

基于区块链技术的医药供应链信息共享行为博弈研究

石佑锦, 金海水

(北京物资学院 商学院, 北京 101149)

摘要:信息不对称是阻碍供应链整体效率的主要因素。针对医药供应链缺乏信任的问题,建立医药供应链各节点信息共享演化博弈模型,分析各因素对博弈三方策略选择的影响并使用 MATLAB 进行仿真实验。研究表明,区块链技术有利于降低信息共享的成本和风险,建立科学合理的奖惩制度,且信息共享激励系数和惩罚系数正向影响医药供应链信息共享策略,信息共享成本和风险系数负向影响信息共享策略。基于研究结论,为提高医药供应链信息共享水平提出对策建议。

关键词:医药供应链;信息共享;演化博弈;区块链技术

中图分类号:F224.32;F274 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2023)17-0084-08

信息共享是提高供应链上各节点企业信用水平及供应链整体效益的重要途径。例如,现代汽车公司从 2001 年起开始运行网络一体化采购信息(value advanced automotive trade zone, VAATZ)系统,实现了汽车制造商和供应商之间的信息公开透明,从而在 2000—2012 年其利润有效增长了 2.23 倍^[1]。虽然,准时制生产方式(just in time, JIT)、物资需求计划(material requirement planning, MRP)、企业资源计划(enterprise resource planning, ERP)、供应商管理库存(vendor managed inventory, VMI)、快速响应(quick response, QR)等经典的供应链管理方法可以通过信息共享,减少供应链管理过程的不确定性,达到提高供应链管理效率与效益的目的。但是,目前供应链管理的效率及收益主要取决于供应链中核心企业的决策,这种传统的中心化结构容易造成信息不对称且缺少信任机制,难以实现供应链上各节点的信息共享。

医药供应链结构复杂,且供应链上信息流动与共享程度较低。目前我国医药供应链的一般结构,药品要从原料供应商流通到供应链末端的消费者手中,中间包含着原材料供应商、制药企业、药品分销商、药品零售商(药店)、医院、第三方物流企业等参与主体,且由于科学技术的发展以及政府药品监管部门的介入,使得供应链的整体结构复杂,如图 1 所示。这种供应链网络结构不仅

提高了医药供应链的整体成本和药品的销售价格,而且供应链上包含的节点数量多,各节点之间基本处于相互独立的状态,在政府中心化监管模式下,供应链上下游之间传递的信息仍然存在伪造及篡改等可能性,没有完全实现管理的智能化或自动化^[2]。虽然目前已经有企业实施了药品批号管理、管理信息系统和射频识别技术(radio frequency identification, RFID)等信息技术,但是供应链上各个参与主体之间的信息整合程度较低,降低了供应链上的信息传递和服务效率^[3]。新冠肺炎疫情期间,医药采销、物流配送等业务都达到了最大限度的压力测试,因此,区块链技术的出现,为解决供应链各节点之间信息共享难题提供了新的方案^[4]。一些学者研究了利用区块链技术实现供应链上信息共享的问题。然而,对于影响医药供应链中各方信息共享行为的因素,学术界研究尚不充分,此外还缺乏区块链技术对医药供应链上下游信息共享影响作用的相关论述。

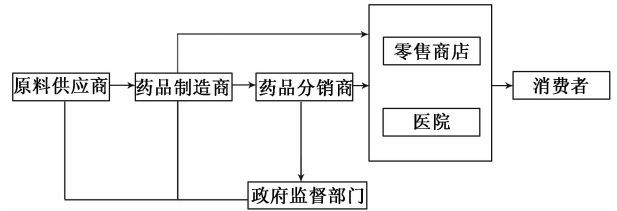


图 1 医药供应链的结构示意

收稿日期:2023-05-17

作者简介:石佑锦(1997—),女,河南洛阳人,北京物资学院商学院,硕士研究生,研究方向为供应链安全;通信作者金海水(1968—),男,安徽宣城人,北京物资学院商学院,教授,管理学博士,硕士研究生导师,研究方向为供应链风险管理。

鉴于此,研究区块链技术如何促进医药供应链中的信息共享,并采用演化博弈的方法,分析影响医药供应链各方信息共享行为的因素,探讨其动态演化路径。此外,进一步比较传统的信息共享方式与区块链技术下演化结果之间的差异,为促进供应链上下游之间的有效合作共享关系提供理论指导和实践建议。

1 文献回顾

解决供应链上各节点之间存在的信息孤岛问题,应使用信息技术对供应链上下游的信息进行整合,提高信息共享水平^[5]。郝丽等^[6]提出在信息共享契约机制下,制造商和零售商可以协调各自主体利润,使供应链整体利润达到最优状态。张朦朦^[7]研究了信息共享在供应链风险及零售企业竞争之间的重要性,结果表明信息共享对零售企业竞争力有显著的正向影响,并且对供应链风险有显著的负向影响。由于信息不对称现象普遍存在,逆向选择和道德风险问题会影响供应链整体运作,掌握信息优势的主体为了获得更多利润和机会,会选择隐瞒或谎报部分信息^[8],而其他主体为了获得信息,则会主动采取相应的措施激励信息优势方^[9]。为此,许明辉等^[10]提出了提高制造商成本削减有效性策略,周建亨和王晓敏^[11]提出了收益共享机制,Norde等^[12]提出了合作绩效评估激励方案。

各参与主体在供应链上进行信息共享,需有一个重要的前提,即节点之间的相互信任程度^[13]。如果供应链各参与主体之间缺乏必要的信任,担心自己的核心秘密被泄露,则会导致供应链上的信息共享水平降低。张玉华等^[14]基于信任和价格折扣建立了协调模型,以解决供应链上下游之间需求预测信息的有效共享问题。刘胜春和阮萍^[15]研究表明,以公平正义的价值观和对专业知识的共同认知为基础建立的相互信任的合作关系,有助于在供应链中建立有效的信息共享模式。

随着人工智能、第5代移动通信技术(5G)等新兴技术的出现,供应链管理也进入了新时代。2017年,国务院办公厅明确提出要研究利用区块链、人工智能等新兴技术,建立供应链信息共享、披露和信用评价机制^[16]。在供应链信息溯源和成本优化方面,贺吉等^[17]认为区块链技术有助于提高种子供应链信息的透明度和可追溯性,减少供应链管理成本与运营风险。Allen等^[18]提出供应链上各主体越来越需要商品的各種信息,而区块链技术有利于供应链生成有效真实信息并协调交易成本。闫妍和

张锦^[19]指出区块链技术中的智能合约功能可以减少供应链上各节点信息不对称的问题,并减少供应链交易成本。在供应链信息监管和隐私保护方面,许继平等^[20]构建了基于区块链技术的稻米供应链信息监管模型,有助于供应链上信息流动、互联互通。谷俊和许鑫^[21]利用区块链的数据记录机制设计了数据共享联盟链模型,提升联盟链共享机制效率的同时,保护了数据信息共享者的信息安全。Epiphaniou等^[22]认为,利用区块链的智能分布式账本技术可以推动供应链上数据和信息的共享,保证了在线监管供应链安全的力度。由此可见,区块链技术有助于解决供应链各方信息共享的成本、可靠性、隐私保护、信任机制等问题,提高供应链信息共享水平。

2 医药供应链信息共享演化博弈模型分析

医药供应链上各参与主体对信息的共享程度是形成新交流网络结构的关键,各参与主体要在一段时间周期内多次博弈,选择是否要共享更加透明翔实的信息^[23],各个节点不断改变调整选择,最终达到一个相对稳定状态,这是一个动态的长期的博弈过程。

2.1 基本假设与模型建立

在信息不对称情况下,构建医药供应链的各个参与主体信息共享意愿的演化博弈模型,模型假设如下。

1) 博弈主体。医药供应链的参与主体包括原料供应商、制造商、分销商、零售商、医院、消费者、第三方物流企业等,博弈模型建立在供应链上任意3个参与主体之间,假设博弈主体为供应商、药品制造商与分销商,三者同为有限理性人,根据自身收益情况调整改进选择,三方并非同时进行决策。

2) 策略选择。在博弈中,三方的行为策略皆为{共享信息,不共享信息}。假设博弈三方选择共享的概率分别为 x 、 y 、 z ,选择不共享的概率分别为 $1-x$ 、 $1-y$ 、 $1-z$, x 、 y 、 $z \in [0, 1]$ 。

3) 博弈方的相关变量选取如下: N_i 为博弈方 i 所能共享的信息量,共享的信息数量越高,信息提供方对其他主体分享的信息信任程度越高; θ_i 为博弈方 i 从共享信息中所获得的收益系数,博弈方 i 从共享的信息中获得的收益为自身收益系数与其他博弈方共享信息量的乘积; M 为激励系数,对于共享信息的医药供应链主体,政府会给予一定补贴或声誉奖励作为激励。 P 为惩罚系数,当医药供应

链主体不共享信息但依然使用其他主体共享的信息获取利益时,政府会以减少与该主体的合作等形式进行惩罚; C_i 为博弈方 i 进行信息共享耗费的成本,包括建设信息管理系统成本、维护成本等; μ 为博弈方进行信息共享需面临的风险系数,包括核心信息共享导致的优势流失等潜在风险。

在博弈中,三方均可以选择共享信息或不共享信息,因此共有 8 种策略组合。博弈三方共享信息的博弈收益矩阵见表 1。

2.2 演化稳定状态分析

2.2.1 原料供应商的模型构建与演化稳定策略分析

供应商选择共享信息时的收益为

$$R_{a1} = yz[\theta_x(N_y + N_z) + MN_x - \mu N_x - C_x] + y(1 - z)(\theta_x N_y + MN_x - \mu N_x - C_x) + (1 - y)z(\theta_x N_z + MN_x - \mu N_x - C_x) + (1 - y)(1 - z)(MN_x - \mu N_x - C_x)。$$

供应商选择不共享信息时的收益为

$$R_{a2} = yz[\theta_x(N_y + N_z) - P(N_y + N_z)] + y(1 - z)(\theta_x N_y - P N_y) + (1 - y)z(\theta_x N_z - P N_z)。$$

供应商的平均收益为

$$R_a = xR_{a1} + (1 - x)R_{a2}。$$

可得供应商的复制动态方程为

$$F(x) = \frac{dx}{dt} = x(R_{a1} - R_a) = x(1 - x)(R_{a1} - R_{a2}) = x(1 - x)(yPN_y + zPN_z + MN_x - \mu N_x - C_x) \tag{1}$$

判断 x^* 是否为演化稳定策略有两个必要条件: $F(x) = 0, F'(x) < 0$ 。根据式(1), $F(x) = 0$ 时解得 $x^* = 0$ 或 $1, y^* = \frac{C_x + \mu N_x - MN_x - zPN_z}{PN_y}$ 。对

$F(x)$ 求导可得

$$F'(x) = (1 - 2x)(yPN_y + zPN_z + MN_x - \mu N_x - C_x)。$$

于是:

1) 当 $y = y^* = \frac{C_x + \mu N_x - MN_x - zPN_z}{PN_y}$ 时,

$F'(x) = 0$, 供应商无论选择共享还是不共享策略, 结果都不会发生变化。

2) 当 $y \neq y^*$ 时, 分两种情况讨论。当 $y < y^*$ 时, $F'(0) < 0, F'(1) > 0$, 因此 $x^* = 0$ 是演化稳定策略点, 供应商的演化均衡策略是不共享; 当 $y > y^*$ 时, $F'(0) > 0, F'(1) < 0$, 因此 $x^* = 1$ 是演化稳定策略点, 供应商的演化均衡策略是共享。

2.2.2 药品制造商的模型构建与演化稳定策略分析

制造商选择共享信息时的收益为

$$R_{b1} = xz[\theta_y(N_x + N_z) + MN_y - \mu N_y - C_y] + x(1 - z)(\theta_y N_x + MN_y - \mu N_y - C_y) + (1 - x)z(\theta_y N_z + MN_y - \mu N_y - C_y) + (1 - x)(1 - z)(MN_y - \mu N_y - C_y)。$$

制造商选择不共享信息时的收益为

$$R_{b2} = xz[\theta_y(N_x + N_z) - P(N_x + N_z)] + x(1 - z)(\theta_y N_x - PN_x) + (1 - x)z(\theta_y N_z - PN_z)。$$

制造商的平均收益为

$$R_b = yR_{b1} + (1 - y)R_{b2}。$$

可得制造商的复制动态方程为

$$F(y) = \frac{dy}{dt} = y(R_{b1} - R_b) = y(1 - y)(R_{b1} - R_{b2}) = y(1 - y)(xPN_x + zPN_z + MN_y - \mu N_y - C_y) \tag{2}$$

判断 y^* 是否为演化稳定策略有两个必要条件:

表 1 博弈收益矩阵			
供应商	制造商	分销商	
		共享信息(z)	不共享信息($1-z$)
共享信息(x)	共享信息(y)	$\theta_x(N_y+N_z)+MN_x-\mu N_x-C_x$	$\theta_x N_y+MN_x-\mu N_x-C_x$
		$\theta_y(N_x+N_z)+MN_y-\mu N_y-C_y$	$\theta_y N_x+MN_y-\mu N_y-C_y$
		$\theta_z(N_x+N_y)+MN_z-\mu N_z-C_z$	$\theta_z(N_x+N_y)-P(N_x+N_y)$
	不共享信息($1-y$)	$\theta_x N_z+MN_x-\mu N_x-C_x$	$MN_x-\mu N_x-C_x$
		$\theta_y(N_x+N_z)-P(N_x+N_z)$	$\theta_y N_x-P N_x$
		$\theta_z N_x+MN_z-\mu N_z-C_z$	$\theta_z N_x-P N_x$
不共享信息($1-x$)	共享信息(y)	$\theta_x(N_y+N_z)-P(N_y+N_z)$	$\theta_x N_y-P N_y$
		$\theta_y N_z+MN_y-\mu N_y-C_y$	$MN_y-\mu N_y-C_y$
		$\theta_z N_y+MN_z-\mu N_z-C_z$	$\theta_z N_y-P N_y$
	不共享信息($1-y$)	$\theta_x N_z-P N_z$	0
		$\theta_y N_z-P N_z$	0
		$MN_z-\mu N_z-C_z$	0

$F(y) = 0, F'(y) < 0$ 。根据式(2), $\frac{dy}{dt} = 0$ 时解得 $y^* = 0$ 或 $1, x^* = \frac{C_y + \mu N_y - MN_y - zPN_z}{PN_x}$ 。对 $F(y)$ 求导可得, $F'(y) = (1-2y)(xPN_x + zPN_z + MN_y - \mu N_y - C_y)$ 。于是:

1) 当 $x = x^* = \frac{C_y + \mu N_y - MN_y - zPN_z}{PN_x}$ 时,

$F'(y) = 0$, 制造商无论选择共享还是不共享策略, 结果都不会发生变化。

2) 当 $x \neq x^*$ 时, 分两种情况讨论。当 $x < x^*$ 时, $F'(0) < 0, F'(1) > 0$, 因此 $y^* = 0$ 是演化稳定策略点, 制造商的演化均衡策略是不共享; 当 $x > x^*$ 时, $F'(0) > 0, F'(1) < 0$, 因此 $y^* = 1$ 是演化稳定策略点, 制造商的演化均衡策略是共享。

2.2.3 药品分销商的模型构建与演化稳定策略分析

分销商选择共享信息时的收益为

$$R_{c1} = xy[\theta_z(N_x + N_y) + MN_z - \mu N_z - C_z] + x(1-y)(\theta_z N_x + MN_z - \mu N_z - C_z) + (1-x)y(\theta_z N_y + MN_z - \mu N_z - C_z) + (1-x)(1-y)(MN_z - \mu N_z - C_z)。$$

分销商选择不共享信息时的收益为

$$R_{c2} = xy[\theta_z(N_x + N_y) - P(N_x + N_y)] + x(1-y)(\theta_z N_x - P N_x) + (1-x)y(\theta_z N_y - P N_y)。$$

分销商的平均收益为

$$R_c = zR_{c1} + (1-z)R_{c2}。$$

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial F(x)}{\partial x} & \frac{\partial F(x)}{\partial y} & \frac{\partial F(x)}{\partial z} \\ \frac{\partial F(y)}{\partial x} & \frac{\partial F(y)}{\partial y} & \frac{\partial F(y)}{\partial z} \\ \frac{\partial F(z)}{\partial x} & \frac{\partial F(z)}{\partial y} & \frac{\partial F(z)}{\partial z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (1-2x)(yPN_y + zPN_z + MN_x - \mu N_x - C_x) \\ x(1-x)PN_y \\ x(1-x)PN_z \\ y(1-y)PN_x \\ (1-2y)(xPN_x + zPN_z + MN_y - \mu N_y - C_y) \\ y(1-y)PN_z \\ z(1-z)PN_x \\ z(1-z)PN_y \\ (1-2z)(xPN_x + yPN_y + MN_z - \mu N_z - C_z) \end{bmatrix}。$$

根据 Lyapunov 法则, 雅可比矩阵的所有特征值都小于 0 时, 均衡点即为稳定点^[24]。将 8 个均衡点的值代入雅可比矩阵中, 特征值分布和稳定性条件见表 2。

以点 $f_8(1,1,1)$ 为例进行具体分析, 代入点 $f_8(1,1,1)$ 后雅可比矩阵的特征值为 $\lambda_1 = \mu N_x + C_x - MN_x - PN_y - P N_z, \lambda_2 = \mu N_y + C_y - M N_y -$

可得分销商的复制动态方程为

$$F(z) = \frac{dz}{dt} = z(R_{c1} - R_c) = z(1-z)(R_{c1} - R_{c2}) = z(1-z)(xPN_x + yPN_y + MN_z - \mu N_z - C_z) \quad (3)$$

判断 z^* 是否为演化稳定策略有两个必要条件: $F(z) = 0, F'(z) < 0$ 。根据式(3), $\frac{dz}{dt} = 0$ 时解得 $z^* = 0$ 或 $1, x^* = \frac{C_z + \mu N_z - MN_z - yPN_y}{PN_x}$ 。

对 $F(z)$ 求导可得, $F'(z) = (1-2z)(xPN_x + yPN_y + MN_z - \mu N_z - C_z)$ 。于是:

1) 当 $x = x^* = \frac{C_z + \mu N_z - MN_z - yPN_y}{PN_x}$ 时,

$F'(z) = 0$, 分销商无论选择共享还是不共享策略, 结果都不会发生变化。

2) 当 $x \neq x^*$ 时, 分两种情况讨论。当 $x < x^*$ 时, $F'(0) < 0, F'(1) > 0$, 因此 $z^* = 0$ 是演化稳定策略点, 分销商的演化均衡策略是不共享; 当 $x > x^*$ 时, $F'(0) > 0, F'(1) < 0$, 因此 $z^* = 1$ 是演化稳定策略点, 分销商的演化均衡策略是共享。

2.3 博弈均衡点及稳定性分析

为了判断演化博弈的演化稳定策略(ESS), 同时令 $F(x) = 0, F(y) = 0, F(z) = 0$, 得到 8 个均衡点, 分别为 $f_1(0,0,0), f_2(0,1,0), f_3(0,0,1), f_4(0,1,1), f_5(1,0,0), f_6(1,1,0), f_7(1,0,1), f_8(1,1,1)$, 这 8 个均衡点构成了演化博弈域的边界。

雅可比矩阵为

$$J = \begin{bmatrix} (1-2x)(yPN_y + zPN_z + MN_x - \mu N_x - C_x) \\ x(1-x)PN_y \\ x(1-x)PN_z \\ y(1-y)PN_x \\ (1-2y)(xPN_x + zPN_z + MN_y - \mu N_y - C_y) \\ y(1-y)PN_z \\ z(1-z)PN_x \\ z(1-z)PN_y \\ (1-2z)(xPN_x + yPN_y + MN_z - \mu N_z - C_z) \end{bmatrix}。$$

$$PN_x - PN_z, \lambda_3 = \mu N_z + C_z - MN_z - PN_x - PN_y。$$

情形 1 当 $\mu N_x + C_x < MN_x + PN_y + PN_z, \mu N_y + C_y < MN_y + PN_x + PN_z, \mu N_z + C_z < MN_z + PN_x + PN_y$ 时, 全部特征值小于 0, 点 $f_8(1,1,1)$ 为稳定点, 对应的策略为演化稳定策略。即供应链上参与主体进行信息共享承担的风险和成本低于政府给予自身的激励与其他主体不进行信息共享但利

表 2 均衡点及其特征值 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 分布

均衡点	λ_1	λ_2	λ_3	需满足的条件
$f_1(0,0,0)$	$MN_x - \mu N_x - C_x$	$MN_y - \mu N_y - C_y$	$MN_z - \mu N_z - C_z$	$MN_x < \mu N_x + C_x$ $MN_y < \mu N_y + C_y$ $MN_z < \mu N_z + C_z$
$f_2(0,1,0)$	$\mu N_y + C_y - MN_y$	$MN_x + PN_y - \mu N_x - C_x$	$MN_z + PN_y - \mu N_z - C_z$	$\mu N_y + C_y < MN_y$ $MN_x + PN_y < \mu N_x + C_x$ $MN_z + PN_y < \mu N_z + C_z$
$f_3(0,0,1)$	$\mu N_z + C_z - MN_z$	$MN_x + PN_z - \mu N_x - C_x$	$MN_y + PN_z - \mu N_y - C_y$	$\mu N_z + C_z < MN_z$ $MN_x + PN_z < \mu N_x + C_x$ $MN_y + PN_z < \mu N_y + C_y$
$f_4(0,1,1)$	$\mu N_y + C_y - MN_y - PN_z$	$\mu N_z + C_z - MN_z - PN_y$	$MN_x + PN_y + PN_z - \mu N_x - C_x$	$\mu N_y + C_y < MN_y + PN_z$ $\mu N_z + C_z < MN_z + PN_y$ $MN_x + PN_y + PN_z < \mu N_x + C_x$
$f_5(1,0,0)$	$\mu N_x + C_x - MN_x$	$MN_y + PN_x - \mu N_y - C_y$	$MN_z + PN_x - \mu N_z - C_z$	$\mu N_x + C_x < MN_x$ $MN_y + PN_x < \mu N_y + C_y$ $MN_z + PN_x < \mu N_z + C_z$
$f_6(1,1,0)$	$\mu N_x + C_x - MN_x - PN_y$	$\mu N_y + C_y - MN_y - PN_x$	$MN_z + PN_x + PN_y - \mu N_z - C_z$	$\mu N_x + C_x < MN_x + PN_y$ $\mu N_y + C_y < MN_y + PN_x$ $MN_z + PN_x + PN_y < \mu N_z + C_z$
$f_7(1,0,1)$	$\mu N_x + C_x - MN_x - PN_z$	$\mu N_z + C_z - MN_z - PN_x$	$MN_y + PN_x + PN_z - \mu N_y - C_y$	$\mu N_x + C_x < MN_x + PN_z$ $\mu N_z + C_z < MN_z + PN_x$ $MN_y + PN_x + PN_z < \mu N_y + C_y$
$f_8(1,1,1)$	$\mu N_x + C_x - MN_x - PN_y - PN_z$	$\mu N_y + C_y - MN_y - PN_x - PN_z$	$\mu N_z + C_z - MN_z - PN_x - PN_y$	$\mu N_x + C_x < MN_x + PN_y + PN_z$ $\mu N_y + C_y < MN_y + PN_x + PN_z$ $\mu N_z + C_z < MN_z + PN_x + PN_y$

用他人共享的信息获利而遭受的惩罚之和时,各方都选择共享信息。

情形 2 当 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 存在非负值时,点 $f_8(1,1,1)$ 为鞍点或不稳定点。即至少有一个参与主体进行信息共享时面临的风险和成本高于政府给予自身共享信息的激励补贴与处理不共享信息节点的惩罚之和时,该点不稳定。

其他均衡点的分析同理,见表 2,各点成为稳定点的条件复杂多变,因此该三方博弈中只有少数稳定点。

3 仿真数值分析

为了进一步验证上述分析,通过 MATLAB 进行数值仿真模拟,分析因素的变化对医药供应链上下游各参与主体的选择的影响,探究多主体信息共享行为的演化路径。

3.1 传统信息共享模式参数模拟

参数取值参考了现实情况以及相关文献^[25-26]中的设置,分销商掌握的医药市场需求等信息更详细全面,因此共享信息量初始取值为 $N_x = 30$, $N_y = 40$, $N_z = 50$;而在信息共享成本方面,越靠近医药供应链上游,需要兼顾的信息种类越复杂

多样,建设信息管理系统等成本耗费更高,因此 $C_x = 200$, $C_y = 180$, $C_z = 160$;其他模拟仿真的初始值为 $\theta_x = 4$, $\theta_y = 3$, $\theta_z = 2$, $\mu = 2$, $M = 1$, $P = 3$,图 2 为初始参数取值的仿真结果。传统模式下,博弈向 $f_1(0,0,0)$ 演进,表明此时供应链上下游的各节点无法实现集体理性的信息共享决策,为了促进三方决策向最理想的均衡点 $f_8(1,1,1)$ 方向演化,需要促进各参与主体加入区块链系统进行信息共享。

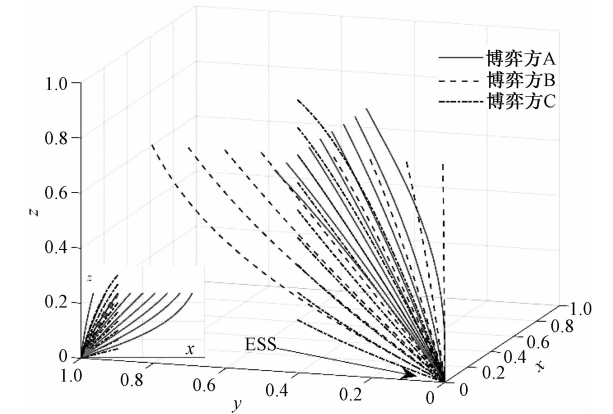


图 2 传统信息共享模式仿真结果

3.2 区块链技术下信息共享模式参数模拟

3.2.1 信息共享成本分析

利用供应链技术的共识机制,共享的信息由供应链上下游所有参与主体共同维护,有利于供应链整体建立信任机制,利用共享的信息时更加便捷,随着区块链系统的不断发展和完善,信息系统建设成本或信息共享的边际成本等逐渐降低。将信息共享成本分别降低为 $C_x = 150$ 、 $C_y = 135$ 、 $C_z = 120$, 仿真结果如图 3 所示。由图 3 可知,当信息共享成本降低时,供应商、制造商和分销商最终都收敛于不共享信息,且演化速度变化不明显。当信息共享成本分别降低至 $C_x = 20$ 、 $C_y = 18$ 、 $C_z = 16$ 时,博弈三方最终收敛于稳定点 $f_8(1,1,1)$, 即三方最终决策都为共享信息,但现实中信息系统建设及信息维护的成本短时间内难以大幅度降低,只有少部分博弈演化收敛于 $f_8(1,1,1)$, 达到理想的均衡状态,大部分供应链参与主体依然会选择不共享信息。

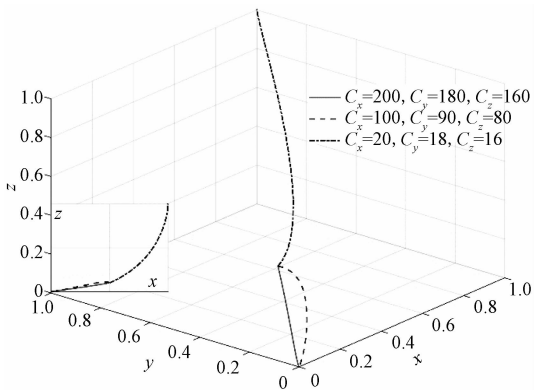


图 3 信息共享成本变化时演化结果

3.2.2 信息共享风险系数分析

信息共享面临着泄露的风险,利用区块链技术的去中心化和可追溯性等特性,可以保障信息安全,无须第三方即可进行信息确权及追溯,同时建立严格的准入机制,定期核查链上各节点的权限,降低了信息共享导致的信息泄露的风险。将信息共享风险系数 μ 分别赋以 $\mu = 2, 1, 0.2$, 仿真结果如图 4 所示。由图 4 可知,当信息共享风险系数从 2 减少到 1 时,供应商、制造商和分销商最终都收敛于不共享信息,但掌握信息数量更少的供应商演化速度减慢,说明利用区块链技术降低信息共享风险对其策略选择具有影响。当信息共享风险系数减少到 0.2 时,处于医药供应链上游的供应商和制造商选择信息共享的概率先减小再增大,位于供应链中下游的分销商选择信息共享的概率增大,最终博

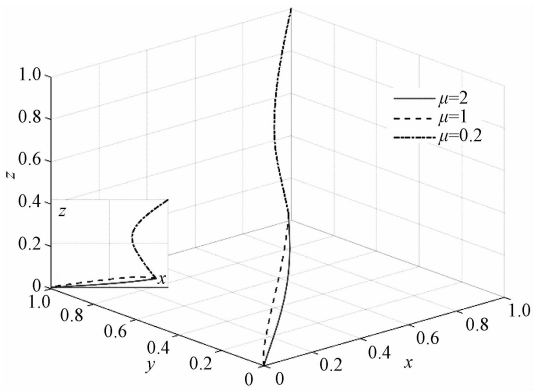


图 4 信息共享风险系数变化时演化结果

弈系统收敛于稳定点 $f_8(1,1,1)$, 即三方最终决策都为共享信息。

3.2.3 激励系数分析

利用区块链技术的智能合约和分布式账本,共享的信息可以受到供应链上各参与主体的相互监督,确保信息来源唯一,有利于政府监管部门建立信息共享激励机制和政策。而政府对信息共享的激励政策又有利于为供应链各节点之间的协同创新构建良好的外部环境,促进各参与主体向信息共享的方向进行演化,加速合作共赢的效率。将激励系数 M 分别赋以 $M = 1, 4, 7$, 仿真结果如图 5 所示。由图 5 可知,当信息共享激励系数从 1 增大到 4 时,掌握信息较少的供应商虽然最终收敛于不共享信息,但向不共享信息演化的速度明显减慢,掌握信息较多的分销商选择信息共享的概率先增大再减少,最终收敛于不共享信息。当信息共享激励系数增大到 7 时,向稳定点演化的过程快速上升,收敛于稳定点 $f_8(1,1,1)$, 即三方最终决策都为共享信息。

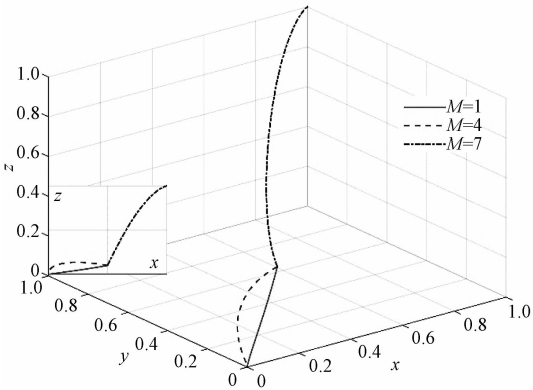


图 5 激励系数变化时演化结果

3.2.4 惩罚系数分析

惩罚系数的设置是保障供应链有序稳定运行

的有利手段,通过惩罚措施能够约束供应链上各参与主体按照约定进行信息共享,提高供应链整体效益和效率。利用区块链技术的透明性和防篡改性等特征,各节点的信息记录上链后难以篡改,且机会主义行为被发现后可以沿供应链全网广播,产生较大的声誉损失,减少与其他主体合作的机会。将惩罚系数 P 分别赋以 $P=3、6、9$,仿真结果如图 6 所示。由图 6 可知,当惩罚系数从 3 增大到 6 时,供应商、制造商和分销商最终都收敛于不共享信息,且演化速度变化不明显。当惩罚系数增大到 9 时,博弈三方最终都收敛于至稳定点 $f_8(1,1,1)$,即三方最终决策都为共享信息。说明惩罚系数设置的数值大小会影响供应链上下游各节点共享信息的决策,若惩罚力度较小,会使只利用其他主体共享的信息但自身不进行信息共享的机会主义行为泛滥。

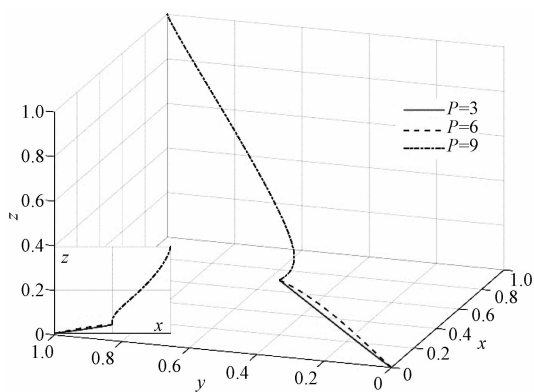


图 6 惩罚系数变化时演化结果

4 结论与建议

借助区块链技术,供应链多主体之间进行信息共享,能够充分满足市场需求,同时提高供应链的整体收益。因此,构建包含各参与主体在内的医药供应链信息共享框架,针对供应链各节点之间存在的信息不对称问题,建立了医药供应链信息共享演化博弈模型,分析各方的稳定性策略以及各要素的影响关系。三方演化博弈分析结果表明,传统的信息共享模式没有达到最优化,在区块链背景下的信息共享模式中,区块链技术的特征有利于降低信息共享的成本和风险,也有助于政府监管部门建立激励制度及政策并增加对只利用其他主体所共享信息的机会主义行为的惩罚力度,促进医药供应链信息共享。

结合研究结果,为更好地推动区块链技术提高医药供应链信息共享水平,缓解信息不对称问题,

提出以下两方面对策建议。

1)从政府外部监管角度考虑,可以构建合理的奖惩机制提高供应链信息共享水平,充分发挥政府部门监管作用。政府监管部门通过物质补贴、政策优惠、媒体宣传等形式对共享信息的节点进行激励,有助于提高各节点之间的协同程度,促进供应链上下游之间的合作,建立起供应链节点之间的信任机制,增加各方共享信息的意愿;对有机会主义倾向的节点进行处罚,沿供应链全流程通报,以消除供应链参与主体的投机心理,从而抑制其机会主义行为。但政府监管也不能一味加大惩罚力度,否则可能会造成医药供应链负担过重,应当采取一种动态的监管方式,未来可进一步研究动态奖惩制度对医药供应链信息共享策略的影响。

2)从供应链内部管理角度考虑,通过各主体之间的协议及合作,利用区块链等“互联网+”技术建立医药供应链参与主体之间的信息共享机制,互相制约,由供应链核心企业牵头培养信息共享意识,提高供应链上下游之间的初始信任水平。其次,在区块链技术的支撑下,构建医药供应链各节点之间的信息共享平台,降低信息共享的边际成本,提高共享信息、使用信息的便捷性。同时,利用不断发展的数字技术进一步降低各环节之间的信息壁垒,增加各主体间有效沟通,从而增强他们对信息的信任程度,推动医药供应链物流、资金流和信息流的交互流动,提升医药供应链的可溯源性和透明度等,保障我国供应链稳定和安全。

参考文献

- [1] 胡玲,金钟文,成栋.全球供应链背景下制造业企业信息共享机制的案例研究[J].东南大学学报(哲学社会科学版),2018,20(3):43-52,146-147.
- [2] 付永贵.基于区块链的供应链信息共享机制与管理模式研究[D].北京:中央财经大学,2018.
- [3] 狄蓉,赵袁军,余红心.基于 Shapley 值的医药流通企业供应链管理优化研究[J].技术经济与管理研究,2017(2):18-22.
- [4] 周茂君,潘宁.赋权与重构:区块链技术对数据孤岛的破解[J].新闻与传播评论,2018,71(5):58-67.
- [5] 冯华,聂蕾,海峰.信息共享水平与供应链能力的相互作用关系研究:基于社会控制的中介效应[J].南开管理评论,2018,21(4):85-92.
- [6] 郝丽,刘九强,陈胜利,等.基于 Stackelberg 博弈理论下风险偏好对可持续供应链风险协调策略[J].科技和产业,2022,22(4):19-28.
- [7] 张朦朦.信息共享、供应链运行风险与零售企业竞争力[J].商业经济研究,2022(21):109-113.

[8] 文悦,王勇. 电商平台物流策略与零售商需求预测信息共享策略的博弈分析[J]. 系统工程理论与实践, 2023, 43(1):151-168.

[9] 李康,李丹,伍大清. 考虑服务成本的供应链双边信息共享策略研究[J]. 技术经济与管理研究, 2021(12):122-128.

[10] 许明辉,孙康泰,杨东升. 竞争性制造商成本削减下的信息共享策略研究[J]. 管理学报, 2018, 15(12):1872-1882.

[11] 周建亨,王晓敏. 收益共享机制下的供应链纵向信息共享策略[J]. 系统管理学报, 2018, 27(5):971-980.

[12] NORDE H,ÖZEN U,SLIKKER M. Setting the right incentives for global planning and operations[J]. European Journal of Operational Research, 2016, 253(2):441-455.

[13] ÖZER Ö,ZHENG Y. Establishing trust and trustworthiness for supply chain information sharing[M]. Berlin: Springer, 2017:287-312.

[14] 张玉华,戴更新,韩广华,等. 需求预测信息共享中基于信任的价格折扣模型[J]. 计算机集成制造系统, 2017, 23(12):2737-2746.

[15] 刘胜春,阮萍. 文化因素如何影响供应链中的信息共享水平:一个基于我国农业领域中“关系”的实证研究[J]. 云南财经大学学报, 2020, 36(5):66-75.

[16] 国务院办公厅关于积极推进供应链创新与应用的指导意见[J]. 物流科技, 2018, 41(1):2-3.

[17] 贺吉,范晓飞,姚竞发,等. 基于区块链的种子供应链信息溯源及信用度提升的方案设计与研究[J]. 中国农机化学报, 2022, 43(7):145-151.

[18] ALLEN D W E,BERG C,DAVIDSON S,et al. International policy coordination for blockchain supply chains[J]. Asia & the Pacific Policy Studies, 2019, 6(3):367-380.

[19] 闫妍,张锦. 基于区块链技术的供应链主体风险规避研究[J]. 工业工程与管理, 2018, 23(6):33-42.

[20] 许继平,王健,张新,等. 区块链驱动的稻米供应链信息监管模型研究[J]. 农业机械学报, 2021, 52(5):202-211,101.

[21] 谷俊,许鑫. 人文社科数据共享模型的设计与实现:以联盟链技术为例[J]. 情报学报, 2019, 38(4):354-367.

[22] EPIPHANIOU G,PILLAI P,BOTTARELLI M,et al. Corrections to electronic regulation of data sharing and processing using smart ledger technologies for supply-chain security [J]. IEEE Transactions on Engineering Management, 2020, 67(3):979-979.

[23] 池毛毛,王伟军,卢新元,等. 数字商务战略剖面和组织重构能力关系的研究:究竟是抑制还是促进? [J]. 管理工程学报, 2020, 34(4):11-20.

[24] 祝凌瑶,周丽,柳虎威. 数字经济时代政府数据质量管理的演化博弈分析[J]. 运筹与管理, 2022, 31(9):21-27.

[25] HAN G,DONG M. Sustainable regulation of information sharing with electronic data interchange by a trust-embedded contract[J]. Sustainability, 2017, 9(6):964.

[26] 李春发,刘焕星,胡培培. 政府分类规制、智能平台赋能与药企 CSR 策略演化[J]. 复杂系统与复杂性科学, 2022, 19(2):17-30.

Research on the Game of Pharmaceutical Supply Chain Information Sharing Behavior Based on Blockchain Technology

SHI Youjin, JIN Haishui

(School of Business, Beijing Wuzi University, Beijing 101149, China)

Abstract: Information asymmetry is the main factor that hinders the overall efficiency of the supply chain. To address the problem of lack of trust in the pharmaceutical supply chain, an evolutionary game model of information sharing in each node of the pharmaceutical supply chain is established, and the influence of each factor on the strategy choice of the three parties of the game is analyzed and validated by simulation using MATLAB. The study shows that the blockchain technology can help reduce the cost and risk of information sharing and establish a scientific and reasonable reward and punishment system, and the incentive and punishment coefficients of information sharing positively affect the information sharing strategy of pharmaceutical supply chain, while the cost and risk coefficients of information sharing negatively affect the information sharing strategy. Based on the conclusions, the suggestions for improving the information sharing level of pharmaceutical supply chain are put forward.

Keywords: pharmaceutical supply chain; information sharing; evolutionary game; blockchain technology