

奶农与乳品加工企业质量控制策略演化分析

——基于双种群进化博弈理论视角

吴强, 张园园, 孙世民*

(山东农业大学经济管理学院, 山东 泰安 271018)

摘要: 基于双种群进化博弈理论对奶农高、低质量预防水平和乳品加工企业高、低质量检验水平的质量控制选择策略的分析表明: 奶农质量预防成本、乳品加工企业质量检验成本、原奶收购价格、乳制品销售价格、外部收益及其分配系数、潜在损失及其分摊系数和监管力度等因素不同程度地影响博弈双方选择理想质量控制策略的概率。进一步的系统仿真分析结果表明: 缩小奶农高低质量预防成本及乳品加工企业高低质量检验成本之间差距, 扩大高低质量原奶收购价格差及高低质量乳制品销售价格差, 提高外部收益, 加大惩罚力度, 合理分配收益与分摊损失和加强监管有利于促进系统向理想进化稳定策略演化, 提高乳品供应链质量控制水平, 保障乳品质量安全。

关键词: 乳品供应链; 质量控制; 进化博弈; 系统仿真

中图分类号: F326.3; F426.82

文献标志码: A

文章编号: 1009-2013(2016)03-0020-07

Quality control strategy of dairy farmers and dairy processing enterprises:

Based on the perspective of double populations evolutionary game theory

WU Qiang, ZHANG Yuanyuan, SUN Shimin*

(College of Economics and Management, Shandong Agriculture University, Taian271018, China)

Abstract: Use the double populations evolution game theory and simulation technology to study the strategy selection mechanism for quality control in dairy farms and processing enterprises. Results show that factors such as the prevention and inspection cost, purchase and sale price, income distribution coefficient, loss apportion coefficient, external benefit, potential losses and supervision strength influence in different degrees the strategy choice of game parties. Further simulation analysis shows that to take following measures can ensure the safety of dairy products: to narrow the difference of farmers' prevention cost and enterprises' inspection cost between high quality products and low quality products, to enlarge the difference of raw milk price and the price of dairy products between the finer and the manky, to high the external benefit, to severely punish those who violate the law and discipline, to reasonable distribute income and share the loss, to improve the level of the dairy supply chain quality control.

Keywords: dairy supply chain; quality control; evolutionary game; system simulation

一、问题的提出

中国是世界第三大原奶生产国。第六届中国奶业大会暨中国奶业展览会公布的数据显示, 2014年底全国奶牛存栏量1460万头, 原奶产量达到3725万吨, 同比增长5.5%。然而中国乳品质量安全事故

频发, “三聚氰胺”毒奶粉、有毒有害物质残留超标既危害广大消费者的健康, 又制约中国乳业的持续发展。如何有效防控乳品质量安全问题已成为政府、学界和企业共同关注的焦点。国内外乳品质量控制经验表明, 构建由奶牛养殖场或奶牛养殖户(以下简称奶农)、乳品加工企业和零售商构成的乳品供应链, 并规范供应链管理, 是解决中国乳品质量安全问题的有效途径^[1-2]。从乳制品生产工艺和质量形成过程来看^[3], 奶牛养殖和原奶加工环节是影响乳品质量安全水平的两个关键环节, 奶农的质量预防

收稿日期: 2016-03-17

基金项目: 国家社会科学基金项目(15BGL136)

作者简介: 吴强(1990—), 男, 河南信阳人, 硕士研究生。*为通信作者。

水平和乳品加工企业的质量检验水平将直接决定乳品质量安全水平,因此,研究奶农和乳品加工企业质量控制策略及其影响因素,对于确保乳品质量具有重要作用。

自 Maze 2001 年首次运用博弈理论研究欧洲农产品质量安全和农产品治理结构关系问题以来^[4],博弈论被广泛运用到农产品供应链质量控制研究。国内一些学者在假设博弈方完全理性条件下构建了不同博弈模型研究食品供应链质量控制问题。张云华等分析了食品供给链中参与主体在一次博弈、重复博弈和不完全信息动态博弈下的策略选择,分析表明:一次性交易中行为人出于利益最大化动机采取不合作的机会主义行为;重复博弈中行为人达成一种合作均衡,从而实现食品的安全供给^[5]。孔祥智等在此研究基础上构建了完全信息博弈模型对奶站掺假的必然趋势进行了解释,而后进一步构建了较为接近现实的不完全信息有限重复博弈模型,得出了在一定条件下仍可实现原奶供应链的安全性^[6]。但现实中的博弈方很难做到完全理性^[7],也就是说现实中行为人的抉择是有限理性的动态博弈,其策略调整过程实质上是对社会环境的适应性表现^[8],双方的最优策略是相互模仿和学习的结果^[9]。基于有限理性的进化博弈理论被广泛运用到农产品质量控制方面。彭玉珊等利用进化博弈研究了猪肉供应链质量安全行为协调机制^[10];申强等构建了单群体和多群体模仿者动态模型对奶农与企业原料奶质量控制策略空间及其演化趋势进行了研究^[11]。

综上,国内外学者运用博弈论对农产品供应链质量控制问题进行了大量研究,但对乳品供应链中奶农与乳品加工企业质量控制策略选择问题研究较少,而且早期研究大多假设博弈方完全理性,即视博弈方为理性的“经济人”而不是有限理性的“社会人”,此后的研究虽方法有所改进,但研究视角单一,侧重于技术、成本或收益,缺乏对双方质量控制策略选择影响因素的全面深入研究。基于此,笔者拟借鉴前人研究成果,运用进化博弈理论及仿真技术研究奶农与乳品加工企业质量控制策略选择过程及其关键影响因素,旨在为改进乳品质量管理提供借鉴。

二、理论分析与假设

质量预防是实现农产品高质量的有效途径,原奶质量预防是指分析可能存在的质量安全隐患,建立有针对性的质量预防体系,并采取相应的行动避免其产生。由于奶农的技术和资金有限,对质量预防认知水平参差不齐,奶农一般有高质量预防水平和低质量预防水平两种质量控制策略。高质量预防水平体现为充分认识与理解原奶质量控制的标准和要求,并严格实施疫病防控、环境维护、动物福利及养殖档案等一切有利于提升原奶质量的管控活动,反之为低质量预防水平。质量检验是指对成品和半成品做出鉴定或评估,以防止不合格产品传递到客户手中而造成经济和信誉损失。同理,乳品加工企业也有高质量检验水平和低质量检验水平两种质量控制策略。高质量检验水平是指采用新技术、新设备严格按照国家标准对原奶中水、乳糖、蛋白质、矿物质、维生素、脂肪、微生物及抗生素含量进行全面检验,反之为低质量检验水平。奶农和乳品加工企业都是追求自身利益最大化的有限理性主体,将综合考虑成本、收益和损失等因素并根据对方的策略选择不断地调整自身策略。因此,乳品供应链质量控制策略的选择实质上是一个双种群进化博弈过程。考虑乳品供应链质量管理活动实际并借鉴已有研究成果,笔者提出如下假设:

奶农采用高质量预防水平时生产出高质量原奶,质量预防成本为 C_1^H ;采用低质量预防水平时生产出低质量原奶,质量预防成本为 C_1^L ($C_1^L < C_1^H$)。

乳品加工企业采用高质量检验水平时能准确判定原奶质量,检验成本为 C_2^H 。对于检验证实为高质量的原奶收购价格为 P_1^H ,对于检验证实为低质量的原奶(可食用)收购价格为 P_1^L ($P_1^L < P_1^H$);低质量检验水平会降低蛋白质、脂肪及菌落数等的标准或要求,落后的技术和宽松的标准使得低质量原奶可轻松通过检验,乳企仍须以高质量价格(合同价格) P_1^H 收购,检验成本为 C_2^L ($C_2^L < C_2^H$)。

不考虑加工过程对原奶质量的影响和加工成本。高质量原奶被加工成高质量乳品,其销售价格为 P_2^H 。由于高质量乳品能够提高客户满意度、增加乳品销售量、提高市场信誉度,进而增强乳品供应链的竞争优势,因此高质量原奶将给乳品供应链带来外部收益(用 F 表示)。低质量原奶被加工成低

质量乳品,其销售价格为 P_2^L 。由于低质量原奶的脂肪、蛋白质及菌落数等含量不达标或只符合地方标准(低于国家标准),可能被市场发现,概率为 $\alpha(0 < \alpha < 1)$,从而失去市场信誉、降低竞争优势,因此低质量原奶将给乳品供应链带来外部损失(用 W 表示)。

为激励奶农和乳品加工企业提高质量预防水平和质量检验水平,按各自贡献独享或分享外部收益 F ,按各自责任独担或分摊外部损失 W 。其中,奶农分享外部收益的比例为 $\lambda(0 < \lambda < 1)$,分摊外部

损失的比例为 $k(0 < k < 1)$ 。

三、奶农与乳品加工企业质量控制博弈分析

1. 进化博弈的支付矩阵

为简便并不失一般性,假定 $C_1^H, C_1^L, C_2^H, C_2^L, P_1^H, P_1^L, P_2^H, P_2^L, F$ 和 W 等参数均大于零。根据以上假设,构建出奶农与乳品加工企业质量控制进化博弈的支付矩阵,见表1。

表1 奶农与乳品加工企业质量控制博弈支付矩阵

奶农	乳品加工企业	
	高质量检验水平(y)	低质量检验水平(1-y)
高质量预防水平(x)	$P_1^H - C_1^H + \lambda F, P_2^H - P_1^H - C_2^H + (1-\lambda)F$	$P_1^H - C_1^H + F, P_2^H - P_1^H - C_2^L$
低质量预防水平(1-x)	$P_1^L - C_1^L - \alpha W, P_2^L - P_1^L - C_2^H$	$P_1^H - C_1^L - k\alpha W, P_2^L - P_1^H - C_2^L - (1-k)\alpha W$

2. 复制动态方程与进化稳定策略

设奶农中采用高质量预防水平策略的比例为 x ,乳品加工企业中采用高质量检验水平策略的比例为 y 。奶农选择高质量预防策略的期望收益为:

$$E_{d,H} = (P_1^H - C_1^H + \lambda F)y + (1-y)(P_1^H - C_1^H + F) \quad (1)$$

奶农选择低质量预防策略的期望收益为:

$$E_{d,L} = (P_1^L - C_1^L - \alpha W)y + (1-y)(P_1^H - C_1^L - k\alpha W) \quad (2)$$

奶农的平均期望收益为:

$$\bar{E}_d = xE_{d,H} + (1-x)E_{d,L} \quad (3)$$

根据(1)、(2)、(3)式可得奶农选择高质量预防策略的复制动态方程为:

$$\frac{dx}{dt} = x(1-x)\{[P_1^H - P_1^L + (1-k)\alpha W - (1-\lambda)F]y + F + k\alpha W + C_1^L - C_1^H\} \quad (4)$$

同理,乳品加工企业选择高质量检验策略的复制动态方程为:

$$\frac{dy}{dt} = y(1-y)\{[P_1^L - P_1^H - (1-k)\alpha W + (1-\lambda)F]x + P_1^H - P_1^L + C_2^L - C_2^H + (1-k)\alpha W\} \quad (5)$$

为方便起见,令 $\Delta C_1 = C_1^H - C_1^L$,表示奶农的高、低质量预防成本差; $\Delta C_2 = C_2^H - C_2^L$,表示乳品加工企业的高、低质量检验成本差; $\Delta P_1 = P_1^H - P_1^L$,表示高、低质量原奶的收购价格差; $\Delta P_2 = P_2^H - P_2^L$,表示高、低质量乳品的销售价格差。

令 $\frac{dx}{dt} = 0, \frac{dy}{dt} = 0$ 在平面 $M = \{(x,y); (0 \leq x,y \leq 1)\}$ 内得五个均衡点,分别为 $o(0,0)$ 、 $A(1,0)$ 、 $B(0,1)$ 、 $C(1,1)$ 和鞍点 $D(x_D, y_D)$ 。其中,

$$x_D = \frac{\Delta P_1 - \Delta C_2 + (1-k)\alpha W}{\Delta P_1 + (1-k)\alpha W - (1-\lambda)F}, \quad y_D = \frac{\Delta C_1 - F - k\alpha W}{\Delta P_1 + (1-k)\alpha W - (1-\lambda)F} \quad (6)$$

根据Friedman^[12]提出的方法,求解得到的五个局部均衡点中,仅有 $o(0,0)$ 和 $C(1,1)$ 是稳定点,即奶农和加工企业的低质量预防和检验与高质量预防和检验两种策略组合为进化稳定策略(ESS)。图1描述了双方质量控制博弈的动态演化过程。分析可知,奶农与加工企业的质量控制策略选择受初始状态的影响,如初始状态落入区域I或区域IV时,奶农和加工企业选择高质量预防和检验策略的概率都会不断增加,最终趋向于高质量预防和检验的“理想稳定策略”。若初始状态落入区域II或区域III,奶农和加工企业选择低质量预防和检验策略的概率会不断增加,最终会趋向于低质量预防和检验状态。

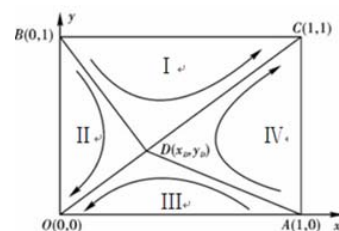


图1 进化博弈动态演化相位图

3. 进化稳定策略影响因素分析与讨论

根据以上分析可知，博弈双方策略组合究竟会向哪一种状态演化受初始状态的影响，初始状态落入各个区域的概率受各个区域面积大小的影响，区域 I ~ IV 的面积又受参数取值的影响。据图 1 可知，区域 II 和 III 面积之和为

$$S_{II,III} = \frac{1}{2}(x_D + y_D) \tag{7}$$

结合(6)、(7)式可知，影响面积 $S_{II,III}$ 大小的 9 个参数中，除 k 外其余 8 个参数均与 $S_{II,III}$ 呈严格单调关系。以下将对影响双方质量控制策略向理想稳定策略演进概率的其余参数进行分析讨论。相关影响因素和 $S_{II,III}$ 的关系详见表 2。

表 2 乳品供应链质量控制策略演化的影响因素

参数	鞍点	相位区域面积	理想组合概率	结果分析及优化对策
$\Delta C_1 \downarrow$ $\Delta C_2 \downarrow$	$x_D \downarrow, y_D \downarrow$	$S_{I,IV} \uparrow, S_{II,III} \downarrow$	增加	高质量预防和检验付出的成本越小，执行障碍就越小，即生产高、低质量原奶成本差和高、低质量检验成本差越小，博弈双方选择理想组合策略的概率越大。为促成理想状态，政府应对奶农质量预防成本进行补贴，为其提供免费技术培训与技术指导；乳品企业可考虑引入第三方技术研发单位，发挥第三方专业优势，以提高技术有效性同时降低检验成本。
$\Delta P_1 \uparrow$ $\Delta P_2 \uparrow$	$x_D \downarrow, y_D \downarrow$	$S_{I,IV} \uparrow, S_{II,III} \downarrow$	增加	乳品质量对收益有重要影响，提高乳品质量的增益越大，博弈双方选择理想组合策略的概率越大。因此乳品企业应实施优质优价，适度扩大高、低质量原奶价格差，同时推出高档优质乳品，优化乳品结构，增加收益。
$\lambda \uparrow$	$x_D \downarrow, y_D \downarrow$	$S_{I,IV} \uparrow, S_{II,III} \downarrow$	增加	提高奶农的外部收益分配比例可增大博弈双方选择理想质量控制策略的概率，说明公平合理的收益分配机制会增强博弈双方的良好合作意愿，提高奶质、增加收益。因此，为促成理想状态，需要提高奶农外部收益分配比例。
$k \downarrow$	$x_D \downarrow, y_D \uparrow$	不明确	不明确	由于乳品的特殊性，一旦出现问题，给博弈双方带来的外部损失(经济和声誉)往往较大，内部成员需根据责任划分共同分摊责任，责任分摊不合理将影响双方合作关系，进而影响双方质量控制行为选择，因此，需合理分摊外部损失。
$\alpha \uparrow$	$x_D \downarrow, y_D \downarrow$	$S_{I,IV} \uparrow, S_{II,III} \downarrow$	增加	问题乳品被发现的概率越大，奶农和加工企业越愿意选择理想组合策略，以减少外部损失。为促成理想状态，政府和消费者应加大对乳品质量安全的监管。
$W \uparrow$ $F \uparrow$	$x_D \downarrow, y_D \downarrow$	$S_{I,IV} \uparrow, S_{II,III} \downarrow$	增加	供应链外部损失或收益越大，奶农和加工企业越愿意选择理想组合策略。为促成理想状态，政府监管部门应建立健全的质量奖惩制度，适当加大对问题乳品的惩罚力度，合理提高对高质量乳品的奖励额度；同时充分发挥社会监管优势如新闻媒体来提高优质乳品的市场信誉，加大问题乳品的潜在市场信誉损失。

四、数值仿真与分析

系统仿真能比较真实地描述系统的运行、演变及其发展过程。以上分析可知，通过改变参数的大小，可以改变相位图中四个区域面积的大小，即可以改变系统向稳定策略的演化概率。因此，奶农与加工企业质量控制策略演化过程的系统仿真分析，就是改变复制动态方程的某个参数，进一步观测其对系统演化路径的影响。

系统演化过程受初始状态和参数设置的影响，任给一种初始状态，通过改变参数可使其落入区域 I 或 IV 中，奶农与加工企业策略选择将向高质量预防水平、高质量检验水平状态（或称“理想状态”）演进。以上博弈分析已给出理想稳定策略对应的稳定点

(1,1)。因此，实验组数值模拟方案将以促进系统向理想稳定点(1,1)演化为目标。

1. 参数假设

以下数据为 2014 年的截面数据，数据来源于《全国农产品成本收益资料汇编》、《食品抽样检验工作制度》及商务部、农业部的监测数据、中国乳业信息网，部分数据经计算而得，乳品价格和成本的单位为元/kg。

规模化牧场的投入和产出较高，相应的，其面临的市场风险较大，为降低风险、稳定收益，规模化牧场会倾向于选择高质量预防策略，而散户则通常因资金和技术等条件限制而被迫选择低质量预防策略。他们对应策略选择所付出的成本（包括人工成本、防疫成本、设施及技术研发投入等）可看

作是高质量预防成本和低质量预防成本。经查《全国农产品成本收益资料汇编》，可知规模化牧场平均质量预防成本 $C_1^H = 3.05$ ，其原奶平均收购价格 $P_1^H = 3.55$ ；散户平均质量预防成本 $C_1^L = 2.46$ ，相应的，其原奶平均收购价格 $P_1^L = 3.07$ 。

国内乳业龙头企业伊利乳业的检测项目和标准及资金投入在全国领先，可以其检验费用作为高质量检验成本，经查中国乳业信息网并计算可得其平均检验费用为 $C_2^H = 0.60$ ；而普通检验项目仅为伊利乳业检验项目的三分之一，因此可将普通检验视为低质量检验，其费用可近似看作是高质量检验费用的三分之一，即 $C_2^L = 0.20$ 。

国内乳品消费主要以常温奶为主，低质量原奶一般被加工成“百利包”和“利乐枕”等低端袋装牛奶，据商务部公布数据显示，其平均价格为 $P_2^L = 10.06$ ；高质量原奶一般被加工成附加值较高的有机奶或酸牛奶，平均价格为 $P_2^H = 15$ 。

低质量乳品的相关要求远低于国家标准，被市场发现的概率与市场监管力度有关，而市场监管力度可用现有《食品抽样检验工作制度》中要求对批发企业、大中型超市乳品的抽检频率(每月抽检天数/30天)代替。因此， $\alpha = 0.14$ 。

随着市场监管力度增大及消费者需求结构升级，低质量乳品的市场占有率会逐步降低，所造成的潜在损失即为奶农与乳品加工企业减少的毛收入，用奶农和乳企的平均销售收入之和表示，即 $W = P_1^L + P_2^L = 13.13$ 。外部损失分摊系数即为双方平均收入的比值，即 $k = P_1^L / P_2^L = 0.31$ 。

高质量乳品凭借其质量高和产品差异化优势将长期占有市场，并能保持高价位，由此给奶农带来的增益为 ΔP_1 ，给乳企带来的增益为 ΔP_2 ，二者之和即为外部收益，所以 $F = \Delta P_1 + \Delta P_2 = 5.42$ 。奶农外部收益分配比例可参考已有学者对奶业利益链条分配比例研究成果而得^[13]， $\lambda = 0.2$ 。

2. 演化仿真分析

实验组数据设置：令低质量预防和检验成本不变，高质量预防成本去除设施费用，高质量检验成本去除技术成本；令低质量原奶和乳制品价格不变，高质量原奶和乳制品价格均取当年最高价格；外部损失增加罚金，罚金额度为销售收入的三分之一，其余实验值为对照值的二倍或二分之一。收敛

速度等于理想状态 ($X = Y = 1$) 与初始状态 ($X = Y = 0.4$) 的差值/所用时间，即收敛速度 $v = \Delta x / \Delta t = \Delta y / \Delta t$ 。

(1)外部收益分配系数变化对系统演化路径的影响。运用 Matlab7.11.0 进行数据模拟。外部收益分配系数，令 $\lambda=0.2$ 和 $\lambda=0.4$ ，进行仿真模拟，观察外部收益分配系数变化对系统演化路径的影响。

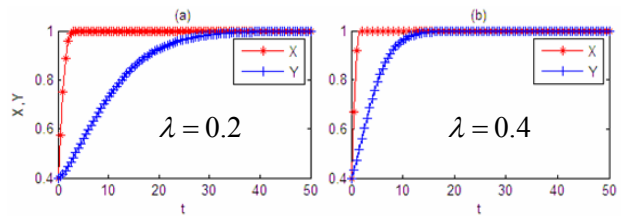


图2 外部收益分配系数对系统演化路径的影响

对比图2中的(a)、(b)两种情况可以发现，当奶农对外部收益的分享系数由0.2增加到0.4时，双方质量控制策略收敛于理想状态($X=Y=1$)所需时间由30单位减少至15单位。即增加奶农收益会显著加快双方质量控制策略向理想状态演进的速度，说明现行的利润分配机制不够合理，这与杨伟民^[14]在供应链下乳业“一体化”研究中得出的结论是一致的：供应链利益分配的不均衡是中国乳业可持续发展的瓶颈。

(2)外部损失分摊系数k变化对系统演化路径的影响。以下将以(1)中设置的参数为基础，分别模拟 $k = 0.31$ 和 $k = 0.15$ 两种情况下的系统演化过程。

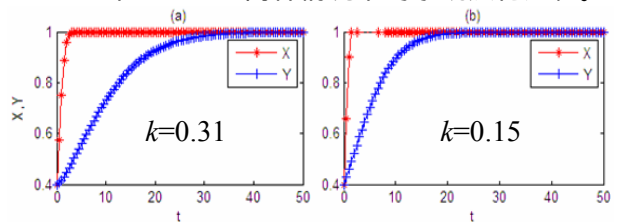


图3 损失分摊系数对系统演化路径的影响

对比图3中的(a)、(b)两种情况可以发现，损失分摊系数降为原来的一半时，系统向理想状态演化的用时由30单位减少至20单位。说明在现有参数假设下，奶农损失分摊的比例不是最合理的，增大乳品企业损失分摊比例后，乳品企业所承担的潜在损失将远大于高质量检验成本，因此，乳品企业采用高质量检验策略的概率将会不断增大，而奶农会因受益于优质优价收购策略而更多地采用高质量预防策略。这样，在双方质量控制行为相互作用、群体内行为相互影响的机理下，群体质量控制行为

得到了改善。

(3)质量预防成本差 ΔC_1 和质量检验成本差 ΔC_2 变化对系统演化路径的影响。在低质量预防成本和低质量检验成本不变的前提下,模拟参数分别为 $C_1^H = 3.05, C_2^H = 0.6, \Delta C_1 = 0.59, \Delta C_2 = 0.4$ 和 $C_1^H = 2.8, C_2^H = 0.4, \Delta C_1 = 0.34, \Delta C_2 = 0.2$ 两种情况下系统演化路径。

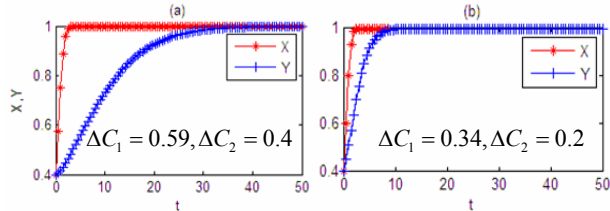


图 4 预防成本与检验成本对系统演化路径的影响

对比图 4 中的(a)、(b)两种情况可以发现,当 ΔC_1 和 ΔC_2 降低时,即缩小奶农的高低质量预防成本差和乳品加工企业的高低质量检验成本差,双方质量控制策略选择收敛于理想状态所需时间由 30 单位减少至 10 单位,这表明降低质量预防成本和质量检验成本可加快群体质量控制策略向理想稳定策略的演化进程,这与申强等^[11]在研究奶农与乳品加工企业原奶质量控制行为博弈时得出的结论是一致的:降低奶农执行成本是促进双方合作、提高质量控制水平的根本途径。

(4)原奶收购价格差 ΔP_1 和乳品销售价格差 ΔP_2 变化对系统演化路径的影响。假定低质量原奶和乳品价格不变,分别在 $P_1^H = 3.55, P_2^H = 15, \Delta P_1 = 0.48, \Delta P_2 = 4.94$ 和 $P_1^H = 5, P_2^H = 18, \Delta P_1 = 1.95, \Delta P_2 = 7.94$ 两种情况下对系统进行仿真模拟,观测系统向理想进化稳定策略演化路径的变化。

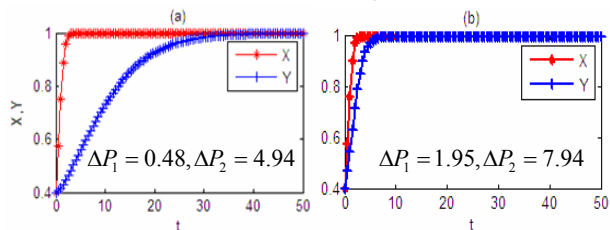


图 5 收购价格和销售价格对系统演化路径的影响

提高高质量原奶与乳品价格即扩大高低质量原奶收购价格差和高质量乳品销售价格差,对比图 5 中的(a)、(b)两种情况可以发现,高质量原奶和乳品价格分别增加 1.45 单位和 3 单位,系统收敛于理想稳定状态所需时间由 30 单位减少至 5 单

位。因此,乳品企业实施优质优价收购策略,并开发高档优质乳品适当扩大收购和销售价格差,能显著促进群体质量控制策略选择趋向理想进化稳定策略,提高原奶质量安全水平,优化国内乳制品结构,提升消费者满意度,增强乳品供应链竞争力。

(5)市场监管力度变化对系统演化路径的影响。分别在 $\alpha = 0.17$ 和 $\alpha = 0.34$ 两种情况下对系统演化进行仿真模拟,观察系统向理想稳定点(1,1)演化路径的变化。

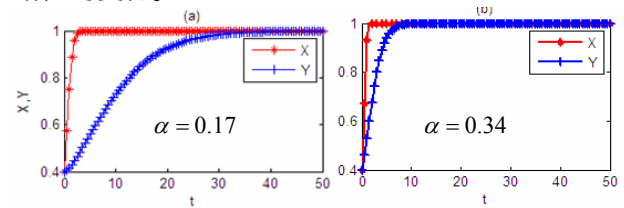


图 6 市场监管力度对系统演化路径的影响

加大市场监管力度也就意味着双方冒险主义或机会主义策略选择被发现的概率增加,对比图 6 中的(a)、(b)两种情况可以发现,当低质量乳品被市场发现的概率增加由 0.17 增加到 0.34 时,系统收敛于理想稳定状态所需时间由 30 单位减少至 8 单位。因此,政府和消费者加大对乳品的检验力度,可以减少奶农和加工企业由于信息不对称发生的机会主义行为,促进群体质量控制策略趋向理想进化稳定策略,提高原奶质量安全水平,增强消费者对国内乳制品质量的信任。

(6)外部收益 F 和外部损失 W 变化对系统演化路径的影响。分别在 $F = 5.42, W = 13.13$ 和 $F = 9.89, W = 17.51$ 两种情况下对系统进行仿真模拟,观察系统向理想进化稳定策略演化路径的变化。

对比图 7 中的(a)、(b)两种情况可以发现,当外部收益和外部损失均增加一倍,系统收敛于理想稳定策略所需时间由 30 单位减少至 11 单位。这也说明供应链环境下,奶农和加工企业是利益共同体,外部收益和损失的增加会加强内部自律,从而加快群体质量控制策略选择达到理想稳定状态的速度。因此,改变外部环境增强内部自律,充分发挥供应链内部自组织能力,监管部门建立健全的质量奖惩制度,适当加大对问题乳品的惩罚力度,合理提高对高质量乳品的奖励额度,能推进双方质量控制策略向理想状态发展。

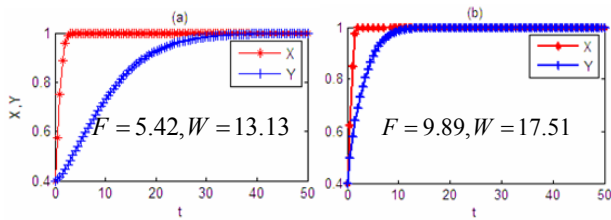


图7 外部收益和损失对系统演化路径的影响

为比较仿真模拟中各个变量的作用效果,笔者进一步考察变量的作用弹性(因变量变动的比例/自变量变动的比例),即上述9个变量分别变动1%,所引起收敛速度变动的百分比,弹性计算式为 $E_i = (\Delta v_i / v_i) / (\Delta i / i)$,其中 i 为9个变量中任意一个, v_i 为相应的收敛速度, $\Delta v_i, \Delta i$ 为各自的变动量。经计算可得: $E_\lambda = 0.5, E_k = 0.67, E_{\Delta C_1} = 1.6, E_{\Delta C_2} = 1.33, E_{\Delta P_1} = 0.27, E_{\Delta P_2} = 1.37, E_\alpha = 0.73, E_F = 0.77, E_W = 1.86$ 。据此可知,收敛速度对 $\Delta C_1, \Delta C_2, \Delta P_2, W$ 的弹性均大于1(富有弹性),对其余变量的弹性系数小于1(缺乏弹性)。

五、结论及政策含义

上述研究表明,奶农与乳品加工企业双方质量控制策略选择的演化方向受质量预防成本、质量检验成本、原奶收购价格、乳品销售价格、市场监管力度、外部收益及其分配系数、外部损失及其分摊系数等七类因素(含13个变量)的影响。具体表现为:缩小高低质量预防成本差及高低质量检验成本差,扩大高低质量原奶收购价格差及乳品销售价格差,加强市场监管力度,提高外部收益,优化收益分配系数,加大惩罚力度(增加潜在损失),合理分摊损失,将会促进奶农和乳品企业质量控制策略向良好合作的方向发展。弹性分析结果进一步表明,质量预防成本和乳品企业质量检验成本、乳品销售价格、外部潜在损失等因素的作用效果更为明显。因此,为优化奶农与乳品加工企业的质量控制策略选择,政府应重视以下方面工作:第一,提高奶农质量预防成本补贴;从资金和技术方面大力支持乳品加工企业进行技术研发,以提高检验效率。第二,督促企业实施优质优价策略,检验结果必须公开透明,切实保证奶农收益。第三,通过减免关税鼓励乳品出

口,生产高附加值产品,优化乳品结构。第四,努力修复消费者信心,扩大国产乳品的市场份额,增大奶农和乳品加工企业的外部收益。第五,加大监管力度,及时有效地公开问题乳品信息,并勒令相关企业停业整顿,增大其潜在损失。

参考文献:

- [1] 慕永利,徐贤浩.我国乳品供应链质量安全问题探讨[J].中国食物与营养,2006(12):16-17.
- [2] 刘东,贾愚.食品质量安全供应链规制研究:以乳品为例[J].商业研究,2010(2):100-105.
- [3] 王福兆,孙少华.乳牛学[M].北京:科学技术文献出版社,2010:250-280.
- [4] Mazé A, Polin S, Raynaud E. Quality signals and governance structures within European agro-food chains: A new institutional economics approach[C]. Copenhagen: 78th EAAE Seminar and NJF Seminar, 2001: 15-16.
- [5] 张云华,孔祥智,杨晓艳,等.食品供应链中质量安全问题的博弈分析[J].中国软科学,2004(11):23-26.
- [6] 孔祥智,钟真.奶站质量控制的经济解释[J].农业经济问题,2009(9):24-29.
- [7] Xie S. Theory of evolutive game under the limited rationality[J]. Journal of Shanghai University of Finance and Economics, 2001: 3-7.
- [8] R K M G M. Learning, mutation, and long-run equilibria in games[J]. Econometrica, 1993: 29-56.
- [9] Wang L. Coopetition mechanism in supply chain network: An evolutionary game theory approach[J]. Forecasting, 2007: 12-17.
- [10] 彭玉珊.优质猪肉供应链中养殖与屠宰加工环节的质量安全行为协调机制研究[D].泰安:山东农业大学,2012.
- [11] 申强,侯云先.奶农与企业原料奶质量控制行为进化博弈分析[J].农业技术经济,2011(8):26-33.
- [12] Friedman D. Evolutionary game in economics[J]. Econometrics, 1991(5): 637-666.
- [13] 张煜,汪寿阳.食品供应链质量安全管理模式研究——三鹿奶粉事件案例分析[J].管理评论,2010,22(10):67-73.
- [14] 杨伟民.基于供应链的乳业“一体化”研究[J].农业经济问题,2007(增刊):90-94.

责任编辑:李东辉