

多元主体协同视角下药品智慧监管的演化博弈研究

陈晓春¹, 李富强², 陈垚彤³

(1. 北京物资学院商学院, 北京 101149; 2. 中国社会科学院数量经济与技术经济研究所, 北京 100732;
3. 东北财经大学公共管理学院, 辽宁 大连 116025)

摘要: 实施智慧监管是提高药品监管效率和监管质量的重要手段, 针对如何激发多元监管主体参与的能动性和自主性问题, 研究构建了 3 方演化博弈模型并进行仿真分析, 揭示药品智慧监管参与主体间的协同机理, 探析不同情景下监管主体的演化稳定策略。研究表明: 药品智慧监管平台对信息的披露质量影响着政府监管部门运维策略的选择。提高药品智慧监管平台的风险预判、预警能力有助于政府监管部门选择高效运维策略, 能够增强药品生产经营企业联合政府共建共治的活力, 激发社会公众参与的积极性。当社会公众参与智慧监管的意愿高于阈值时, 更有利于政府部门和药品生产经营企业实施联动, 促进多元主体形成监管合力。研究结果界定了各监管主体稳定状态的范围, 为推动多元主体协同监管提供合理的借鉴和参考。

关键词: 多元主体协同; 智慧监管; 稳定策略; 演化博弈

中图分类号: F062.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-0566(2023)07-0168-11

Research on the evolutionary game of drug intelligent regulation under the synergy of multi-subject

CHEN Xiaochun¹, LI Fuqiang², CHEN Yaotong³

(1. Business School, Beijing Wuzi University, Beijing 101149, China;
2. Institute of Quantitative & Technological Economics CASS3, Beijing 100732, China;
3. School of Public Administration, Dongbei University of Finance and Economics, Dalian 116025, China)

Abstract: Carrying out intelligent regulation is an important means to improve the efficiency and quality of drug regulation. In order to stimulate the motivation and autonomy of multiple regulatory subjects, the paper constructs a three-party evolutionary game model for intelligent drug regulation and conducts simulation analysis, which is to reveal the synergistic mechanism among the participating bodies of intelligent regulation and explore the evolutionary stabilization strategies under different states. The study shows that the quality of information disclosure comes from the intelligent regulatory platform influences the government regulators to choose the operation and maintenance strategy. Improving the risk prediction and early warning capability of the drug intelligent regulation platform helps government regulators choose an efficient operation and maintenance strategy, can enhance the vitality of drug production and operation enterprises to Co-Building and Co-Governance, and stimulate the enthusiasm of the social public. When the willingness of the public to participate in intelligent regulation is higher than the threshold value, it is more conducive to the implementation of linkage between the government, drug production and management enterprises, and promotes the

收稿日期: 2023-02-19 修回日期: 2023-05-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(72202020); 国家社会科学基金重点项目(21AZD118); 北京物资学院校级青年科研基金项目(2022XJQN06)。

作者简介: 陈晓春(1990—), 女, 河南商丘人, 北京物资学院讲师, 管理学博士, 研究方向为药品供应链管理、博弈研究。

formation of regulatory synergy among multiple subjects. We explore the steady state of each participating subject, and provide reference for promoting the coordinated supervision of multi-subject.

Key words: multi-subject collaboration; intelligent regulation; stability strategy; evolutionary game

随着我国医改的纵深发展,医药行业结构的调整,药品流通的新模式、新业态逐渐涌现,新的发展格局给药品流通监管带来了更大的挑战。传统的监管方式已难以满足当今和未来药品安全监管的需求,急需向信息化、智慧化、协同化、网络化监管方式转变。2021年,国务院办公厅印发《关于全面加强药品监管能力建设的实施意见》明确指出要增强“互联网+药品监管”的应用服务水平。药品监管网络安全与信息化建设“十四五”规划中也强调了智慧监管的重要作用。尤其在新冠病毒感染疫情暴发期间,在应对公共卫生危机和风险时应充分运用现代科学技术手段^[1]。但从目前来看,药品智慧监管尚未形成社会共治格局,无法实现信息的共享和数据的融合。为了推进药品行业数字化、智能化的发展和转型,探究多元主体协同下的药品智慧监管稳定策略,以期提升药品监管效能和监管质量。因此,探析如何强化政府的监管效能,提高企业的监管责任感,激活社会公众参与活力,研究如何建立智慧监管联动共治的格局,这些都是保障药品安全亟待解决的重要问题,对于提高药品监管治理能力具有重要的理论和现实意义。

药品安全问题是国家和人民关注的重点问题,也是药品监管的核心问题。药品的监管除了在于确保药品的流通安全,还在于控制药品的质量安全^[2]。药品流通安全涉及生产、仓储、物流等药品流通的整个环节,需要政府监管部门、企业、第三方等利益相关者共同参与来实现^[3]。国内外学者对药品监管进行了广泛的研究,有学者侧重于药品价格的监管研究,发现对药品价格进行严格监管能够确保药品的可负担性和可及性^[4]。还有学者对药品质量监管进行研究,如Chen等^[5]评估了质量监管对制药企业决策利润和社会福利的影响,研究发现质量监管可以缩小医药制造商之间的产品差异。Kruisz等^[6]和Zhou等^[7]为了实现生产流程的跟踪和快速识别,在研究中运用可追溯性方法对整个生产过程进行监管。Burcham

等^[8]针对监管的方法进行研究,研究发现在制药生产过程中采用连续制造的方法更容易实施监控,这样既有利于缩短药品的生产周期,降低制造成本,提高产品工艺的灵活性,又能有效解决患者的问题,如减少药品短缺事件的发生。Ang等^[9]提出制造企业应该与监管机构达成密切合作,减少监管过程中存在的障碍。除此之外,还有学者对药品供应过程监管进行研究。为了降低供应中断风险,Sabouhi等^[10]运用数学规划模型设计了一个弹性供应链,预先考虑应急库存来预防风险的发生,进而提高供应网络的弹性。Franco等^[11]通过改进工艺管控过程,最大限度地减少药物生产和交付过程中的风险,提高药物供应的连续性和响应性。有学者还对新产品开发过程监管进行了研究,发现把人工智能技术运用在工艺改进中,能够有效提高药品的产量,增加药品供应的稳定性^[12]。由此可见,学者们针对不同监管方式和监管方法进行了研究,但是鲜少关注多元主体参与下的监管模式。

药物短缺和召回会造成严重的经济和健康后果,此类问题的发生可能是由于制药公司未采用高效的生产方法^[13],也有可能是监管存在一定的障碍^[14]。引起药品监管问题的原因较多,如监管资源/能力不足^[15]、无法实现信息共享、各部门缺乏协作和协调^[16]等。为了解决监管过程中存在的问题,企业开始在药物研发和制造中引进现代化技术,基于现代信息技术框架下对药品制造过程进行监管,有助于提升药品制造的精益性、敏捷性和灵活性^[17],有利于实现药品监管的现代化、信息化、数字化。数字技术的应用是重塑产业结构的重要力量^[18],数字化转型有利于促进企业的创新,尤其在技术密集型企业^[19]。随着数字技术在实践中的应用,学者们开始对智慧监管进行了研究,如有学者认为数字化技术赋能下的发展战略能够确保信息标准化,更有利于实现智慧监管^[11],智慧化管理也是实现全生命周期健康服务的重要保

障^[20]。大数据、物联网技术的应用可以帮助制药行业面对当前的质量和经济挑战^[21],充分运用数字技术能够降低产品制造成本和工艺开发成本,缩短专利申请和新产品发布之间的时间,有效地扩大规模,保证产品的质量。Prajwal 等^[22]把物联网技术应用在制药行业,实现了药品的可追溯性。Stosch 等^[12]构建了基于数据驱动下的流程开发模型,研究发现数字技术能够提升监管的效率。Casas-Orozco 等^[23]通过数学建模来分析数字技术对工艺流程的优化程度,发现数字技术能够有效的优化工艺流程。

目前,国内外学者对药品的监管方式和智慧监管的成效进行了验证和分析,但是药品智慧监管不仅需要以现代化的信息技术为依托,而且需要聚集利益相关主体的力量,达成多元主体共建、共治的格局,来推动药品高质量的发展。从当前的研究来看,学者们鲜有关注多主体参与的药品智慧监管模式,且在实践中多元主体尚未形成联动机制。因此,本文针对参与智慧监管的相关主体,即政府监管部门,作为智慧监管的主导者履行政治、经济和服务职能。药品生产经营企业,作为市场主体负责药品的供应安全。同时,考虑社会公众,在药品监管中起到舆论监督主体地位。为推动各主体充分发挥协同、共治的作用,形成多方联动机制,提升药品安全监管效率,研究如何激发各主体参与智慧监管的积极性和主动性,探析如何建立药品安全智慧监管多元共治机制,阐释多元主体协同监管的稳定策略和演化路径,以期形成药品智慧监管闭环链,为药品流通高质量发展提供支撑。

一、问题描述与假设

(一)问题描述

为了提高药品安全风险控制的精准性和高效性,推进药品监管能力的现代化发展,借助大数据、人工智能、物联网等技术实现监管方式的智慧化转变已成为医药行业发展的当务之急。为了更好地适应新经济发展,应鼓励多元主体共同参与监管过程^[24],推动多元监管主体协同治理,运用数字化技术激活多元主体参与的主动性,整合多主

体的资源优势,促进药品监管建立多元监测、风险研判和精准高效处置的协同联动机制,形成药品安全监管多元共治的格局,凝聚监管合力,提高药品的安全性、有效性、透明性和可及性,增强药品监管的效能。依托智慧监管平台实现多元主体的互联互通,借助信息技术手段实现数据自动采集、安全和质量监测、信息互通共享、动态感知和预警、高效溯源和辅助决策支持的药品生命周期管理。但智慧平台虚假信息的披露、平台的风险预判能力对参与主体的积极性和监管效能有着重要的影响^[25-26],社会公众的关注也影响着责任主体的投入^[27]。为了探究不同影响因素对智慧监管参与主体决策行为的影响,通过构建多元监管主体参与下的演化博弈模型,分析各博弈主体的演化稳定状态。本文侧重分析政府主导、企业主体、社会参与的协同共治机制,设定药品智慧监的参与主体主要有 3 类:一是政府监管部门,政府监管部门作为基本公共服务体系建设的主导者^[3],负责智慧监管标准的制定,引导智慧监管机制的形成和智慧平台的建设与维护;二是药品生产经营企业,确保药品高质量供应的责任承担者,负责药品生产、经营的控制过程和规范化管理;三是社会公众,通过投诉、举报、舆论影响等多种形式实施社会监督。

(二)基本假设

研究构建了不同情境下的演化博弈模型,考虑智慧监管平台虚假信息披露的可能性、平台的风险预判能力和社会公众的参与行为对决策结果的影响。根据多元主体协同监管的分析情况,通过探究 3 方博弈主体行为的稳定状态,实现多元主体的资源互补。因此,提出以下假设。

假设 1:博弈参与主体为政府监管部门、药品生产经营企业、社会公众,且均处于有限理性状态。

假设 2:为了提高监管质量和监管效能,实现监管模式的创新和监管方式的升级,由政府监管部门主导搭建智慧监管平台。根据实际情况选择是否高效运维,政府监管部门博弈策略集合为{高效运维,低效运维}。政府监管部门开展高效运维

的概率为 x , 开展低效运维的概率为 $1 - x$, 满足条件 $x \in [0, 1]$ 。低效运维情景下政府监管部门的收益为 R_g , 运维成本为 C_g 。相比于低效运维, 高效运维成本将会增加 ΔC_g , 高效运维情景下政府监管部门的收益会增加 ΔR_g 。如果智慧监管平台风险控制能力和意识较低则不会实现风险的预判, 在平台运营中未预判到风险会给政府带来损失, 降低政府监管部门的收益。设定未预判到风险的概率为 β , 考虑预判风险后政府监管部门的收益为 $(1 - \beta)(R_g + \Delta R_g)$ 。如果智慧监管平台为了利益实施数据垄断将会虚假披露信息, 平台虚假披露信息的概率为 α , 政府监管部门为了激励药品生产经营企业接入平台会给予一定的奖励, 奖励额为 G 。

假设 3: 药品生产经营企业选择是否接入智慧监管平台, 药品生产经营企业的策略集合为 {接入, 不接入}, 药品生产经营企业选择接入策略是指企业接入智慧监管平台后享有平台提供的智慧监管和服务, 药品生产经营企业选择不接入策略是指企业考虑到标准化接入成本的压力选择自查、自管。接入智慧监管平台的概率为 y , 不接入的概率为 $1 - y$, 不接入时药品生产经营企业的收益为 R_m , 自查成本为 C_m 。接入智慧监管平台后收益会增加 ΔR_m , 相应的成本增加 ΔC_m 。如监管过程中发现异常事件, 药品生产经营企业未及时整改的概率为 λ , 积极整改后减少的成本为 $\lambda(C_m + \Delta C_m)$ 。

假设 4: 社会公众根据对医药行业的关注度和偏好选择是否参与监督, 社会公众的策略集合为 {参与监督, 不参与监督}, 社会公众选择不参与监督策略是指社会公众的关注度和偏好低, 责任意识较弱, 监督渠道较少, 反馈低效, 监督无方向。社会公众选择参与监督策略是指社会公众的关注度和偏好高, 责任意识较强, 监督渠道健全, 反馈高效, 监督有方向。参与监督的概率为 z , 不参与监督的概率为 $1 - z$ 。社会公众监督偏好系数为 ρ , 社会公众参与监督的收益为 R_s , 社会监督成本为 C_s 。如果社会公众参与监督, 政企对接将会获得良好的声誉, 增加相应收益为 αG , 且满足条件 $\alpha \in [0, 1]$ 。如果政府监管部门和药品生产经营企业对接意味着有助于推动药品监管实现共治格局, 这种情况下社会福利为 R_s , 若政府监管部门和药品生产经营企业不能实现对接, 损失的社会福利为 S 。当社会公众参与监督时收益为 $(1 - \rho)(R_s - S)$, 社会公众一旦发现虚假披露信息将会对平台处以一定的惩罚, 惩罚额度为 $(1 + \rho)\alpha G$ 。

二、智慧监管演化博弈模型构建

政府监管部门、药品生产经营企业和公众作为药品智慧监管的参与主体, 在形成社会共治之前, 在不断地博弈过程中探索最优的演化路径, 直至找到最终的稳定策略。因此, 基于问题描述和假设, 政府监管部门—药品生产经营企业—社会公众 3 方演化博弈的支付矩阵如表 1 所示。

表 1 3 方演化博弈的支付矩阵

策略组合	政府监管部门	药品生产经营企业	社会公众
(x, y, z)	$(1 - \beta)(R_g + \Delta R_g) - (C_g + \Delta C_g) - (1 - \alpha)G + \rho U - (1 + \rho)\alpha G$	$R_m + \Delta R_m - (1 - \lambda)(C_m + \Delta C_m) + \rho U + (1 - \alpha)G - (1 + \rho)\lambda C_m$	$R_s - C_s + (1 + \rho)[\alpha G + (1 - \lambda)(C_m + \Delta C_m)]$
$(x, y, 1 - z)$	$(1 - \beta)(R_g + \Delta R_g) - (C_g + \Delta C_g) - (1 - \alpha)G$	$R_m + \Delta R_m - (1 - \lambda)(C_m + \Delta C_m) + (1 - \alpha)G$	$R_s - [\alpha G + (1 - \lambda)(C_m + \Delta C_m)]$
$(x, 1 - y, z)$	$R_g - (1 + \rho)S - (C_g + \Delta C_g)$	$(R_m - C_m)(1 - \rho)$	$(1 - \rho)(R_s - S) - C_s + \rho(R_m - C_m)$
$(x, 1 - y, 1 - z)$	$R_g - S - (C_g + \Delta C_g)$	$R_m - C_m$	$R_s - S$
$(1 - x, y, z)$	$R_g - \rho R_g - C_g - (1 + \rho)S$	$R_m - (C_m + \Delta C_m)$	$(1 - \rho)(R_s - S) - C_s + \rho R_g$
$(1 - x, y, 1 - z)$	$R_g - C_g - S$	$R_m - (C_m + \Delta C_m)$	$R_s - S$
$(1 - x, 1 - y, z)$	$R_g - \rho R_g - C_g - (1 + \rho)S$	$(R_m - C_m)(1 - \rho)$	$(1 - \rho)(R_s - S) - C_s + \rho(R_g + R_m - C_m)$
$(1 - x, 1 - y, 1 - z)$	$R_g - C_g - S$	$R_m - C_m$	$R_s - S$

(一) 政府监管部门策略选择的稳定性分析

政府监管部门选择高效运维策略的期望收益用 E_{g1} 表示; 政府监管部门选择低效运维策略的期

望收益用 E_{g2} 表示; $\bar{E}_g$ 表示政府监管部门运维策略的平均期望收益。政府监管部门选择高效运维和低效运维的期望收益分别为:

$$E_{g1} = yz[(1-\beta)(R_g + \Delta R_g) - (C_g + \Delta C_g) - (1-\alpha)G + \rho U - (1+\rho)\alpha G] + y(1-z)[(1-\beta)(R_g + \Delta R_g) - (C_g + \Delta C_g) - (1-\alpha)G] + z(1-y)[R_g - (1+\rho)S - (C_g + \Delta C_g)] + (1-y)(1-z)[R_g - S - (C_g + \Delta C_g)]$$

$$E_{g2} = yz[R_g - \rho R_g - C_g - (1+\rho)S] + y(1-z)(R_g - C_g - S) + y(1-z)[R_g - \rho R_g - C_g - (1+\rho)S] + (1-y)(1-z)(R_g - C_g - S)$$

$$\text{政府监管部门的平均期望收益为: } \overline{E_g} = xE_{g1} + (1-x)E_{g2}$$

那么,政府监管部门做出策略选择的复制动态方程为:

$$F(x) = dx/dt = x(\overline{E_{g1}} - \overline{E_g}) = x(1-x)\{z\rho R_g - \Delta C_g - [z\alpha(1+\rho)G - z\rho(U+S) + (1-\alpha)G - S - \Delta R_g + \beta(R_g + \Delta R_g)]y\}$$

根据上式可知,当 $F(x) = 0$ 时,可以求得复制动态方程的根。令 $F(x) = 0$ 可知, $x_1 = 0, x_2 = 1, z^* = \frac{\Delta C_g - y[S + \Delta R_g - \beta(R_g + \Delta R_g) - (1-\alpha)G]}{\rho R_g - [\alpha(1+\rho)G - \rho(U+S)]y}$ 。

根据演化理论,政府监管部门达到稳定状态需要满足条件 $F(z) = 0$ 和 $F'(z) < 0$ 。

由此,对演化稳定点分以下两种情况进行讨论。

(1) 当 $z = z^*$ 时,满足 $F(x) \equiv 0$, 那么政府监管部门选择何种策略都是稳定的。

(2) 当 $z \neq z^*$ 时,分为两种情况,令 $H(y) = \rho R_g - [\alpha(1+\rho)G - \rho(U+S)]y$ 。

若 $H(y) > 0$, 当 $z > z^*$ 时,有 $F'(x)|_{x=0} > 0, F'(x)|_{x=1} < 0$, 此时 $x = 1$ 为演化的稳定点,政府监管部门选择高效运维策略。当 $z < z^*$ 时,有 $F'(x)|_{x=0} < 0, F'(x)|_{x=1} > 0$, 此时 $x = 0$ 为演化的稳定点,政府监管部门选择低效运维策略。

若 $H(y) < 0$, 当 $z > z^*$ 时,有 $F'(x)|_{x=0} < 0, F'(x)|_{x=1} > 0$, 此时 $x = 0$ 为演化的稳定点,政府监管部门选择低效运维策略。反之,则 $x = 1$ 为演化稳定点,政府监管部门选择高效运维策略。

(二) 药品生产经营企业策略选择的稳定性分析

药品生产经营企业选择接入策略的期望收益用 E_{m1} 表示;药品生产经营企业选择不接入策略的

期望收益用 E_{m2} 表示; $\overline{E_m}$ 表示药品生产经营企业平均期望收益。药品生产经营企业选择两种策略的期望收益分别为:

$$E_{m1} = xz[R_m + \Delta R_m - (1-\lambda)(C_m + \Delta C_m) + \rho U + (1-\alpha)G - (1+\rho)\lambda C_m] + (1-x)z[R_m - (C_m + \Delta C_m)] + x(1-z)[R_m + \Delta R_m - (1-\lambda)(C_m + \Delta C_m) + (1-\alpha)G] + (1-x)(1-z)[R_m - (C_m + \Delta C_m)]$$

$$E_{m2} = xz[(R_m - C_m)(1-\rho)] + (1-x)z[(R_m - C_m)(1-\rho)] + x(1-z)(R_m - C_m) + (1-x)(1-z)(R_m - C_m)$$

药品生产经营企业的平均期望收益为:

$$\overline{E_m} = yE_{m1} + (1-y)E_{m2}$$

药品生产经营企业做出策略选择的复制动态方程为:

$$F(y) = dy/dt = y(\overline{E_{m1}} - \overline{E_m}) = y(1-y)\{[(1-\alpha)G + \Delta R_m + \lambda(C_m + \Delta C_m)]x - [\lambda(1+\rho)(C_m + \Delta C_m) - Up]xz + (R_m - C_m)\rho z - \Delta C_m\}$$

当 $F(y) = 0$ 时,可以求得复制动态方程的根,令 $F(y) = 0$ 可知, $y_1 = 0, y_2 = 1, x^* = \frac{\Delta C_m - (R_m - C_m)\rho z}{(1-\alpha)G + \Delta R_m + \lambda(C_m + \Delta C_m) - [\lambda(1+\rho)(C_m + \Delta C_m) - Up]z}$ 。

根据演化理论,社会公众达到稳定状态需要满足条件 $F(y) = 0$ 和 $F'(y) < 0$ 。

由此,对演化稳定点分以下两种情况讨论。

(1) 当 $x = x^*$ 时,满足演化稳定条件 $F(y) \equiv 0$, 那么药品生产经营企业选择何种策略都是稳定的。

(2) 当 $x \neq x^*$ 时,分为两种情况,令 $H(z) = (1-\alpha)G + \Delta R_m + \lambda(C_m + \Delta C_m) - [\lambda(1+\rho)(C_m + \Delta C_m) - Up]z$ 。

若 $H(z) > 0$, 当 $x > x^*$ 时,有 $F'(y)|_{y=0} > 0, F'(y)|_{y=1} < 0$, 此时 $y = 1$ 为演化的稳定点,药品生产经营企业选择接入策略。当 $x < x^*$ 时,有 $F'(y)|_{y=0} < 0, F'(y)|_{y=1} > 0$, 此时 $y = 0$ 为演化的稳定点,药品生产经营企业选择不接入策略。

若 $H(z) < 0$, 当 $x < x^*$ 时,有 $F'(y)|_{y=0} > 0, F'(y)|_{y=1} < 0$, 此时 $y = 1$ 为演化的稳定点,同

理,当 $x > x^*$ 时, $y = 0$ 为演化稳定点,药品生产经营企业选择自我控制和督查。

(三)社会公众策略选择的稳定性分析

社会公众选择参与监督策略的期望收益用 E_{s1} 表示;社会公众选择不参与监督策略的期望收益用 E_{s2} 表示; $\bar{E}_s$ 表示社会公众平均期望收益。社会公众选择参与和不参与策略的期望收益分别为:

$$E_{s1} = xy\{R_s - C_s + (1 + \rho)[\alpha G + (1 - \lambda)(C_m + \Delta C_m)]\} + x(1 - y)[(1 - \rho)(R_s - S) - C_s + \rho(R_m - C_m)] + (1 - x)y[(1 - \rho)(R_s - S) - C_s + \rho R_g] + (1 - x)(1 - y)[(1 - \rho)(R_s - S) - C_s + \rho(R_g + R_m - C_m)]$$

$$E_{s2} = xy\{R_s - [\alpha G + (1 - \lambda)(C_m + \Delta C_m)]\} + x(1 - y)(R_s - S) + (1 - x)y(R_s - S) + (1 - x)(1 - y)(R_s - S)$$

社会公众的平均期望收益为:

$$\bar{E}_s = zE_{s1} + (1 - z)E_{s2}$$

社会公众做出策略选择的复制动态方程为:

$$F(z) = dz/dt = y(E_{s1} - \bar{E}_s) \\ = z(1 - z)\{[(2 + \rho)(1 - \lambda)(C_m + \Delta C_m) + \alpha(2G + \rho) + (R_s - S)\rho]xy - \rho R_g x + \rho(R_m - C_m)(1 - y) + \rho(R_g - R_s + S) - C_s\}$$

当 $F(z) = 0$ 时,可以求得复制动态方程的根,令 $F(z) = 0$ 可知, $z_1 = 0$, $z_2 = 1$, $y^* = \frac{C_s + \rho R_g x - \rho(R_m - C_m + R_g - R_s + S)}{\rho(R_m - C_m) - [(2 + \rho)(1 - \lambda)(C_m + \Delta C_m) + \alpha(2G + \rho) + (R_s - S)\rho]x}$ 。根据演化理论,社会公众达到稳定状态需要满足条件 $F(z) = 0$ 和 $F'(z) < 0$ 。

由此,对演化稳定点分以下两种情况进行讨论。

(1)当 $y = y^*$ 时,此时满足 $F(z) \equiv 0$,那么社会公众选择何种策略都是稳定的。

(2)当 $y \neq y^*$ 时,分为两种情况,令 $H(x) = \rho(R_m - C_m) - [(2 + \rho)(1 - \lambda)(C_m + \Delta C_m) + \alpha(2G + \rho) + (R_s - S)\rho]x$ 。

若 $H(x) > 0$,当 $y < y^*$ 时,有 $F'(z)|_{z=0} < 0$, $F'(z)|_{z=1} > 0$,此时 $z = 0$ 为演化的稳定点,社会公众选择消极参与策略。当 $y > y^*$ 时,有 $F'(z)|_{z=0} > 0$, $F'(z)|_{z=1} < 0$,此时 $z = 1$ 为演化的稳定点,社会公众选择积极参与策略。

若 $H(x) < 0$,当 $y < y^*$ 时,有 $F'(z)|_{z=0} > 0$, $F'(z)|_{z=1} < 0$,此时 $z = 1$ 为演化的稳定点,社会公众选择积极参与策略。反之 $y > y^*$ 时, $z = 0$ 为演化的稳定点,社会公众的参与积极性和广泛性降低。

三、智慧监管演化仿真分析

研究采用 MATLAB R2021a 进行数值仿真与分析,结合具体参数设置情况,通过直观展示来验证演化稳定性分析的有效性和准确性。为了探究政府监管部门选择何种运维策略以及智慧平台虚假信息披露的可能性等因素对演化结果的影响,分别解析 α 、 β 、 ρ 对博弈主体演化过程和演化行为的影响,得到智慧监管主体 3 方博弈演化的稳定策略。

(一)智慧平台虚假披露信息情况对 3 方演化稳定策略的影响

智慧平台虚假披露信息概率 α 分别取 0.1、0.2、0.3、0.4,表示智慧平台虚假披露信息的概率从低到高的情况。三方参与者的演化结果如图 1~图 3 所示。

由图 1 可知,当智慧平台虚假披露信息的概率 α 小于 0.3 时,政府监管部门逐渐演化为高效运维策略,但当虚假披露信息的概率高于阈值时,政府监管部门的演化稳定策略从高效运维转变为低效运维。而且随着智慧平台虚假披露信息概率的增加,政府监管部门演化为高效运维的速度变慢,说明降低智慧平台虚假披露信息概率有利于政府监管部门实现高效运维,政府监管部门可以通过平台治理来提高信息披露的质量和正确率,提升政府监管部门的声誉。图 2 表示随着智慧平台虚假披露信息概率的提高,药品生产经营企业演化为接入策略的速度越来越慢,但最终依然会选择接入策略,说明改变智慧平台虚假披露信息概率不会对药品生产经营企业演化策略产生很大的影响。图 3 表示只要政府监管部门存在智慧平台虚假披露信息的情况,社会公众都比较倾向于选择积极参与策略。随着智慧平台虚假披露信息概率的提高,社会公众演化为参与策略的速度越快。由此可见,智慧监管平台的可信度越高,政府监管部门越倾向于选择高效运维策略,越有利于监管主体协同共治模式的形成。所以,药品监管的利

益相关者应尽快形成共治格局,发挥监管主体责任,提高平台的数据治理能力,确保反馈信息的及时性和透明性,提高药品安全治理能力。

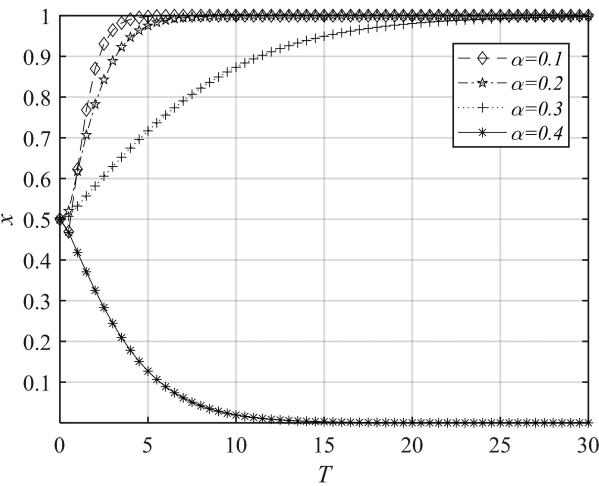


图1 不同信息披露情境下政府监管部门行为的演化轨迹

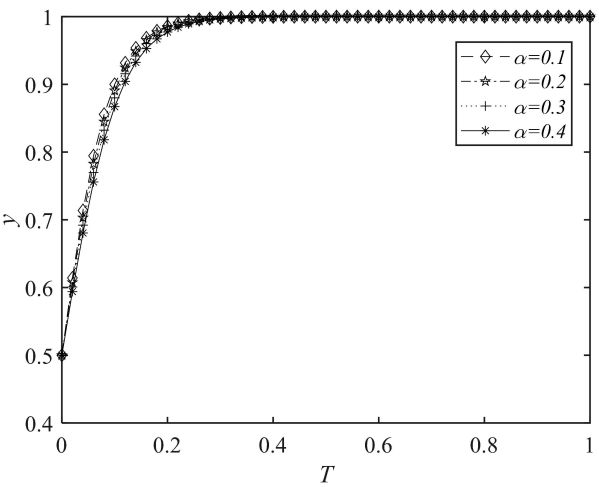


图2 不同信息披露情境下药品生产经营企业行为的演化轨迹

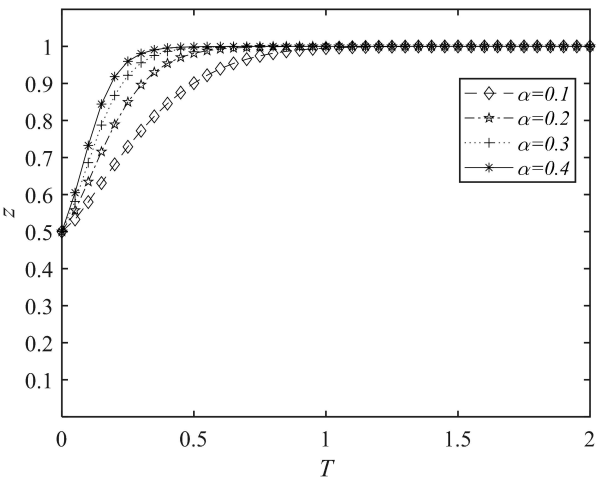


图3 不同信息披露情境下社会公众行为的演化轨迹

(二) 风险预判能力对3方演化稳定策略的影响

智慧监管平台未预判风险的概率 β 分别取0.1、0.2、0.4、0.6,表示智慧监管平台风险预判能力不断的降低。3方博弈演化仿真结果如图4~图6所示。

由图4可知,当 $\beta < 0.2$ 时,智慧平台未预判风险的概率较低,风险失控的可能性较低,政府监管部门更愿意选择高效运维策略。随着智慧平台未预判风险概率的增加,政府监管部门选择高效运维策略的速度变慢,但最终仍然会选择高效运维策略。当 $\beta > 0.4$ 时,政府监管部门选择高效运维策略的概率先增加后降低,随着智慧平台未预判风险发生概率的增加,政府监管部门的监测风险增加,为了减少政府监管部门支出,最后演化为低效运维策略。说明提高智慧平台风险预判能力有利于政府监管部门采取高效运维策略。在监管过程中应该积极地将物联网、大数据分析等技术融入监管模式中,助力平台实现自动分析和研判、风险等级评估、及时预警,提高平台风险预判能力,实现全流程动态监管。风险预判能力对药品生产经营企业策略选择的影响结果如图5所示。当 $\beta < 0.2$ 时,智慧平台未预判风险的概率较低,平台对风险的预判能力较强,药品生产经营企业更愿意选择接入策略。随着智慧平台未预判风险发生概率的增加,选择接入策略的速度变慢,但对于药品生产企业来说依然会选择接入策略。当 $\beta > 0.4$ 时,药品生产经营企业选择接入策略的概率先增加后降低,随着智慧平台未预判风险发生的概率增加,智慧平台无法及时捕捉到风险发生的可能性,最终演化为选择不接入策略。说明提高智慧平台风险预判的能力能够吸引药品生产经营企业积极接入,提高企业对未知风险的防范和处置能力。由图6可知,当 β 分别取0.1、0.2时,智慧平台实现风险预判的能力较高,能及时预测到风险发生的可能性,为了获取更为安全、有效的药品,社会公众更愿意选择参与监督策略。当 β 分别取0.4、0.6时,随着智慧平台未预判风险发生概率的增加,社会公众选择不参与

监管策略的速度变快。当 $\beta > 0.4$ 时,社会公众选择参与监督策略的概率先增加后降低,随着智慧平台未预判风险发生概率的增加,无法提供精准预判服务和保障价值,降低了社会公众参与监督的积极性,最终社会公众选择不参与策略。由此可见,在阈值范围内,提高智慧平台风险预判的概率,有助于政府监管部门选择高效的运维策略,增强企业接入智慧平台的能动性,鼓动社会公众参与的积极性。所以,对于监管主体来说,应该尽快完善智慧平台管理体系和功能建设,落实企业的主体责任,形成“政府+企业+公众”多元协同的有效监管局面,增强政企之间的数据共享,提高智慧平台对风险预判的可能性和准确性。

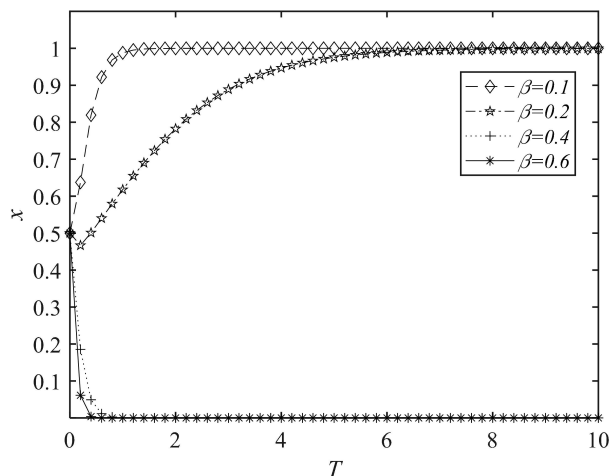


图4 风险预判能力对政府监管部门策略选择的影响

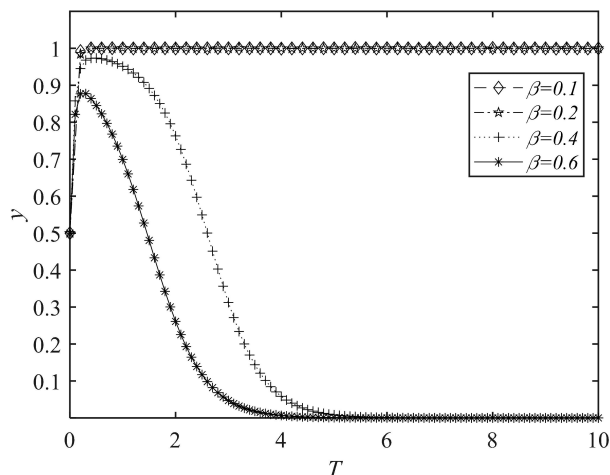


图5 风险预判能力对药品生产经营企业策略选择的影响

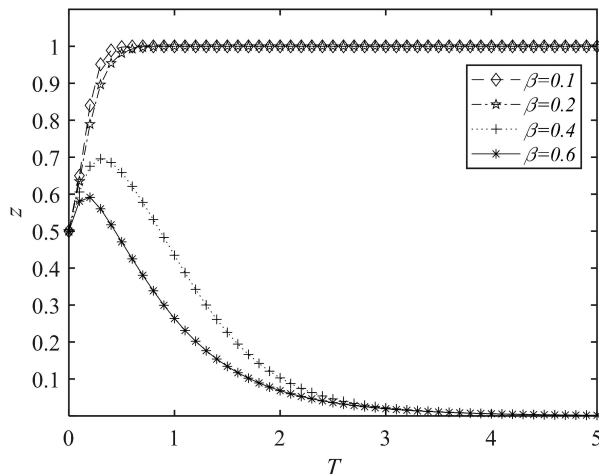


图6 风险预判能力对社会公众策略选择的影响

(三) 社会公众监督偏好对3方演化稳定策略的影响

社会公众的监督偏好系数 ρ 分别取0.1、0.15、0.2、0.25、0.3,表示社会公众对监管的偏好不断增加。不同的社会公众监督偏好情境下,三方参与主体的动态演化结果如图7~图9所示。

由图7可知,当社会公众的监督偏好 ρ 分别取0.1、0.15时,社会公众的关注度较低,政府监管部门实施高效智慧监管的积极性较低,逐步演化为低效运维策略。当 ρ 分别取0.2、0.25、0.3时,随着社会公众监督偏好的提高,虚假信息披露的风险和治理成本增加,政府监管部门为提高声誉会积极推进监管模式的创新,最终选择高效运维策略。随着社会公众关注度的增加,政府监管部门选择高效运维策略的演化速度变快。在不同的社会公众偏好下,药品生产经营企业的演化轨迹如图8所示。当 ρ 为0.1、0.15的情况下,社会公众的监督偏好较低,企业为了追求更高的收益,为了控制监管技术的成本投入企业会更加偏向于选择不接入策略。另外,社会公众的监督偏好系数越低,药品生产经营企业越倾向于选择不接入策略。当 ρ 高于0.2时,社会公众的关注度增加,企业为了避免由于信用危机造成的声誉损失,会选择与政府部门实施联合监管,此时药品生产经营企业则会选择接入策略,更有利于联合利益相关者形成共建、共治格局,实施智慧化监管。图9表示,当 ρ 分别取0.1、0.15时,社会公众更愿意选择不参与

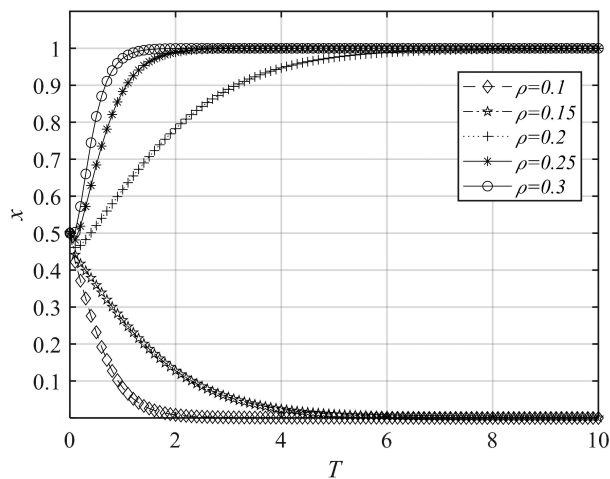


图 7 不同情境下政府监管部门的动态演化趋势

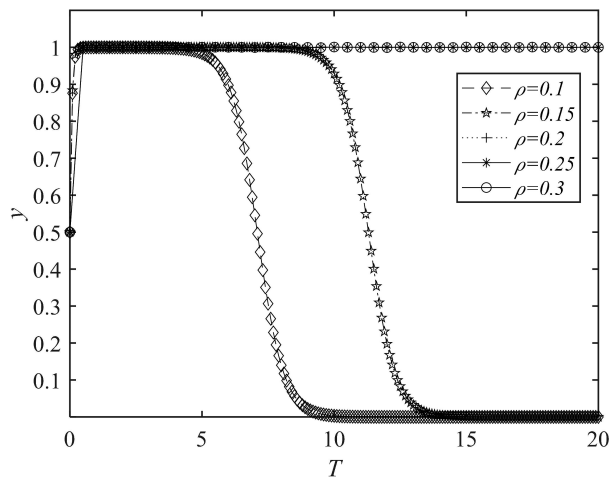


图 8 不同情境下药品生产经营企业的动态演化趋势

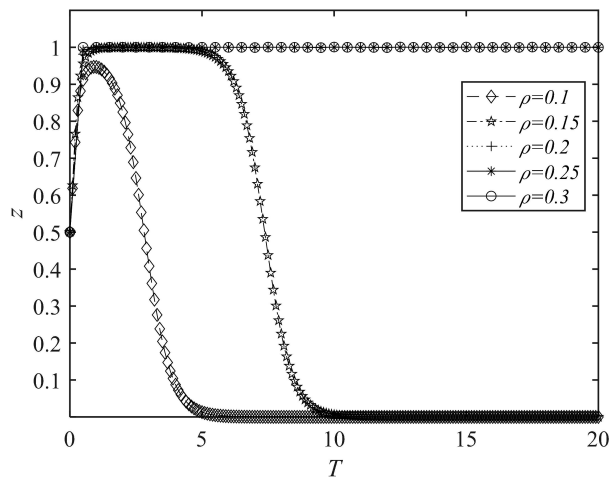


图 9 不同情境下社会公众的动态演化趋势

监督策略。当 ρ 高于 0.2 时,社会公众对药品监管问题的关注增加,选择参与监管策略。说明随着社会公众监督偏好的增加,能够督促政府部门和

企业加强监管力度。所以,多元共治格局的形成需要强化社会公众的监督责任感和主体意识,应该尽快完善社会公众参与监督的激励机制,凝聚社会力量推动监管活动的公开化、透明化。

四、结论与建议

(一) 结论

首先,智慧监管平台的可信度越高(即智慧平台虚假披露信息概率 $\alpha < 0.3$),政府监管部门越倾向于选择高效运维策略。

其次,在阈值范围内(满足 $\beta < 0.2$),提高智慧平台风险预判的能力,有助于政府监管部门选择高效的运维策略,增强企业接入智慧平台的能动性,激发社会公众参与监管活动的意愿。

最后,当 $\rho > 0.2$ 时,有助于打造由政府监管部门、药品生产经营企业和社会公众组成的 3 方利益共同体,说明提高社会公众参与监督的能动性有利于推动协同共治监管格局的形式。

(二) 建议

第一,充分利用大数据、物联网等现代化技术,构建规范化、科学化、高效化、智能化的药品智慧监管平台。加强药品智慧监管平台的空间治理,明确各监管主体的责任,建立多元主体互联互通的治理体系,促进政府监管部门、企业和社会公众多元主体深度协同治理。充分发挥政府监管部门的主导作用,严厉打击平台虚假披露信息的行为,提高智慧平台的透明度和可信度,以信息技术赋能药品流通监管,增强平台信息披露的质量和正确率,例如挖掘数据价值、开展深度搜索、事实求证等。推动药品流通行业的规范化发展,强化技术与业务的融合,推动药品监管业务向科学化、创新化、高效化、智慧化发展。

第二,完善智慧平台管理体系和功能建设,落实药品智慧监管的主体责任。加快形成由政府监管部门、企业、社会公众组成的多方位监管局面,增强政企之间的数据共享,提高智慧平台对风险预判的可能性和准确性,确保反馈信息的及时性和透明性,推动药品安全治理的网络化、智慧化、高效化发展。以药品智慧监管平台为“中枢大

脑”,充分运用数据的识别、采集和处理技术实施监管节点的检查、控制和分析,促进数据的智慧化处理和价值转化,实时掌握和控制药品供应的关键点、风险点、痛点和薄弱环节,提高药品智慧监管平台的风险预判和应急预警的能力,有效增强药品监管能力的现代化。

第三,依托智慧监管平台尽快构建药品监管共同体,提高政府监管部门和非政府监管部门响应速度。增强政府监管部门的权威性与公信力,提升企业的信誉和品牌形象。完善社会公众的反馈和奖励机制,强化社会公众参与药品监管的深度,提升社会公众的监督意识和主体责任感,激发社会公众参与监督的积极性、广泛性和长效性。拓宽社会公众参与渠道,提高药品监管的透明度、认可度。鼓励政府监管部门、药品生产经营企业和社会公众共建平台、共享数据、共创资源,推动药品智慧监管利益相关者达成共治格局,进而提高药品安全智慧化管理水平和监管效能。

参考文献:

- [1] 郁建兴,朱心怡,高翔. 政府职能转变与市场监管治理体系构建的共同演进逻辑:基于疫苗监管治理体系及应对危机事件的案例研究[J]. 管理世界, 2020, 36(2): 7-16, 214.
- [2] 闫志华,唐锡晋. 基于演化博弈的药品质量安全监管“人理”分析[J]. 管理评论, 2021, 33(5): 64-75.
- [3] 李实,杨一心. 面向共同富裕的基本公共服务均等化:行动逻辑与路径选择[J]. 中国工业经济, 2022(2): 27-41.
- [4] NAMI N, HOSSEINI-MOTLAGH S M. A central robust decision-making structure for reverse supply chain: a real pharmaceutical case [J]. Computers & industrial engineering, 2022, 108726.
- [5] CHEN X, LI S, WANG X. Evaluating the effects of quality regulations on the pharmaceutical supply chain[J]. International journal of production economics, 2020(230): 107770.
- [6] KRUISZ J, RWHRL J, FAULHAMMER E, et al. Material tracking in a continuous direct capsule-filling process via residence time distribution measurements[J]. International journal of pharmaceutics, 2018(550): 347-358.
- [7] ZHOU X, ZHU Q, XU Z. The mediating role of supply chain quality management for traceability and performance improvement: evidence among Chinese food firms [J]. International journal of production economics, 2022, 254.
- [8] BURCHAM C L, FLORENCE A J, JOHNSON M D. Continuous manufacturing in pharmaceutical process development and manufacturing [J]. Annual review of chemical and biomolecular, 2018(9): 253-281.
- [9] ANG K L, SAW E T, HE W, et al. Sustainability framework for pharmaceutical manufacturing (PM): a review of research landscape and implementation barriers for circular economy transition[J]. Journal of cleaner production, 2021(280): 124264.
- [10] SABOUHI F, PISHVAEE M S, JABALAMELI M S. Resilient supply chain design under operational and disruption risks considering quantity discount: a case study of pharmaceutical supply chain[J]. Computers & industrial engineering, 2018(126): 657-672.
- [11] FRANCO C, ALFONSO-LIZARAZO E. Optimization under uncertainty of the pharmaceutical supply chain in hospitals[J]. Computers & chemical engineering, 2020, 135.
- [12] STOSCH M V, RUI M P, VARSAKELIS C. A roadmap to AI-driven in silico process development: bioprocessing 4.0 in practice [J]. Current opinion in chemical engineering, 2021, 33.
- [13] LIU S, PAPAGEORGIOU L G, SHAH N. Optimal design of low-cost supply chain networks on the benefits of new product formulations[J]. Computers & industrial engineering, 2020, 139.
- [14] CHEN X, YANG H, SONG X, et al. Integrated and dual-responsive lipopeptide nanovector with parallel effect to tumor and micro-environment regulation by efficient gene and drug co-delivery[J]. Chinese chemical letters, 2022, 207753.
- [15] SAFKHANI M, ROSTMPOUR S, BENDAVID Y, et al. IoT in medical & pharmaceutical: designing lightweight RFID security protocols for ensuring supply chain integrity [J]. Computer networks, 2020(181): 107558.
- [16] ABBASI S, SABOURY A, JABALAMELI M S. Reliable supply chain network design for 3PL providers using consolidation hubs under disruption risks considering product perishability: an application to a pharmaceutical distribution network [J]. Computers & industrial engineering, 2021(152): 107019.
- [17] GANESH S, SU Q, LE B, et al. Design of condition-based maintenance framework for process operations management in pharmaceutical continuous manufacturing [J]. International journal of pharmaceutics, 2020: 119621.

(下转第 214 页)

治理如何影响企业风险承担? [J]. 上海财经大学学报, 2022, 24(2): 78-93.

[17] 黄泽悦, 罗进辉, 李向昕. 中小股东“人多势众”的治理效应: 基于年度股东大会出席人数的考察[J]. 管理世界, 2022, 38(4): 159-185.

[18] 姜付秀, 马云飙, 王运通. 退出威胁能抑制控股股东私利行为吗? [J]. 管理世界, 2015(5): 147-159.

[19] 陈克兢, 康艳玲, 万清清, 等. 外部大股东能促进企业创新吗: 基于退出威胁视角的实证分析[J]. 南开管理评论, 2021, 24(3): 202-214.

[20] LI F, JIANG Y. Institutional investor networks and crash risk: evidence from China [J]. Finance research letters, 2022 (47): 102627.

[21] 田昆儒, 游竹君. 同路合谋还是同舟共济: 非控股股东网络权力与股价崩盘风险[J]. 当代财经, 2021(6): 138-148.

[22] 刘健, 刘春林. 不确定性下关联股东网络的并购经验与并购绩效研究[J]. 南开管理评论, 2016, 19(3): 4-17.

[23] 李善民, 黄灿, 史欣向. 信息优势对企业并购的影响: 基于社会网络的视角[J]. 中国工业经济, 2015(11): 141-155.

[24] 吕长江, 韩慧博. 业绩补偿承诺、协同效应与并购收益分配[J]. 审计与经济研究, 2014, 29(6): 3-13.

[25] BROOKS C, CHEN Z, ZENG Y. Institutional cross-ownership and corporate strategy: the case of mergers and acquisitions [J]. Journal of corporate finance, 2018 (48): 187-216.

[26] 吴炯, 王飞飞. 社会嵌入背景下家族企业接班人与高管团队的关系协调: 基于跨代创业的案例分析[J]. 南开管理评论, 2022, 25(1): 39-51.

[27] 刘新争, 高闯. 机构投资者抱团能抑制控股股东私利行为吗?: 基于社会网络视角的分析[J]. 南开管理评论, 2021(4): 1-26.

[28] 郑国坚, 蔡贵龙, 卢昕. “深康佳”中小股东维权: “庶民的胜利”抑或“百日维新”: 一个中小股东参与治理的分析框架[J]. 管理世界, 2016(12): 145-158, 188.

[29] CHEN T, HARFORD J, LIN C. Do analysts matter for governance? Evidence from natural experiments [J]. Journal of financial economics, 2015, 115(2): 383-410.

[30] 汪平, 邹颖, 兰京. 异质股东的资本成本差异研究: 兼论混合所有制改革的财务基础[J]. 中国工业经济, 2015(9): 129-144.

[31] 张明喜. 建立健全多元化科技投入体系[J]. 中国科技论坛, 2020(9): 7-9.

(本文责编: 辛 城)

(上接第 177 页)

[18] 徐伟呈, 周田, 郑雪梅. 数字经济如何赋能产业结构优化升级: 基于 ICT 对三大产业全要素生产率贡献的视角[J]. 中国软科学, 2022(9): 27-38.

[19] 张欣, 董竹. 数字化转型与企业技术创新: 机制识别、保障条件分析与异质性检验[J]. 经济评论, 2023(1): 3-18.

[20] 杨善林, 范先群, 丁帅, 等. 医联网与智慧医疗健康管理[J]. 管理科学, 2021, 34(6): 71-75.

[21] DESTOR F, BAROLO M. A review on the modernization of pharmaceutical development and manufacturing-Trends, perspectives, and the role of mathematical modeling [J]. International journal of pharmaceutics, 2022, 620(25).

[22] PRAJWAL A T, MUDDUKRISHNA B S, VASANTHARAJU S G. Pharma 4.0-impact of the internet of things on health care [J]. International journal of applied pharmaceutics, 2020, 12(5): 64-69.

[23] CASAS-OROZCO D, LAKY D, WANG V, et al. PharmaPy: An object-oriented tool for the development of hybrid pharmaceutical flowsheets[J]. Computers & chemical

engineering, 2021(153): 107408.

[24] 刘志成, 臧跃茹. 构建现代市场监管体系: 现实基础、改革方向与推进思路[J]. 宏观经济研究, 2021(8): 5-16, 27.

[25] 赵月华, 朱思成, 苏新宁. 面向网络虚假医疗信息的识别模型构建研究: 一种基于预训练的 BERT 模型[J]. 情报科学, 2021, 39(12): 165-173.

[26] HONG W, MAO J, WU L, et al. Public cognition of the application of blockchain in food safety management: data from China's Zhihu platform [J]. Journal of cleaner production, 2021, 303(14): 127044.

[27] HUTTON A, SHU S, ZHENG X. Regulatory transparency and the alignment of private and public enforcement: Evidence from the public disclosure of SEC comment letters [J]. Journal of financial economics, 2022, 145(1): 297-321.

(本文责编: 海 洋)