

要素投入效率背景下药品质量监管的演化博弈

李永建¹ 张利² 乙冉²

1. 江苏暨明医药科技有限公司 江苏连云港 222000

2. 江苏恒瑞医药股份有限公司 江苏连云港 222000

摘要: 为提升市场流通的药品质量、维护制药行业的市场安全、促进药品供应链的稳定运行,文章在要素投入效率背景下对药品质量监管的演化博弈展开分析,通过政府及药品供应链的博弈关系进行质量监管博弈模型假设,再根据假设内容建立政府-药品原材料供应商-药品生产商间混合策略博弈模型,最后根据混合策略博弈模型进行三项推论。

关键词: 要素投入效率; 药品质量监管; 演化博弈模型

Evolutionary game of drug quality regulation under the background of factor input efficiency

Yongjian Li¹, Li Zhang², Ran Yi²

1. Jiangsu Jiming Pharmaceutical Technology Co., Ltd.

2. Jiangsu Hengrui Pharmaceutical Co., Ltd. Lianyungang 222000, Jiangsu, China

Abstract: To improve the quality of drugs circulating in the market, maintain the market safety of the pharmaceutical industry, and promote the stable operation of the drug supply chain, this paper analyzes the evolutionary game of drug quality regulation under the background of factor input efficiency. Based on the game relationship between the government and the drug supply chain, the quality regulation game model was assumed, and then a mixed strategy game model between the government, drug raw material supplier, and drug manufacturer was established according to the hypothesis. Finally, three inferences were made according to the mixed strategy game model.

Keywords: Factor input efficiency; Drug quality control; Evolutionary game model

引言

要素投入效率就是产量和投入量的比率,指单位生产要素投入量所生产的商品和劳务,即产量和投入量的比率,生产要素的效率是影响经济增长质量的关键,生产要素的效率包括单个生产要素的效率和全要素生产率^[1]。在要素投入效率背景下的药品供应链呈现多层次状态,包括药品原材料供应商、药品生产商、药品零售商和患者四个层级,其中药品原材料供应商、药品生产商和药品零售商属于上层供应链,这三个层级任何一级主体减少或者未采取质量投入都会对下层供应链(患者)的安全造成巨大打击,不仅会危害人民生命安全,还会引发严重的社会问题,所以需要政府融入药品供应链作为宏观调控主体,监管药品市场的稳定运行^[2]。本研究旨在为我国药品供应链的稳定、安全、可持续发展提供助力。

一、质量监管博弈模型假设

1.1 药品供应链博弈关系

药品供应链分为政府、原材料供应商、药品生产商、

药品零售商和患者五个主体^[3],其中政府属于上游的宏观调控主体,能够对原材料供应商、药品生产商和药品零售商进行严格监管;原材料供应商、药品生产商和药品零售商属于中游供应链主体,是进行药品质量投入监管的对象,三个中游供应链主体间还存在向上举报的关系,例如药品生产商可以通过自身掌握的药品原材料供应商质量投入和获利信息,对药品原材料供应商发起举报;患者属于下游供应链主体,由药品零售商对接,是政府了解市场状况、制定调节政策的主要观测对象,具体药品供应链博弈关系图如图1所示。



图1 药品供应链博弈关系图

1.2 博弈模型假设

根据药品供应链博弈关系,三个循环主体可以建立一个博弈模型^[4]。由此可以得到三个博弈模型,包括政府-药品原材料供应商-药品生产商、政府-药品生产

商—药品零售商、政府—药品零售商—患者，分别可以分析源头处、运行中、中断处的政府调控措施^[5]。文章选取政府—药品原材料供应商—药品生产商间混合策略博弈模型，分析药品供应链源头处的博弈关系和政府调控措施，建立该博弈模型需要进行以下假设：

(1) 默认药品供应链上的所有主体均是中性风险个体（理性经纪人），在三方主体博弈过程中均以自身利益最大化为最终目标，由此可以分析极值状态下的最不理想状态^[6]。

(2) 假设药品原料供应商的质量投入概率为 q_s ，当药品原料供应商的质量投入增加时，药品质量提升；药品原料供应商不进行质量投入的概率为 $(1-q_s)$ ，当药品原料供应商的质量投入减少时，药品质量下降（药品质量不合格）^[7]。同时假设药品原料供应商的质量投入收益为 R_s 、药品生产商的质量投入收益为 R_p ；药品原料供应商未进行质量投入的收益为 V_s 、药品生产商未进行质量投入的收益为 V_p ，其中 $V_s > R_s$ 、 $V_p > R_p$ 。

(3) 假设政府对药品供应链中游主体进行严格监管的概率为 P_{gs} ，则政府对药品供应链中游主体进行宽松监管的概率为 $(1-P_{gs})$ 。在严格监管的状态下，政府对药品原材料供应商的处罚额为 F_s ，严格监管过程中造成的监管成本为 C_g ；在宽松监管的状态下，药品质量必然会下降，政府收到的药品质量举报会相应增加，由此受到的政府公信力损失为 Ψ_g 。

(4) 假设药品生产商发现药品原材料供应商质量不合格后选择举报的收益为 0 ，不选择举报收益保持为 0 ，但存在罚款的危险。所以药品生产商选择举报药品原材料供应商的概率为 n_p ，不举报的概率为 $(1-n_p)$ ，举报成本为 C ，举报后得到的政府奖励为 A_p 。

二、质量监管博弈模型构建

2.1 政府—药品原材料供应商—药品生产商间混合策略博弈模型

药品供应链源头的交易主体行为策略对整个供应链系统具有重要影响，构建政府、药品原材料供应商、药品生产商三方混合策略博弈模型，如表 1 所示：

表 1 政府—药品原材料供应商—药品生产商间混合策略博弈模型

供应商行为	政府对供应商严格监管 P_{gs}	政府对供应商宽松监管 $1-P_{gs}$	
		生产商举报 n_p	生产商不举报 $1-n_p$
投入 q_s	R_s/C_g	R_s $-C$ $-C_g-\Psi_g$	R_s R_p 0
不投入 $1-q_s$	V_s-F_s/F_s-C_g	$-F_s$ A_p-C $F_s-C_g-A_p-\Psi_g$	V_s R_p-F_p 0

根据表 1 的博弈模型得出药品原材料供应商期望收益函数 E_s ；药品生产商期望收益函数 E_p ；政府期望收益函数 E_{gs} 如公式（1）~公式（3）：

$$E_s = q_s R_s + (1-q_s) P_{gs} (V_s - F_s) + (1-q_s) (1-P_{gs}) [n_p (-F_s) + (1-n_p) V_s]$$

公式（1）

$$E_p = q_s n_p (-C) + q_s (1-n_p) R_p + (1-q_s) n_p (A_p - C) + (1-q_s) (1-n_p) (R_p - F_p)$$

公式（2）

$$E_{gs} = q_s P_{gs} (-C_g) + q_s (1-P_{gs}) n_p (-C - \Psi_g) + (1-q_s) P_{gs} (F_s - C_g) + (1-q_s) (1-P_{gs}) n_p (F_s - C_g - A_p - \Psi_g)$$

公式（3）

联立 $\rho E_s / \rho q_s = 0$ ， $\rho E_p / \rho n_p = 0$ ， $\rho E_{gs} / \rho P_{gs} = 0$ ，求解供应商增加质量投入 q_s^* 、药品生产商举报概率 n_p^* 和政府对于药品原材料供应商进行严格监管的概率 P_{gs}^* 如公式（4）~公式（6）所示：

$$q_s^* = 1 - (C + R_p) / (A_p + F_p) \quad \text{公式（4）}$$

$$n_p^* = (V_s - R_s - P_{gs} F_s) / [(1 - P_{gs})(F_s + V_s)] \quad \text{公式（5）}$$

$$P_{gs}^* = [(V_s - R_s) - n_p (F_s + V_s)] / [F_s - n_p (F_s + V_s)] \quad \text{公式（6）}$$

三、质量监管博弈模型推论及分析

3.1 推论一

根据政府—药品原材料供应商—药品生产商间混合策略博弈模型可以得知，在三方主体博弈保持稳定的状态下，政府增大对药品原材料供应商的处罚 F_p 和增大药品生产商的举报奖励 A_p ，可以提升药品原材料供应商增大药品原材料质量投入的概率 q_s^* ；药品生产商不举报药品原材料供应商，并保持交易的收益 R_p 增大或者举报成本 C 增加，会减少药品原材料供应商增大药品原材料质量投入的概率 q_s^* 。

根据公式（4）可以得知，供应商增加质量投入 q_s^* 受 C 、 R_p 、 A_p 和 F_p 的影响，进而可以通过一阶偏导数得出不同影响因素的变化关系，即 q_s^* 与 A_p 呈正相关关系； R_p 和 C 呈负相关关系。

推论一证明在要素投入效率背景下，政府可以通过颁布奖金激励政策，提升不法生产商的举报率，相应可以提升不法生产商的罚款金额，做到在博弈平衡中对不法生产商造成打击，将药品质量问题遏制在源头。需要注意的是政府应当根据不法生产商的实际获利情况判定处罚力度和处罚范围，获利越多，处罚力度越大。

3.2 推论二

根据政府—药品原材料供应商—药品生产商间混合策略博弈模型可以得知，在三方主体博弈暂时稳定的状态下，如果药品原材料供应商增加药品质量投入，会导致收益 R_s 减少，药品生产商举报概率 n_p^* 减小；如果药品原材料供应商增加药品质量投入，会导致收益 R_s 增大，药品生产商举报概率 n_p^* 增大。

根据公式(5)可以得知,药品生产商举报概率 n_p^* 增受 $(V_s-R_s-P_{gs}F_s)$ 、 $(1-P_{gs})$ 和 (F_s+V_s) 的影响,进而可以通过一阶偏导数得出不同影响因素的变化关系,即 n_p^* 关于 R_s 单调递减;关于 (V_s-R_s) 单调递增。

推论二证明当生产商明确供应商的实际获利较大时,生产商举报供应商不法获利的概率较大;当生产商明确供应商的质量投入较大时,生产商举报供应商不法获利的概率较小。所以政府应当根据供应商的投机收益合理区间规划处罚力度,避免生产商的举报策略受了解信息完整性的影响,进而增强“举报、处罚、优化”整体博弈闭环的精确度。

3.3 推论三

根据政府—药品原材料供应商—药品生产商间混合策略博弈模型可以得知,政府对药品原材料供应商进行严格监管的概率 P_{gs}^* ,会导致药品原材料供应商收益 R_s 下降。并且当 $F_s > n_p R_s / (1-2n_p)$ 时, P_{gs}^* 与 (V_s-R_s) 呈正相关关系。

根据公式(6)可以得知,政府对药品原材料供应商进行严格监管的概率 P_{gs}^* 受 (V_s-R_s) 、 n_p 、 (F_s+V_s) 和 F_s 的影响,进而可以通过一阶偏导数得出不同影响因素的变化关系,即 P_{gs}^* 关于 R_s 单调递减; P_{gs}^* 与 (V_s-R_s) 成正相关关系。

推论三证明在政府与供应商的博弈过程中,应当全面考量供应商的质量投入收益和投机收益,通过颁布合理的处罚措施和精确的处罚力度进行监管,进而实现既能避免不合格药品流通,又能满足供应商运营收益的双赢局面。

四、总结

综上所述,通过政府及药品供应链的博弈关系进行质量监管博弈模型假设,再根据假设内容建立政府—药品原材料供应商—药品生产商间混合策略博弈模型,由混合策略博弈模型分析可以得出以下结论:

(1) 政府可以通过颁布奖金激励政策,提升不法生产商的举报率,相应可以提升不法生产商的罚款金额,做到在博弈平衡中对不法生产商造成打击,将药品质量问题遏制在源头。

(2) 政府应当根据供应商的投机收益合理区间规划处罚力度,避免生产商的举报策略受了解信息完整性的影响,进而增强“举报、处罚、优化”整体博弈闭环的精确度。

(3) 在政府与供应商的博弈过程中,应当全面考量供应商的质量投入收益和投机收益,通过颁布合理的处罚措施和精确的处罚力度进行监管,进而实现政府与药品供应链的双赢。

参考文献:

- [1] 陈锋. 基于风险监测的药品生产质量监管方法研究[J]. 中国食品药品监管, 2022(6):18-25.
- [2] 陈旻, 宋红波, 周慧贤, 等. 新形势下药品监管部门引入质量管理体系的探讨[J]. 中国食品药品监管, 2022(4):69-73.
- [3] 王广平, 胡骏, 王颖, 等. 我国药品监管质量管理规范建设原则和框架探索[J]. 中国食品药品监管, 2022(9):16-27.