

doi: 10.3969/j.issn.1007-7375.2020.06.007

基于互联网环境的生鲜农产品质量安全控制研究

霍红, 白艺彩

(哈尔滨商业大学 管理学院, 黑龙江 哈尔滨 150028)

摘要: 针对生鲜农产品质量安全问题, 构建了基于互联网环境下农户、龙头企业、消费者的三方演化博弈模型, 探讨三方主体行为策略的演化过程以及策略选择的相互影响。通过求解稳定均衡点, 分析了不同情形下生鲜农产品质量安全三方主体的演化路径, 并使用Matlab进行算例分析。研究发现, 生鲜农产品质量安全三方演化博弈模型存在多重演化稳定策略, 且存在相应的演化稳定条件。据此提出了促使农户和龙头企业提供优质安全生鲜农产品的相关建议, 为提高生鲜农产品质量安全水平提供了一个方向。

关键词: 互联网环境; 生鲜农产品; 质量安全; 演化博弈

中图分类号: F302

文献标志码: A

文章编号: 1007-7375(2020)06-0052-08

A Research on Quality and Safety Control of Fresh Agricultural Products under Internet Environment

HUO Hong, BAI Yicai

(School of Management, Harbin University of Commerce, Harbin 150028, China)

Abstract: For the quality and safety of fresh agricultural products, a tripartite evolutionary game model between farmers, leading enterprises and consumers in the internet environment is constructed. With the evolutionary game model, the evolutionary process and the strategy selection of the other main bodies under the interaction of three subjects are explored. Through solving the stability equilibrium point, the evolution path of fresh agricultural products quality and safety under different conditions is analyzed, using matlab for example analysis. The results show that the tripartite evolutionary game model of fresh agricultural products quality and safety has multiple evolutionary stabilization strategies, and there are corresponding evolutionary stability conditions. Suggestions promoting farmers and leading enterprises to provide high quality and safety fresh agricultural products are put forward, which may provide a direction for controlling the quality and safety level of the fresh agricultural products.

Key words: internet environment; fresh agricultural products; quality and safety; evolutionary game

随着我国互联网技术的快速发展, 互联网技术正在逐渐渗透各种传统行业, 生鲜农产品也通过互联网技术迎来了新的机遇。但是伴随新技术、新方法的应用, 新的质量安全问题也会产生^[1]。近年来, 生鲜农产品质量安全事件多次发生, 产生了恶劣的影响, 一定程度上暴露了生鲜农产品质量安全方面的问题。生鲜农产品质量安全关系到人们的健康和生命, 如何有效保证生鲜农产品质量安全是亟待解决的问题。

生鲜农产品质量安全往往受生鲜农产品供应链各主体行为的影响^[2]。Goodhue^[3]研究发现食品供应链中农户、加工企业、运输企业和零售企业之间的契约关系能更好地控制产品质量。Kirezieva等^[4]对生鲜农产品安全管理风险进行分析和评价。奚雷等^[2]对生鲜农产品供应链质量安全方面存在的主要问题进行了分析。后来博弈论被引入农产品供应链管理, 作为农产品质量安全控制研究的主要方法。Wang等^[5]以新古典经济学和博弈论为基础研究了农

收稿日期: 2019-09-22

基金项目: 国家社科基金青年资助项目(16CJY048); 黑龙江省哲学社会科学研究规划资助项目(17GLB023); 黑龙江省哲学社会科学研究规划资助项目(18JYB147)

作者简介: 霍红(1963-), 女, 山东省人, 教授, 博士, 主要研究方向为物流与供应链管理。

产品供应链质量安全的风险因素。杨松等^[6]从农产品质量安全投入的角度, 构建了农产品供应商和生产商的演化博弈模型, 研究表明其策略与双方质量安全投入的成本收益转化率密切相关。朱立龙等^[7-8]从政府监管的角度, 构建了政府监管部门、农产品生产加工企业和第三方检测机构之间的三方演化博弈模型, 表明惩罚力度、寻租收益、寻租成本是影响演化稳定策略的关键因素。他们后来引入消费者激励机制, 分析政府监管部门和农产品生产企业的策略选择的演变趋势。晚春东等^[9]通过引入有效抽检率, 构建了供应链视角下的食品原材料供应商和食品生产商之间的动态演化博弈模型。石金雨等^[10]引入原材料供应有限的约束条件, 构建了农户和加工企业的演化博弈模型, 研究发现提高生鲜农产品的质量安全水平可通过加强监管实现。石焯然等^[11]考虑到质量管理的问题, 引入了质量努力参数, 研究努力水平下的农产品质量安全演化博弈。

综上, 现有研究大多是对传统生鲜农产品质量安全进行研究, 对于互联网环境下的生鲜农产品质量安全研究较少。将互联网思维应用于生鲜农产品供应链, 对发展“互联网+”生鲜农产品供应链具有重大意义^[12]。因此, 本文在互联网环境下, 采用演化博弈方法研究生鲜农产品供应链上农户、龙头企业和消费者的行为策略, 并使用Matlab对三方主体的演化过程进行算例分析。通过求解演化博弈的稳定均衡点和算例分析, 得到促使农户和龙头企业提供优质安全生鲜农产品的相关建议, 为提高生鲜农产品质量安全水平提供依据。

1 基本假设与模型构建

假设一个三级生鲜农产品供应链, 农户与龙头企业以签订合同的形式建立契约关系, 龙头企业通过线上或线下渠道向消费者销售产品。生鲜农产品本身具有易腐性, 不能被退回, 由于互联网技术使得产品具有可追溯性, 一旦产品发生问题, 可以追溯到责任人。假设参与主体都是有限理性, 并以追求自身利益最大化为目标。参与主体的策略选择分别为农户选择提供(优质安全、劣质有害)的生鲜农产品、龙头企业选择(检测、不检测)、消费者选择(不投诉、投诉)。

农户根据合同向龙头企业提供农产品, 可以选择提供优质安全或劣质有害的生鲜农产品。假设农

户提供优质安全生鲜农产品的生产成本为 C_h , 提供劣质有害的生鲜农产品的生产成本为 C_l , 不论其提供优质安全还是劣质有害的生鲜农产品, 都将获得 V_a 的收益, 且 $V_a > C_h > C_l$ 。但当农户选择提供劣质有害的生鲜农产品, 并被龙头企业检测到时, 将会对农户进行 C_p 的处罚, 并且不会得到收益。同时, 政府监管部门也会对农户生产劣质有害生鲜农产品的行为进行查处, 并将会对其进行 f_a 的处罚。

龙头企业可以选择对生鲜农产品进行检测, 防止上游农户以次充好; 也可以选择为节省检测费用, 不对农产品进行检测。假设不论龙头企业是否进行检测, 其通过出售生鲜农产品都将获得 V_c 的收益, 付出 C_c 的成本。若其选择对从上游农户处所购进的生鲜农产品进行检测, 则可以检测出劣质有害生鲜农产品的概率为 λ , $0 \leq \lambda \leq 1$, 检测成本为 C_m , 同时得到对提供劣质有害的生鲜农产品的农户 C_p 的处罚收入。若上游农户提供劣质有害的生鲜农产品并被检测到, 则龙头企业会选择从其他农户处收购优质安全的生鲜农产品, 同样需要 C_m 的检测成本。若龙头企业选择不对所收购的生鲜农产品进行检测, 其出售的生鲜农产品可能是劣质有害的, 则会受到政府监管部门的查处, 处罚为 f_c 。

互联网环境下消费者可以清楚地知道产品信息, 可以追溯到具体责任人。此时, 为了节省不必要的麻烦, 消费者可以选择不投诉, 也可以选择投诉来捍卫自己的权益。假设消费者购买到优质安全的生鲜农产品得到的效用为 U_h , 但如果其对生鲜农产品的质量安全要求较高, 且具有投诉意向, 这会使产生 C_l 的成本。若消费者购买到劣质有害的生鲜农产品得到的效用为 U_l , 消费者对生鲜农产品进行投诉的成本为 C_t , 政府监管部门对责任人处罚后给消费者的补偿为 π , 且 $\pi > C_t$ 。此外, 消费者未投诉的情况下, 政府监管部门对生产劣质有害的生鲜农产品的农户、龙头企业进行查处的概率为 γ , 政府监管部门收到消费者投诉的情况下对农户、龙头企业进行查处的概率为 γ' , 且 $0 \leq \gamma \leq \gamma' \leq 1$ 。

根据以上内容, 通过建立博弈树来直观地描述农户、龙头企业、消费者之间的博弈过程, 如图1所示。

农户、龙头企业和消费者可以自由进行策略选择。假设农户选择提供优质安全生鲜农产品的概率为 x , 则提供劣质有害生鲜农产品的概率为 $1-x$; 龙头企业选择检测的概率为 y , 则选择不检测的概率

为 $1-y$ ；消费者选择不投诉的概率为 z ，则选择投诉的概率为 $1-z$ 。 $x, y, z \in [0, 1]$ 。由图1得到生鲜农产品质量安全问题三方博弈的支付矩阵，如表1所示。

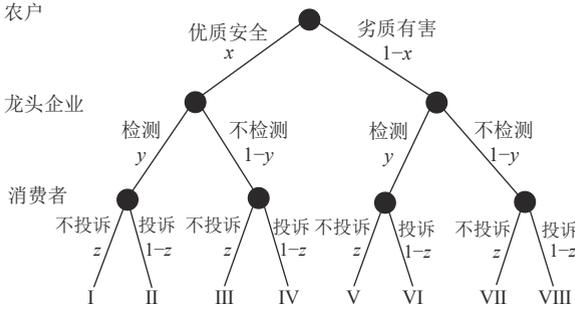


图 1 生鲜农产品质量安全问题三方博弈树模型

Figure 1 Tripartite game tree model for quality and safety of fresh agricultural products

2 演化博弈均衡分析

2.1 收益期望函数构建

通过支付矩阵可以构建农户、龙头企业和消费者的收益期望函数。

1) 农户的期望收益。设农户提供优质安全的生鲜农产品的期望收益为 U_{x1} ，提供劣质有害的生鲜农产品的期望收益为 U_{x2} ，则农户的平均期望收益为 \bar{U}_x ， $\bar{U}_x = xU_{x1} + (1-x)U_{x2}$ 。其中， $U_{x1} = y[z(V_a - C_h) + (1-z)(V_a - C_h)] + (1-y)[z(V_a - C_h) + (1-z)(V_a - C_h)] = V_a - C_h$ ， $U_{x2} = y\{z[(1-\lambda)V_a - C_1 - \lambda C_p - \gamma f_a] + (1-z)[(1-\lambda)V_a - C_1 - \lambda C_p - \gamma' f_a]\} + (1-y)\{z[(1-\lambda)V_a - C_1 - \lambda C_p - \gamma f_a] + (1-z)[(1-\lambda)V_a - C_1 - \lambda C_p - \gamma' f_a]\} = (1-y\lambda)V_a - C_1 - y\lambda C_p - [z\gamma + (1-z)\gamma']f_a$ 。

2) 龙头企业的期望收益。设龙头企业选择检测的期望收益为 U_{y1} ，选择不检测的期望收益为

U_{y2} ，则龙头企业的平均期望收益为 \bar{U}_y ， $\bar{U}_y = yU_{y1} + (1-y)U_{y2}$ 。其中， $U_{y1} = x[z(V_e - C_e - C_m) + (1-z)(V_e - C_e - C_m)] + (1-x)\{z[V_e - C_e - (1+\lambda)C_m + \lambda C_p - (1-\lambda)\gamma' f_e] + (1-z)[V_e - C_e - (1+\lambda)C_m + \lambda C_p - (1-\lambda)\gamma' f_e]\} = V_e - C_e - (1+\lambda-x\lambda)C_m + (1-x)\lambda C_p - (1-x)(1-\lambda)[z\gamma + (1-z)\gamma']f_e$ ， $U_{y2} = x[z(V_e - C_e - \gamma' f_e) + (1-z)(V_e - C_e - \gamma' f_e)] + (1-x)[z(V_e - C_e - \gamma' f_e) + (1-z)(V_e - C_e - \gamma' f_e)] = V_e - C_e - [z\gamma + (1-z)\gamma']f_e$ 。

3) 消费者的期望收益。设消费者选择不投诉的期望收益为 U_{z1} ，选择投诉的期望收益为 U_{z2} ，则平均期望收益为 \bar{U}_z ， $\bar{U}_z = zU_{z1} + (1-z)U_{z2}$ 。其中， $U_{z1} = x[y(U_h + (1-y)U_1) + (1-x)\{y[(1-\lambda)U_1 + \lambda U_h] + (1-y)U_1\}] = (1-y\lambda + xy\lambda - xy)U_1 + y(\lambda - x\lambda + x)U_h$ ， $U_{z2} = x[y(U_h - C_i) + (1-y)(U_1 - C_i + \pi)] + (1-x)\{y[(1-\lambda)U_1 + \lambda U_h - C_i + (1-\lambda)\pi] + (1-x)(U_1 - C_i + \pi)\} = (1-xy - y\lambda + xy\lambda)U_1 + y(x + \lambda - x\lambda)U_h - C_i + (1-xy - y\lambda + xy\lambda)\pi$ 。

2.2 三方博弈复制动态方程

根据以上分析，可以得到农户的复制动态方程为

$$F(x) = \frac{dx}{dt} = x(U_{x1} - \bar{U}_x) = x(1-x)\{y\lambda V_a - C_h + C_1 + y\lambda C_p + [z\gamma + (1-z)\gamma']f_a\} \tag{1}$$

龙头企业的复制动态方程为

$$F(y) = \frac{dy}{dt} = y(U_{y1} - \bar{U}_y) = y(1-y)\{-(1+\lambda-x\lambda)C_m + (1-x)\lambda C_p + (x+\lambda-x\lambda)[z\gamma + (1-z)\gamma']f_e\} \tag{2}$$

消费者的复制动态方程为

$$F(z) = \frac{dz}{dt} = z(U_{z1} - \bar{U}_z) = z(1-z)[C_i - (1-xy - y\lambda + xy\lambda)\pi] \tag{3}$$

将式(1)~(3)联立，可得由农户、龙头企业、消费者组成的复制动态系统

表 1 生鲜农产品质量安全问题三方博弈的支付矩阵

Table 1 Payment matrix of tripartite game for quality and safety of fresh agricultural products

农户	消费者	龙头企业	
		检测(y)	不检测(1-y)
优质安全(x)	不投诉(z)	$V_a - C_h$ $V_e - C_e - C_m$ U_h	$V_a - C_h$ $V_e - C_e - \gamma f_e$ U_1
	投诉(1-z)	$V_a - C_h$ $V_e - C_e - C_m$ $U_h - C_i$	$V_a - C_h$ $V_e - C_e - \gamma' f_e$ $U_1 - C_i + \pi$
劣质有害(1-x)	不投诉(z)	$(1-\lambda)V_a - C_1 - \lambda C_p - \gamma f_a$ $V_e - C_e - (1+\lambda)C_m + \lambda C_p - (1-\lambda)\gamma' f_e$ $(1-\lambda)U_1 + \lambda U_h$	$V_a - C_1 - \gamma f_a$ $V_e - C_e - \gamma' f_e$ U_1
	投诉(1-z)	$(1-\lambda)V_a - C_1 - \lambda C_p - \gamma' f_a$ $V_e - C_e - (1+\lambda)C_m + \lambda C_p - (1-\lambda)\gamma' f_e$ $(1-\lambda)U_1 + \lambda U_h - C_i + (1-\lambda)\pi$	$V_a - C_1 - \gamma' f_a$ $V_e - C_e - \gamma' f_e$ $U_1 - C_i + \pi$

$$\begin{cases} F(x) = x(1-x)\{y\lambda V_a - C_h + C_1 + y\lambda C_p + [z\gamma + (1-z)\gamma']f_a\}, \\ F(y) = y(1-y)\{-(1+\lambda-x\lambda)C_m + (1-x)\lambda C_p + (x+\lambda-x\lambda)[z\gamma + (1-z)\gamma']f_e\}, \\ F(z) = z(1-z)[C_i - (1-xy-y\lambda+xy\lambda)\pi]. \end{cases} \quad (4)$$

Friedman等^[13]提出复制动力系统的演化稳定策略可以通过分析该系统的雅克比矩阵的局部稳定性得到, 由式(4)得到由农户、龙头企业、消费者组成的复制动态系统的雅克比矩阵为

$$J = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix}. \quad (5)$$

其中, $A_{11} = (1-2x)\{y\lambda V_a - C_h + C_1 + y\lambda C_p + [z\gamma + (1-z)\gamma']f_a\}$; $A_{12} = x(1-x)(\lambda V_a + \lambda C_p)$; $A_{13} = x(1-x)(\gamma - \gamma')f_a$; $A_{21} = y(1-y)\{\lambda C_m - \lambda C_p + (1-\lambda)[z\gamma + (1-z)\gamma']f_e\}$; $A_{22} = (1-2y)\{-(1+\lambda-x\lambda)C_m + (1-x)\lambda C_p + (x+\lambda-x\lambda)[z\gamma + (1-z)\gamma']f_e\}$; $A_{23} = y(1-y)\{(x+\lambda-x\lambda)(\gamma - \gamma')f_e\}$; $A_{31} = z(1-z)(y-y\lambda)\pi$; $A_{32} = z(1-z)(x+\lambda-x\lambda)\pi$; $A_{33} = (1-2z)\times [C_i - (1-xy-y\lambda+xy\lambda)\pi]$.

在由农户、龙头企业、消费者组成的复制动态系统中, 通过使 $F(x) = F(y) = F(z) = 0$, 可以得到8个局部均衡点, 分别为 $E_1(0,0,0)$, $E_2(0,0,1)$, $E_3(0,1,0)$, $E_4(1,0,0)$, $E_5(0,1,1)$, $E_6(1,0,1)$, $E_7(1,1,0)$, $E_8(1,1,1)$.

2.3 均衡点的稳定性分析

下面首先分析均衡点为 $E_1(0,0,0)$ 的情况, 此时雅克比矩阵为

$$J_1 = \begin{bmatrix} -C_h + C_1 + \gamma'f_a & 0 & 0 \\ 0 & -(1+\lambda)C_m + \lambda C_p + \lambda\gamma'f_e & 0 \\ 0 & 0 & C_i - \pi \end{bmatrix}.$$

可以看出, 此时雅克比矩阵的特征值为 $\lambda_1 = -C_h +$

$C_1 + \gamma'f_a$, $\lambda_2 = -(1+\lambda)C_m + \lambda C_p + \lambda\gamma'f_e$, $\lambda_3 = C_i - \pi$ 。同样, 将8个均衡点分别代入式(5), 可得均衡点所对应的雅克比矩阵的特征值, 如表2所示。

根据演化博弈理论, 满足雅克比矩阵的所有特征值都小于0时的均衡点为演化稳定点(ESS)。本文通过5种情形对均衡点的稳定性进行分析。

情形1 当 $-C_h + C_1 + \gamma'f_a < 0$ 且 $-(1+\lambda)C_m + \lambda C_p + \lambda\gamma'f_e < 0$ 时, 即农户提供优质安全的生鲜农产品的生产成本大于其提供劣质有害的生鲜农产品的生产成本与在消费者进行投诉的情况下政府监管部门对其处罚之和, 且当农户提供劣质有害的生鲜农产品和消费者选择投诉时, 龙头企业选择检测的利润小于其选择不检测的利润。此时, 由表3可以看出, 均衡点 $E_1(0,0,0)$ 所对应的雅克比矩阵的特征值均小于0, 则均衡点 $E_1(0,0,0)$ 为稳定点, 其对应的演化策略为(劣质有害, 不检测, 投诉)。

情形2 当 $-C_h + C_1 + \gamma'f_a > 0$ 且 $-C_m + \gamma'f_e < 0$ 时, 即农户提供优质安全的生鲜农产品的生产成本小于其提供劣质有害的生鲜农产品的生产成本与在消费者投诉的情况下政府监管部门对其处罚的成本之和, 且龙头企业的检测成本大于在消费者投诉的情况下政府监管部门对其的处罚。此时, 由表3可以看出, 均衡点 $E_4(1,0,0)$ 所对应的雅克比矩阵的特征值均小于0, 则均衡点 $E_4(1,0,0)$ 为稳定点, 其对应的演化策略为(优质安全, 不检测, 投诉)。

情形3 当 $\lambda V_a - C_h + C_1 + \lambda C_p + \gamma'f_a < 0$ 且 $-(1+\lambda)C_m + \lambda C_p + \lambda\gamma'f_e > 0$ 且 $C_i - (1-\lambda)\pi < 0$ 时, 即当消费者选择投诉时, 农户提供优质安全生鲜农产品的利润小于其提供劣质有害生鲜农产品的利润, 农户选择提供劣质有害的生鲜农产品。这种情况下, 龙头企业选择检测的利润大于其选择不检测的利润, 且当农户

表2 雅克比矩阵的特征值

Table 2 Eigenvalues of the Jacobian matrix

均衡点	特征值1	特征值2	特征值3
$E_1(0,0,0)$	$-C_h + C_1 + \gamma'f_a$	$-(1+\lambda)C_m + \lambda C_p + \lambda\gamma'f_e$	$C_i - \pi$
$E_2(0,0,1)$	$-C_h + C_1 + \gamma f_a$	$-(1+\lambda)C_m + \lambda C_p + \lambda\gamma f_e$	$-C_i + \pi$
$E_3(0,1,0)$	$\lambda V_a - C_h + C_1 + \lambda C_p + \gamma'f_a$	$(1+\lambda)C_m - \lambda C_p - \lambda\gamma'f_e$	$C_i - (1-\lambda)\pi$
$E_4(1,0,0)$	$C_h - C_1 - \gamma'f_a$	$-C_m + \gamma'f_e$	$C_i - \pi$
$E_5(0,1,1)$	$\lambda V_a - C_h + C_1 + \lambda C_p + \gamma f_a$	$(1+\lambda)C_m - \lambda C_p - \lambda\gamma f_e$	$-C_i + (1-\lambda)\pi$
$E_6(1,0,1)$	$C_h - C_1 - \gamma f_a$	$-C_m + \gamma f_e$	$-C_i + \pi$
$E_7(1,1,0)$	$-\lambda V_a + C_h - C_1 - \lambda C_p - \gamma'f_a$	$C_m - \gamma'f_e$	C_i
$E_8(1,1,1)$	$-\lambda V_a + C_h - C_1 - \lambda C_p - \gamma f_a$	$C_m - \gamma f_e$	$-C_i$

表 3 三方演化博弈系统均衡解的稳定分析

Table 3 Stability analysis of equilibrium solution of tripartite evolutionary game system

均衡点	特征值符号	稳定性
$E_1(0,0,0)$	当 $-C_h + C_1 + \gamma'f_a < 0$ 且 $-(1+\lambda)C_m + \lambda C_p + \lambda\gamma'f_e < 0$ 时, 均为负值	ESS
$E_2(0,0,1)$	有正值	非稳定点
$E_3(0,1,0)$	当 $\lambda V_a - C_h + C_1 + \lambda C_p + \gamma'f_a < 0$ 且 $-(1+\lambda)C_m + \lambda C_p + \lambda\gamma'f_e > 0$ 且 $C_t - (1-\lambda)\pi < 0$ 时, 均为负值	ESS
$E_4(1,0,0)$	当 $-C_h + C_1 + \gamma'f_a > 0$ 且 $-C_m + \gamma'f_e < 0$ 时, 均为负值	ESS
$E_5(0,1,1)$	当 $\lambda V_a - C_h + C_1 + \lambda C_p + \gamma'f_a < 0$ 且 $-(1+\lambda)C_m + \lambda C_p + \lambda\gamma'f_e > 0$ 且 $C_t - (1-\lambda)\pi > 0$ 时, 均为负值	ESS
$E_6(1,0,1)$	有正值	非稳定点
$E_7(1,1,0)$	有正值	非稳定点
$E_8(1,1,1)$	当 $\lambda V_a - C_h + C_1 + \lambda C_p + \gamma'f_a > 0$ 且 $-C_m + \gamma'f_e > 0$ 时, 均为负值	ESS

选择提供劣质有害的农产品、龙头企业选择检测时, 消费者选择不投诉的利润小于选择投诉的利润。此时, 由表3可以看出, 均衡点 $E_3(0,1,0)$ 所对应的雅克比矩阵的特征值均小于0, 则均衡点 $E_3(0,1,0)$ 为稳定点, 其对应的演化策略为(劣质有害, 检测, 投诉)。

情形4 当 $\lambda V_a - C_h + C_1 + \lambda C_p + \gamma'f_a < 0$ 且 $-(1+\lambda)C_m + \lambda C_p + \lambda\gamma'f_e > 0$ 且 $C_t - (1-\lambda)\pi > 0$ 时, 即当消费者选择不投诉时, 农户提供优质安全生鲜农产品的利润小于其提供劣质有害生鲜农产品的利润, 农户选择提供劣质有害的生鲜农产品。这种情况下, 龙头企业选择检测的利润大于其选择不检测的利润, 且当农户选择提供劣质有害的农产品、龙头企业选择检测时, 消费者选择不投诉的利润大于选择投诉的利润。此时, 由表3可以看出, 均衡点 $E_5(0,1,1)$ 所对应的雅克比矩阵的特征值均小于0, 则均衡点 $E_5(0,1,1)$ 为稳定点, 其对应的演化策略为(劣质有害, 检测, 不投诉)。

情形5 当 $\lambda V_a - C_h + C_1 + \lambda C_p + \gamma'f_a > 0$ 且 $-C_m + \gamma'f_e > 0$ 时, 即当消费者选择不投诉时, 农户提供优质安全的生鲜农产品的利润大于其提供劣质有害的生鲜农产品的利润, 且龙头企业的检测成本小于在消费者不投诉的情况下政府监管部门对其的处罚。此时, 由表3可以看出, 均衡点 $E_8(1,1,1)$ 所对应的雅克比矩阵的特征值均非正, 则均衡点 $E_8(1,1,1)$ 为稳定点, 其对应的演化策略为(优质安全, 检测, 不投诉)。

3 算例分析

根据复制动态方程及约束条件使用Matlab对农户、龙头企业和消费者策略选择的演化过程进行算

例分析。

情形1 当 $-C_h + C_1 + \gamma'f_a < 0$ 且 $-(1+\lambda)C_m + \lambda C_p + \lambda\gamma'f_e < 0$ 时, 取 $V_a=8$, $C_h=6$, $C_1=4$, $C_p=6$, $f_a=5$, $C_m=3$, $f_e=7$, $C_t=2$, $\pi=6$, $\gamma=0.2$, $\gamma'=0.3$, $\lambda=0.5$ 。仿真实验结果如图2所示。可以发现, 农户提供优质安全农产品的意愿先不断上升后下降, 直至为0; 龙头企业选择检测的意愿不断下降, 直至为0; 消费者不投诉的意愿也在不断减少, 直至为0。因此演化均衡状态趋向于(0,0,0)。在这种情况下, 即使消费者进行投诉, 政府监管部门进行监管的概率也很小, 无法对提供劣质有害农产品的农户和龙头企业产生足够的威慑力, 这就使得龙头企业有不检测农产品的动机和行为。因为龙头企业会对生鲜农产品进行检测, 所以前期农户提供优质安全农产品的意愿会增加, 但是一旦龙头企业不再对农产品进行检测, 农户提供优质安全农产品的意愿就会减少, 直至为0。农户和龙头企业这一行为会损害消费者的利益, 消费者为了维护自身利益只能不断进行投诉。

情形2 当 $-C_h + C_1 + \gamma'f_a > 0$ 且 $-C_m + \gamma'f_e < 0$ 时,

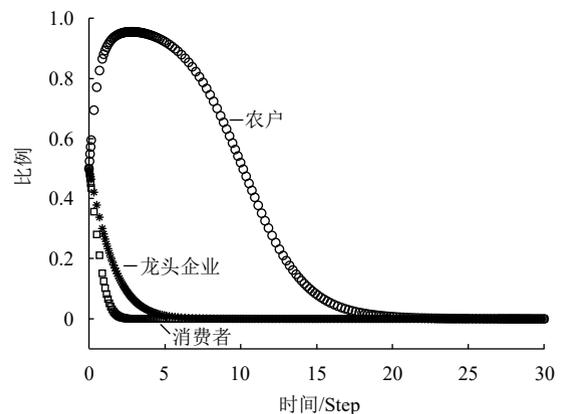


图 2 情形1的演化结果

Figure 2 Evolution result of case 1

取 $V_a=8, C_h=6, C_l=4, C_p=6, f_a=5, C_m=3, f_c=7, C_t=2, \pi=6, \gamma=0.2, \gamma'=0.4, \lambda=0.5$ 。仿真实验结果如图3所示。可以发现, 农户提供优质安全农产品的意愿不断上升, 直至为1; 龙头企业选择检测的意愿不断下降直至为0; 消费者不投诉的意愿也在不断减少, 直至为0。因此演化均衡状态趋向于(1,0,0)。相比情形1, γ' 即政府监管部门在消费者投诉的情况下对农户、龙头企业的监管概率增加了, 此时, 农户提供优质安全生鲜农产品的生产成本小于其提供劣质有害生鲜农产品的生产成本与在政府监管部门对其的处罚成本之和, 因此农户选择提供优质安全的生鲜农产品。然而此时, 监管概率对于龙头企业来说还不够, 其检测成本仍高于政府监管部门的处罚, 因此龙头企业选择不检测。消费者仍会购买到劣质有害的生鲜农产品, 因此会选择投诉。

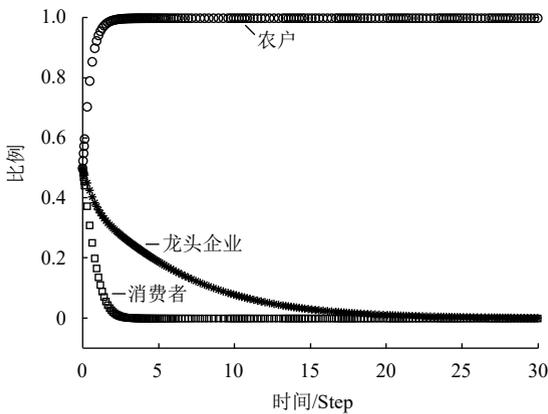


图3 情形2的演化结果
Figure 3 Evolution result of case 2

情形3 当 $\lambda V_a - C_h + C_l + \lambda C_p + \gamma' f_a < 0$ 且 $-(1+\lambda)C_m + \lambda C_p + \lambda \gamma' f_c > 0$ 且 $C_t - (1-\lambda)\pi < 0$ 时, 取 $V_a=8, C_h=6, C_l=2, C_p=6, f_a=3, C_m=1, f_c=7, C_t=2, \pi=6, \gamma=0.2, \gamma'=0.3, \lambda=0.2$ 。仿真实验结果如图4所示。可以发现, 农户提供优质安全农产品的意愿一直下降, 直至为0; 龙头企业选择检测的意愿缓慢上升, 直至为1; 消费者选择不投诉的意愿一直减少, 直至为0。因此演化均衡状态趋向于(0,1,0)。相比情形1, C_l 和 f_a 都降低了, 这意味着农户提供劣质有害生鲜农产品的利润大于其提供优质安全生鲜农产品的利润, 所以即使有政府监管部门和龙头企业的处罚, 农户依旧选择提供劣质有害的生鲜农产品。因为 C_m 即龙头企业的检测成本降低了, 政府监管部门的处罚依旧很高, 龙头企业对生鲜农产品进行检测的利润要大于其不检测的利润, 因此龙头企业会选择

对生鲜农产品进行检测。但是因为检测技术等限制, 龙头企业有一定的概率检测不出劣质有害的生鲜农产品, 这依然会损害消费者的利益, 特别是奖励远高于投诉的成本, 消费者为了利益会选择投诉。

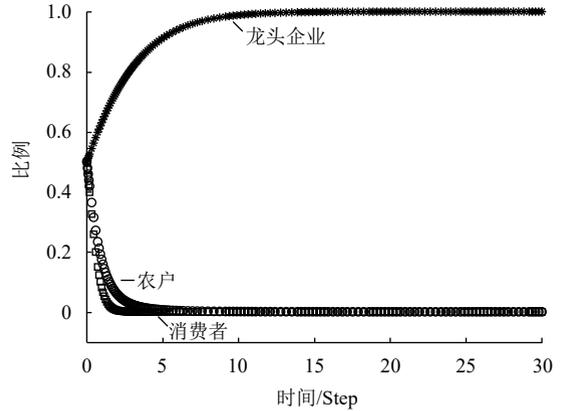


图4 情形3的演化结果
Figure 4 Evolution result of case 3

情形4 当 $\lambda V_a - C_h + C_l + \lambda C_p + \gamma' f_a < 0$ 且 $-(1+\lambda)C_m + \lambda C_p + \lambda \gamma' f_c > 0$ 且 $C_t - (1-\lambda)\pi > 0$ 时, 取 $V_a=8, C_h=6, C_l=2, C_p=3, f_a=3, C_m=1, f_c=7, C_t=3, \pi=4, \gamma=0.2, \gamma'=0.3, \lambda=0.3$ 。仿真实验结果如图5所示。可以发现, 农户提供优质安全生鲜农产品的意愿不断下降, 直至为0, 龙头企业选择检测的意愿不断上升, 直至为1; 消费者不投诉的意愿先减少后增加, 直至为1。因此演化均衡状态趋向于(0,1,1)。与情形3相比, 其他变量不变, C_p 更低, 农户提供劣质有害生鲜农产品的利润更高, 因此农户依然会选择提供劣质有害的生鲜农产品, 龙头企业也依然会选择进行检测。前期消费者购买到劣质有害的农产品依然会投诉, 但相比情形3, C_t 增加、 π 减少, 奖励勉强能够弥补投诉的成本, 同时因为龙头企业会进行检测, 购买到劣质有害的农产品的几率减少, 消费者会选择投诉。

情形5 当 $\lambda V_a - C_h + C_l + \lambda C_p + \gamma' f_a > 0$ 且 $-C_m + \gamma' f_c > 0$ 时, 取 $V_a=8, C_h=6, C_l=4, C_p=6, f_a=5, C_m=3, f_c=7, C_t=2, \pi=6, \gamma=0.5, \gamma'=0.6, \lambda=0.5$ 。仿真实验结果如图6所示。可以发现, 农户提供优质安全农产品的意愿不断上升, 直至为1, 龙头企业选择检测的意愿不断上升, 直至为1; 消费者不投诉的意愿先减少后增加, 直至为1。因此演化均衡状态趋向于(1,1,1)。相比情形1, 政府监管部门进行监管的概率大了许多, 在这种情况下, 即使消费者不进行投诉, 农户也会选择提供优质安全的生鲜农产品。

品,龙头企业也会选择进行检测。这时,消费者都会购买到优质安全的产品,有些对质量要求高的消费者依然不满意,有投诉的意愿,但是投诉也得不到奖励,还会损失投诉的成本,因此消费者选择不投诉。

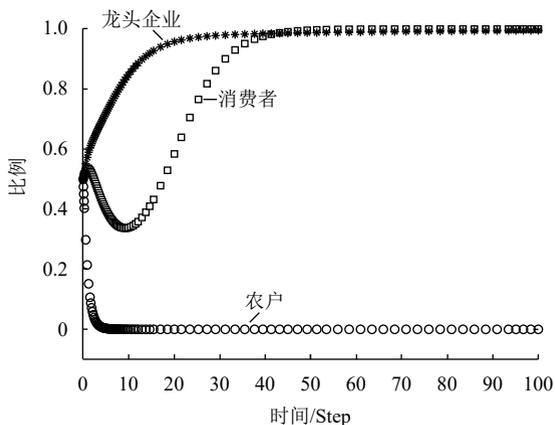


图 5 情形4的演化结果

Figure 5 Evolution result of case 4

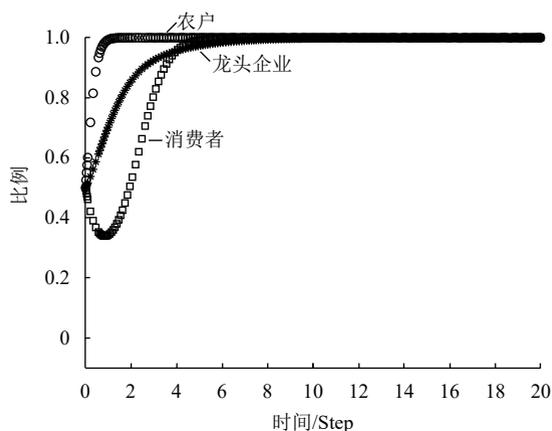


图 6 情形5的演化结果

Figure 6 Evolution result of case 5

4 结论与建议

以博弈参与主体均是有限理性为前提,采用演化博弈理论构建了农户、龙头企业和消费者参与的生鲜农产品质量安全三方博弈支付矩阵,对农户、龙头企业和消费者参与的生鲜农产品质量安全问题的演化过程进行了分析,并通过算例分析,对农户、龙头企业和消费者的策略选择以及其影响因素进行了研究。研究发现,生鲜农产品质量安全三方演化博弈模型存在多重演化稳定策略。当政府监管部门的监管概率、处罚成本,龙头企业的检测概率、检测成本、对农户的处罚成本等不断变化时,

会依次出现(劣质有害,不检测,投诉)、(优质安全,不检测,投诉)、(劣质有害,检测,投诉)、(劣质有害,检测,不投诉)和(优质安全,检测,不投诉)。

农户、龙头企业和消费者三方博弈均衡受政府监管部门的监管概率、处罚成本,龙头企业的检测概率、检测成本、对农户的处罚成本等多种因素的共同影响,由此提出以下建议。1) 加大惩罚力度。当政府监管部门发现农户生产劣质有害的生鲜农产品、龙头企业没有检测而使劣质有害的生鲜农产品销售出去时,对两者实施惩罚。当龙头企业检测出劣质有害的生鲜农产品时,加大对违规农户的处罚,促使农户生产优质安全的生鲜农产品。2) 强化检测效率。政府监管部门应根据实际情况适当加大对生产和销售劣质有害生鲜农产品的农户和龙头企业主动检测的概率,并合理增加对消费者投诉的响应程度。同时政府应考虑对龙头企业的检测设备进行补贴,以降低其检测成本,提高其检测概率。

本文研究中,假定农户、龙头企业出售生鲜农产品的成本和收益固定不变,今后将进一步深入研究成本和收益变化对双方行为策略的影响。还可利用Matlab进行算例分析,模拟仿真政府监管部门的监管概率、处罚成本,龙头企业的检测概率、检测成本、对农户的处罚成本等取不同值时,农户、龙头企业和消费者三方博弈的进化稳定策略,进一步验证本文所建模型的有效性与结论的正确性。

参考文献:

- [1] 刘华,黄建初,游文达,等.“互联网+”形势下农产品供应链质量安全要素分析及对策研究[J].农产品加工,2018(8):90-93.
LIU Hua, HUANG Jianchu, YOU Wenda, et al. The Countermeasure research and the analysis of the quality and safety factors of supply chain of agricultural products under the “internet+”[J]. Farm Products Processing, 2018(8): 90-93.
- [2] 奚雷,武刚强,郝世绵.生鲜农产品供应链质量安全问题研究[J].黑龙江工业学院学报,2017,17(9):66-69.
XI Lei, WU Gangqiang, HAO Shimian. Quality and safety of fresh agricultural product supply chain[J]. Journal of Heilongjiang University of Technology, 2017, 17(9): 66-69.
- [3] GOODHUE R E. Food quality: the design of incentive contracts[J]. Annual Review of Resource Economics, 2011, 3: 119-140.
- [4] KIREZIEVA K, NANYUNJA J, JACXSENS L, et al. Context factors affecting design and operation of food safety management systems in the fresh produce chain[J]. Trends in Food Science & Technology, 2013, 32(2): 108-127.
- [5] WANG J, CHEN T, WANG J. Research on cooperation strategy

- of enterprises' quality and safety in food supply chain[J]. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2015(3): 1-15.
- [6] 杨松, 庄晋财, 王爱峰. 惩罚机制下农产品质量安全投入演化博弈分析[J]. *中国管理科学*, 2019, 27(8): 181-190.
YANG Song, ZHUANG Jincai, WANG Aifeng. Evolutionary game of quality and safety investment of agricultural products under punishment mechanism[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2019, 27(8): 181-190.
- [7] 朱立龙, 郭鹏菲. 政府约束机制下农产品质量安全监管三方演化博弈及仿真分析[J]. *系统工程*, 2017, 35(12): 75-80.
ZHU Lilong, GUO Pengfei. Three-party evolutionary game and simulation analysis on agricultural product quality safety supervision under the condition of government constraints mechanism[J]. *Systems Engineering*, 2017, 35(12): 75-80.
- [8] 朱立龙, 郭鹏菲. 农产品质量安全监管演化博弈与仿真分析[J]. *统计与决策*, 2018, 34(20): 54-58.
ZHU Lilong, GUO Pengfei. Evolutionary game and simulation analysis on agricultural product quality safety supervision[J]. *Statistics & Decision*, 2018, 34(20): 54-58.
- [9] 晚春东, 秦志兵, 吴绩新. 供应链视角下食品安全风险控制研究[J]. *中国软科学*, 2018(10): 184-192.
WAN Chundong, QIN Zhibing, WU Jixin. Study on food safety risk control from the perspective of supply chain[J]. *China Soft Science*, 2018(10): 184-192.
- [10] 石金雨, 金鹏. 考虑原材料供应约束的生鲜农产品供应链质量安全演化博弈分析[J]. *科技与管理*, 2018, 20(3): 70-78.
SHI Jinyu, JIN Peng. Evolutionary game analysis on quality safety of fresh agricultural products supply chain with supply constraint of raw material[J]. *Science-Technology and Management*, 2018, 20(3): 70-78.
- [11] 石岩然, 马胡杰. 供应链企业信任的演化分析与实证研究[M]. 北京: 经济科学出版社, 2018.
- [12] 田立芳, 董琼. 国内农产品供应链研究综述[J]. *物流技术*, 2018, 37(10): 90-95, 153.
TIAN Lifang, DONG Qiong. Review of researches on domestic agricultural product supply chain[J]. *Logistics Technology*, 2018, 37(10): 90-95, 153.
- [13] FRIEDMAN D. Evolutionary games in economics[J]. *Econometrica*, 1991, 59(3): 637-666.

(责任编辑: 刘敏仪)

(上接第34页)

- [17] 彭志强, 熊中楷, 李根道. 考虑顾客策略行为的易逝品定价与再制造柔性补货机制研究[J]. *中国管理科学*, 2010, 18(2): 32-41.
PENG Zhiqiang, XIONG Zhongkai, LI Gendao. The pricing policy and remanufacturing flexible replenishment mechanism of perishable goods in the presence of strategic customer behavior[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2010, 18(2): 32-41.
- [18] 古川, 罗峦. 消费者质量识别对农产品供应链质量和价格决策的影响[J]. *管理评论*, 2016, 28(12): 225-234.
GU Chuan, LUO Luan. The impact of consumers' quality identification on the decisions of quality and price in an agricultural product supply chain[J]. *Management Review*, 2016, 28(12): 225-234.
- [19] 肖建敏, 黄宗盛. 考虑消费者满意的强势零售商自有品牌导入策略分析[J]. *软科学*, 2019, 33(1): 109-113.
XIAO Jianmin, HUANG Zongsheng. Store brand introducing for a powerful retailer of customer returns[J]. *Soft Science*, 2019, 33(1): 109-113.
- [20] 李海, 崔南方. 存在消费者退货风险的供应链决策[J]. *计算机集成制造系统*, 2013, 19(1): 155-164.
LI Hai, CUI Nanfang. Study on decision of supply chain with consumer returns risk[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2013, 19(1): 155-164.
- [21] 徐爱, 胡祥培, 高树凤. 家电绿色供应链中政府、企业、消费者三方博弈分析[J]. *科技管理研究*, 2012(23): 236-240.
XU Ai, HU Xiangpei, GAO Shufeng. A three-player game analysis among governments, enterprises and consumers in the green supply chain of the home appliance industry[J]. *Science and Technology Management Research*, 2012(23): 236-240.
- [22] 张芳, 崔文翠, 周岩. 低碳经济视角下政府、企业、消费者在农产品绿色供应链中的博弈研究[J]. *南京工业大学学报(社会科学版)*, 2015, 14(2): 96-102.
ZHANG Fang, CUI Wencui, ZHOU Yan. A game research among governments, enterprises and consumers in the green supply chain of agricultural products: based on a perspective of low-carbon economy[J]. *Journal of Nanjing Technology University (Social Science Edition)*, 2015, 14(2): 96-102.
- [23] 邵腾伟, 吕秀梅. 基于消费者主权的生鲜电商消费体验设置[J]. *中国管理科学*, 2018, 26(8): 118-126.
SHAO Tengwei, LYU Xiumei. To implant consumption experience for e-commerce of fresh agricultural products based on consumer sovereignty[J]. *Chinese Journal of management science*, 2018, 26(8): 118-126.

(责任编辑: 刘敏仪)