建与“搭便车”的相变点。设 $c = 10$ 和 $c = 100$ 两种情境进行对比分析，以探究投入成本的影响。选用图 2b 阶段的模型，得到 10 个蒙特卡罗步内的演化结果，如图 3 所示。

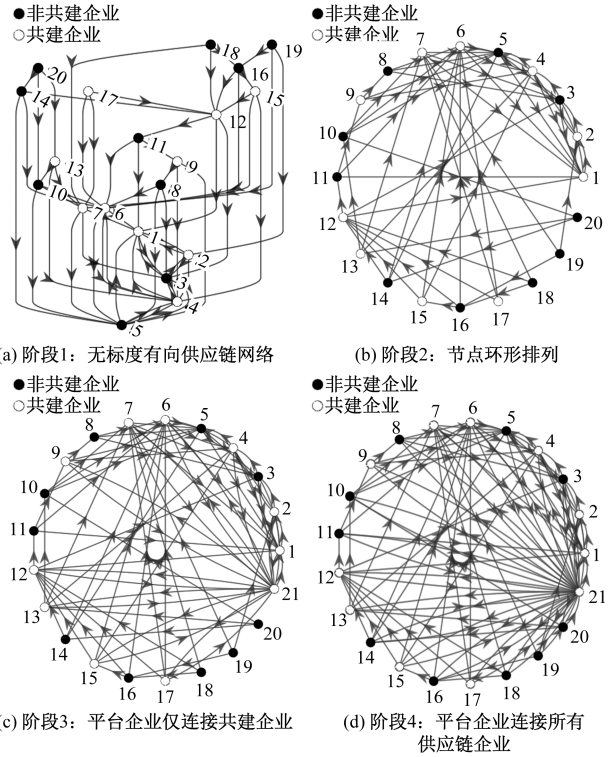


图 2　平台企业参与的供应链网络建立过程示例

投资回报系数是主导演化方向的关键变量，而投入成本对演化路径的影响不显著。具体而言，随着 r 的增大，企业因投资回报的激励而选择投入策略的倾向显著增强。如图 3 所示，无论是在小规模网络（网络类型 1）还是大规模网络（网络类型 2）中，系统均呈现一致的演化规律：当 r 较低时，共建企业比例呈下降趋势；随着 r 增加至临界点，下降趋势得以遏制；当 r 进一步增大并超越临界点后，共建企业比例转而呈现上升趋势。与之相对，当投入成本从 $c = 10$ 增加至 $c = 100$ 时，在两种网络规模下均未对演化结果产生系统性影响。

3.3　绩效反馈对演化的影响

鉴于投入成本对演化过程未产生显著影响，仅设 $c = 10$ 以简化分析。针对两类网络结构，分别在

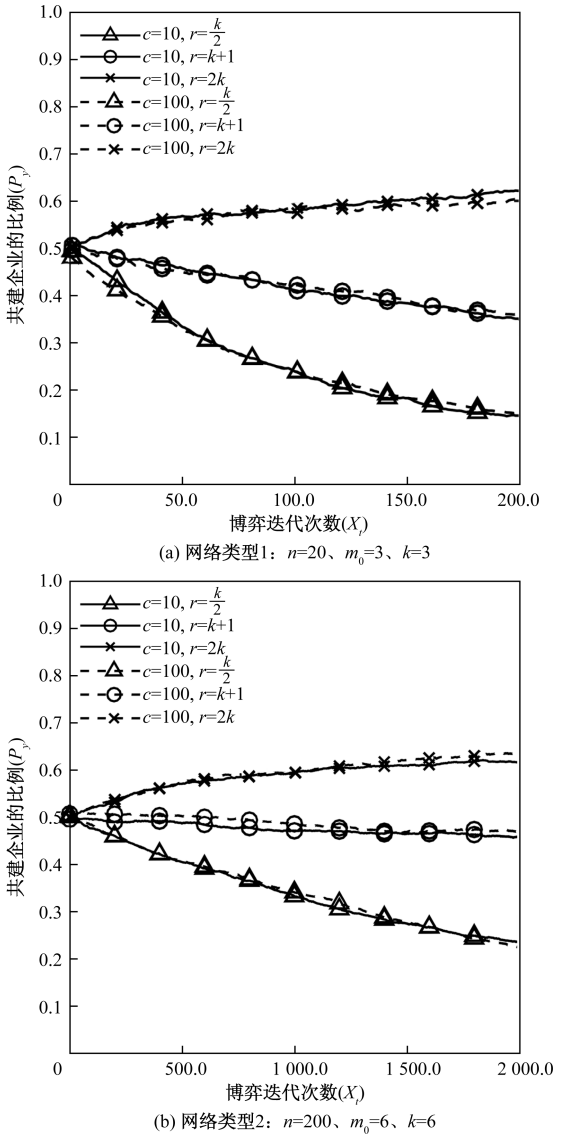


图 3　公共物品博弈变量对演化的影响

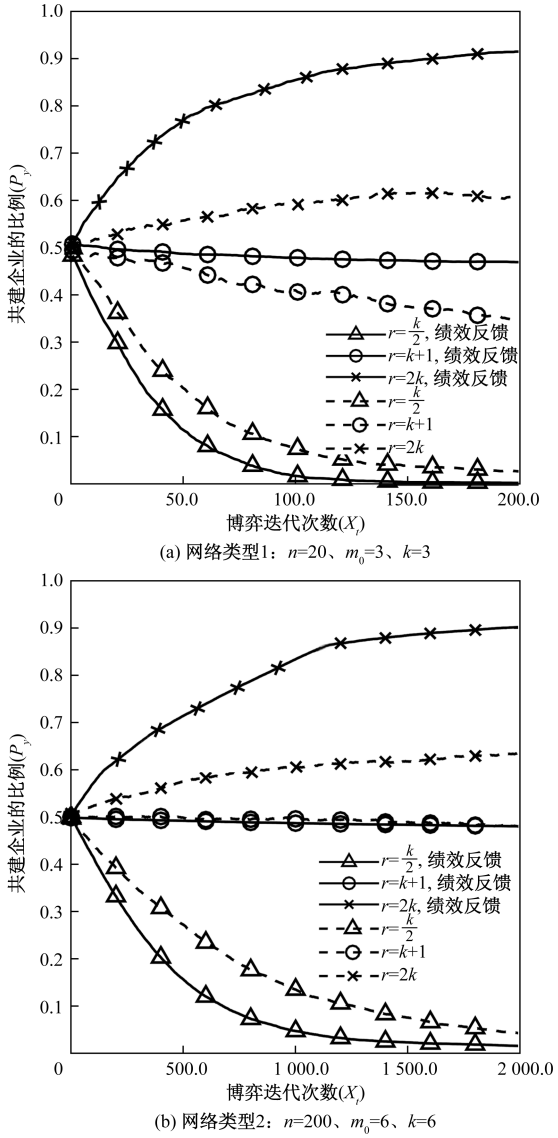


图 4　绩效反馈对演化的影响

$r=\frac{k}{2}$、$r=k+1$ 与 $r=2k$ 三种回报系数情境下，考查绩效反馈机制对演化动态的影响。得到 10 个蒙特卡罗步内的博弈演化结果，如图 4 所示。

绩效反馈机制强化了企业的个体理性倾向。如图 4 所示，两类网络展现相似的演化结果。$r=\frac{k}{2}$ 时，个体理性与集体理性处于对立状态。绩效反馈机制会促使企业更加敏锐地察觉到投入行为的负向收益差距，从而加速减少供应链中共建企业的比例。在 $r=k+1$ 的情境下，系统处于博弈态势的临界转换点。考虑绩效反馈后，共建企业与“搭便车”企业的数量在演化过程中趋于接近，系统在共建与“搭便车”之间形成动态平衡。在 $r=2k$ 的情景下，个体理性与集体理性达成一致。此时，绩效反馈机制使企业能更快地识别到合作带来的正向收益，从而加速提升供应链中共建企业的比例。综上所述，绩效反馈作为一种学习机制，本身并不改变不同 r 值所设定的博弈结构，而是通过影响企业的策略更新过程，放大基于当前回报结构的个体理性选择，从而在不同情境下分别对合作演化起到了抑制或促进的“催化剂”作用。

3.4　平台连接策略对演化的影响

为考察平台企业连接策略对供应链数字包容生态共建的影响，在固定参数 $c=10$、$T=100$ 的条件下，分别针对 $r=\frac{k}{2}$、$r=k+1$ 与 $r=2k$ 三种回报系数进行仿真分析。在此三种回报系数下，供应链整体利益最大化的实现均要求所有企业采取投入策略。平台企业作为具有“公共人”属性的组织，其目标之一是促进供应链整体利益最大化，因此在

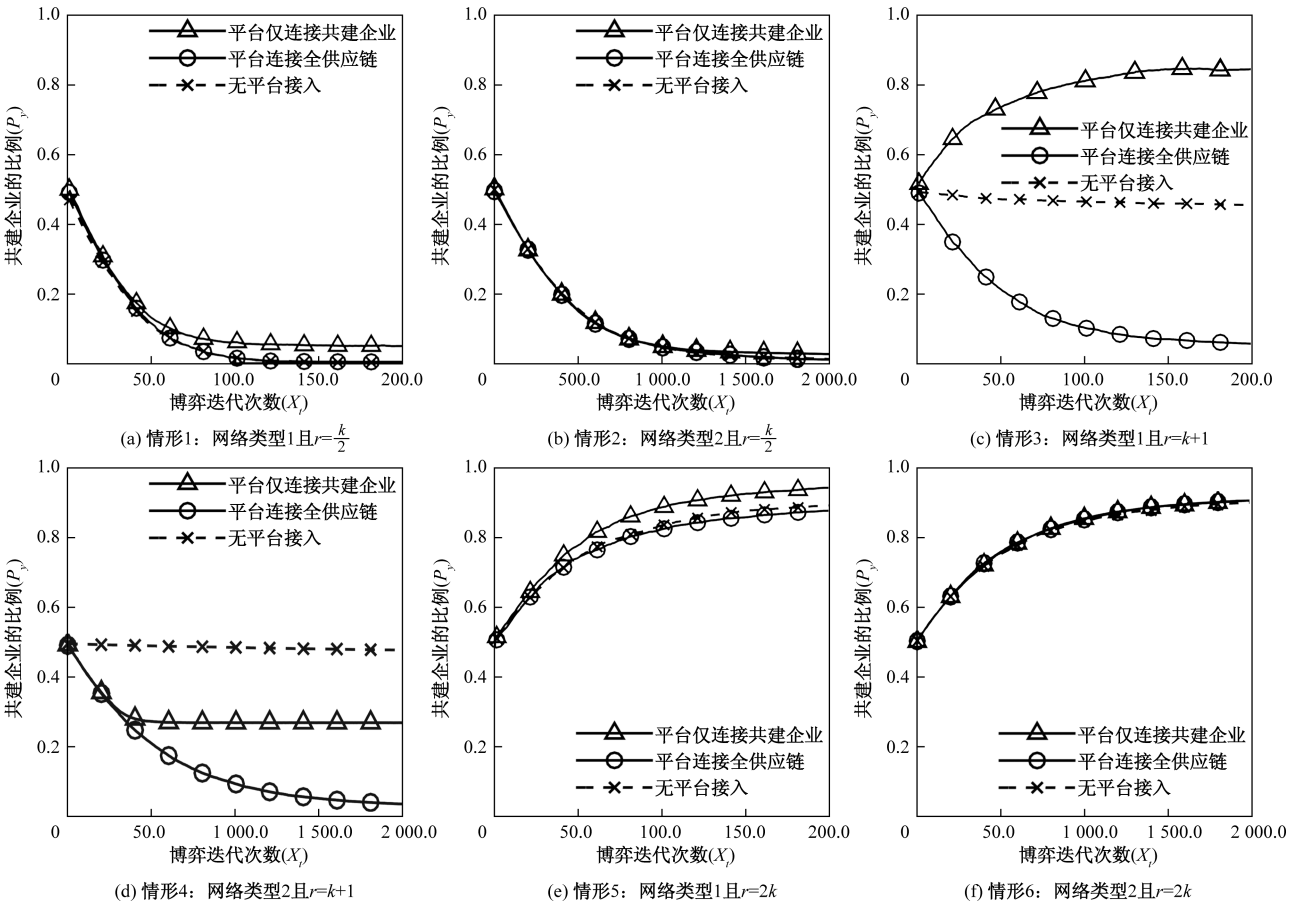
仿真中设定其始终保持投入策略，即 $\lambda_{n+1}=1$。同时，作为“经济人”的平台企业追求自身收益最大化，其最优连接策略是仅与采取投入策略的共建企业建立连接，以此最大化获取正外部性收益。为验证该策略的有效性及其对供应链整体的影响，采取以下三种连接策略进行对比：“平台仅连接共建企业”中，平台企业的业务连接随供应链企业策略而动态变化，当企业采取不投入策略时断开连接，当其转为投入策略时建立连接；“平台连接全供应链”策略中平台企业无条件与所有供应链企业保持业务往来；“无平台接入”策略中平台企业未嵌入供应链网络，作为基准对照组。平台企业不同连接策略对演化过程的影响如图 5 所示。

结果表明，平台企业的连接策略对供应链数字包容生态共建具有调节作用，且该作用受网络规模与投资回报系数的共同影响。具体而言，“平台仅连接共建企业”策略有助于促进小规模稀疏供应链网络中的数字包容生态共建。在网络类型 1 中，该策略在不同 r 下均能提升共建企业比例的增长速度，或抑制共建企业比例的下降速度，尤其 $r=k+1$ 时促建效果最显著。然而，该策略在大规模密集网络中的效果具有异质性。在网络类型 2 中，当 $r=k+1$ 时，“平台仅连接共建企业”策略抑制了合作，共建企业比例相较于“无平台接入”基准情景显著下降；而在 $r=2k$ 或 $r=\frac{k}{2}$ 时，该策略的影响则不显著。此外，“平台连接全供应链”策略普遍降低了企业参与数字包容生态共建的意愿。如图 5(c)～图 5(e)所示，在多数情景下，该策略下的共建企业比例走势低于“无平台接入”基准，仅在部分情景中[图 5(a)、图 5(b)、图 5(f)]与基准情况差异不显著。以上结果说明，平台企业并非简单地介入即可促进合作，其连接策略的有效性高度依赖于其所处的网络结构与市场环境。选择性连接策略在特定条件下能有效引导企业行为，而无差别的全面连接则可能因其弱化了合作行为的相对优势，从而在一定程度上助长“搭便车”动机。

4　进一步研究

4.1　新增节点度对平台连接策略效果的影响

网络密度是刻画网络拓扑结构的关键指标之一，其由网络中节点间连边的密集程度所决定。在 BA 无标度网络构建过程中，新增节点的平均度 k



(a) 情形1：网络类型1且$r=\frac{k}{2}$　(b) 情形2：网络类型2且$r=\frac{k}{2}$　(c) 情形3：网络类型1且$r=k+1$

(d) 情形4：网络类型2且$r=k+1$　(e) 情形5：网络类型1且$r=2k$　(f) 情形6：网络类型2且$r=2k$

图 5　平台企业的策略对演化的影响

直接决定了最终网络的密度。为深入探究网络密度与平台企业连接策略的有效性的关系,固定参数 $c=10$、$T=100$,并基于 $n=200$、$m_0=20$ 建立供应链网络。以下将分两种情形考察新增节点 k(从 1 逐步增加至 20)的影响:情形 1,数字包容生态的投资价值与网络密度无关,投资回报系数为定值 $r=7$。情形 2 投资回报系数联动,设定 $r=k+1$。此情形模拟了数字包容生态的价值随业务往来密集化而同步提升的环境。同时使系统持续处于个体理性与集体理性冲突的临界状态,便于观察博弈结构稳定时网络密度的调节作用。第 3 个蒙特卡罗步长呈现显著的演化结果差异,因此选取时间步 $x=3n$ 作为观测点,仿真结果如图 6 所示。

平台企业的选择性连接能有效地引导群体行为,普惠式连接无法对企业的策略选择施加有效影响。首先,在数字包容生态投资价值固定的环境中,供应链的共建意愿随业务往来密集化而降低。如图 6(a)所示,当 $r=7$ 时,随着新增节点度 k 的增加,共建企业比例呈现逐步下降趋势,并在 $k=6$(即 $r=k+1$,博弈态势临界点)附近下降速度最快。其次,在数字包容生态投资价值与网络密度联动的环境中,平台企业"仅连接共建企业"策略的效用随网络密集化发生逆转。如图 6(b)所示,保持 $r=k+1$,当 k 较小时(网络稀疏),该策略下的共建企业比例低于"无平台接入"的基准水平;然而,随着 k 增大(网络密集),该策略的效用由抑制转为促进,共建企业比例逐步超越基准水平。这一现象揭示,在业务联系高度紧密的供应链中,平台企业运用其连接权力对共建企业进行"筛选"能有效地引导群体行为。最后,平台"连接全供应链"策略的促进效果相对有限。在图 6(b)中,尽管该策略下的共建比例也随 k 增加而缓慢上升,但其整体水平始终显著低于"平台仅连接共建企业"策略。这进一步印证,无差别的普惠式连接因其无法对企业的策略选择施加有效影响,故而难以在临界博弈态势下显著推动合作。

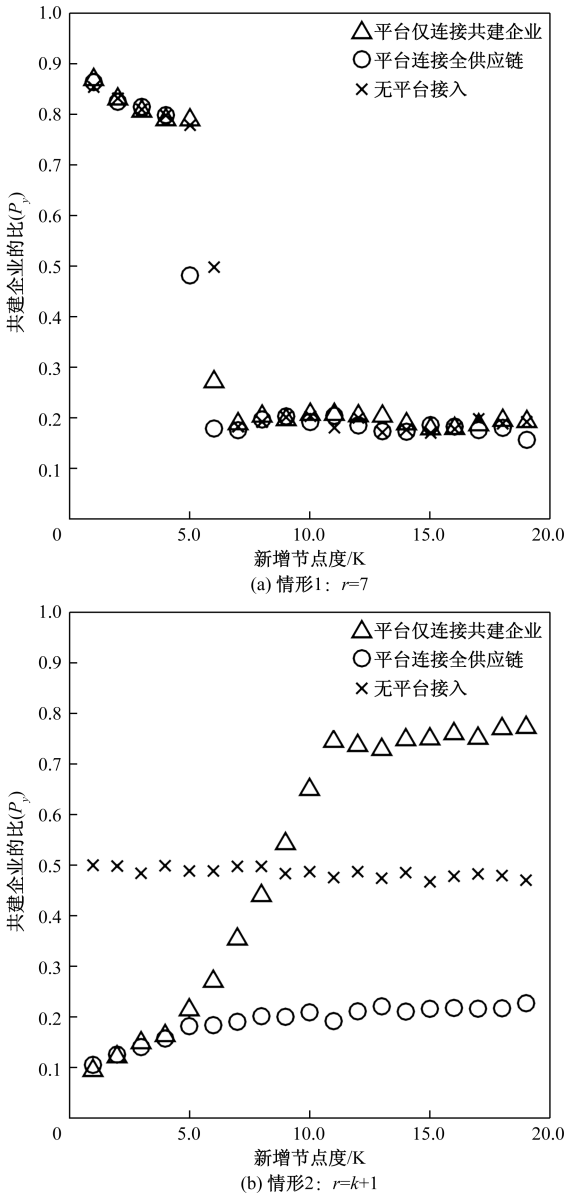


图 6　新增节点度对平台连接策略的影响

4.2　初始企业数对平台连接策略效果的影响

在基于 BA 模型构建的无标度有向供应链网络中,初始节点通过相互连接形成核心企业簇,簇内企业保持着密集的业务往来关系。随着新节点不断接入网络,部分初始企业凭借其先发优势与连接偏好,逐渐演变为拥有庞大业务网络的枢纽节点。初始企业数量 m_0 的增加,会提升此类枢纽企业在网络中出现的概率与密度。为考察初始企业簇规模对平台连接策略效用的影响,固定以下参数以控制干扰:$c=10$、$T=100$、$\lambda_{n+1}=1$。投资回报系数 $r=k+1$,确保个体理性与集体理性处于恒定冲突水平。为凸显网络结构变化的影响,选取 $n=20$、$k=3$ 的供应链网络作为观测样本,将初始企业数量 m_0 从 3 逐步递增至 20 进行对比分析。在此过程中,平台企业始终保持投入状态参与供应链网络。基于上述实验设计,第 $x=3n$ 个时间步的初始企业数量对平台连接策略效用的影响结果如图 7 所示。

企业共建意愿与平台企业影响力均随供应链中初始企业数量的增加而减弱。随着初始企业数量 m_0 的增加,网络中涌现多个高度连接的枢纽节点。这些枢纽节点凭借其广泛的业务连接与资源

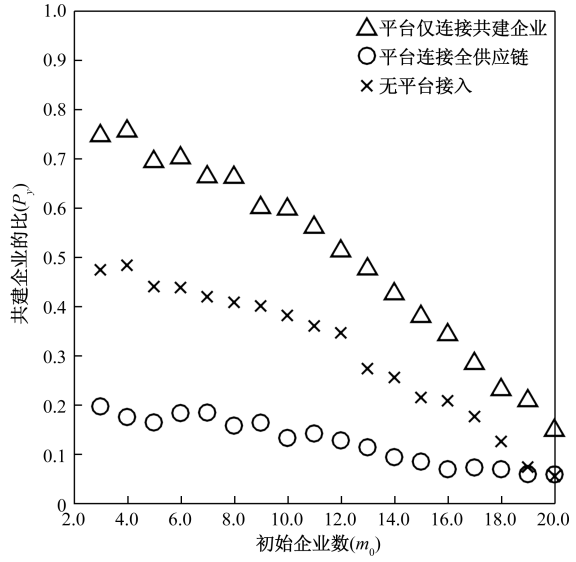


图 7　初始企业数对平台连接策略效果的影响

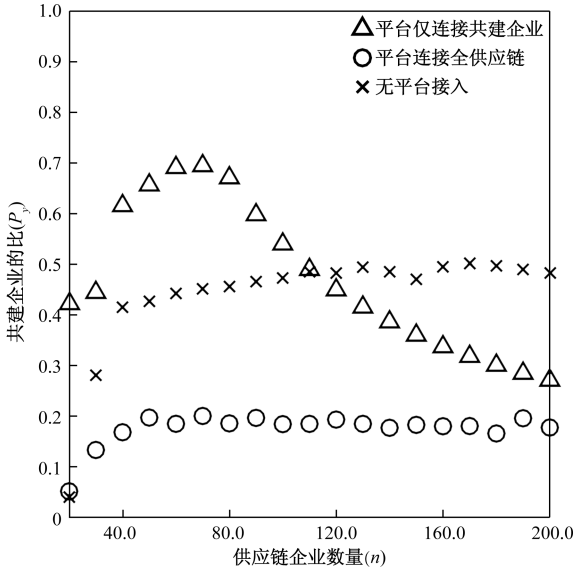


图 8　网络规模对平台连接策略效用的影响

优势，削弱了平台企业在网络中的主导地位与影响力。如图 7 所示，随着 m_0 的增加，“平台仅连接共建企业”“平台连接全供应链”与“无平台接入”三种情境下的共建企业比例均呈现持续下降趋势。这表明枢纽节点的增多显著抑制了供应链整体参与数字包容生态共建的积极性。值得注意的是，随着初始企业数量的增加，“平台仅连接共建企业”与“平台连接全供应链”两种策略下的共建比例逐渐收敛于“无平台接入”的基准水平，说明平台企业在多枢纽网络结构中的调控能力被显著稀释。

4.3　网络规模对平台连接策略效果的影响

网络规模指网络中节点的总数，即接入供应链的企业数量。为考查网络规模对平台连接策略效用的影响，固定参数设置如下：$m_0 = 20$、$k = 6$、$c = 10$、$T = 100$、$\lambda_{n+1} = 1$。投资回报系数 $r = k + 1$，使系统始终处于博弈临界状态。在此基础上，从 $n = 20$ 至 $n = 200$ 逐步构建不同规模的无标度有向供应链网络。第 3 个蒙特卡罗步长的网络规模对平台连接策略效用的影响结果如图 8 所示。

“平台仅连接共建企业”策略对共建的影响，随着网络规模的扩大呈现由促进转为抑制的非线性特征。如图 8 所示，在较小规模网络中（$n < 110$），该策略具有明显的促进作用，其共建企业比例显著高于“无平台接入”基准情景。当网络规模扩大至一定阈值后（$n > 110$），该策略反而产生抑制效应，其共建企业比例开始低于基准水平，且随节点数增加，两者差距持续扩大。这一现象揭示，平台企业的选择性连接策略在规模较小的供应链网络中能够有效引导企业行为，但在大规模网络中其调控能力下降。此外，随着网络节点数 n 的增加，“无平台接入”下的共建企业比例均呈现缓慢上升趋势，表明网络规模的扩大有助于提升企业参与数字包容生态共建的整体意愿。

5　结论、建议与局限性

5.1　结论

基于供应链网络的无标度特征、平台企业的链主地位及数字包容生态的公共属性与外部性，构建“平台型链主＋无标度有向网络”的公共物品演化博弈模型，并将绩效反馈机制融入费米学习算法作为演化规则。通过蒙特卡罗模拟分析投资回报系数、投入成本、绩效反馈机制及平台企业连接策略对供应链数字包容生态共建演化过程的影响。主要结论如下。

（1）供应链共建数字包容生态的核心动力受投资回报系数与网络结构的共同支配。研究发现，投资回报是主导企业合作意愿的关键变量。当高于因网络连接导致的收益分流阈值时，个体理性与集体理性趋于协同，系统自发演化出广泛合作；反之则陷入“搭便车”普遍化的“囚徒困境”。供应链网络的无标度特性通过节点连接度的异质性，塑造了不同企业在合作中面临的不同收益预期与参与门槛，成为影响共建动力的结构性基础。

（2）平台企业的榜样作用存在一个效力边界，其发挥依赖其所处的网络结构与市场环境。在小规模稀疏网络中，平台企业采取“仅连接共建企业”的选择性策略，能够有效利用其网络中心性，通过

准入权对搭便车行为形成软性惩罚,同时为合作者提供资源倾斜,从而促进合作演化。然而,随着网络规模扩大与连接密度增加,平台节点的相对影响力被稀释,其连接行为甚至可能因挤占合作红利而在大规模密集网络中抑制企业共建意愿。

(3)在实践中最大化平台企业的积极作用、抑制其潜在负面效应,关键不仅在于实施精准化的连接策略,还得辅以强效化的赋能与激励措施。平台企业为实现促进数字包容生态共建的公共目标,需识别其所嵌入的供应链网络特性与合作基础。在低回报率、小规模稀疏网络中,采用"选择性连接"策略发挥网络权力的杠杆作用。在大规模的网络中,则需超越简单的连接管理,通过强效赋能措施,提升企业的个体回报感知。

(4)绩效反馈机制加剧了个体理性。绩效反馈机制的引入,使企业在每一次策略学习前不仅观察社会绩效,还需评估其是否有助于提升自身历史绩效基准。这相当于为学习过程增设了一道基于个体收益的理性筛选。只有当模仿行为被证明能提高自身收益时,策略更新才会发生。因此,绩效反馈并非简单加速收敛,而是结构性地强化了个体收益最大化逻辑。绩效反馈下,企业在合作收益不足时更快地转向"搭便车",在合作收益明确时更果断地选择投入。

5.2 建议

根据以上结论,为促进供应链内部形成数字包容生态共建的格局,提出以下建议。

(1)政府致力于营造友好的数字包容生态共建环境。一方面持续完善数字基础设施体系,加快布局区域性公共数据共享平台,推动建立跨企业、跨平台的标准化数据接口与互操作协议,切实降低中小企业数据获取与技术接入门槛;另一方面优化政策激励工具箱,建立分层分类的共建企业识别机制,针对积极参与生态建设的中小企业提供税收抵扣、专项资金补贴及行政审批绿色通道等精准扶持,以补偿其因正外部性外溢而产生的早期成本。同时应加强市场监管,通过常态化反垄断审查与公平竞争评估,防止平台企业利用市场支配地位侵蚀中小企业合理收益,保障数字红利的合理分配与生态竞争的动态平衡。

(2)平台企业实施精准连接与强效赋能相结合的策略。在连接策略层面,根据供应链网络特征进行动态调整。在规模较小或结构稀疏的网络中,可主动采用"选择性接入"机制,对参与共建企业提供网络优先接入、流量扶持与信用背书,形成对搭便车行为的有效约束。在高度密集的大规模网络中,则转向更深层次的赋能模式。平台可开放自身的数据分析能力与云计算资源,为中小企业提供轻量化、低成本的数字化工具包。同时构建系统化的数字技能培训体系,围绕数据应用、流程优化等领域开展阶梯式能力建设。

(3)供应链企业需以战略眼光重新定位自身角色,从被动适应转向战略共建。企业应超越短期成本考量,认识到参与数字包容生态是获取技术溢出、知识共享与协同创新的战略路径。在实际运作中,积极接入公共数据平台,主动参与平台组织的技能培训与生态协作项目。企业还建立内部绩效反馈与策略评估机制,动态调整自身参与程度与合作模式,在感知合作收益时加大投入,在面临协作困境时主动与平台企业及产业链伙伴协商优化合作机制。

5.3 局限性

本文通过构建"平台企业+无标度"有向网络的博弈模型,揭示了供应链数字包容生态共建的演化规律,但仍存在一定的局限性,这些局限性也为未来的研究提供了深化和拓展的方向。

(1)在模型假设方面存在简化。本文假设企业的策略集为"投入"或"不投入"的二元选择,但现实中企业的数字化投资是一个包含投资强度、技术路径和合作模式的连续或多维决策过程。此外,模型中将平台企业视为单一同质节点,而实际中平台在治理模式、所有权结构上存在显著差异,这些差异如何影响其行为逻辑与生态治理效果,是未来研究值得深入探讨的问题。

(2)在网络结构与动力学机制上仍有优化空间。无标度网络虽能较好地模拟许多现实供应链的拓扑特征,但未能充分考虑网络结构的动态重构性。现实中,企业间的连接关系会随着博弈进程而断裂或新建,这种共演动力学可能对合作的稳定性和生态的形成产生深远影响。因此,将静态网络拓展为随策略互动而动态演化的网络,是模型深化的重要方向。

(3)在研究视角与变量引入上可进一步拓展。本文主要聚焦于经济绩效反馈,但企业的决策同样受到制度压力、社会信任、长期声誉等非经济因素的深刻影响。未来研究可引入多维度期望,如制度期望、社会期望,构建更贴近现实的行为决策模型。同时,将政府作为外部规制者或补贴者引入模型,

分析“平台与政府”双元驱动下的政策协同效应，对于理解如何在复杂环境中有效治理数字包容生态具有重要的理论价值与实践意义。

参考文献

[1] 孙雪娇，范润. 数字经济对大中小企业全要素生产率影响的鸿沟效应[J]. 经济管理，2023，45(8)：45-64.

[2] 李琦，刘力钢，田伟健. 供应链数字鸿沟对供应链供需失调的影响研究[J]. 财经研究，2025，51(3)：110-123.

[3] 赵亚娟，郭浩，孙玉琴. 供应商数字化转型、生产网络与企业出口韧性[J]. 中国软科学，2025(6)：143-153.

[4] 李海刚. 数字新基建、空间溢出与经济高质量发展[J]. 经济问题探索，2022(6)：28-39.

[5] 王玉燕，林飞，申亮. 低碳合作供应链的内部合作协调与外部补贴激励机制设计[J]. 经济研究，2024(6)：164-183.

[6] AGARWAL S，MILLER C D，GANCO M. Growing platforms within platforms：how platforms manage the adoption of complementor products in the presence of network effects?[J]. Strategic Management Journal，2023，44(8)：32-40.

[7] 张元鹏，张皓辰. 群体活动中“榜样的力量”是无穷的吗——来自一项动态公共品博弈实验的证据[J]. 财贸经济，2017，38(12)：80-94.

[8] 杨学敏，梅宏，郑跃平. 互联网平台协同监管模式构建：从单一化到整体性——基于复杂适应性系统理论[J]. 电子政务，2023(3)：19-31.

[9] 陈威如，王节祥. 依附式升级：平台生态系统中参与者的数字化转型战略[J]. 管理世界，2021，37(10)：195-214.

[10] 赵志刚，周根贵，潘瑞芳. 基于位置吸引力的加权复杂供应链网络局域世界演化模型研究[J]. 计算机科学，2018，45(12)：71-76.

[11] 杨真真. “链主”企业对链上企业突破性创新的影响——基于专精特新企业的经验证据[J]. 技术经济与管理研究，2025(1)：23-29.

[12] 李丹，梅旭东，仪宣彤. 产业链联动效应对中小制造企业数字化决策扩散的影响研究——基于复杂网络博弈模型[J]. 运筹与管理，2024，33(11)：218-225.

[13] 舒辉，唐飞，万敏琍. 产业互联网平台企业如何构建数字包容生态？——以赋能与信任共演破解数字鸿沟[J]. 经济管理，2024，46(11)：25-46.

[14] HARLAND C M. Supply chain management：relationships，chains and networks[J]. British Journal of Management，1996，7(S1)：63-80.

[15] BARABASI A L，ALBERT R. Emergence of scaling in random networks[J]. Science，1999，286：509-512.

[16] BARABASI A L. Network science，1st ed[M]. Cambridge：Cambridge University Press，2016.

[17] HEARNSHAW E J，WILSONI M M. A complex network approach to supply chain network theory[J]. International Journal of Operations & Production Management，2013，33(4)：442-469.

[18] 张纪会，徐军芹. 适应性供应链的复杂网络模型研究[J]. 中国管理科学，2009，17(2)：76-79.

[19] 梁经伟，程钰元，文淑惠. 生产网络发展对价值链分工的影响研究——基于装备制造业的测度与分析[J]. 管理评论，2025，37(10)：36-49.

[20] 范合君，王璐瑶，徐珊珊. 业绩下滑对企业数字化转型的影响研究——基于绩效差距理论和S-O-R模型[J]. 管理学刊，2024，37(5)：95-112.

[21] AMRIT T. Platform ecosystems：aligning architecture，governance and strategy[M]. San Francisco：Morgan Kaufmann Publishers Inc.，2014.

[22] HOU H，SHI Y J. Ecosystem-as-structure and ecosystem-as-coevolution：a constructive examination[J]. Technovation，2021，100：102193.

[23] RITTER T，GEMNDEN H G. Network competence：its impact on innovation success and its antecedents[J]. Journal of Business Research，2004，56(9)：745-755.

[24] ALBERT R，HAWOONG J，BARABASI A L. Error and attack tolerance of complex networks[J]. Nature，2000，406：378-382.

[25] CHOPRAS C. Designing the distribution network in a supply chain[J]. Transportation Research Part E：Logistics and Transportation Review，2003，39(2)：123-140.

[26] 钱锡红，杨永福，徐万里. 企业网络位置、吸收能力与创新绩效——一个交互效应模型[J]. 管理世界，2010(5)：118-129.

[27] 刘志彪，孔令池. 双循环格局下的链长制：地方主导型产业政策的新形态和功能探索[J]. 山东大学学报(哲学社会科学版)，2021(1)：110-118.

[28] 陶鸠，张雅俊，刘奕. 链主企业引领产业集群升级的机理、模式与路径[J]. 中国流通经济，2024，38(12)：71-81.

[29] 温双阁，赵爽. 平台企业数据共享社会责任构造[J]. 西安交通大学学报(社会科学版)，2025，45(2)：151-162.

[30] 肖红军，张哲，王欣. 数字平台企业社会价值共创的实现机制——基于美团“青山计划”的纵向案例研究[J]. 管理世界，2024，40(10)：146-171.

[31] NATIONAL DIGITAL INCLUSION ALLIANCE. Definitions[EB/OL]. (2023-10-14)[2025-12-18]. https://www.digitalinclusion.org/definitions/.

[32] 张日波，钱姝凡. 数字化改革的路径选择：一个内生公共物品的超边际分析框架[J]. 浙江社会科学，2023(7)：13-22.

[33] 杨虎涛，唐瑜. 新质生产力的数据要素：特质及其适宜性制度基础[J]. 中国特色社会主义研究，2024(4)：23-34.

[34] 卢现祥，龙泽美，罗小芳. 产业数字化能否提升产业链供应链韧性？——基于产业前向关联与后向关联的视角[J]. 经济问题，2025(7)：1-12.

[35] 朱慧，黄浩淋，薛小龙，等. 数字经济产业集聚的知识

溢出对企业创新能力的影响——基于空间杜宾模型[J]. 科技和产业,2025,25(12):83-91.

[36] 陈露,刘修岩. 产业空间共聚、知识溢出与创新绩效——兼议区域产业多样化集群建设路径[J]. 经济研究,2024,59(4):78-95.

[37] HSU P H, HUI H P, LEE H H, et al. Supply chain technology spillover, customer concentration and product invention[J]. Journal of Economics & Management Strategy, 2022, 31(2): 393-417.

[38] 魏巍,魏子仪,王轶. 人力资本提升与数字鸿沟弥合相互促进的机制和路径[J]. 北京师范大学学报(社会科学版),2025(1):53-61.

[39] OHTSUKI H, CHRISTOPH H, EREZ L, et al. A simple rule for the evolution of cooperation on graphs and social networks[J]. Nature, 2006, 441: 502-505.

[40] 郑伟伟,连燕玲,汤临佳. 组织绩效反馈:理论发展回眸与"中国故事"构建[J]. 财贸研究,2022,33(10):57-74.

[41] WANG Q, WANG H, ZHANG Z, et al. Heterogeneous investments promote cooperation in evolutionary public goods games[J]. Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, 2018, 502: 570-575.

[42] 李淑琴,冯浩东. 牌型预测与蒙特卡罗模拟结合的麻将博弈策略[J]. 重庆理工大学学报(自然科学),2022,36(12):148-154.

[43] 张轶,钱晓东. 基于复杂网络的供应链建模及仿真研究[J]. 科技管理研究,2014,34(22):183-186.

[44] 王浩淼,魏晨,邓亦敏. 基于特殊个体的网络进化博弈群智合作激发调控[J]. 中国科学:技术科学,2023,53(2):167-176.

Can Platform Enterprises Promote the Co-creation of Digital Inclusion Ecosystem in Supply Chains: A Game Analysis Based on Performance Feedback in Scale-free Directed Networks

WANG Dingteng, HE Xingjun, LI Shengming, DENG Yuqian

(School of Business, Guangxi City Vocational University, Chongzuo 532200, China)

Abstract: Digitalization is driving the high-quality development of China's economy, but the digital divide continues to hinder the digital transformation of supply chains. Building a digital inclusion ecosystem has become a key solution to this issue. Focusing on the corporate cooperation dilemmas in the co-creation of a digital inclusion ecosystem and the governance role of platform enterprises, a public goods evolutionary game model was constructed based on a "platform enterprise + scale-free" directed network by integrating the scale-free characteristics of supply chain networks with the public-good nature of digital inclusion. Innovatively, a performance feedback mechanism was introduced to improve the traditional Fermi learning algorithm, revealing the strategic evolutionary paths of firms under the dual influence of social and historical expectations. Monte Carlo simulations reveal that the return on investment coefficient and network structure are the key variables governing the evolution of cooperation. The effectiveness of platform enterprises as exemplars depends on the network structure and market environment in which they operate. To maximize the positive role of platform enterprises, it is essential not only to implement precise connection strategies but also to complement them with effective empowerment and incentive measures. Furthermore, the performance feedback mechanism reinforces individual rationality. The study further indicates that the effectiveness of platform connection strategies is moderated by network density, the number of initial firms, and network scale, exhibiting nonlinear characteristics. Accordingly, recommendations are proposed. Governments should foster a favorable investment and return environment, platform enterprises should implement a combined strategy of "precise connection + effective empowerment", and supply chain enterprises should shift from passive adaptation to active co-creation. Together, these efforts can promote the sustainable co-construction of a digitally inclusive supply chain ecosystem.

Keywords: platform; supply chains; digital inclusion ecosystem; performance feedback; network games