

9-17-2021

## Evolutionary Simulation of Medical Products Export Safety Supervision Considering Regulation of Importing Country

Xiaoli Li

1. *School of Management, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China;*  
;

Cejun Cao

2. *School of Management Science and Engineering, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China; ;*

Fanshun Zhang

3. *School of Management, Jinan University, Guangzhou 510632, China;*

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

---

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

---

# Evolutionary Simulation of Medical Products Export Safety Supervision Considering Regulation of Importing Country

## Abstract

**Abstract:** In order to investigate the impacts of the regulation of importing country on export safety supervision regarding medical products in the COVID-19 epidemic situation, an evolutionary game model considering the relation between export enterprise and supervision of government is constructed. Based on MATLAB simulation, the influences of different factors including regulation level of importing country, punishment mechanism on export safety supervision of medical products are analyzed. Results show that *the illegal behaviors of the export enterprises of medical products can be restrained when the regulation level of importing country reaches a certain threshold. But that would fuel the passively supervision behaviors of government. From a long-term perspective, the illegal behaviors of enterprises cannot be effectively controlled by only increasing the level of the penalties on medical exporter or government regulator.*

## Keywords

COVID-19, medical products, export safety, regulation of importing country, government regulation, evolutionary game

## Recommended Citation

Li Xiaoli, Cao Cejun, Zhang Fanshun. Evolutionary Simulation of Medical Products Export Safety Supervision Considering Regulation of Importing Country[J]. Journal of System Simulation, 2021, 33(9): 2252-2260.

# 进口国规制下医药产品出口安全监管演化仿真

李小莉<sup>1</sup>, 曹策俊<sup>2\*</sup>, 张帆顺<sup>3</sup>

(1. 仲恺农业工程学院 管理学院, 广东 广州 510225; 2. 重庆工商大学 管理科学与工程学院, 重庆 400067;  
3. 暨南大学 管理学院, 广东 广州 510632)

**摘要:** 为研究疫情背景下进口国规制对医药产品出口安全监管的影响, 构建了考虑进口国规制的医药产品出口企业与政府监管部门的演化博弈模型, 并利用 MATLAB 仿真, 分析了进口国规制程度、惩罚机制等因素对医药产品出口安全监管过程的影响。研究表明, 当进口国规制程度高于某一阈值时, 可有效约束医药产品出口企业的违规行为, 但也会助长政府部门消极监管的行为; 从长远来看, 单纯加大对医药产品出口企业或政府监管部门的惩罚力度, 并不能有效遏制企业的违规行为。

**关键词:** 新冠病毒; 医药产品; 出口安全; 进口国规制; 政府监管; 演化博弈

中图分类号: X922; TP391

文献标志码: A

文章编号: 1004-731X (2021) 07-2252-09

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.20-0408

## Evolutionary Simulation of Medical Products Export Safety Supervision Considering Regulation of Importing Country

Li Xiaoli<sup>1</sup>, Cao Cejun<sup>2\*</sup>, Zhang Fanshun<sup>3</sup>

(1. School of Management, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China;  
2. School of Management Science and Engineering, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China;  
3. School of Management, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

**Abstract:** In order to investigate the impacts of the regulation of importing country on export safety supervision regarding medical products in the COVID-19 epidemic situation, an evolutionary game model considering the relation between export enterprise and supervision of government is constructed. Based on MATLAB simulation, the influences of different factors including regulation level of importing country, punishment mechanism on export safety supervision of medical products are analyzed. Results show that *the illegal behaviors of the export enterprises of medical products can be restrained when the regulation level of importing country reaches a certain threshold. But that would fuel the passively supervision behaviors of government. From a long-term perspective, the illegal behaviors of enterprises cannot be effectively controlled by only increasing the level of the penalties on medical exporter or government regulator.*

**Keywords:** COVID-19; medical products; export safety; regulation of importing country; government regulation; evolutionary game

收稿日期: 2020-06-25 修回日期: 2020-08-03

基金项目: 国家自然科学基金(71904021); 广东省教育厅青年人才创新项目(KA190578813); 重庆市社会科学规划项目(2019QNGL27); 重庆自然科学基金(cstc2020jcyj-msxmX0164); 教育部“春晖计划”合作科研项目(CQ2019001); 重庆工商大学“应对重大突发公共卫生事件”专题研究重点项目(ctbuyqzx01); 重庆市教委科学技术研究项目(KJQN201900830); 重庆工商大学校内科研项目(1951025); 重庆工商大学引进高层次人才科研启动项目(1955011)

第一作者: 李小莉(1988-), 女, 博士, 讲师, 研究方向为应急管理。E-mail: lixiaoli@zhku.edu.cn

通讯作者: 曹策俊(1990-), 男, 博士, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为灾害运作管理等。E-mail: caocejun0601@tju.edu.cn

## 引言

截至 2020 年 6 月 28 日, 全球累计报告确诊病例超 1000 万例, 死亡逾 50 万例<sup>[1]</sup>。疫情的迅速扩散严重危害了全球公众的生命安全及经济发展。疫情的有效防控离不开医药产品的合理配置与供给, 我国作为医药产品的出口大国, 保障了医药产品的持续供应, 为全球疫情的防控做出了积极贡献<sup>[2]</sup>。然而, 仍有一些医药产品出口企业(后文统一简称为企业)为利益所趋, 忽视社会责任, 夹藏或违规出口伪劣产品, 给全球疫情防控带来不利影响, 也严重损害了国家荣誉<sup>[3]</sup>。因此, 各国陆续出台各类法律法规, 提高进口标准, 加强对医药产品进口管理的规制程度<sup>[4]</sup>。随后, 2020 年 3 月 31 日, 商务部等相关部门发布了《关于有序开展医疗物资出口的公告》, 规定医用口罩等 5 类医药产品的出口不仅须取得国家药品监管部门的相关资质, 还应达到进口国(地区)的质量标准。2020 年 4 月 10 日, 海关总署发布对医用口罩等 11 类医疗物资实施出口商品检验<sup>[5]</sup>。在此情形下, 在考虑进口国规制的基础上, 如何设计有效遏制企业违规出口医药产品的策略是亟待解决的重要问题。

医药产品的质量安全, 一直是国内外学者的重点研究问题。在药品上市前, Abbott 提出通过大数据技术搜集患者信息, 用于药品上市前的安全监管<sup>[6]</sup>; Rawson 则表示应加强药品上市前的监管力度, 以确保用药安全<sup>[7]</sup>; 在药品上市后, 可以通过增加药品行业的竞争、加强质量监管以及完善药品监管体系等方式来提高药品的安全性<sup>[8-10]</sup>; 方俊<sup>[11]</sup>在深入剖析了我国十大典型药害事件的治理责任情况的基础上, 提出一种社会、企业与政府联动监管的协同治理机制; 郑小平等<sup>[12]</sup>运用非结构模糊决策法, 构建了中国药品安全管理体系。以上研究主要通过实证、案例分析或对比本国与英美等发达国家的药品监管体系等方式, 提出相应的监管策略。另一方面, 一些学者则利用博弈论对医药产品监管过程中决策主体的行为进行分析, 并提出监管对策。如张雪等<sup>[13]</sup>通过构建上级政府与地方政府、

药企与政府两层级博弈模型, 为我国中药饮片监管体制的改革提出建议; 荣俊美和朱立龙<sup>[14-15]</sup>利用博弈论分析了医药企业产品质量的影响因素; 宋燕等<sup>[16]</sup>分析了政府监管部门与企业的行为演化规律, 提出通过提高监管技术、加大惩处力度等方式加强药品安全监管。

通过梳理上述文献发现: ①目前的研究主要是关于药品上市前以及流通过程中质量安全监管, 对于药品出口安全监管方面的研究较少, 且未考虑进口国规制对药品监管参与主体行为的影响; ②研究方法上以实证、案例及静态博弈方法为主, 较少关注药品监管参与主体间动态演化行为的研究。因此, 本文在以往研究的基础上, 基于演化博弈理论, 在考虑进口国规制的情形下, 建立企业与政府监管部门的演化博弈模型, 分析影响双方行为演化的关键因素, 为解决医药产品出口安全问题提供应对策略与政策建议。

## 1 模型假设及符号说明

疫情期间, 在医药产品出口监管过程中, 尽管政府监管部门(如海关、市场监管部门等)会通过检验检疫及各种规章制度约束企业的行为, 但由于信息的不对称, 政府监管部门并不能总是发现企业的违规出口行为, 如出口三无口罩、出口掺杂掺假、以假充真、以次充好或者以不合格医疗物资冒充合格的违法行为<sup>[3]</sup>。政府监管部门也可能由于监管成本过高而选择消极应对<sup>[17]</sup>。因此, 可做出如下假设:

(1) 博弈主体: 政府监管部门和企业, 由于信息不对称, 他们都是有限理性的个体。

(2) 企业的博弈策略: ①根据国家相关质量标准, 生产合格医药产品, 合规出口; ②忽视质量要求, 生产劣质医药产品, 违规出口。

(3) 政府监管部门的博弈策略: ①积极履行部门职责, 根据国家相关规定, 对企业的医药产品出口行为, 积极监管; ②不重视相关责任, 消极监管。

(4) 相关参数假设: 企业合规出口的概率为  $x$ , 违规出口的概率为  $1-x$ ; 其中, 合规出口的成本

为  $C_0$ ，违规出口的成本为  $C_1$  ( $C_1 < C_0$ )，可实现的收益为  $R_0$ ；政府监管部门选择对企业进行积极监管的概率为  $y$ ，选择消极监管的概率为  $1-y$ 。其中，选择积极监管策略时可获得的收益为  $R_g$  (包括如公众对监管部门的认可，上级对下级的激励补贴等)<sup>[18]</sup>，需付出的成本为  $C_g$ ；当企业违规出口并被政府监管部门发现时，遭受的惩罚为  $M_0$  (如近期出台的相关政策，对违规出口防疫物资等医药产品的企业进行经济惩罚或被列入黑名单<sup>[3]</sup>)；并且，随着疫情的日益严重，医药产品的进口国也会通过各类法律法规及相应的检查措施对企业的行为进行规制，假设进口国的规制程度以  $\alpha$  表示 ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ，规制程度  $\alpha$  越大，越能发现企业的违规行为)；当企业违规出口、政府监管部门选择消极监管，而被进口国发现时，政府监管部门由于失职行为受到上级部门的惩罚为  $M_g$ 。其次，当企业的违规出口行为不被发现时，伪劣医药产品流入国外市场，影响国外疫情的防控，又会给我国带来社会福利损失  $W$ ，如境外输入病例带来的影响及防控成本的增加等<sup>[19]</sup>。具体的符号说明见表 1。

表 1 符号说明  
Tab. 1 Description of symbols

符号	意义
$x$	合规出口的概率
$1-x$	违规出口的概率
企业	
$R_0$	医药产品出口的收益, $R_0 > 0$
$C_0$	合规出口的成本, $C_0 > 0$
$C_1$	违规出口的成本, $0 < C_1 < C_0$
$M_0$	遭受的惩罚, $M_0 > 0$
政府	
监管	
部门	
$y$	选择积极监管的概率
$1-y$	选择消极监管的概率
$R_g$	选择积极监管策略时可获得的收益, $R_g > 0$
$C_g$	选择积极监管策略时需付出的成本, $C_g > 0$
$M_g$	当企业违规出口、政府监管部门选择消极监管，而被进口国发现时，政府监管部门由于失职行为受到上级部门的惩罚, $M_g > 0$
其他	
$\alpha$	进口国的规制程度, $0 \leq \alpha \leq 1$ ，规制程度 $\alpha$ 越大，越能发现企业的违规行为
$W$	当企业的违规出口行为不被发现时，伪劣医药产品流入国外市场，影响国外疫情的防控，给我国带来社会福利损失, $W > 0$

## 2 演化博弈模型构建及稳定性分析

### 2.1 演化博弈模型构建

根据上述假设，当企业合规出口、政府监管部门选择积极监管策略时，企业的收益为  $R_0 - C_0$ ，政府监管部门的收益为  $R_g - C_g$ ；当企业合规出口、政府监管部门选择消极监管策略时，企业的收益为  $R_0 - C_0$ ，政府监管部门的收益为  $R_g$ ；当企业违规出口、政府监管部门选择积极监管策略时，企业不仅要被没收全部资产，还需承担经济惩罚或被列入黑名单等，此时的收益为  $-C_1 - M_0$ ，政府监管部门的收益为  $R_g - C_g$ ；当企业违规出口、政府监管部门选择消极监管策略时，企业的违规行为会以  $\alpha$  的概率被进口国发现，此时企业的收益为  $(1-\alpha)R_0 - C_1 - \alpha M_0$ ，政府监管部门的收益为  $(1-\alpha)(R_g - W) - \alpha M_g$ 。由此可得企业与政府监管部门的博弈支付矩阵如表 2 所示。

表 2 企业与政府监管部门的博弈支付矩阵  
Tab. 2 Game payment matrix between enterprise and government regulatory

企业	政府监管部门	
	积极监管( $y$ )	消极监管( $1-y$ )
合规出口( $x$ )	$R_0 - C_0, R_g - C_g$	$R_0 - C_0, R_g$
违规出口 ( $1-x$ )	$-C_1 - M_0, R_g - C_g$	$(1-\alpha)R_0 - C_1 - \alpha M_0, (1-\alpha)(R_g - W) - \alpha M_g$

根据以上博弈矩阵可得，企业选择合规出口的期望收益为

$$E_x = y(R_0 - C_0) + (1-y)(R_0 - C_0) \quad (1)$$

选择违规出口的期望收益为

$$E_{1-x} = y(-C_1 - M_0) + (1-y) \cdot [(1-\alpha)R_0 - C_1 - \alpha M_0] \quad (2)$$

则企业的平均期望收益为

$$\bar{E} = xE_x + (1-x)E_{1-x} \quad (3)$$

由此可得，企业的复制者动态方程为

$$\frac{dx}{dt} = x(1-x) \cdot \{\alpha R_0 - C_0 + C_1 + \alpha M_0 + y[(1-\alpha)(R_0 + M_0)]\} \quad (4)$$

同理可得, 政府监管部门的复制者动态方程为

$$\frac{dy}{dt} = y(1-y)\{\alpha R_g - C_g + \alpha M_g + (1-\alpha)W - x[\alpha(R_g + M_g) + (1-\alpha)W]\} \quad (5)$$

因此, 企业与政府监管部门的策略演化可由式(4)~(5)组成的微分方程系统来描述。对系统的稳定点进行分析, 得到 5 个平衡点  $F_1(0,0)$ ,  $F_2(0,1)$ ,  $F_3(1,0)$ ,  $F_4(1,1)$ ,  $K(x^*, y^*)$ 。其中,

$$x^* = [\alpha R_g - C_g + \alpha M_g + (1-\alpha)W] / \alpha(R_g + M_g) + (1-\alpha)W$$

$$y^* = [C_0 - \alpha R_0 - C_1 - \alpha M_0] / [(1-\alpha)(R_0 + M_0)]$$

根据文献[20], 由式(4)~(5)组成的微分方程系统的雅可比矩阵为

$$J = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}$$

其中,  $a_{11} = (1-2x)\{\alpha R_0 - C_0 + C_1 + \alpha M_0 + y[(1-\alpha)(R_0 + M_0)]\}$   
 $a_{12} = x(1-x)(1-\alpha)(R_0 + M_0)$   
 $a_{21} = -y(1-y)[\alpha(R_g + M_g) + (1-\alpha)W]$   
 $a_{22} = (1-2y)\{\alpha R_g - C_g + \alpha M_g + (1-\alpha)W - x[\alpha(R_g + M_g) + (1-\alpha)W]\}$

该雅可比矩阵的行列式

$$\det J = a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21} \quad (6)$$

该雅可比矩阵的迹

$$\text{tr} J = a_{11} + a_{22} \quad (7)$$

## 2.2 演化策略稳定性分析

情形 1 当  $0 < \alpha < (C_0 - C_1)/(R_0 + M_0)$ , 且  $C_g > \alpha(M_g + R_g) + (1-\alpha)W$  时, 有  $R_0 - C_0 < (1-\alpha)R_0 - C_1 - \alpha M_0$ ,  $R_g - C_g < (1-\alpha)(R_g - W) - \alpha M_g$ 。系统的稳定性分析如表 3 所示。

表 3 情形 1 的局部稳定性分析  
Tab. 3 Local stability analysis of case 1

平衡点	trJ	detJ	局部稳定性
$F_1(0,0)$	-	+	ESS
$F_2(0,1)$	+	+	不稳定点
$F_3(1,0)$	±	-	鞍点
$F_4(1,1)$	±	-	鞍点
$K(x^*, y^*)$	0	±	鞍点

系统存在唯一的稳定点  $F_1(0, 0)$ 。此时, 由于进口国的规制力度较小, 较难发现企业的违规出口行为, 而违规出口给企业带来的收益大于合规出口的收益, 进而会选择违规出口策略。同时, 政府监管部门又通常面临较高的监管成本, 往往倾向于消极监管。因此, 系统最终趋向于  $F_1(0,0)$  点。

情形 2 当  $(C_0 - C_1)/(R_0 + M_0) < \alpha < 1$ , 且  $C_g > \alpha(M_g + R_g) + (1-\alpha)W$  时, 有  $R_0 - C_0 > (1-\alpha)R_0 - C_1 - \alpha M_0$ ,  $R_g - C_g < (1-\alpha)(R_g - W) - \alpha M_g$ 。系统的稳定性分析如表 4 所示。

表 4 情形 2 的局部稳定性分析  
Tab. 4 Local stability analysis of case 2

平衡点	trJ	detJ	局部稳定性
$F_1(0,0)$	±	-	鞍点
$F_2(0,1)$	+	+	不稳定点
$F_3(1,0)$	-	+	ESS
$F_4(1,1)$	±	-	鞍点
$K(x^*, y^*)$	0	±	鞍点

系统只有一个稳定点  $F_3(1, 0)$ 。此时, 由于进口国的规制力度较大, 企业违规出口的行为被发现的可能性较大, 使得企业违规出口的收益小于合规出口的收益, 进而选择合规出口策略, 而政府监管部门由于面临较高的监管成本, 仍然选择消极监管策略。

情形 3 当  $(C_0 - C_1)/(R_0 + M_0) < \alpha < 1$ , 且  $C_g > \alpha(M_g + R_g) + (1-\alpha)W$  时, 有  $R_0 - C_0 < (1-\alpha)R_0 - C_1 - \alpha M_0$ ,  $R_g - C_g < (1-\alpha)(R_g - W) - \alpha M_g$ 。系统的稳定性分析如表 5 所示。

表 5 情形 3 的局部稳定性分析  
Tab. 5 Local stability analysis of case 3

平衡点	trJ	detJ	局部稳定性
$F_1(0,0)$	+	+	不稳定点
$F_2(0,1)$	±	-	鞍点
$F_3(1,0)$	-	+	ESS
$F_4(1,1)$	±	-	鞍点
$K(x^*, y^*)$	0	±	鞍点

系统只有一个稳定点  $F_3(1, 0)$ 。此时进口国的规制力度已经足够大, 较容易发现企业的违规出口行为, 企业违规出口的收益小于合规出口的收益,

使得企业坚持合规出口。同时，进口国的规制力度已经能够给政府监管部门足够的重视，而选择积极监管。但由于进口国的规制力度已经足够约束企业的违规出口行为，在一定程度上替代了政府监管部门的监管行为，进而会促使政府监管部门选择消极监管策略。

情形 4 当  $0 < \alpha < (C_0 - C_1)/(R_0 + M_0)$ ，且  $C_g > \alpha(M_g + R_g) + (1 - \alpha)W$  时，有  $R_0 - C_0 < (1 - \alpha)R_0 - C_1 - \alpha M_0$ ， $R_g - C_g < (1 - \alpha)(R_g - W) - \alpha M_g$ ，系统的稳定性分析如表 6 所示。

表 6 情形 4 的局部稳定性分析  
Tab. 6 Local stability analysis of case 4

平衡点	trJ	detJ	局部稳定性
$F_1(0,0)$	$\pm$	$-$	鞍点
$F_2(0,1)$	$\pm$	$-$	鞍点
$F_3(1,0)$	$\pm$	$-$	鞍点
$F_4(1,1)$	$\pm$	$-$	鞍点
$K(x^*, y^*)$	0	$\pm$	鞍点

系统没有稳定点。此时，虽然进口国的规制力度较小，较难发现企业的违规出口行为，企业违规出口的收益大于合规出口的收益，企业会偏好违规出口。然而，若企业违规出口给社会带来的福利损失较大，政府监管部门也将面临上级部门较大的惩罚时，会促使政府部门选择积极监管策略。而政府监管部门的积极监管，又会促使企业合规出口。同时，企业选择合规出口，又会降低政府监管部门的监管积极性，如此往复，双方的策略随着时间的推移而改变，没有唯一的稳定策略。

### 3 算例仿真分析

关于进口国规制对企业与政府监管部门策略选择的理论推导，以及惩罚机制对双方博弈行为的影响，本节将基于新冠肺炎疫情的现实背景，并以欧盟与我国的口罩进出口合作为例，结合 MATLAB 数值仿真对模型结论进行验证与展示。

随着新冠肺炎疫情肆意全球，医用口罩、检测试剂盒等医疗物资在世界上许多国家都面临严重短缺的情况。我国政府与企业为许多国家提供医疗

物资援助的举动，获得各国的高度评价。同时，医药产品的质量安全关乎人的生命健康，在疫情形势日益严峻的背景下，各国纷纷提高防疫物资的进口标准，加强防疫物资的规制力度。如欧盟于 2019 年起，强制执行新法规 PPE Regulation(EU) 2016/425，所有口罩出口至欧盟都必须按照新法规的要求，获得 CE 认证。因此，我国一些企业的防疫物资出口由于不符合该项标准而被取消订单或退货，部分企业甚至由于违规违法而被海关处罚<sup>[4,21]</sup>。基于此，以口罩出口为例，目前市场的出口均价约为 2 元/只<sup>[22]</sup>，成本约为 1 元/只<sup>[23]</sup>。若生产劣质口罩违规出口，成本约为 0.1 元/只。假设某企业出口一批口罩 10 万只，按照市场价可获得的正常收益(单位：元)为  $R_0 = 2 \times 100\,000 = 200\,000$ ，合规出口成本为  $C_0 = 1 \times 100\,000 = 100\,000$ ，生产劣质口罩违规出口的成本为  $C_1 = 0.1 \times 100\,000 = 10\,000$ 。由于其他数据较难获得，根据上一章模型条件进行合理假设。

#### 3.1 进口国规制对企业与政府监管部门策略选择的影响

(1) 主要考虑进口国规制程度  $\alpha$  对政府监管部门与企业策略选择的影响，则其他参数设置为  $M_0=5$ ， $R_g=3$ ， $C_g=8$ ， $M_g=10$ ， $W=5$ 。当  $\alpha$  的取值逐步情形 1 变为情形 2 和情形 3 时，仿真结果见图 1。

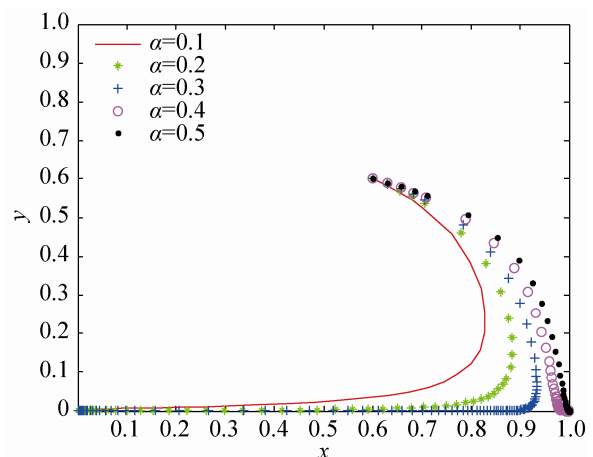


图 1 进口国规制程度  $\alpha$  对企业与政府监管部门行为演化的影响

Fig. 1 Influence of degree of regulation  $\alpha$  in importing country on evolution behavior of enterprise and government regulator

从图 1 可以看出, 随着  $\alpha$  的不断提升, 当突破临界点  $((C_0 - C_1)/(R_0 + M_0) = (10 - 1)/(20 + 5) = 0.36)$  时, 系统的稳定点逐步由  $F_1(0, 0)$  演化为  $F_3(1, 0)$ 。因此, 随着进口国的规制力度不断增大, 企业的违规出口行为较容易被发现, 此时企业选择违规出口的收益小于合规出口的收益, 会促使企业坚持合规出口。同时, 进口国的规制力度已经能够给政府监管部门足够的重视, 而选择积极监管。但进口国的规制力度若能较好地约束企业的违规出口行为, 在一定程度上替代了政府监管部门的监管行为, 又会促使政府监管部门最终趋向于选择消极监管策略。

在实践中, 以往海关一般不会要求企业提供医疗器械的资质证明, 口罩等常规防疫物资出口无需提供出口许可证<sup>[4]</sup>。但 2020 年 3 月 31 日, 商务部等相关部门发布了《关于有序开展医疗物资出口的公告》, 规定医用口罩等 5 类医药产品的出口不仅须取得国家药品监管部门的相关资质, 还应达到进口国(地区)的质量标准, 医用口罩出口至欧盟国家须取得 CE 认证。2020 年 4 月 10 日, 海关总署发布对医用口罩等 11 类医疗物资实施出口商品检验<sup>[5]</sup>。这表明国家对欧盟等国提高口罩等防疫物资的进口标准、加强规制力度的问题高度重视, 为维护企业利益与国家荣誉, 通过相关法律法规, 督促相关政府监管部门加强防疫物资的监管力度, 以减少政府监管部门的消极应对行为。

(2) 对于情形 4, 仿真参数设置为:  $R_0 = 20$ ,  $C_0 = 10$ ,  $M_0 = 5$ ,  $C_1 = 1$ ,  $R_g = 3$ ,  $C_g = 8$ ,  $M_g = 10$ ,  $W = 25$ 。仿真结果如图 2 所示。

由图 2 可知, 系统没有趋向任一稳定点, 双方的策略选择不断变化。此时, 进口国的规制程度较小, 较难发现出口企业的违规行为, 而若企业的违规出口行为给社会带来的福利损失增大, 政府监管部门就会提高监管积极性, 短期内可以约束企业的违规行为。但长期的演化过程中, 双方的策略选择会不断变化。

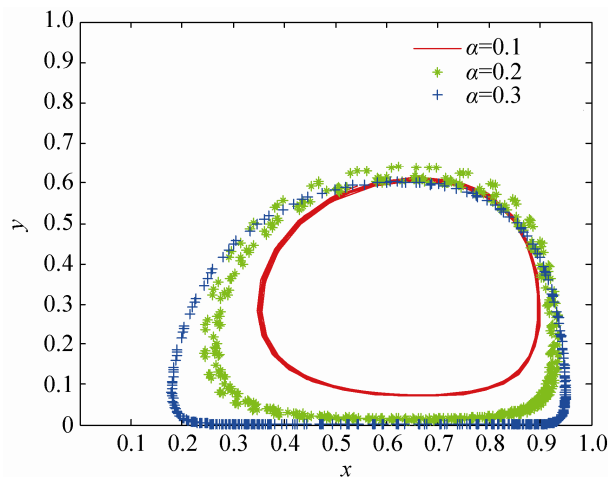


图 2 情形 4 的系统仿真图  
Fig. 2 System simulation diagram of case 4

### 3.2 惩罚机制对企业与政府监管部门策略选择的影响

其他参数不变, 假设企业违规出口会给社会带来较大福利损失, 进而给政府带来较大监管压力, 且进口国的规制程度较小时, 考虑惩罚机制对企业与政府监管部门策略选择的影响。参数设置如下:  $R_0 = 20$ ,  $C_0 = 10$ ,  $C_1 = 1$ ,  $R_g = 3$ ,  $C_g = 8$ ,  $W = 25$ 。仿真结果如图 3 所示。

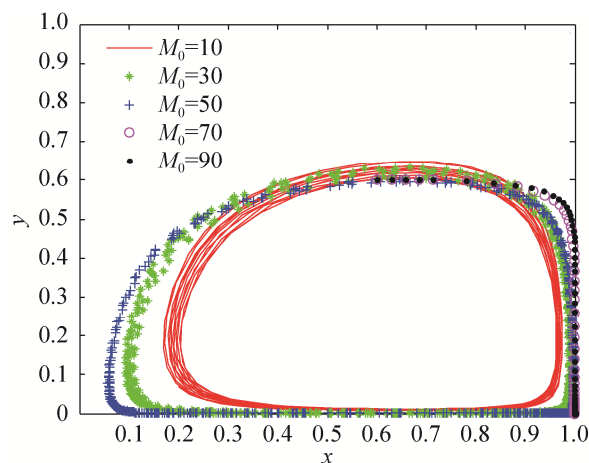


图 3 增加对企业惩罚力度  $M_0$  时系统的演化状态  
Fig. 3 Evolution state of system when increasing degree of punishment  $M_0$  to enterprise

(1) 由图 3 可以看出, 随着对企业的惩罚力度  $M_0$  不断增加 ( $M_0 = 10, 30, 50, 70, 90$ ), 系统逐渐从不稳定状态演化为  $F_3(1, 0)$  点, 即企业选择合规出口,



而政府趋向消极监管策略。虽然,严厉的惩罚机制,如出口企业黑名单制,会给当前疫情压力下,本来就运作艰难的企业带来较大的损失,甚至威胁到企业的生存,进而给许多企业带来较大的威慑作用,短期内会促使其合规出口。然而,这一机制是建立在政府监管部门可以在一定程度上发现企业违规行为的基础上。但从演化结果可以发现,加大对企业的惩罚会助长政府监管部门的消极监管。长远来看,一旦政府监管部门的消极监管策略成为常态,企业仍然存在违规出口的可能。

(2) 在其他参数保持不变时,  $R_0 = 20$ ,  $C_0 = 10$ ,  $M_0 = 5$ ,  $C_1 = 1$ ,  $R_g = 3$ ,  $C_g = 8$ ,  $W = 25$ 。考虑提高对政府惩罚力度  $M_g$  时, 双方行为演化状态的变化。仿真结果如图4所示。

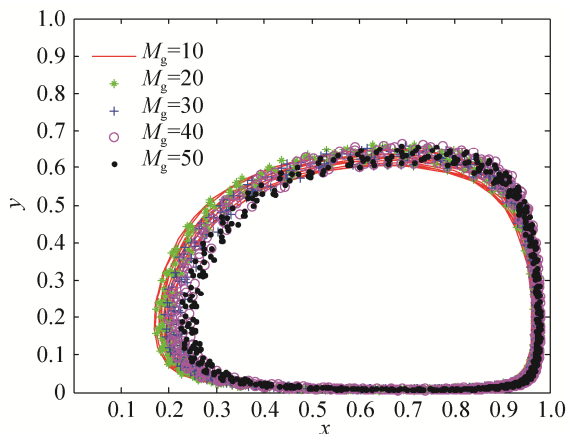


图4 提高对政府监管部门惩罚力度  $M_g$  时系统的演化状态  
Fig. 4 Evolution state of system when increasing degree of punishment  $M_g$  to government regulator

由图4可以看出,随着对政府监管部门的惩罚力度  $M_g$  不断增加( $M_g=10, 20, 30, 40, 50$ ), 系统没有稳定点, 双方的策略选择会不断变化。因此, 尽管企业违规出口带来较大损失时, 政府监管部门在面临重大惩罚及压力的情况下, 会选择积极监管策略。但政府监管部门的策略会随着企业的行为而改变, 若企业违规出口, 政府监管部门就会提高监管力度, 若企业选择合规出口, 政府监管部门就会放松监管。单纯依靠提高对政府监管部门的惩罚力度, 长远来看, 很难发挥作用。

## 4 结论

(1) 基于演化博弈论, 构建了医药产品出口企业与政府监管部门的演化博弈模型, 分析了进口国规制、惩罚机制等因素对医药产品出口企业与政府监管部门策略选择的影响及其演化路径。

(2) 通过模型推理及仿真分析发现, 随着进口国的规制力度不断增大, 企业的违规出口行为较容易被发现时, 会促使企业坚持合规出口。但进口国的规制力度若能较好地约束企业的违规出口行为, 在一定程度上替代了政府监管部门的监管行为, 又会促使政府监管部门最终趋向于选择消极监管策略。

(3) 根据仿真分析结果, 单纯增加对出口企业的惩罚力度, 如近期出台了黑白名单制后, 已有数家企业被列入黑名单, 一定程度上有效遏制了企业的违规行为, 但这一举措也会增加政府监管部门的监管惰性, 长远来看, 并不是最佳选择, 需引起重视。合理利用对出口企业的惩罚, 应建立在政府监管部门的有效监管的基础上, 此时, 可以加强与进口国的交流与合作, 提高监管能力, 才能使得黑白名单等惩罚机制发挥应有的作用。

(4) 仿真结果表明, 仅增加对政府监管部门的惩罚力度, 并不能有效促进政府监管部门始终坚持积极监管策略。政府监管部门的策略会随着企业的策略选择而发生变化, 因此, 对企业的管理与对政府监管部门的约束, 应齐头并进, 不能偏废其一。

## 参考文献:

- [1] 中国日报网. 全球新冠肺炎确诊病例超 1000 万例 [EB/OL]. [2020-06-30]. <https://edu.163.com/20/0630/10/FGC4EC6500297VGM.html>.  
China Daily Website. There Are More Than 10 million Confirmed Cases of COVID-19 Globally [EB/OL]. [2020-06-30]. <https://edu.163.com/20/0630/10/FGC4EC6500297VGM.html>.
- [2] 新浪网. 多国“点赞”中国医药产品供应: 可靠、及时 [EB/OL]. (2020-04-28) [2020-05-08]. <https://news.sina.com.cn/o/2020-04-28/doc-iircuyvi0312870.shtml>.  
Sina. Many Countries "Thumb up" Chinese Medical

- Products Supply: Reliable, Timely[EB/OL]. (2020-04-28) [2020-05-08]. <https://news.sina.com.cn/o/2020-04-28/doc-iircuyvi0312870.shtml>.
- [3] 搜狐网. 海关严打严查! 超 8 千万只口罩被查, 20 家出口企业被列入“黑名单”[EB/OL]. (2020-04-27) [2020-05-08]. [https://www.sohu.com/a/391599949\\_151241](https://www.sohu.com/a/391599949_151241).  
Sohu. Customs Strike Hard! More Than 80 million Masks Have Been Inspected, and 20 Export Companies Have Been Blacklisted.” [EB/OL]. (2020-04-27) [2020-05-08]. [https://www.sohu.com/a/391599949\\_151241](https://www.sohu.com/a/391599949_151241).
- [4] 法制日报. 各国进口标准趋严, 防疫物资出口要规避这些法律风险[EB/OL]. (2020-04-10) [2020-05-08]. <https://www.henandaily.cn/content/2020/0410/224534.html>.  
Legal Daily. The Import Standards of Various Countries Have Become Stricter, and the Export of Epidemic Prevention Materials Should Avoid These Legal Risks[EB/OL]. (2020-04-10) [2020-05-08]. <https://www.henandaily.cn/content/2020/0410/224534.html>.
- [5] 人民日报. 多部门发文: 严把产品质量 有序开展医疗物资出口[EB/OL]. (2020-04-06) [2020-05-08]. <http://finance.sina.com.cn/china/2020-04-06/doc-iimxxsth3823352.shtml>.  
People's Daily. Multiple Departments Issued: Stringent Quality Checks, Orderly Export of Medical Supplies [EB/OL]. (2020-04-06) [2020-05-08]. <http://finance.sina.com.cn/china/2020-04-06/doc-iimxxsth3823352.shtml>.
- [6] Abbott R. Big Data and Pharmacovigilance: Using Health Information Exchanges to Revolutionize Drug Safety[J]. Iowa Law Review (S0021-0552), 2013, 99(1): 225-292.
- [7] Rawson, Nigel S B. Drug Safety: Withdrawn Medications Are Only Part of the Picture[J]. BMC Medicine (S1741-7015), 2016, 14(1): 1-3.
- [8] Karthik S, John F, Allen K. Addressing the Lack of Competition in Generic Drugs to Improve Healthcare Quality and Safety[J]. Journal of General Internal Medicine (S1365-2796), 2018, 33(11): 2005-2007.
- [9] Wengle S. When Experimentalist Governance Meets Science-based Regulations; the Case of Food Safety Regulations[J]. Regulation & Governance (S1748-5991), 2015, 10(3): 262-283.
- [10] Ahmad A, Patel I, Sanyal S, et al. A Study on Drug Safety Monitoring Program in India[J]. Indian Journal of Pharmaceutical Sciences (S0250-474X), 2014, 76(5): 379-386.
- [11] 方俊. 药品安全协同治理的多主体责任落实——基于我国十大典型药害事件的案例分析[J]. 理论探索, 2020 (1): 92-97.
- Fang Jun. Implementation of Multi-agent Responsibility for Coordinated Drug Safety Governance-Based on Case Analysis of Ten Typical Drug Injury Incidents in China[J]. Theoretical Exploration, 2020 (1): 92-97.
- [12] 郑小平, 蒋美英, 王晓翠. 基于非结构模糊决策的中国药品安全管理体系研究[J]. 中国安全科学学报, 2008, 18(11): 65-71.
- Zheng Xiaoping, Jiang Meiyong, Wang Xiaocui. Exploring on China Drug Safety Management System Based on Non-structural Fuzzy Decision[J]. China Safety Science Journal, 2008, 18(11): 65-71.
- [13] 张雪, 张维维, 谢明. 基于博弈论分析中药饮片质量监管策略[J]. 中国药房, 2017, 28(7): 872-877.
- Zhang Xue, Zhang Weiwei, Xie Ming. The Quality Control Strategy of Chinese Herbal Pieces Based on Game Theory [J]. China Pharmacy, 2017, 28(7): 872-877.
- [14] 荣俊美, 朱立龙. 政府管制下双渠道药品供应链质量控制策略[J]. 系统工程, 2019, 37(5): 99-108.
- Rong Junmei, Zhu Lilong. The Quality Control Strategy of Dual-channel Drug Supply Chain Under Government Regulation [J]. Systems Engineering, 2019, 37(5): 99-108.
- [15] 朱立龙, 荣俊美. 药品供应链质量投入与政府分层监管策略研究[J]. 软科学, 2019, 33(2): 26-31.
- Zhu Lilong, Rong Junmei. Quality Investment and Government Stratification Supervision Strategy in Drug Supply Chain[J]. Soft Science, 2019, 33(2): 26-31.
- [16] 宋燕, 甄天民. 药品安全监管的演化博弈与对策分析[J]. 中国药房, 2016, 27(19): 2593-2595.
- Song Yan, Zhen Tianmin. Analysis on Evolutionary Game and Countermeasures for Drug Safety Regulation[J]. China Pharmacy, 2016, 27(19): 2593-2595.
- [17] 吴元元. 信息基础、声誉机制与执法优化——食品安全治理的新视野[J]. 中国社会科学, 2012(6): 115-133.
- Wu Yuanyuan. Information Infrastructure, Reputation Mechanism and the Optimization of Law Enforcement: A New View of Food Safety Management [J]. Social Sciences in China, 2012(6): 115-133.
- [18] 李小莉. 考虑声誉的公私合作项目监管演化博弈分析[J]. 系统工程学报, 2017, 32(2): 199-206.
- Li Xiaoli. Evolution Game Analysis of PPP Projects Regulatory With Consideration of Reputation[J]. Journal of Systems Engineering, 2017, 32(2): 199-206.

- [19] 新浪网. 新增 2 例境外输入病例, 此外还有一个好消息! [EB/OL]. (2020-05-07) [2020-05-08]. <https://news.sina.com.cn/c/2020-05-07/doc-iirczymk0253210.shtml>. Sina. There Are Two New Imported Cases From Abroad, and There is Also Good News![EB/OL]. (2020-05-07) [2020-05-08]. <https://news.sina.com.cn/c/2020-05-07/doc-iirczymk0253210.shtml>.
- [20] Friedman D. Evolutionary Game in Economics[J]. *Econometrica* (S0012-9682) 1991, 59(3): 637-666.
- [21] 搜狐网. 买了国外口罩的小伙伴! 欧盟、美国、澳洲对于口罩质量认证标准都在这里[EB/OL]. (2020-02-01) [2020-07-23]. [https://www.sohu.com/a/369974298\\_120538360](https://www.sohu.com/a/369974298_120538360). Sohu. The European Union, the United States, Australia for Mask Quality Certification Standards are Here for Friends Who Bought a Foreign Mask![EB/OL]. (2020-02-01) [2020-07-23]. [https://www.sohu.com/a/369974298\\_120538360](https://www.sohu.com/a/369974298_120538360).
- [22] 陈洁, 莫甜甜. 中国口罩厂商出口调查: 一个单子就上千万个口罩, 原材料涨价 15 倍[EB/OL]. (2020-04-30) [2020-05-08]. <https://new.qq.com/omn/20200322/20200322A0EQBK00.html>. Chen Jie, Mo Tiantian. Chinese Mask Manufacturers Export Survey: a Single Order of 10 million Masks, Raw Materials 15 times the Price[EB/OL]. (2020-04-30) [2020-05-08]. <https://new.qq.com/omn/20200322/20200322A0EQBK00.html>.
- [23] 中国台州网. 原材料难觅一只口罩成本涨了 20 多倍[EB/OL]. (2020-04-30) [2020-05-05]. [http://www.taizhou.com.cn/myjj/2020-04/30/content\\_6331192.htm](http://www.taizhou.com.cn/myjj/2020-04/30/content_6331192.htm). China Taizhou Net. Raw Materials Are Scarce, and the Cost of a Mask Has Risen More Than 20-fold[EB/OL]. (2020-04-30) [2020-05-05]. [http://www.taizhou.com.cn/myjj/2020-04/30/content\\_6331192.htm](http://www.taizhou.com.cn/myjj/2020-04/30/content_6331192.htm).