采纳区块链技术的两级供应链信息共享博弈

潘俊林1, 罗海燕1,2†

(1. 兰州交通大学 经济管理学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 西北交通经济研究中心, 甘肃 兰州 730070)

摘要:针对中小型供应链成员是否建立基于区块链技术的信息共享平台以及建立后的价值问题,考虑消费者的质量和价格敏感,分析了由零售商主导并包含两个地位不等的制造商的供应链中基于区块链技术的信息共享问题.本文分别构建传统合作模型、基于区块链技术的信息共享短期模型和长期模型,探讨不同模式下的供应链价值和模式选择.结果表明:短期而言,建立基于区块链技术的信息共享平台会扩大制造商之间的地位差距,致使强者愈强而弱者愈弱,零售商的利润会受损.长期而言,信息共享带来的质量努力效应会缩小制造商之间的差距并增加利润,零售商和整个供应链在经历短期的阵痛之后利润会显著增加.可知当消费者对价格和质量敏感性较高时,建立基于区块链技术的信息共享平台对实力较强的制造商是有利的,对实力较弱的制造商是不利的,对供应链是长期有利的,否则,不建立基于区块链技术的信息共享平台对供应链和实力较弱的制造商是有利的.

关键词: 区块链; 供应链; 信息共享; 动态博弈

引用格式:潘俊林,罗海燕. 采纳区块链技术的两级供应链信息共享博弈. 控制理论与应用, 2024, 41(8): 1341-1350

DOI: 10.7641/CTA.2023.20587

Two-tier supply chain information sharing game using blockchain technology

PAN Jun-lin¹, LUO Hai-yan^{1,2†}

School of Economics and Management, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou Gansu 730070, China;
 Northwest Transportation Economics Research Center, Lanzhou Gansu 730070, China)

Abstract: To address the question of whether small and medium-sized supply chain members establish an information sharing platform based on blockchain technology and the value of the establishment, information sharing based on blockchain technology in a supply chain dominated by a retailer and containing two manufacturers with unequal status is analysed by considering the quality and price sensitivity of consumers. The article constructs a traditional cooperation model, a short-term model of information sharing based on blockchain technology, and a long-term model, respectively, to explore the value of the supply chain and model selection under different models. The results show that in the short term, the establishment of an information sharing platform based on blockchain technology will widen the status gap between manufacturers, resulting in the strong getting stronger and the weak getting weaker, and the profit of retailers will be damaged. In the long run, the quality endeavour effect of information sharing will narrow the gap between manufacturers and increase profits, and retailers and the entire supply chain will experience significant profit increases after short-term pain. It can be seen that when consumers are more sensitive to price and quality, the establishment of an information sharing platform based on blockchain technology is advantageous to stronger manufacturers, disadvantageous to weaker manufacturers, and beneficial to the supply chain in the long run; otherwise, the absence of an information sharing platform based on blockchain technology is advantageous to the supply chain and weaker manufacturers.

Key words: blockchain; supply chains; information sharing; dynamic game

Citation: PAN Junlin, LUO Haiyan. Two-tier supply chain information sharing game using blockchain technology. *Control Theory & Applications*, 2024, 41(8): 1341 – 1350

收稿日期: 2022-07-03; 录用日期: 2023-03-31.

†通信作者. E-mail: 23670599@qq.com; Tel.: +86 13893272172.

本文责任编委: 崔巍.

国家自然科学基金项目(52062026),教育部人文社科项目(15YJCZH107),兰州交通大学--天津大学联合创新基金项目(2022070)资助.

Supported by the National Natural Science Foundation of China (52062026), the Humanities and Social Science Project of Ministry of Education (15YJCZH107) and the Lanzhou Jiaotong University-Tianjin University Joint Innovation Fund Project (2022070).

1 引言

随着新零售的发展以及消费者需求随机性的增加,需要企业提供更短的交货提前期、更高的服务水平和更快的反应速度,而信息的准确、快速、有效性直接影响着企业的反应能力^[1]. 因而供应链上信息共享的重要性日渐突出^[2], 大数据技术和网络数据交换能力的发展为供应链企业信息共享提供了有利条件, 各企业建立了基于(electronic data interchange, EDI), (extensible markup language, XML), Internet或者数据仓库的供应链信息共享方式^[3], 但是以上方式存在风险应对能力差、数据真实性无法保证以及核心企业控制权过大等问题^[4], 降低了供应链各企业信息共享效果.

区块链最早由中本聪提出,主要以共识机制利用 加密算法实现去中心化设计,并在此基础上提供点到 点交易,区块链因其去中心化、不可篡改和公开透明 等特征能够很好的契合供应链信息共享要求[5], 克服 己有信息共享方式的缺陷,以低成本的方式构建可靠 的信息传递方式,逐渐成为了供应链信息共享新的突 破点. 2016年12月, 国务院印发的《"十三五"国家信 息化规划》首次将区块链技术作为战略性技术写入了 国家发展规划,实际上目前也已有多家大型企业将区 块链技术应用于供应链当中, 比如沃尔玛联合主要的 食品零售商利用IBM区块链技术构建了一条透明可 追溯的食品供应链; 航运巨头马士基利用区块链技术 建立起了全球数字化贸易平台,用以提高海运中的效 率和透明度; 联想将区块链与供应链"双链融合", 极 大提升了供应商-工厂-企业之间的信息共享度和流 程透明度,证明区块链技术在供应链领域具有巨大的 价值. 因此, 本文考虑中小型企业将区块链技术应用 于供应链是否可行,并讨论区块链技术的价值以及具 有质量努力效应的供应链定价决策,以期为中小型企 业探讨区块链技术的短期和长期价值提供参考,并为 定价决策提供依据.

与现有研究仅定性的探讨区块链与供应链结合的可能性不同,本文在考虑供应链内成员地位失衡的情况下提出了一种新的供应链信息共享模型,并探讨了应用区块链技术的可行性和价值,包括短期和长期两个方面,进一步的,通过模型的构建和求解,回答了中小企业是否应该建设区块链信息共享平台的问题,同时也探讨了中小企业如何构建这样的平台.

2 文献综述

在供应链信息共享方面,供应链各企业为了应对供应链中信息孤岛问题,需要更加紧密且频繁的联系,而紧密协调的一个重要因素就是信息共享^[6]. 从研究对象来看,士明军等人^[7]发现绿色成本系数会影响供应链成员之间信息共享的意愿. Ding和Wang^[8]验证了信息共享会增加绿色供应链中制造商的利润,而减

少销售商利润和消费者剩余. Xue等人[9]指出建筑供 应链中的信息共享有利于提升总包商的管理和服务 水平. Zhou等人[10]在需求不确定情况下研究了实现 生鲜农产品协调和信息共享的机制, 在低碳供应链中, 伍星华等人[11]认为信息共享能够增加低碳供应链总 利润,是促进低碳供应链成员间协作,提高供应链效 益的重要途径. 从研究内容来看, 研究人员主要关注 不同情形和因素影响下纵向信息共享的影响以及对 应的策略. Cachon和Fisher[12]证明了纵向供应链中信 息共享对于成本与收益的价值. Mittendorf等认为零 售商信息共享能反过来增强制造商承担成本增加投 资以提升零售需求的动机,因此,零售商共享市场信 息的动机是存在的. 另外有学者将不同的影响因素纳 入纵向供应链信息共享过程中, 比如Li等人[13]将政府 补贴、消费者偏好纳入考量,探讨了在随机需求下纵 向信息共享的策略; Costantino等人[14]研究了信息共 享与订货策略的关系,以解决库存差异带来的牛鞭效 应; 吴江华和姜帆[2]将产能限制引入制造商之间的信 息共享策略,认为供应量的价格会影响信息共享策略, 而产能限制会使共享策略反向.

在区块链在供应链中的应用方面,区块链技术主 要在解决供应链金融信息不对称、企业监管、提高结 算清算效率和金融操作风险等方面具有优势,对于 区块链技术在供应链其他方面的应用研究仍较少, Kshetri^[15]提出将区块链技术应用于供应链中, 以提高 供应链企业间的透明度和责任感. Babich和Hilary[16] 认为区块链技术具有应用于供应链运营的优势,但是 仍然存在着缺乏标准化、私密性和数据有效性的问题. 陈化飞等人[17]认为投资区块链技术可以抑制生鲜产 品生产商谎报鲜活度的行为. 周兴建等人[18]分析了动 力电池回收供应链与区块链特性之间的关系,提出了 高于传统回收模式的基于区块链的新回收模式. 杜晓 丽和李登峰[19]认为在需要监管机构的国际贸易物流 上, 区块链技术是建立信任机制的有效方式. 闫文周 等人[20]引入区块链技术提出了建筑供应链中信息共 享的新组织模式. 倪卫红和陈太[21]融入区块链技术解 决了生鲜农产品供应链中交互环节冗余、缺乏信任和 服务质量差的问题.

综上所述, 研究人员对区块链技术在供应链中的应用研究仍较少或仅将区块链的特性与供应链相结合, 分析其内涵、融合机制与模式、效用等, 较少以博弈分析的方式定量分析区块链技术在供应链中的表现, 也未对区块链促进供应链信息共享的长期价值进行分析. 因此, 本文从供应链企业期望采用区块链技术建立信息共享渠道的角度出发, 建立包含具有竞争关系且地位不平等的两个制造商和一个占主导地位的零售商之间的博弈模型, 讨论建立基于区块链的信息共享渠道以及建立后在竞争对手的驱动下, 供应链

成员的收益情况和定价策略,以期为中小型供应链企业决定是否建立基于区块链技术的信息共享平台以及建立后的决策提供参考.

3 问题描述与假设

3.1 基于区块链的供应链信息共享流程

区块链具有去中心化、智能合约、透明可追溯的特性^[5],这意味着区块链技术的应用可以促进供应链的货物供应和信息传递透明化、安全化,推进产品制造的智能化和信息共享的平台化^[22],基于区块链的供应链信息共享模型如图1所示(图中区块仅包含了实际共享信息的部分).为了使区块链参与者能够就信息变动达成一致,需要建立所有成员都认可的共识协议,常见的共识协议包括工作量证明(proof of work, Po-W)、权益证明(proof of stake, PoS)、权益委托证明(delegated PoS, DPoS)和实用拜占庭容错(practical byzantine fault tolerance, PBFT)^[23],熟知的比特币应

用场景普遍采用PoW协议, 而在成员有限、数据处理 速度要求高而去中心化程度要求较低的供应链企业 中,商业化程度较高的PBFT协议则更加适合.对于具 有竞争关系的制造商而言,在建立基于区块链的信息 共享平台后,选择将产品批发信息(批发价格、数 量、提前期)等广播到共建的区块链信息平台并公开, 这意味着区块链联盟成员中的任何一员都会看到制 造商所公开的信息(包括其竞争对手),此时,联盟中的 信息是充分的. 同理, 对于零售商而言, 为了保证联盟 的稳定和利益, 也会选择将自身预测和调研所获得的 市场需求信息和自身的库存情况上传到基于区块链 的信息共享平台,每一次制造商和零售商所上传的信 息都会构成一个区块并被赋于时间参数以保证信息 的真实性并用作信息溯源的依据,同时,零售商的订 货申请和制造商的发货动作也会在区块链智能合约 技术的帮助下在满足既定条件后自动执行,极大的减 少了人工执行带来的成本和失误问题.

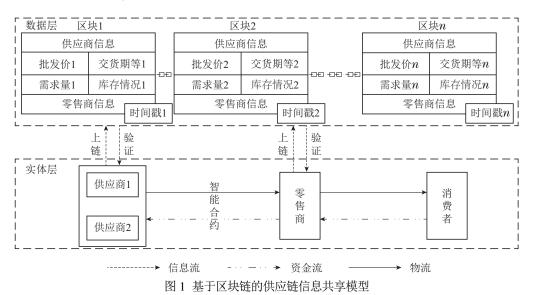


Fig. 1 Blockchain-based supply chain information sharing model

3.2 问题描述

本文中考虑行业内存在为数不多几家供应商,即寡头市场. 假设包含两个地位不平等的制造商 M_1 , M_2 和一个占主导地位的零售商R的两级供应链,制造商之间存在竞争关系并同时向零售商供货,消费者需求受到产品质量 $\mu_i(i=1,2)$ 和零售商销售价格 P_r 的双重影响. 占主导地位的零售商首先根据市场批发价格 $W_i(i=1,2)$ 和消费者的需求 D_r 确定订货量 $D_i(i=1,2)$ 和销售价格 P_r ,然后,根据对两个制造商的偏好 $r(r\leqslant 1)$ 分别从两个制造商确定不同的订货量,两个制造商会分别根据竞争对手之间的竞争强度 σ 和销售商的订货量 D_i 确定批发价格,并获取最大利润,为了协调供应链成员并降本增收,根据零售商决定是否采用区块链技术建立信息共享平台形成不采用区块

链技术的传统模式(N模式)和采用区块链技术的模式(B模式),如图2所示.

- 1) N模式: 零售商与两个制造商之间采用传统的不共享信息的供应链模式, 此时批发价格、需求和交货期等信息是不透明的, 信息的封闭使两个制造商采用分散决策的模式分别与零售商单独合作, 批发价格的谈判与制定在制造商和零售商之间单独进行, 零售商分别以批发价 W_1 和 W_2 从制造商批发质量为 μ_1 和 μ_2 的产品, 并且制造商之间同时存在批发价格和产品质量的竞争.
- 2) B模式: 零售商与两个制造商之间建立基于区块链技术的信息共享平台, 共享批发价格和库存等信息, 在信息透明的情况下, 两制造商作为寡头需要合谋形成一个统一的批发价格以避免陷入恶性价格竞

争. 此时价格一致 $W_1 = W_2 = W$,制造商之间的质量和价格竞争转为单一的质量竞争,零售商以批发价W从制造商 M_1 和 M_2 批发质量为 μ_1 和 μ_2 的产品,但是质量较差的制造商在零售商质量偏好下批发量将会受到影响.

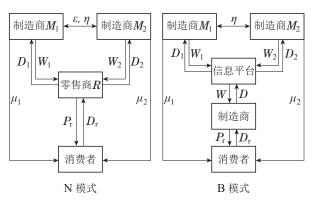


图 2 N模式和B模式结构图

Fig. 2 N-mode and B-mode structure diagram

3.3 基本假设

- 1) 零售商对两个制造商有不同的基础偏好,该偏好是零售商与制造商基于多次历史交易而形成的,交易双方的顺畅沟通、愉快交易、提前交货与付款都会增加偏好,代表零售商与制造商之间的合作基础与已经建立的信任关系和交易基础. 这意味着尽管两个制造商的产品质量与价格有细微差异,在质量、价格偏差不大的情况下仍可能选择与质量略低(价格略高)但具有一定交易基础的制造商合作. 一般地,这种偏好在供应商管理中体现为对供应商的分级.
- 2) 在建立区块链信息共享平台后,信息透明使得两寡头的批发价格趋同.在仅存在两个相互竞争制造商的寡头市场中,产品价格一致但质量存在一定的差异,尽管一方可以通过降低价格来获取更大的批发量,但是在建立基于区块链的信息共享平台后,产品批发价格是透明的,另一方迫于竞争和生存的压力也不得不跟随选择降低价格,因此,可能会陷入价格恶性竞争中.对此最好的应对方式是,竞争双方通过协商将产品稳定在一个合适的价格,不再选择以价格作为竞争方式,而转向质量、品牌、服务等方面的竞争[24].
- 3) 对于建立信息共享平台的成本分担问题, 按照一般的会计费用分担原则"谁使用谁承担, 谁受益谁承担"[25], 零售商作为供应链领导者和制造商各自承担建设成本的一半即 $\frac{1}{2}C_{\rm B}$, 制造商之间的建设成本分担则根据首次批发产品的数量分担, 首次批发产品的数量与零售商对制造商的初始偏好相关, 因此, 两个制造商的区块链建设成本可以表示为: $\frac{1}{2}rC_{\rm B}$ 和 $\frac{1}{2}(1-r)C_{\rm B}$. 为了保证企业关键信息的安全性, 制造

商仅共享订单信息,包含价格、数量、交货时间与提前期等,零售商仅共享库存信息与订货需求等.

4) 零售商根据自身对于市场需求的预测确定订货量,并且受到制造商的质量、价格和对制造商偏好的影响,针对市场预测准确性的问题,零售商的实际订货量存在波动,当预测准确时,表示零售商增加订货量,当预测不准确时,零售商采取保守的策略.此时零售商的订货量和制造商的批发量可以表示为式(1)-(3)^[26-28],所用符号说明如表1所示.

$$D_1 = r(T - \varepsilon P_{r_{st0}} + \eta(r\mu_1 + (1 - r)\mu_2) + \theta) + \delta(\mu_1 - \mu_2), \tag{1}$$

$$D_2 = (1 - r)(T - \varepsilon P_{r_{st0}} + \eta(r\mu_1 + (1 - r)\mu_2) + \theta) + \delta(\mu_2 - \mu_1), \tag{2}$$

$$D_R = T - \varepsilon P_{r_{st0}} + \eta (r\mu_1 + (1 - r)\mu_2) + \theta.$$
 (3)

表 1 符号说明 Table 1 Description of symbols

符号 含义 Π_{M_i} 制造商i的利润 Π_r 零售商的利润 C_i 制造商i的单位生产成本 $C_{\rm B}$ 区块链应用成本 单位库存成本 $g_{\rm r}$ 单位运输成本 $t_{
m f}$ 单位订单处理成本 最大市场规模 价格敏感系数 质量敏感系数 制造商偏好系数 制造商i的质量参数 μ_i 制造商i的质量改进系数 λ_i 制造商间的替代系数 实际订货量的波动

其中: 区块链应用成本 C_B 是将区块链技术应用于供应链时所发生的平台建设成本,包括硬件和软件两个方面;单位订单处理成本s是每一笔订单发生时相关的费用;最大市场规模T代表当前市场潜在的消费者需求总和;制造商间的替代系数 σ 是制造商1每增加/减少一单位批发量,制造商2所对应发生的批发量减少/增加情况.

4 传统供应链协同模式(N模式)

零售商分别以 W_1 , W_2 批发价从 M_1 , M_2 批发质量为 μ_1 , μ_2 的产品, M_1 , M_2 之间同时存在质量和价格的竞争. 制造商和零售商的利润可以表示为

$$\Pi_{M_1}^N = D_1(W_1 - C_1 - t_m - s) - t_f - \frac{\mu_1^2}{2},$$
(4)

$$\Pi_{M_2}^N = D_2(W_2 - C_2 - t_{\rm m} - s) - t_{\rm f} - \frac{\mu_2^2}{2},$$
(5)

$$\Pi_R^N = D_1(P_{r_{st0}} - g_r - s - W_1) +
D_2(P_{r_{st0}} - g_r - s - W_2).$$
(6)

在传统供应链模式下,制造商的最佳批发量、批发 价格和零售商的最大销售量和销售价格分别为

$$D_{1} = \frac{r(T + \eta(r\mu_{1} + (1 - r)\mu_{2}) + \theta)}{4} + \frac{\delta(\mu_{1} - \mu_{2})}{4} - \frac{\varepsilon r(C_{1} + t_{m} + g_{r} + 2s)}{4}, \quad (7)$$

$$D_{2} = \frac{(1 - r)(T + \eta(r\mu_{1} + (1 - r)\mu_{2}) + \theta)}{4} + \frac{\delta(\mu_{2} - \mu_{1})}{4} - \frac{\varepsilon(1 - r)(C_{2} + t_{m} + g_{r} + 2s)}{4}, \quad (8)$$

$$D_{R} = \frac{T + \eta(r\mu_{1} + (1 - r)\mu_{2}) + \theta}{4} - \frac{\varepsilon rC_{1} + \varepsilon(1 - r)C_{2} + \varepsilon(t_{m} + g_{r} + 2s)}{4}, \quad (9)$$

$$W_{1} = \frac{T + \eta(r\mu_{1} + (1 - r)\mu_{2}) + \theta}{2\varepsilon} + \frac{\delta(\mu_{1} - \mu_{2})}{2\varepsilon r} + \frac{C_{1} + t_{m} - g_{r}}{2}, \quad (10)$$

$$W_{2} = \frac{T + \eta(r\mu_{1} + (1 - r)\mu_{2}) + \theta}{2\varepsilon} + \frac{\delta(\mu_{2} - \mu_{1})}{2\varepsilon(1 - r)} + \frac{C_{2} + t_{m} - g_{r}}{2}, \quad (11)$$

$$P_{r_{st0}} = \frac{3(T + \eta(r\mu_{1} + (1 - r)\mu_{2}) + \theta)}{4\varepsilon} + \frac{rC_{1} + (1 - r)C_{2} + t_{m} + g_{r} + 2s}{4}. \quad (12)$$

5 基于区块链技术的信息共享平台模式(B 模式)

5.1 基于区块链技术的信息共享平台模式第1阶段(B模式第1阶段)

传统的供应链存在信息孤岛并且真假性存疑的问题,为了获得更透明的供应链信息,提升供应链效率,降低成本,以零售商为主导的供应链考虑建立以区块链技术为基础的信息共享平台,在此机制下,供应链成员间的订单信息共享,两个独立的制造商在合谋的情况下作为临时的单一主体给出统一的批发价格并与零售商合作,因此,零售商以相同的批发价从制造商批发质量不同的产品,制造商之间仅存在质量的竞争,短期内,质量较低的制造商批发量受到影响,则

$$D_{1} = r(T - \varepsilon P_{r_{st1}} + \eta(r\mu_{1} + (1 - r)\mu_{2}) + \theta) + \delta(\mu_{1} - \mu_{2}).$$

$$D_{2} = (1 - r)(T - \varepsilon P_{r_{st1}} + \eta(r\mu_{1} + (1 - r)\mu_{2}) + \theta) + \delta(\mu_{2} - \mu_{1}).$$
(13)

因此,零售商的销售函数可以表示为

$$D_R = T - \varepsilon P_{r_{\text{st1}}} + \eta (r\mu_1 + (1 - r)\mu_2) + \theta, \quad (15)$$

则制造商 M_1, M_2 和零售商R的利润分别表示为

$$\Pi_{M_1}^{B_1} = D_1(W - C_1 - t_{\rm m} - s) - t_{\rm f} - \frac{\mu_1^2}{2} - \frac{1}{2}rC_{\rm B},$$
(16)

$$\Pi_{M_2}^{B_1} = D_2(W - C_2 - t_{\rm m} - s) - t_{\rm f} - \frac{\mu_2^2}{2} - \frac{1}{2}(1 - r)C_{\rm B},$$
(17)

$$\Pi_R^{B_1} = D_R(P_{r_{\text{st1}}} - g_r - s - W) - \frac{1}{2}C_B.$$
(18)

为了简化供应链成员之间的交易流程,降低交易成本,以零售商为主导的供应链考虑建设基于区块链技术的信息共享平台,统一批发价格,在考虑区块链建设成本之后,制造商的最佳批发量、批发价格和零售商的最大销售量和销售价格分别为

$$D_{1} = \frac{\Delta r}{4} - \frac{\varepsilon r}{4} (rC_{1} + (1 - r)C_{2} + t_{m} + g_{r} + 2s) + \delta(\mu_{1} - \mu_{2}),$$
(19)
$$D_{2} = \frac{\Delta(1 - r)}{4} - \frac{\varepsilon(1 - r)}{4} (rC_{1} + (1 - r)C_{2} + t_{m} + g_{r} + 2s) + \delta(\mu_{2} - \mu_{1}),$$
(20)

$$D_R = \frac{\Delta}{4} - \frac{\varepsilon}{4} (rC_1 + (1 - r)C_2 + t_m + g_r + 2s), \tag{21}$$

$$W = \frac{t_{\rm m} - g_{\rm r} + rC_1 + (1 - r)C_2}{2} + \frac{T + \eta(r\mu_1 + (1 - r)\mu_2) + \theta}{2\varepsilon},$$
(22)

$$P_{r_{\rm st1}} = \frac{g_{\rm r} + 2s + t_{\rm m} + rC_1 + (1 - r)C_2}{4} + \frac{3(T + \eta(r\mu_1 + (1 - r)\mu_2) + \theta)}{4\varepsilon}, \quad (23)$$

其中 $\Delta = T + \eta(r\mu_1 + (1 - r)\mu_2) + \theta$.

5.2 基于区块链技术的信息共享平台模式第2阶段(B模式第2阶段)

由于制造商之间仅存在质量的竞争, 考虑到销售商会更加偏好于质量更好的制造商, 而降低较差质量制造商的产品采购. 因此, 两制造商都意图通过改进质量获得更大的市场, 质量较差的制造商为了不被市场淘汰, 将会投入更多成本改进质量. 此时, 零售商以相同的批发价从制造商批发质量为 $(1 + \lambda_1)\mu_1$ 和 $(1 + \lambda_2)\mu_2$ 的产品.

在该情况下,两个制造商的批发量和零售商的最 大销售量分别为

$$D_1 = r(T - \varepsilon P_{r_{st1}} + \eta(r(1 + \lambda_1)\mu_1 + (1 - r)(1 + \lambda_2)\mu_2) + \theta) +$$

$$\delta((1+\lambda_1)\mu_1 - (1+\lambda_2)\mu_2), \qquad (24)$$

$$D_2 = (1-r)(T - \varepsilon P_{r_{st1}} + \eta(r(1+\lambda_1)\mu_1 + (1-r)(1+\lambda_2)\mu_2) + \theta) + \delta((1+\lambda_2)\mu_2 - (1+\lambda_1)\mu_1), \qquad (25)$$

$$D_R = T - \varepsilon P_{r_{st1}} + \eta (r(1+\lambda_1)\mu_1 + (1-r)(1+\lambda_2)\mu_2) + \theta,$$
 (26)

则制造商 M_1, M_2 和零售商R的利润分别表示为

$$\Pi_{M_1}^{B_2} = D_1(W - C_1 - t_{\rm m} - s) - t_{\rm f} - \frac{(1 + \lambda_1)^2 \mu_1^2}{2},$$
(27)

$$\Pi_{M_2}^{B_2} = D_2(W - C_2 - t_{\rm m} - s) - t_{\rm f} - \frac{(1 + \lambda_2)^2 \mu_2^2}{2},$$
(28)

$$\Pi_R^{B_2} = D_R(P_{r_{s+1}} - g_r - s - W).$$
(29)

在两个制造商分别改进产品质量后,制造商 M_1 , M_2 的最佳批发量、批发价格和零售商R的最大销售量和销售价格分别为

$$D_{1} = \frac{r}{2}(T + \eta(r(1 + \lambda_{1})\mu_{1} + (1 - r)(1 + \lambda_{2})\mu_{2}) + \theta - \varepsilon(g_{r} + s + W)) + \delta((1 + \lambda_{1})\mu_{1} - (1 + \lambda_{2})\mu_{2}),$$
(30)

$$D_{2} = \frac{1 - r}{2}(T + \eta(r(1 + \lambda_{1})\mu_{1} + (1 - r)(1 + \lambda_{2})\mu_{2}) + \theta - \varepsilon(g_{r} + s + W)) + \delta((1 + \lambda_{2})\mu_{2} - (1 + \lambda_{1})\mu_{1}),$$
(31)

$$D_{R} = \frac{1}{2}(T + \eta(r(1 + \lambda_{1})\mu_{1} + (1 - r)(1 + \lambda_{2})\mu_{2}) + \theta - \varepsilon(g_{r} + s + W)),$$
(32)

$$W = t - a + rC_{r} + (1 - r)C_{r}$$

$$W = \frac{t_{\rm m} - g_{\rm r} + rC_1 + (1 - r)C_2}{2} + \frac{T + \eta(r(1 + \lambda_1)\mu_1 + (1 - r)(1 + \lambda_2)\mu_2) + \theta}{2\varepsilon}, \quad (33)$$

$$P_{\rm r_{\rm st2}} = \frac{g_{\rm r} + 2s + t_{\rm m} + rC_1 + (1 - r)C_2}{4} + \frac{3(T + \eta(r(1 + \lambda_1)\mu_1 + (1 - r)(1 + \lambda_2)\mu_2) + \theta)}{4\varepsilon}.$$

6 区块链技术对供应链的定价决策与短长 期价值分析

在区块链信息共享平台的建设决策中,供应链成员需要充分考量由平台建设而带来的地位变动以及短期与长期收益变化,这不仅包含了自身收益的变动情况,还需要考虑供应链总收益的变动情况.企业的每一次博弈代表着一次交易,每一次交易意味着零售商需要补充库存,两次交易的时间间隔可以用存货周

转期表示,因此,本文中短期与长期的界限划分与企业的存货周转期紧密相关,短期为两个存货周转期以内,超出两个存货周转期为长期,具体的时间视企业所处行业而定,如服装行业安踏2022上半年的平均存货周转期为145天,而半导体企业寒武纪受芯片短缺影响,2022年第1季度存货周转期达到了1046.5天.

命题 1 建立信息共享平台后,质量的高低会分别增加和减少对制造商的订单量,在制造商不做任何质量和促销努力的情况下,市场的总需求将会保持不变,所发生变化的仅仅是因零售商对不同制造商的偏好的改变所带来的批发量的改变,即两个制造商订单分配的改变.

命题 2 建立信息共享平台在短期内并不会带来零售商总利润的提升,反而会降低零售商的利润,其原因在信息透明化之后,零售商在相同的价格下会选择从质量更高的制造商处批发产品,尽管这意味着更高的批发价格和成本,也会使其净利润减少.同时,在零售商的质量偏好下,质量较好的制造商利润会增加,而质量较差的制造商利润会减少,其原因在于零售商更青睐于质量更好的产品,从而使质量较高的制造商获得更多订单.

命题 3 在建立信息共享平台之后,当 $\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ = $\frac{\mu_2}{\mu_1}(1-\frac{\eta r}{\eta r^2+2\delta})$ 时,制造商 M_1 在改进质量前后的需求量相等,当 $\frac{\lambda_1}{\lambda_2}=\frac{\mu_2}{\mu_1}\frac{2\delta+\eta(1-r)^2}{2\delta-\eta r(1-r)}$ 时,制造商 M_2 在改进质量前后的需求量是相等的.但是对于总需求而言,制造商质量改进使得市场总需求总是增加的.

命题 4 两个制造商的利润情况与其质量和努力程度成正相关的关系,两个制造商之间的利润分配与其努力程度呈显著的正相关关系. 即使制造商 M_1 的初始质量可能比制造商 M_2 更高,但是在付出质量努力之后, M_2 的利润可能会在第2阶段超过 M_1 ,从而使 M_1 的优势地位转为劣势地位. 由于制造商的质量努力是对零售商有益的,使得零售商的利润总是增加的. 即当 $\mu_1^2 = \frac{rC_B}{\lambda_1(\lambda_1+1)}$ 且 $\delta = 0$ 时, $\Pi_{M_2}^{B_2} = \Pi_{M_1}^{B_1}$,当 $\mu_1^2 = \frac{(1-r)C_B}{\lambda_2(\lambda_2+2)}$ 且 $\delta = 0$ 时, $\Pi_{M_2}^{B_2} = \Pi_{M_2}^{B_1}$, $\Pi_{R}^{B_2}$ 总是大于 $\Pi_{R}^{B_1}$.

7 数值分析与应用

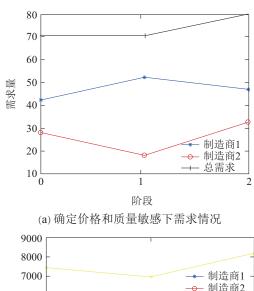
7.1 数值分析

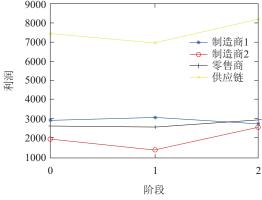
(34)

下面通过算例分析在建立或者不建立基于区块链技术的信息共享平台下两个制造商和零售商的需求和利润情况,以及跟随消费者质量和价格敏感变化的情况. 当 $\eta = 1$, $\varepsilon = 2$ 时,假设最大市场规模为500,令 $C_1 = 120$, $C_2 = 100$, $C_B = 500$, $q_T = t_m = s = 1$,

 $t_{\rm f}=10, r=0.6, \lambda_1=0.2, \lambda_2=0.4, \sigma=10, \theta=5,$ μ_1 和 μ_1 分别为0.9和0.8.

由图3(a)可知,在信息共享平台刚建立时,零售商会偏好于从质量更好的制造商批发产品,两个制造商之间的地位差距加剧,在建立一段时间后,由于制造商的质量努力,其地位差距会缩小,并且该供应链的总需求会扩大,促进了供应链收益的增加.由图3(b)可知,建立信息共享平台对零售商的利润影响不大,但是会使制造商强者愈强、弱者愈弱,在激烈的竞争和质量努力下,实力较弱的制造商会逐渐夺回原本的供应链地位,并可能随着时间的推移抢夺制造商主导地位,由于制造商改进质量的成本会转移到零售商,因此,零售商的利润会略有损失,但是这样的改变对于制造商和整个供应链都是有益的.





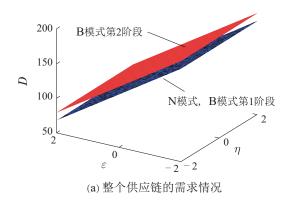
(b) 确定价格和质量敏感下利润情况

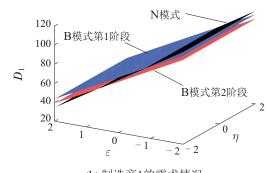
图 3 确定价格和质量敏感下需求和利润的情况

Fig. 3 Determining price and quality sensitive demand and profitability

当不固定消费者的质量和价格敏感时,由图4(a)可知,建立与不建立基于区块链的信息共享平台对于整个供应链而言,需求都不会改变,但是从长期而言,建立区块链后会给制造商带来竞争压力,从而促进制造商努力提高质量,最终增加总需求.由图4(b)可知,当消费者价格敏感为负且值较大时,选择不共享信息制造商1会获得更多需求,当价格不敏感或者为正时,信息共享是占优策略,质量对需求的影响较小.由图4(c)

可知,对于制造商2而言,只有当消费者对产品价格极为敏感时,不共享信息是占优策略,否则,信息共享都是最佳策略.





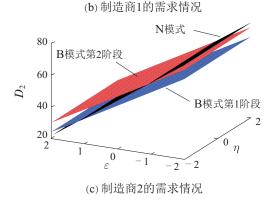
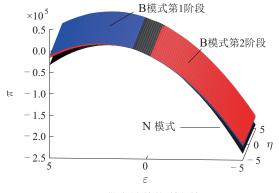


图 4 价格和质量敏感下不同模式的需求情况

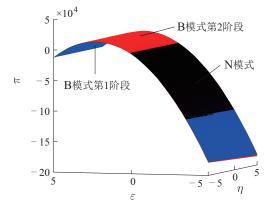
Fig. 4 Demand for different models in a price and quality sensitive context

由图 5(a) 可知, 当消费者受价格和质量影响较小时(比如耐用品), 不共享信息能够让供应链利润最大化, 而对价格和质量极其敏感且反向时, 信息共享才能促进供应链利润最大化. 由图5(b)可知, 对实力较强的制造商而言, 只要消费者对价格和质量具有敏感性, 无论是长期还是短期共享信息都是占优策略. 由图5(c)可知, 对实力较弱的制造商而言, 消费者价格和质量敏感性较弱时共享信息能够实现最大利润, 否则选择不共享信息是占优策略.

因此,在包含制造商和零售商的两级供应链中,当制造商与零售商之间的合作为单次或短期合作时,选择不共享信息或者传统的信息传递方式为最佳选择; 当制造商与零售商之间的合作为多次或期望建立战 略合作伙伴时,选择建立基于区块链的信息共享平台 为最优策略.



(a) 供应链整体利润情况



(b) 实力较强供应商利润情况

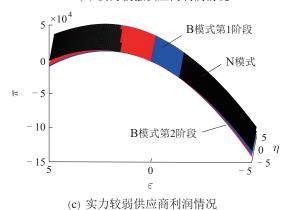


图 5 价格和质量敏感下不同模式的利润情况

Fig. 5 Profitability of different models under price and quality sensitivity

7.2 场景应用实例分析

与本文研究较为相似的是沃尔玛和IBM联合京东 共同建立的基于区块链的食品安全联盟,包含了中国 的猪肉安全与美国的芒果安全两个试点项目,借助区 块链技术实现食品的产地与运输信息共享从而保障 食品安全.在这两个试点项目中,作为食品供应链主 导者的沃尔玛要求其上游猪肉或芒果供应商建立起 与区块链信息共享平台所匹配的数据收集与分享系 统,包括电子数据标签和射频识别(radio frequency identification, RFID)等.作为建设区块链平台的发起 方与主导方,沃尔玛将会承担绝大多数的建设成本, 而其上游供应商更多承担的是与之相匹配的基础设 施升级费用.

就短期而言,沃尔玛发现其投入在区块链建设中的费用是大于由区块链建设而带来的收益的,这意味着沃尔玛需要承担前期大量的建设成本以及较为漫长的回收周期,回收周期与沃尔玛食品供应链的存货周转期相关.对于沃尔玛的猪肉或芒果供应商而言,在由建设区块链带来食品安全与质量提升的正面市场效应发挥作用之前,市场需求不会有明显的改变,而仅仅会因为沃尔玛对供应商态度的转变而发生内部供应量的变动,沃尔玛的态度会额外受到猪肉或芒果供应商是否极力配合沃尔玛建设区块链平台的影响.

当区块链技术带来的食品安全与质量提升被消费者感知与接纳时,沃尔玛猪肉与芒果需求量会得到明显的提升,这种提升不仅对沃尔玛有正向的收益与声誉提升,同时对于沃尔玛上游的猪肉或芒果供应商也会带来明显的利润增加.因此,对于沃尔玛而言,为了获得长期的利益并建立起消费者信任,建立区块链信息平台是最佳的策略,对于供应商而言,额外的短期投入同样能够带来长期利润的增加,因此,在能够承担短期成本增加的情况下,参与共同建设区块链信息平台也是最佳的选择.

8 结论

本文在区块链技术日益广泛的应用于大型企业的背景下,针对中小型供应链成员是否建立基于区块链技术的信息共享平台以及建立后的长期价值问题,同时考虑消费者的质量和价格敏感,在零售商主导的两级供应链中分析了基于区块链技术的信息共享平台对供应链成员利润、供应链地位和企业长期发展的影响.根据是否建立基于区块链技术的信息共享平台分别构建了传统合作模型、基于区块链技术的信息共享短期模型和长期模型.主要的研究结论包括:

- 1) 建立基于区块链技术的信息共享平台会扩大制造商间的地位差距, 致使强者愈强而弱者愈弱.
- 2) 从短期来讲,是否建立基于区块链技术的信息 共享平台对于供应链总需求的影响不大,而只会改变 供应链内部制造商的实力对比与利益分配,并且零售 商的利润会降低.
- 3) 从长期来看,建立基于区块链技术的信息共享平台会显著改进供应链产品的质量,而由信息透明化带来的质量努力效应会缩小制造商之间的需求量差距,虽然会在一定时期内影响零售商的利润,但会明显促进整个供应链的需求,对于所有制造商和整个供应链利润而言都是有利的,零售商的利润也会在一定时期后得到增加.

上述结论对区块链在两级供应链中的应用有如下 启示:

- 1) 对于制造商而言, 当自身的实力比竞争对手强并且消费者对产品的价格和质量敏感性较高时, 尽管建立基于区块链技术的信息共享平台会在短期内影响自身的批发量, 但从长期来看相比于其它模式能获得更高的收益, 对自身是有利的. 当自身实力比竞争对手弱并且消费者对价格和质量敏感性不那么高时, 选择建立基于区块链技术的信息共享平台是有利的, 否则, 不共享信息是更优的决策.
- 2) 对于零售商而言,如果想要提高整个市场对产品的需求量,则建立基于区块链技术的信息共享平台是更优的决策,在消费者对价格和质量同时敏感的情况下,短期内市场需求和自身利润会受损,但长期来看是有益的.
- 3) 对整个供应链而言, 只有在消费者对价格和质量不敏感时, 不建立基于区块链技术的信息共享平台才是最优模式, 否则, 在经历阵痛期之后, 在信息共享带来的质量努力效应下, 供应链的市场需求和利润都会显著增加.

本文从零售商主导角度讨论了供应链成员地位失 衡情况下区块链信息共享平台的建设问题,能够为企 业是否应该采用区块链以及应该在何种情况下建立 区块链信息共享平台的决策提供参考.但本文的研究 暂时只讨论了两级供应链,也尚未考虑到企业所面临 的复杂社会与政策环境,因此,扩大研究对象,将更多 因素如政府政策、社会福利、碳限额等纳入考量将会 是下一步研究方向.

参考文献:

- [1] CHEN Qixin. The logistics information operation mechanism of modern enterprise and the strategy of risk prevention. *Information Science*, 2021, 39(3): 161 165.
 - (陈启新. 现代企业物流信息运行机制与风险防范策略. 情报科学, 2021, 39(3): 161 165.)
- [2] WU Jianghua, JIANG Fan. Information sharing strategy among competitive companies with capacity constraints in a supply chain. *Chinese Journal of Management Science*, 2020, 28(5): 146 158. (吴江华, 姜帆. 供应链中具有产能限制的竞争企业中的信息共享研究. 中国管理科学, 2020, 28(5): 146 158.)
- [3] WANG Junli, YANG Qidong, QIU Jing. Application of intelligentization and infor matization in the practical production of enterprise. *Knitting Industries*, 2019, 47(2): 41 44. (王後丽, 杨启东, 裘晶. 智能化、信息化在企业实际生产中的应用. 针织工业, 2019, 47(2): 41 44.)
- [4] JIANG Yi. Supply chain management information system based on internet/intranet. *Journal of Wuhan Institute of Shipbuilding Technology*, 2003, 2(4): 40 44. (姜艺. 基于Internet/Intranet的供应链管理信息系统. 武汉船舶职业技术学院学报, 2003, 2(4): 40 44.)
- [5] ZENG Shiqin, HUO Ru, HUANG Tao, et al. Survey of blockchain: Principle, progress and application. *Journal on Communications*, 2020, 41(1): 134 – 151.

- (曾诗钦, 霍如, 黄韬, 等. 区块链技术研究综述: 原理、进展与应用. 通信学报, 2020, 41(1): 134-151.)
- [6] LI L. Information sharing in a supply chain with horizontal competition. *Management Science*, 2002, 48(9): 1196 – 2212.
- [7] SHI Mingjun, WANG Yong, DAN Bin, et al. Information sharing in a green supply chain with asymmetric demand forecasts. *Chinese Journal of Management Science*, 2019, 27(4): 104 114. (士明军, 王勇, 但斌, 等. 绿色供应链中不对称需求预测下的信息共享研究. 中国管理科学, 2019, 27(4): 104 114.)
- [8] DING J, WANG W. Information sharing in a green supply chain with promotional effort. *Kybernetes*, 2020, 49(11): 2683 – 2712.
- [9] XUE X, SHEN Q, TAN Y, et al. Comparing the value of information sharing under different inventory policies in construction supply chain. *International Journal of Project Management*, 2011, 29(7): 867 – 876.
- [10] ZHOU L, ZHOU G, QI F, et al. Research on coordination mechanism for fresh agri-food supply chain with option contracts. *Kybernetes*, 2019, 48(5): 1134 1156.
- [11] WU Xinghua, AI Xingzheng, NIE Jiajia. Research on the information sharing strategy of low carbon supply chain with scale diseconomy.

 Journal of Central University of Finance & Economics, 2018, 38(3):
 111 119, 128.
 (伍星华, 艾兴政, 聂佳佳. 规模不经济下低碳供应链的信息共享策略研究. 中央财经大学学报, 2018, 38(3): 111 119, 128.)
- [12] CACHON G P, FISHER M. Supply chain inventory management and the value of shared information. *Management Science*, 2000, 46(8): 1032 – 1048
- [13] LI J J, YI Y Y, YANG H S. Information investment and sharing in a two-echelon supply chain under government subsidy and consumer preference for energy-saving products. *Mathematical Problems in Engineering: Theory, Methods and Applications*, 2020, 2020(23): 1– 18.
- [14] COSTANTINO F, DI GRAVIO G, SHABAN A, et al. The impact of information sharing on ordering policies to improve supply chain performances. *Computers & Industrial Engineering*, 2015, 82: 127 – 142.
- [15] KSHETRI N. 1 blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives. *International Journal of Information Management*, 2018, 39: 80 89.
- [16] BABICH V, HILARY G. OM forum-distributed ledgers and operations: What operations management researchers should know about blockchain technology. *Manufacturing & Service Operations Man*agement, 2020, 22(2): 223 – 240.
- [17] CHEN Huafei, JIA Xin, JIANG Man. Research on deision-making of fresh agricultural supply chain with blockchain under behavior of misreporting. *Computer Engineering and Applications*, 2019, 55(16): 265 270. (陈化飞, 贾鑫, 姜曼. 谎报行为下生鲜供应链中区块链技术应用决策. 计算机工程与应用, 2019, 55(16): 265 270.)
- [18] ZHOU Xingjian, LI Jizi, LI Fei, et al. Recycling supply chain modeofnew energy vehicle power battery based on Blockchain technology. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2022, 29(4): 1 – 15. (周兴建, 黎继子, 李菲, 等. 基于Blockchain的新能源汽车动力电池 回收供应链模式. 计算机集成制造系统, 2022, 29(4): 1 – 15.)
- [19] DU Xiaoli, LI Dengfeng. Research on blockchain network consensus of international trade logistics based on big boss game. *Chinese Journal of Management Science*, 2024, 32(4): 1 12. (杜晓丽, 李登峰. 基于大老板博弈的国际贸易物流区块链网络共识研究. 中国管理科学, 2024, 32(4): 1 12.)
- [20] YAN Wenzhou, WANG Ying, FENG Zhongshuai. Research on evolutionary game of building supply chain information sharing based on blockchain. Science and Technology Management Research, 2021, 41(11): 172 179.

- (闫文周, 王莹, 冯中帅. 基于区块链的建筑供应链信息共享演化博弈研究. 科技管理研究, 2021, 41(11): 172 179.)
- [21] NI Weihong, CHEN Tai. Research on integrated service platform for fresh agricultural products cold chain logistics based on blockchain. Jiangsu Agricultural Sciences, 2021, 49(23): 207 – 212. (倪卫红, 陈太. 基于区块链的生鲜农产品冷链物流集成化服务平台 研究. 江苏农业科学, 2021, 49(23): 207 – 212.)
- [22] LI Yongjian, CHEN Ting. Blockchain-enabled supply chains: Challenges, implementation path and outlook. Nankai Business Review, 2021, 24(5): 192 203, 212.
 (李勇建, 陈婷. 区块链赋能供应链: 挑战、实施路径与展望. 南开管理评论, 2021, 24(5): 192 203, 212.)
- [23] TIAN Yang, CHEN Zhigang, SONG Xinxia, et al. An overview of blockchain applications in supply chain management. *Computer Engineering and Applications*, 2021, 57(19): 70 83. (田阳, 陈智罡, 宋新霞, 等. 区块链在供应链管理中的应用综述. 计算机工程与应用, 2021, 57(19): 70 83.)
- [24] MAN Kun, LIANG Xiaomin. *Principles of Economics. Cengage Learning*. Beijing: Peking University Press, 2012. (曼昆, 梁小民. 经济学原理(第6版). 微观经济学分册. 北京: 北京大学出版社, 2012.)
- [25] ZHAO Xiaodong, WANG Juan, ZHOU Fuqiu, et al. Building a new type of power system requires comprehensive implementation of power demand response—A study based on the practice of power

- demand response in 11 provinces and cities. *Macroeconomic Management*, 2022, 48(6): 52-60, 73. (赵晓东, 王娟, 周伏秋, 等. 构建新型电力系统亟待全面推行电力需
- 求响应-基于11省市电力需求响应实践的调研. 宏观经济管理, 2022, 48(6): 52 60, 73.)
- [26] HAYRUTDINOV S, SAEED M S R, RAJAPOV A. Coordination of supply chain under blockchain system-based product lifecycle information sharing effort. *Journal of Advanced Transportation*, 2020, DOI: 10.1155/2020/5635404.
- [27] CHAKRABORTY T, CHAUHAN S S, OUHIMMOU M. Costsharing mechanism for product quality improvement in a supply chain under competition. *International Journal of Production Eco*nomics, 2019, 208: 566 – 587.
- [28] YU J, MA S. Impact of decision sequence of pricing and quality investment in decentralized assembly system. *Journal of Manufacturing Systems*, 2013, 32(4): 664 679.

作者简介:

潘俊林 硕士研究生,目前研究方向为物流与供应链, E-mail: 11-200466@stu.lzjtu.edu.cn;

罗海燕 博士,副教授,硕士生导师,目前研究方向为供应链优化、运营管理与优化、物流管理优化等, E-mail: 23670599@qq.com.