考虑区块链技术的生鲜农产品双渠道供应链定价决策

刘 畅，葛 逸

（沈阳航空航天大学经济与管理学院，沈阳 110136）

摘要：聚焦一个由生鲜农产品供应商和零售商组成的双渠道供应链，将消费者信任度和区块链的应用效率、成本等纳入分析。以Stackelberg博弈为基础，构建不采用、采用区块链技术和基于采用区块链技术的成本分担3种模型，分析区块链技术在不同模型下对供应链决策的影响。研究结果表明，消费者的信任度对供应链的经济效益指标呈现显著的正向驱动效应。采用区块链技术能够提升供应链透明度与产品溯源能力，增强了消费者信任水平，进而推动供应链整体效能优化。供应商与零售商间的成本分担比例对双方利润结构具有关键影响，双方应科学合理地确定分担比例以保障供应链协同发展的同时实现利润最大化。

关键词：区块链；生鲜农产品；双渠道；消费者信任；供应链

中图分类号：F274 **文献标志码：**A **文章编号：**1671－1807(2026)03－0234－08

中共中央、国务院印发的《乡村振兴战略规划(2018—2022年)》及历年中央一号文件均强调“强国必先强农”，着力提升农业科技水平，强化现代农业技术支撑。在此背景下，随着中国经济持续发展和居民收入水平提高，农产品零售市场规模不断扩大。生鲜农产品作为居民日常膳食的核心组成部分，其市场潜力持续释放。近年来，在电商经济的推动下，线上销售渠道迅猛发展，传统厂商也纷纷布局线上网络以拓展市场。因此，生鲜农产品在双渠道模式下的供应链决策问题已逐步成为学术研究的热点。

随着生鲜农产品贸易发展越来越迅速，尽管政策条件持续改善、优化力度不断加大，但行业中食品安全隐患与产品溯源困难等问题依旧频繁浮现[1]，如部分商家存在以劣充优行为，致使消费者对产品真实性心生疑虑。另外，生鲜农产品农药残留等质量指标肉眼难判断等也暴露出了生鲜农产品供应链溯源体系的短板，使得消费者对其产生信任危机[2]。如何强化质量安全并建立消费者信任体系，成为企业进行最优定价决策的关键[3]。马永强等[4]利用SmartPLS软件分析得出提升消费者信任需加强政府监管与行业标准化建设。陈琦等[5]利用内容分析法和机器学习模型等技术，探究了溯源系统中消费者信任的形成机理。Ding等[6]基于精细化可能性模型(elaboration likelihood model，ELM)研究了中心和外围途径因素如何影响消费者的信任建立和购买意愿。

现有的农产品供应链中，信息追踪和质量记录的不精确导致了一系列问题的溯源和责任归属难以确定[7]，而区块链的引入，给解决这些问题带来了新颖的解决思路与方法。区块链属于创新分布式数字账本技术，该技术以独特的方式重构了供应链中的信息交互与价值传递模式，为传统供应链体系注入了全新的活力与发展动力[8]。在生鲜农产品领域，区块链的应用主要集中在农产品追溯和农产品贸易等方面。Li等[9]研究了电商平台生鲜农产品供应链中传统与区块链模式保鲜努力、广告投入及区块链采用度的动态优化问题。Modak等[10]将子博弈完全平衡(subgame perfect equilibrium，SPE)与扩展型备选方案协商(extended alternative offer bargaining，EAOB)引入生鲜农产品双渠道供应链协调，替代传统转移定价机制。姜永常等[3]剖析了生鲜农产品双渠道关键参数和价格修正系数对成员利润、最优定价决策的效应。

目前，现有文献在对消费者信任提升及区块链对流通效率和农产品保鲜的改善等方面已经作出了很多研究贡献，但多数研究关注价格弹性、新鲜度等传

收稿日期：2025-09-12

基金项目：国家社会科学基金(24FGLB055)；辽宁省哲学社科项目(L24BGLO34)；辽宁省教育厅高校基本项目(LJ132510143002)；辽宁省教育厅面上项目(LJ112510143002)

作者简介：刘畅(1983—)，女，辽宁鞍山人，博士，副教授，研究方向为界面设计、用户体验、物流与供应链管理等；葛逸(1999—)，男，江苏南通人，硕士研究生，研究方向为供应链管理。

统因素,未将区块链技术引发的消费者信任度变化纳入需求函数,难以解释技术赋能下的定价逻辑转变。此外,现有关于消费者信任的研究多为实证分析,缺乏将信任度量化纳入供应链博弈模型的理论研究,尤其未探讨区块链技术如何通过信任度的中介作用影响定价与利润分配。因此,现全面考量区块链技术应用努力程度、应用效率表现,以及消费者对区块链技术的信任度水平等诸多因素,综合分析它们对需求量所产生的影响,分析不采用、采用区块链技术和基于采用区块链技术的成本分担3种模型下的决策与利润差异,探讨如何实现供应链的最优定价决策,以最大化供应链及成员的利润。

1　问题描述与基本假设

本文的生鲜农产品供应链考虑同一阶段同一产品的双渠道模式销售。在该供应链体系中,核心成员包含一位农产品供应商 s 以及一位农产品零售商 r。具体运作流程为:农产品供应商承担起农产品生产加工的职责,然后以批发价 w 将农产品批发供给零售商。随后,零售商面向消费者,以零售价 p_1 销售农产品,同时,农产品供应商还通过互联网渠道向消费者线上销售产品,农产品供应商决定其零售价 p_2。

由于技术的发展和消费者对农产品安全及其流通过程的日益关注,为满足消费者对产品的溯源需求,生鲜农产品供应链将引进区块链技术。基于Stackelberg博弈模型框架,构建3个决策模型,即不采用区块链技术的决策模型(DN)、采用区块链技术的决策模型(DB)、基于采用区块链技术的成本分担模型(CB)。基本假设如下。参数说明见表1。

表1　参数说明

参数	含义
w	生鲜农产品的批发价
p_1	生鲜农产品的线下零售价格
p_2	生鲜农产品的线上直销价格
c	农产品供应商的单位生产成本
e	区块链技术应用努力
b	采用区块链技术的应用成本系数
γ	消费者对生鲜农产品的信任度
θ	消费者对零售渠道的偏好程度
d	生鲜农产品的市场潜在需求
β	渠道间价格弹性系数
λ	区块链技术的应用效率系数
s	生鲜农产品零售商的区块链成本分担系数
D_r	线下零售的需求
D_d	线上直销的需求
π_s	生鲜农产品供应商利润
π_r	生鲜农产品零售商利润

假设1: 当下,消费者对农产品溯源有着明确需求,为有效回应这一市场需求,供应商拟在供应链中引入区块链技术。在采用区块链技术时需投入一定量的成本,鉴于该技术应用会产生动态成本,将其成本设定为二次函数形式,为 $be^2/2$,$e>0$,$b>0$。

假设2: 一般而言,供应链采用区块链技术前,消费者往往无法精准获取农产品从生产到流通等各环节的完整信息,对其并不完全信任,此时消费者对农产品的信任度为 γ,$\gamma>0$。当采用区块链技术后,由于区块链技术的引进,消费者可以获得更多关于农产品的信息,信任度提升,为 $\gamma_1=\gamma(1+\lambda e)$,$0<\lambda\leqslant 1$。

假设3: 生鲜农产品供应商的单位生产成本为 c,其中包括了直接生产成本、劳动力成本和保鲜成本等费用。

假设4: 在生鲜农产品供应链中,供应商同零售商在市场信息获取层面达成完全对称。这意味着,供应商能够精准把握市场需求动态,其供应的产品产量与市场实际需求量恰好契合[11]。

假设5: 终端消费者需求由农产品的零售价格、渠道间价格弹性系数和消费者信任度等要素决定。农产品在线下零售和线上直销的需求函数为,线下零售:$D_r=\theta d-p_1+\beta p_2+\gamma$,线上直销:$D_d=(1-\theta)d-p_2+\beta p_1+\gamma$。其中,$0<\theta<1$,$d>0$ 且 d 远大于其他参数,$0<\beta<1$。

2　模型求解

在供应链中,供应商以单位成本 c 来准备和加工农产品,并以单位农产品批发价格 w 交付给零售商。同时,供应商还经营一个在线互联网零售渠道来销售其产品。研究探讨批发商与零售商在3种模型里的供应链决策情况,按照博弈顺序进行推导,算出3种模型下各参数的最优结果。

2.1　不采用区块链技术的决策模型(DN)

生鲜农产品供应商占据Stackelberg博弈的主导地位,零售商则处于从属地位,农产品供应商首先行动并作出决定(农产品的批发价格 w,线上零售价格 p_2),然后根据农产品供应商的决策,零售商再确定其销售价格 p_1。

在DN模型下,农产品供应商和零售商的利润函数如下:

$$\pi_s=(w-c)D_r+(p_2-c)D_d \tag{1}$$

$$\pi_r=(p_1-w)D_r \tag{2}$$

根据逆向归纳法,先将线下需求函数代入

式(2)中,关于 p_1 的二阶导数$\frac{\partial^2\pi_r}{\partial p_1^2}=-2<0$,所以,存在最优线下零售价能使零售商获得最大利润。令$\frac{\partial\pi}{\partial p}=0$,得 $p_1=\frac{\theta d+\beta p_2+w+\gamma}{2}$,将线下和线下渠道的需求函数代入农产品供应商的利润函数,则 π_s 关于 w 和 p_2 的海塞矩阵为 $\boldsymbol{H}=\begin{vmatrix}-1 & -\beta\\ -\beta & \beta^2-2\end{vmatrix}$,$\det\boldsymbol{H}=2-2\beta^2$,又由于 $0<\beta<0$,即 $\det\boldsymbol{H}>0$,则海塞矩阵负定,供应商的利润函数为凹函数。即存在最优批发价 w^{DN}和最优线上零售价 p_2^{DN} 使得农产品供应商获得最大利润。

由上述计算,进一步令$\frac{\partial\pi_s}{\partial w}=0$、$\frac{\partial\pi_s}{\partial p_2}=0$,求得最优批发价 w^{DN}和最优线上零售价 p_2^{DN}:

$$w^{DN}=\frac{(1-\beta^2)c+(1+\beta)\gamma+(\beta+\theta-\beta\theta)d}{2(1-\beta^2)} \quad (3)$$

$$p_2^{DN}=\frac{(1-\beta^2)c+(1+\beta)\gamma+(1-\theta+\beta\theta)d}{2(1-\beta^2)} \quad (4)$$

将式(3)、式(4)代入 p_1,得到最优线下零售价为

$$p_1^{DN}=[c(1-\beta^2)(1+\beta)+(3+2\beta)\gamma+2\beta(1-\theta)d+(3-\beta^2)\theta d]\Big/[4(1-\beta^2)] \quad (5)$$

把式(3)~式(5)与式(1)、式(2)联立,进而得到最优需求与最优利润:

$$D_r^{DN}=\frac{\gamma-c+\beta c+d\theta}{4} \quad (6)$$

$$D_d^{DN}=[(2-2\theta+\beta\theta)d+(\beta+2)(\beta-1)c+(\beta+2)\gamma]/4 \quad (7)$$

$$\pi_r^{DN}=\frac{(\gamma-c+\beta c+d\theta)^2}{16} \quad (8)$$

$$\pi_s^{DN}=\{(\beta-1)(\beta-1)^2[(\beta+3)c^2+2cd\theta]+2c\gamma(\beta^2-1)(\beta+3)+(\beta-3)(\beta-1)d^2\theta^2+2(\beta^2-1)(d\gamma\theta+2cd)+(\beta+1)(\beta+3)\gamma^2+4(\beta-1)d^2\theta+4(\beta+1)d\gamma+2d^2\}/[8(1-\beta^2)] \quad (9)$$

命题 1:当不采用区块链技术时,生鲜农产品供应商与零售商的批发价、零售价、利润及双渠道的市场需求量都与消费者信任度呈显著正向关系。

证明:将得出的均衡解分别对消费者信任度 γ 求偏导,得 $\frac{\partial w^{DN}}{\partial\gamma}=\frac{\partial p_2^{DN}}{\partial\gamma}=\frac{1}{2(1-\beta)}>0$、$\frac{\partial p_1^{DN}}{\partial\gamma}=\frac{3-\beta}{4(1-\beta)}>0$,其余偏导同理亦可证。

命题 1 表明,当消费者针对生鲜农产品的信任程度有所提升时,会使得生鲜农产品供应商批发价、零售商零售价上升,利润与市场需求同步扩大。这是因为随着消费者对生鲜农产品信任度的提高,刺激了市场的交易活跃度,从而提高了生鲜农产品的市场需求。生鲜农产品供应商和零售商为了抓住这一机遇增加自身的利益,都会提高农产品的价格来获得更多的利润。

2.2　采用区块链技术的决策模型(DB)

在采用区块链技术的决策模型(DB)下,供应链采用区块链技术后,生鲜农产品的相关信息可完整且精准地留存于产品信息溯源体系内,并能够保障生鲜农产品的质量,进而助力构建起可靠的信任机制[12],使供应链获得更为可观的需求回报。这构成了供应链成员采用区块链关键动力之一。由于区块链技术的引进,消费者对农产品的信任度提升为 γ_1,$\gamma_1=\gamma(1+\lambda e)$,此时线下零售和线上直销的需求函数为,线下零售:$D_r=\theta d-p_1+\beta p_2+\gamma_1$,线上直销:$D_d=(1-\theta)d-p_2+\beta p_1+\gamma_1$。

采用区块链技术会产生一定量的引进成本,在 DB 模型下,农产品供应商和零售商的利润函数如下:

$$\pi_s=(w-c)D_r+(p_2-c)D_d-\frac{1}{2}be^2 \quad (10)$$

$$\pi_r=(p_1-w)D_r \quad (11)$$

采用上述模型中的同样求解方法,得到 π_s 关于 w、e 和 p_2 的海塞矩阵为 $\boldsymbol{H}_1=\begin{vmatrix}-1 & \frac{\gamma\lambda}{2} & \beta\\ \frac{\gamma\lambda}{2} & -b & \gamma\lambda+\frac{\beta\gamma\lambda}{2}\\ \beta & \gamma\lambda+\frac{\beta\gamma\lambda}{2} & \beta^2-2\end{vmatrix}$,矩阵负定条件为奇数阶矩阵$<0$,偶数阶矩阵$>0$,即使生鲜农产品供应商获得最大利润的凹性条件为 $4b-\gamma^2\lambda^2>0$ 且 $4b(1-\beta)-\gamma^2\lambda^2(\beta+3)>0$,在此条件下,进一步得到 DB 模型下各参数的最优解:

$$w^{DB}=[4bc(1-\beta^2)+4b\gamma(1+\beta)+(\beta+2)d\gamma^2\lambda^2+4bd(\beta-\beta\theta+\theta)-2(\beta+1)\times(\beta+3)c\gamma^2\lambda^2-2(\beta+2)d\theta\gamma^2\lambda^2]\Big/[4b(1-\beta)-(\beta+3)\gamma^2\lambda^2] \quad (12)$$

$$p_2^{DB}=[4bc(1-\beta^2)+4b\gamma(1+\beta)+4bd(1-\theta)+4b\beta d\theta-2(\beta+1)(\beta+3)c\gamma^2\lambda^2-(1-2\theta)d\theta\gamma^2\lambda^2]\Big/[4b(1-\beta)-(\beta+3)\gamma^2\lambda^2] \quad (13)$$

$$p_1^{DB}=[4b\beta d+2(1-\beta^2)(\beta+1)bc+2(1-\beta)(\beta+3)bd\theta+(1-2\theta)(3+2\beta)d\theta\gamma^2\lambda^2-2(\beta+1)(\beta+3)c\gamma^2\lambda^2]\Big/\{2(\beta+1)[4b(1-\beta)-(\beta+3)\gamma^2\lambda^2]\} \quad (14)$$

$$e^{DB}=\{\gamma\lambda[(2+\beta\theta-\theta)d+(\beta+3)\gamma+(\beta+3)(\beta-1)c]\}\Big/[4b(1-\beta)-(\beta+3)\gamma^2\lambda^2] \quad (15)$$

$$\pi_r^{DB}=\{[2(1-\beta)^2bc-2b\gamma(1-\beta)+(2\theta-1)d\gamma^2\lambda^2-2(1-\beta)bd\theta]^2\}\Big/\{4[4b(1-\beta)-(\beta+3)\gamma^2\lambda^2]^2\} \quad (16)$$

$$\pi_s^{DB}=[4bd^2+2bc^2(1-\beta)^2(\beta+3)(\beta+1)+4bcd\theta(1-\beta)^2(1+\beta)+8bd\gamma(\beta+1)+2b\gamma^2(\beta+1)(\beta+3)-4bc\gamma(1-\beta^2)(\beta+3)-8bcd(1-\beta^2)-4bd\gamma\theta(1-\beta^2)-8bd^2\theta(1-\beta)-d^2\gamma^2\lambda^2(2\theta-1)^2]\Big/\{4(\beta+1)[4b(1-\beta)-(\beta+3)\gamma^2\lambda^2]\} \quad (17)$$

命题 2：生鲜农产品的批发价 w^{DB}、线下零售价格 p_1^{DB}、线上直销价格 p_2^{DB} 较之采用区块链技术前均上涨，即 $w^{DB}>w^{DN}$，$p_1^{DB}>p_1^{DN}$，$p_2^{DB}>p_2^{DN}$。

证明：$w^{DB}-w^{DN}=\{\gamma^2\lambda^2[d(2+\beta\theta-\theta)+(\beta+3)\gamma+(\beta+3)(\beta-1)c]\}\Big/\{2(1-\beta)[4b(1-\beta)-(\beta+3)\gamma^2\lambda^2]\}>0$，其余作差同理亦可证。

命题 2 说明，在供应链引入区块链技术后，得益于该技术的有效施行，生鲜农产品的透明程度与可追溯能力得到显著提升，从而增加了消费者对生鲜农产品的信任度，对消费者支付意愿产生直接的促进效应，进而引发市场需求的增长，使产品获得更高的市场定价，继而也推动了供应商的批发价格上涨。供应商和零售商为了追求更多的利润，相应提高了线上和线下的农产品销售价格。销售价格的上涨直接推动了生鲜农产品整体收益的上升，有效缓解了供应商在区块链技术应用过程中的成本压力，抵消部分因技术投入所产生的费用。区块链技术一方面大幅提升了消费者的支付意愿，另一方面为生鲜农产品的品质保障筑牢了坚实后盾。在这双重效应的共同推动下，市场需求被有效激发，呈现出增长态势。基于此，当区块链技术投入应用后，生鲜农产品的销售价格普遍出现了上升。

命题 3：供应链采用区块链技术后，成员的利润均有增幅，即 $\pi_s^{DB}>\pi_s^{DN}$、$\pi_r^{DB}>\pi_r^{DN}$。证明略。

命题 3 表明，在采用区块链技术后，尽管初期阶段供应商需承受区块链系统构建、技术适配等投入成本带来的压力。不过，供应商可借助该技术提升产品信息透明度与品质可信度，进而适度上调批发价及线上售价以增加收益。同时，零售商依据市场需求进行价格调整，二者共同作用，有效补偿了上述成本。这种价格调整机制不仅有助于供应商加速成本回收，维持供应链的稳健运行状态，还为零售商拓展了利润获取的空间。消费者对区块链的认知逐步深入、信任程度持续提高，其对产品价格的接受范围得以扩大，为供应链各方开辟了更多商业机遇与利润增长点，有力推动了生鲜农产品市场的繁荣发展。

2.3　基于采用区块链技术的成本分担决策模型(CB)

2.2 节表明，生鲜农产品零售商在借助区块链获取经济效益、享受便利的同时，却也被动地承担了部分变动成本。然而，在区块链技术应用的初期，采用区块链技术的成本由供应商独自承担。这种成本分担方式致使生鲜农产品供应商面临成本负担过重、利润提升幅度过小的不公平局面。因此，构建了供应链成员的成本分担模型。在该模型中，零售商通过补贴供应商一部分区块链技术应用的成本的方式来分摊成本，以此激励供应商更积极、更有效地采用和实施区块链技术，进而实现供应链内部的双向激励，将区块链技术应用可能带来的“双刃剑”效应转化为供销双方共赢的良好局面[13]。用成本分担系数 s 来表示零售商对一部分区块链技术成本的分担。基于这一调整，由此可得调整后的生鲜农产品供应商和零售商的利润函数为

$$\pi_s=(w-c)D_r+(p_2-c)D_d-\frac{1}{2}(1-s)be^2 \quad (18)$$

$$\pi_r=(p_1-w)D_r-\frac{1}{2}sbe^2 \quad (19)$$

在这种情况下，通过与上述模型相似的求解方式，生鲜农产品供应商获得最大利润的凹性条件需要满足 $4b(1-s)-\gamma^2\lambda^2>0$ 且 $4b(1-s)(1-\beta)-\gamma^2\lambda^2(\beta+3)>0$，进一步可以得出此模型下各参数的最优解，分别为

$$w^{CB}=[4b\gamma(1+\beta)(1-s)+4bc(1-\beta^2)(1-s)+4bd(1-s)(\beta-\theta-\beta\theta)+(\beta+2)(1-2\theta)d\gamma^2\lambda^2-2c\gamma^2\lambda^2(\beta+3)(\beta+1)]\Big/\{2(\beta+1)[4b(1-s)(1-\beta)-(\beta+3)\gamma^2\lambda^2]\} \quad (20)$$

$$p_2^{CB}=\{4b(1-s)[d(1+\beta\theta-\theta)+\gamma(\beta+1)+c(1-\beta^2)]-(1-2\theta)d\gamma^2\lambda^2-2c\gamma^2\lambda^2(\beta+3)(\beta+1)\}\Big/\{2(\beta+1)[4b(1-s)(1-\beta)-(\beta+3)\gamma^2\lambda^2]\} \quad (21)$$

$$p_1^{CB}=\{2b(1-s)[(1-\beta^2)(\beta+1)c+(3-\beta)(\beta+1)\gamma+(\beta+3)(1-\beta)d\theta]+2\beta d+(1-2\theta)(3d+2\beta)d\gamma^2\lambda^2-2c\gamma^2\lambda^2(\beta+3)(\beta+3)\}\Big/\{2(\beta+1)[4b(1-s)(1-\beta)-(\beta+3)\gamma^2\lambda^2]\} \quad (22)$$

$$e^{CB}=\{\gamma\lambda[(2+\beta\theta-\theta)d+(\beta+3)\gamma+(\beta+3)(\beta-1)c]\}\Big/[4b(1-s)(1-\beta)-(\beta+3)\gamma^2\lambda^2] \quad (23)$$

$$D_r^{CB}=\{2b(1-s)[\theta(d-\beta d)+(1-\beta)\gamma-(1-\beta)^2c]+(1-2\theta)d\gamma^2\lambda^2\}\Big/\{2[4b(1-s)(1-\beta)-(\beta+3)\gamma^2\lambda^2]\} \quad (24)$$

$$D_d^{CB}=\{2b(1-s)[(2d+\beta d\theta-2d\theta)(1-\beta)+(1-\beta)(\beta+2)\gamma-(\beta+2)(1-\beta)^2c]-(1-2\theta)d\gamma^2\lambda^2\}\Big/\{2[4b(1-s)(1-\beta)-(\beta+3)\gamma^2\lambda^2]\} \quad (25)$$

$$\pi_r^{CB}=\{[2bc(1-s)(1-\beta^2)-2b(\gamma+d\theta)(1-s)(1-\beta)-(1-2\theta)d\gamma^2\lambda^2]^2-2bs\gamma^2\lambda^2[(2+\beta\theta-\theta)d+(\beta+3)(\beta-1)c+(\beta+3)\gamma]^2\}\Big/\{4[4b(1-s)(1-\beta)-(\beta+3)\gamma^2\lambda^2]^2\} \quad (26)$$

$$\pi_s^{CB}=\{2b(1-s)[2d+c(\beta+1)(1-\beta)^2(2d\theta+\beta+3)+\gamma(1+\beta)(4d+\gamma\beta+3\gamma)]-[(1-\beta)(\beta-3)d^2\theta^2+d(1-\beta^2)(4c+2\gamma\theta)+2c\gamma(1-\beta^2)(\beta+3)2b(1-s)+4d^2\theta(1-\beta)2b(1-s)-(1-2\theta)^2d^2\gamma^2\lambda^2]\}\Big/\{4(\beta+1)[4b(1-s)(1-\beta)-(\beta+3)\gamma^2\lambda^2]\} \quad (27)$$

命题 4： 在基于采用区块链技术的成本分担模型下，生鲜农产品供应商与零售商的批发价、零售价和区块链技术的应用努力以及双渠道的市场需求量与成本分担系数呈正相关。即 $\frac{\partial w^{CB}}{\partial s}>0$、$\frac{\partial p_1^{CB}}{\partial s}>0$、$\frac{\partial p_2^{CB}}{\partial s}>0$、$\frac{\partial e^{CB}}{\partial s}>0$、$\frac{\partial D_r^{CB}}{\partial s}>0$、$\frac{\partial D_d^{CB}}{\partial s}>0$。证明略。

命题 4 说明，零售商参与分担供应商在区块链技术的部分投入成本时，成本分担比例这一关键变量，会对生鲜农产品的价格体系以及区块链技术在该领域的推广应用产生直接的影响。若零售商成本分担系数增大，生鲜农产品批发与销售价格便会上升。零售商分担的成本增多，会适当提高农产品的销售价格以此来保持自身的利润，应对这一变化，供应商也会相应地提高价格。尽管价格上涨对拉动市场需求增长不利，然而，供应商因区块链投入成本压力得以减轻，便会加大在区块链应用方面的投入力度。这一举措对供应链运营有着积极影响，有效提升了供应链的效率，增强了其透明度，并激发了消费者的购买意愿，为市场带来新的活力。而且，供应商成本压力的减轻会提高其在区块链技术研究及应用上的积极性，促进产品质量和服务水平的提升，进一步提高供应链的效率和透明度。

命题 5： 在基于采用区块链技术的成本分担模型下，e^{CB}和 e^{DB}的差值与成本分担系数 s 呈正相关，即$\frac{\partial(e^{CB}-e^{DB})}{\partial s}>0$。证明略。

命题 5 说明，在生鲜农产品供应链中，当零售商对区块链成本的分担比例呈上升趋势时，区块链技术在该领域应用过程中所涉及的 e^{CB}与 e^{DB}数值差会逐步扩大。从成本分担的逻辑关系来看，若零售商承担较大比例的成本，供应商所承受的成本压力便会相应减轻。在此情形下，供应商将具备更充裕的资源以及更强烈的意愿，推动区块链技术的研发进程以及实际应用。当 e^{CB}与 e^{DB}之间差值呈扩大态势时，供应商会积极探究区块链在供应链各环节中的潜在应用场景，以推动整个供应链运行效率的提升。反之，若零售商的成本分担比例降低，供应商面临的成本压力便会增大。在成本分担处于较高水平时，供应商往往会优先确保核心业务的稳定运营，如此一来，对区块链技术这类创新领域的投入就会相应减少，e^{CB}和 e^{DB}之间的差值就会逐渐缩小。

3　数值分析

为了更直观地展现出各参数的变化对最优决策、利润等的影响，运用 MATLAB 软件做进一步的数值分析。参考 Panda 等[14]和司凤山等[15]的研究，给定基础参数值 $d=100$、$c=5$、$\theta=0.5$，基于生鲜农产品双渠道实际运营及区块链企业的相关数据，且满足 2.2 节和 2.3 节中的凹性约束条件后，选择一组数据给模型参数赋值为 $\beta=0.45$、$\gamma=0.5$、$b=2$、$\lambda=0.2$。

3.1　区块链技术应用效率的影响分析

其余参数数据不变，假设 λ 为 0～1 的连续值。从图 1 和图 2 可以看出，生鲜农产品批发价、线上线下零售价及供应链总利润与区块链技术应用效率呈正相关，效率提升则价格与利润增加。区块链技

术应用效率的提高可有效发挥区块链在供应链中的作用,增强消费者信任度,从而使市场需求得到扩大,供应商和零售商基于需求增长,会提高农产品的批发价和售价来获得更高的利润。此外,区块链带来的供应链效率提升等优势,在区块链技术应用效率提高时更为显著,进一步推动双渠道供应链总利润增长。因此,区块链技术应用效率的提升可提高供应链的总利润。

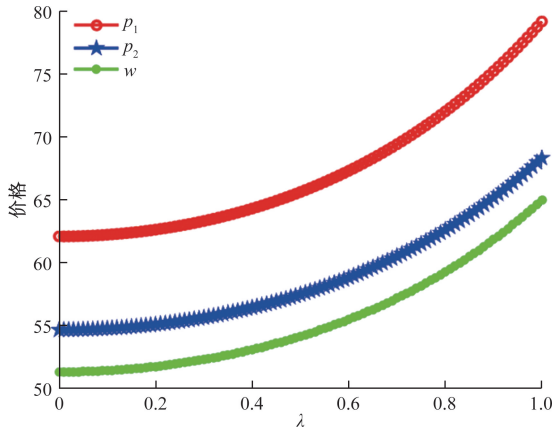


图 1　区块链技术应用效率对最优决策的影响

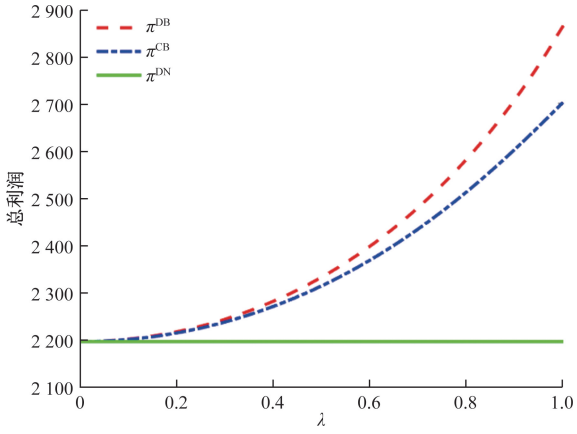


图 2　区块链技术应用效率对供应链总利润的影响

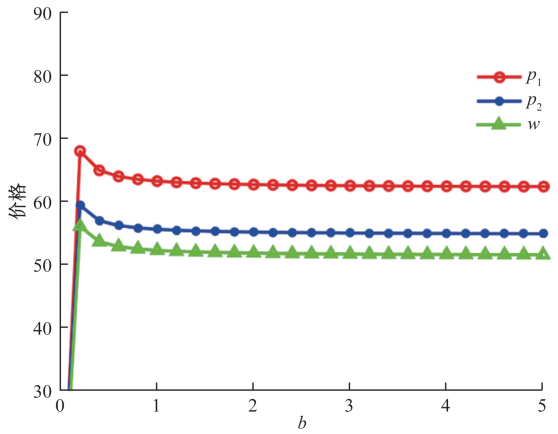


图 3　区块链技术应用成本对最优决策的影响

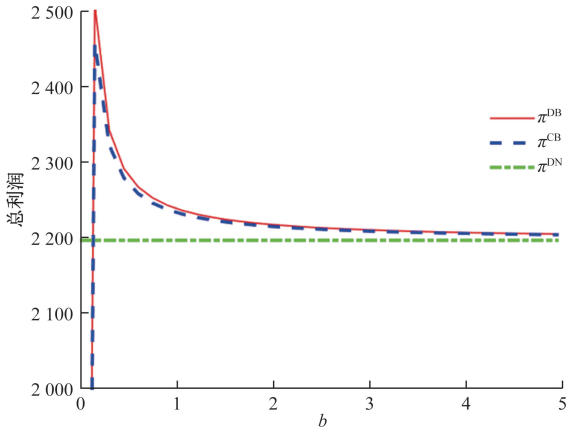


图 4　区块链技术应用成本对供应链总利润的影响

3.2　区块链技术应用成本系数的影响分析

其余参数数据不变,假设 b 的取值范围为 0～5。由图 3、图 4 可知,当区块链技术应用成本很小时,生鲜农产品批发价和线上线下零售价显著下降,这是由于供应商在区块链上的投入不足,区块链技术的优势未释放,供应链的效率和透明度未达预期,这一因素对消费者针对生鲜农产品的信任程度以及支付意愿产生了直接作用,进而致使市场需求缩减。生鲜农产品供应商与零售商只得被迫降价,整体总利润大幅缩减,甚至会出现利润低于不采用区块链技术时的水平。当区块链技术的应用成本适中后,随着供应商对区块链技术的投入增多,区块链的优势逐渐得到释放,供应链的总利润也得到大幅提升。但当区块链技术的应用成本进一步增加时,对区块链过高的投入,会影响供应链的整体效率,出现边际效益递减的现象,使得供应链的总体利润又下降。

3.3　成本分担系数的影响分析

从图 5、图 6 中可以看出,随着生鲜农产品零售商的成本分担系数 s 越来越高,零售商为区块链技术投入的分担越来越多,导致自己利润逐渐下降。当分担比例超过 s_1 时,由于分担过多,损害了自身的利益,零售商的利润会低于不采用区块链技术的情形。而因为零售商为生鲜农产品供应商减轻了部分成本压力,供应商的利润会随着 s 的增加越来越高,且采用区块链技术后的供应商利润稳定大于不采用区块链的情形。

4　研究结论与启示

(1)在生鲜农产品双渠道供应链中,消费者对生鲜农产品的信任度是一个关键的影响因素,其对供应链多项核心参数指标有正向驱动效应。在市

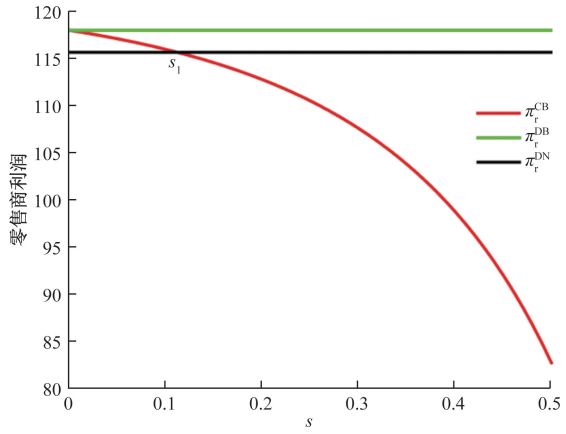


图 5　成本分担系数对零售商利润的影响

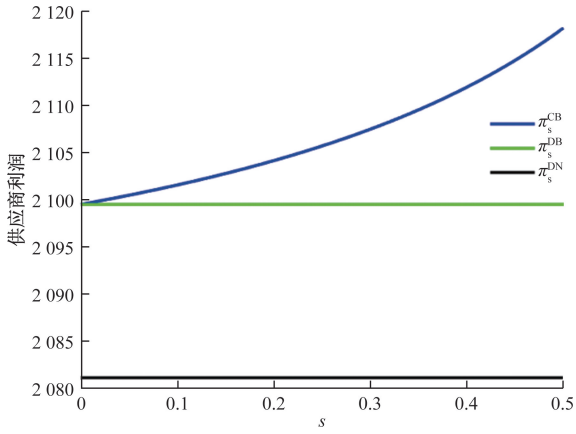


图 6　成本分担系数对供应商利润的影响

场交易中，其不仅直接作用于终端市场需求规模，还影响农产品的批发与销售价格、供应链的整体盈利水平。企业制定供应链战略需将消费者信任度动态变化纳入关键考量。生鲜行业协会可启动专项市场调研并通过数据分析，把握消费者对生鲜农产品的实际需求与期望倾向，以适应市场变化。

(2)区块链技术通过分布式账本架构实现供应链透明化管理，提升农产品全生命周期可追溯性，显著增强消费者对生鲜农产品的信任度与支付意愿。相较传统供应链模式，其可提高农产品批发价、销售价及供应链各主体利润。企业采用该技术时，需权衡市场需求与投入成本以实现平衡发展。当消费者信任度较低，而区块链技术本身应用效能较高时，企业应当增加对区块链技术研发及其实际应用的资金投入。生鲜行业协会需构建区块链应用标准体系，如建立技术认证机制，对符合标准的区块链系统发放合格证书，以避免低效率区块链系统对供应链的资源浪费，并推动技术应用规模化。

(3)供应商同零售商针对区块链技术投入成本所承担的比例大小，会对彼此的经济获利状况产生明显作用。通过数值分析发现零售商的区块链成本分担比例存在阈值，当供应链双方在协商成本分担方案时，可将该理论阈值作为关键参考基准，结合自身资金实力、技术应用能力以及市场波动特征，动态调整分担比例，以最大化经济效益，实现供应链的整体优化。在供应链管理的实践过程中，企业要高度关注一些关键指标的变动情况，及时调整自身策略以有效应对可能发生的问题。生鲜行业协会可建立成本监测机制，协调供应链双方的成本投入，确保供应链的稳定运行与持续发展。

参考文献

[1] YUAN H, ZHANG L, CAO B B, et al. Optimizing traceability scheme in a fresh product supply chain considering product competition in blockchain era[J]. Expert Systems with Applications, 2024, 258: 125127.

[2] 马亚萍，彭红军，冯鑫，等. 考虑假冒行为的双渠道农产品供应链区块链采用策略研究[J/OL]. 管理工程学报，1-14[2025-08-27]. https://doi.org/10.13587/j.cnki.jieem.2025.06.013.

[3] 姜永常，刘畅，白世贞，等. 应用区块链的生鲜农产品双渠道供应链最优决策[J]. 系统工程，2023，41(1)：63-72.

[4] 马永强，张孙博文，陈佑成. 社区新零售模式下消费者生鲜农产品购买意愿研究[J]. 价格理论与实践，2022(7)：126-129.

[5] 陈琦，王冠楠，王华. 农产品区块链溯源系统基于关联规则的消费者信任研究[J]. 工程管理科技前沿，2024，43(6)：1-8.

[6] DING R, CHEN X, WEI S, et al. What drives trust building in live streaming E-commerce? from an elaboration likelihood model perspective[J]. Industrial Management & Data Systems, 2025, 125(3): 969-999.

[7] 周志平，高爽，唐霞. 基于区块链技术在农产品溯源体系中应用的研究[J]. 食品工业，2025，46(8)：263-265.

[8] 颜玥. 考虑产品保鲜的生鲜供应链决策研究[J]. 中国储运，2025(4)：49.

[9] LI Y, TAN C, IP W H, et al. Dynamic blockchain adoption for freshness-keeping in the fresh agricultural product supply chain[J]. Expert Systems with Applications, 2023, 217: 119494.

[10] MODAK N M, SENAPATI T, SIMIC V, et al. Managing a sustainable dual-channel supply chain for fresh agricultural products using blockchain technology[J]. Expert Systems with Applications, 2024, 244: 122929.

[11] 王心，王雅生，张书华，等. 区块链技术下绿色供应链减排策略与智能合约[J]. 计算机科学与探索，2024，18(1)：265-278.

[12] 胡祥培，都牧，孔祥维，等. 基于区块链的农产品供应链溯源研究综述[J]. 管理科学学报，2024，27(5)：1-12.

[13] 徐杰，胡文，罗春林，等. 区块链技术赋能下考虑新能源汽车动力电池梯次利用的定价策略研究[J/OL]. 中国管理科学，1-20[2025-08-27]. https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2024.1418.

[14] PANDA S, MODAK N M, CÁRDENAS-BARRÓN L E. Does extended warranty depict competitive advantage to a retailer in a retail-e-tail channel supply chain[J]. Computers & Industrial Engineering, 2020, 149: 106770.

[15] 司凤山，李乐，王晶. 考虑区块链和消费者新鲜偏好的生鲜农产品供应链定价决策研究[J]. 辽宁工程技术大学学报(社会科学版)，2025，27(1)：50-60.

Pricing Decision-making in a Dual-channel Supply Chain for Fresh Agricultural Products Considering Blockchain Technology

LIU Chang, GE Yi

(College of Economics and Management, Shenyang Aerospace University, Shenyang 110136, China)

Abstract: In the context of a supply chain framework characterized by dual channels, which encompasses a supplier dealing in fresh agricultural products as well as a retailer, factors such as consumer trust, as well as the application efficiency and cost of blockchain technology are included in the analysis. Three models based on the Stackelberg game were constructed: no blockchain, blockchain adoption, and cost sharing based on blockchain adoption, to assess blockchain's impact on supply chain decision-making. Results reveal that consumer trust significantly positively influences the supply chain's economic efficiency indicators. Blockchain technology improves supply chain transparency and product traceability, thereby boosting consumer trust and optimizing overall supply chain efficiency. The cost-sharing ratio between suppliers and retailers critically affects their profit structures, necessitating a scientifically determined ratio to ensure the supply chain's synergistic development and profit maximization.

Keywords: blockchain; fresh agricultural products; dual-channel; consumer trust; supply chain