

doi:10.16055/j.issn.1672-058X.2022.0006.005

基于生鲜农产品供应链上的三方演化博弈分析

黄文,丘小玲

(贵州大学 数学与统计学院,贵阳 550025)

摘 要:针对生鲜农产品供应链上游环节中物流资源投入程度是否积极的问题,引入政府监管机制,建立政府监管部门、供应商与加工商之间的三方演化博弈模型,利用复制动态方程以及演化博弈理论知识,得到模型中行为主体策略选择的走向以及系统的演化稳定策略,并对参数进行赋值,用 MATLAB 软件进行仿真分析,验证了结果的合理性。研究表明:只有提高政府监管部门的形象效用、降低监管成本、增大处罚金额时,政府监管部门才愿意选择“监管”策略;而增大供应商与加工商积极投入物流资源的收益增加比率、缩减投入成本、减少“搭便车”行为获得的额外收益、加大消极投入的处罚时,供应商与加工商更倾向于“积极投入”策略。

关键词:生鲜农产品;物流资源;演化博弈;复制动态方程;演化稳定策略(ESS)

中图分类号:O225

文献标志码:A

文章编号:1672-058X(2022)06-0040-08

0 引 言

近年来,生鲜农产品的市场需求量在不断提升,但由于物流运输中存在隐患,到消费者手中的生鲜农产品质量大打折扣。原因是生鲜农产品产后需要进行初级加工和适温储存,且加工企业需要对其进行质量检测以及冷链运输等。而在运输中,生产企业与加工企业投入的物流资源较少,这会使得变质的生鲜农产品流入市场,食用后对人们的身体健康造成极大的危害。由此可见,研究供应链过程中的物流资源投入程度对生鲜农产品质量安全的影响有着重要的意义。

对于生鲜农产品供应链中的问题,较多学者认为是运营过程中存在信息不对称导致的市场混乱。Akerlof^[1]在研究二手车市场后,提出了信息不对称理论;Mccluskey^[2]在信息不对称条件下分析了农产品厂商间的博弈问题,并为农产品质量安全提出有效建议,但未涉及演化博弈论的思想;演化博弈

论^[3-4],以有限理性作为分析框架,弥补了传统博弈的许多不足,更能代表现实中博弈方的策略选择,众多学者将之应用到供应链研究中。许民利等^[5]针对食品供应链中出现的安全问题,建立食品质量投入的演化模型,得出商家质量投入策略与产出比密切相关,增强了食品的安全性,但未进行数值模拟来验证结果的正确性;杨松等^[6]在许民利等的研究基础上引入成本收益转化率系数,建立惩罚机制下的博弈模型,得到系统的演化稳定策略,对政府制定惩罚措施和进行质量安全投入的供应链成员有一定的启发,并且进行了仿真分析来支持结论,但未考虑物流资源对农产品质量安全的影响,也未深入分析供应链上的“搭便车”行为^[7],供应链上的行为主体有很强的“搭便车”^[8]动机;李昌兵等^[9]在研究食品供应链物流资源投入后得出:如果“搭便车”行为获得的额外收益很大,则会降低物流资源投入的积极性,并计算出了政府惩罚阈值,给供应链节点企业以警示,但未考虑将政府作为博弈方构成的三方演化博弈;朱立龙等^[10]构建政府、农产品加工企业与检测

收稿日期:2021-10-13;修回日期:2021-11-10.

基金项目:国家自然科学基金项目资助(12061020).

作者简介:黄文(1997—),男,重庆潼南人,硕士研究生,从事博弈论研究.

通讯作者:丘小玲(1980—),女,广西玉林人,教授,博士,从事博弈论、非线性分析理论研究. Email:xlqiu@gzu.edu.cn.

机构间的三方演化博弈,分析了系统的演化过程,并为改善农产品质量安全提出了有效措施,但未考虑消费者对政府的形象效用以及农产品生产企业对农产品质量安全的影响;李静等^[11]将政府、农产品生产企业以及审计单位联系起来建立三方博弈模型,对关键因子做了重要分析,并用数值验证了结果,但还未将供应链上游环节中生产企业与加工企业同时考虑进来,研究物流资源投入程度的积极性对生鲜农产品质量安全的影响。

综上所述,为考虑生鲜农产品供应链上游环节中物流资源投入程度是否积极的问题,将政府因素考虑进来,建立政府监管部门、供应商与加工商之间的三方演化博弈模型,利用复制动态方程以及演化博弈理论知识,得到模型中策略选择的走向以及系统的演化稳定策略,为政府的监管以及生鲜农产品供应链上游环节的企业提供一些建议。

1 模型的基本假设与构建

在本文的分析中,选择生鲜农产品供应链上游环节中的政府监管部门、供应商以及加工商3个行为主体,提出以下假设:

假设1 政府监管部门为参与人1,生鲜农产品的供应商为参与人2,生鲜农产品的加工商为参与人3,且3个参与人都是有限理性的,政府监管部门寻求市场利益最大化,供应商和加工商追求自身利润最大化。

假设2 政府监管部门的策略组合为 $S = (S_1, S_2) = (\text{监管}, \text{不监管})$,发生的概率分别为

$(x, 1-x)$;供应商的策略组合为 $A = (A_1, A_2) = (\text{积极投入}, \text{消极投入})$,发生的概率分别为 $(y, 1-y)$;加工商的策略组合为 $B = (B_1, B_2) = (\text{积极投入}, \text{消极投入})$,发生的概率分别为 $(z, 1-z)$ 。

假设3 政府监管部门在供应链中监管付出的成本为 C_S ,由于政府的监管,消费者得到了质量更高的生鲜农产品,由此转化来的形象效用为 W ;当政府不监管时,政府的名望下降所导致的损失为 W_L ,造成的生鲜农产品的浪费而损失的收益为 R_i ,其中,供应商($i=A$),加工商($i=B$)。

假设4 生鲜农产品在供应链中运输,当供应商与加工商消极投入物流资源时,市场需求量为 q ,每单位生鲜农产品成本为 C_i ,每单位生鲜农产品销售价格为 P_i ,由于政府的监管,会对消极投入物流资源的商家进行处罚,处罚金额为 F_i ,($i=A, B$)。

假设5 当供应商与加工商积极投入物流资源时,用于购买高质量设备等所花费的成本为 π_i ($i=A, B$),由于商家积极投入物流资源,消费者更愿意购买生鲜农产品,所带来的收益增加比率为 α_i, β_i (α 为供应商收益增加比率, β 为加工商收益增加比率, $i=0, 1$)。当供应链中只有单方商家积极投入物流资源时,另一方由于通过“搭便车”行为会获得额外收益为 T_i ($i=A, B$)。

以上所有假设参数都大于零,且 $P_A > C_A, P_B > P_A + C_B, \alpha_1 > \alpha_0, \beta_1 > \beta_0$ 。

基于上述假设,构建政府监管部门与生鲜农产品供应链上游环节中的供应商、加工商之间的博弈支付矩阵,如表1所示。

表1 三方演化博弈模型的支付矩阵
Table 1 Payment matrix of the three-party evolutionary game model

政府监管部门	供应商	加工商	
		积极投入(z)	消极投入($1-z$)
监管(x)	积极投入(y)	$W - C_S$ $(P_A - C_A)(q + \alpha_1 q) - \pi_A$ $(P_B - P_A - C_B)(q + \beta_1 q) - \pi_B$	$W - C_S + F_B$ $(P_A - C_A)(q + \alpha_0 q) - \pi_A$ $(P_B - P_A - C_B)q + T_B - F_B$
	消极投入($1-y$)	$W - C_S + F_A$ $(P_A - C_A)q + T_A - F_A$ $(P_B - P_A - C_B)(q + \beta_0 q) - \pi_B$	$W - C_S + F_A + F_B$ $(P_A - C_A)q - F_A$ $(P_B - P_A - C_B)q - F_B$
不监管($1-x$)	积极投入(y)	$-W_L$ $(P_A - C_A)(q + \alpha_1 q) - \pi_A$ $(P_B - P_A - C_B)(q + \beta_1 q) - \pi_B$	$-W_L - R_B$ $(P_A - C_A)(q + \alpha_0 q) - \pi_A$ $(P_B - P_A - C_B)q + T_B$
	消极投入($1-y$)	$-W_L - R_A$ $(P_A - C_A)q + T_A$ $(P_B - P_A - C_B)(q + \beta_0 q) - \pi_B$	$-W_L - R_A - R_B$ $(P_A - C_A)q$ $(P_B - P_A - C_B)q$

2 模型稳定性分析

2.1 政府监管部门策略的复制动态分析

对于政府监管部门来说,选择监管策略的收益、不监管策略的收益以及平均期望收益分别为

$$\begin{aligned} U_{S_1} &= yz(W-C_S) + y(1-z)(W-C_S+F_B) + \\ &\quad (1-y)z(W-C_S+F_A) + \\ &\quad (1-y)(1-z)(W-C_S+F_A+F_B) \\ U_{S_2} &= yz(-W_L) + y(1-z)(-W_L-R_B) + \\ &\quad (1-y)z(-W_L-R_A) + \\ &\quad (1-y)(1-z)(-W_L-R_A-R_B) \\ \bar{U}_S &= xU_{S_1} + (1-x)U_{S_2} \end{aligned}$$

根据 Malthusian 方程,可得政府监管部门的复制动态方程:

$$\begin{aligned} F(x) &= \frac{dx}{dt} = x(U_{S_1} - \bar{U}_S) = \\ &\quad x(1-x) [(W+W_L-C_S+F_A+F_B+R_A+R_B) - \\ &\quad y(F_A+R_A) - z(F_B+R_B)] \\ (1) \text{ 当 } y &= \frac{W+W_L-C_S+F_A+F_B+R_A+R_B}{F_A+R_A} - \frac{z(F_B+R_B)}{F_A+R_A} \end{aligned}$$

时, $F(x) \equiv 0$, 说明无论 x 取何值, x 都是稳定状态, 即政府监管部门不管选择怎样比例的“监管”, 策略均是稳定策略。

$$(2) \text{ 当 } y \neq \frac{W+W_L-C_S+F_A+F_B+R_A+R_B}{F_A+R_A} - \frac{z(F_B+R_B)}{F_A+R_A}$$

时, 只有 $x=0, x=1$ 两点是稳定状态, 此时分为两种情况:

$$\textcircled{1} \text{ 当 } 0 < y < \frac{W+W_L-C_S+F_A+F_B+R_A+R_B}{F_A+R_A} - \frac{z(F_B+R_B)}{F_A+R_A} <$$

1 时, $F'(x)|_{x=0} > 0, F'(x)|_{x=1} < 0$, 于是 $x=1$ 是演化稳定策略, 即当供应商选择“积极投入”策略的比例小于 $\frac{W+W_L-C_S+F_A+F_B}{F_A+R_A} + \frac{R_A+R_B-z(F_B+R_B)}{F_A+R_A}$ 时, 政府监管部门最后会选择“监管”策略;

$$\textcircled{2} \text{ 当 } 0 < \frac{W+W_L-C_S+F_A+F_B+R_A+R_B}{F_A+R_A} - \frac{z(F_B+R_B)}{F_A+R_A} <$$

$y < 1$ 时, $F'(x)|_{x=0} < 0, F'(x)|_{x=1} > 0$, 于是 $x=0$ 是演化稳定策略, 即当供应商选择“积极投入”策略的比例大于 $\frac{W+W_L-C_S+F_A+F_B}{F_A+R_A} + \frac{R_A+R_B-z(F_B+R_B)}{F_A+R_A}$ 时, 政府监管部门最后会选择“不监管”策略。

由上述分析可知, 政府监管部门策略选择的走

向不仅会受到供应商策略选择的影响, 还会受到加工商策略选择的影响, 而且政府监管部门的形象效用、惩罚金额、生鲜农产品浪费的损失等各参数的变化都会对政府监管部门策略的演化结果产生影响。当政府监管部门选择“不监管”策略时, 存在 $0 < 1 - \frac{C_S - W - W_L - F_B - R_B + zF_B}{F_A + R_A} - \frac{zR_B}{F_A + R_A} < y < 1$, 可得命题 1。

命题 1 当消费者对政府监管部门的形象效用提升, 政府监管部门加大对商家消极投入物流资源的惩罚, 政府监管投入的成本降低, 政府不监管导致的损失增加以及由生鲜农产品浪费导致的损失升高时, 存在 $y < 1 - \frac{C_S - W - W_L - F_B - R_B}{F_A + R_A} - \frac{z(F_B + R_B)}{F_A + R_A} < 1$, 则政府监管部门选择将“不监管”策略转向“监管”策略。

2.2 供应商策略的复制动态分析

同理, 可得供应商的复制动态方程:

$$\begin{aligned} F(y) &= y(1-y) \{ [(P_A - C_A) \alpha_0 q - \pi_A] + xF_A + \\ &\quad z[(P_A - C_A) (\alpha_1 - \alpha_0) q - T_A] \} \\ (1) \text{ 当 } z &= \frac{-(P_A - C_A) \alpha_0 q + \pi_A - xF_A}{(P_A - C_A) (\alpha_1 - \alpha_0) q - T_A} \text{ 时, } F(y) \equiv 0, \end{aligned}$$

说明无论 y 取何值, y 都是稳定状态, 即供应商不管选择怎样比例的“积极投入”, 策略均是稳定策略。

$$(2) \text{ 当 } z \neq \frac{-(P_A - C_A) \alpha_0 q + \pi_A - xF_A}{(P_A - C_A) (\alpha_1 - \alpha_0) q - T_A} \text{ 时, 只有 } y=0,$$

$y=1$ 两点是稳定状态, 此时分为两种情况:

$$\textcircled{1} \text{ 当 } 0 < z < \frac{-(P_A - C_A) \alpha_0 q + \pi_A - xF_A}{(P_A - C_A) (\alpha_1 - \alpha_0) q - T_A} < 1 \text{ 时,}$$

$F'(y)|_{y=0} < 0, F'(y)|_{y=1} > 0$, 于是 $y=0$ 是这时的演化稳定策略, 也就是说当加工商选择“积极投入”策略的比例小于 $\frac{-(P_A - C_A) \alpha_0 q + \pi_A - xF_A}{(P_A - C_A) (\alpha_1 - \alpha_0) q - T_A}$ 时, 供应商最终会选择“消极投入”策略;

$$\textcircled{2} \text{ 当 } 0 < \frac{-(P_A - C_A) \alpha_0 q + \pi_A - xF_A}{(P_A - C_A) (\alpha_1 - \alpha_0) q - T_A} < z < 1 \text{ 时,}$$

$F'(y)|_{y=0} > 0, F'(y)|_{y=1} < 0$, 于是 $y=1$ 是这时的演化稳定策略, 也就是说当加工商选择“积极投入”策略的比例大于 $\frac{-(P_A - C_A) \alpha_0 q + \pi_A - xF_A}{(P_A - C_A) (\alpha_1 - \alpha_0) q - T_A}$ 时, 供应商最终会选择“积极投入”策略。

由上述分析可知, 供应商策略选择的走向不仅会受到加工商策略选择的影响, 还会受到政府监管部门策略选择的影响, 而且供应商积极投入物流资源的收益增加比率、积极投入物流资源的成本、“搭便车”行为获得的收益等各参数都会影响供应商的

策略演化。当供应商选择“消极投入”策略时,存在 $0 < z < \frac{-(P_A - C_A)\alpha_0 q + \pi_A - xF_A}{(P_A - C_A)(\alpha_1 - \alpha_0)q - T_A} < 1$, 可得命题2。

命题2 当供应商积极投入物流资源所带来的收益增加比率越高,积极投入物流资源的成本降低,通过“搭便车”行为获得的收益减少,消极投入物流资源的惩罚加大时,存在 $\frac{-(P_A - C_A)\alpha_0 q + \pi_A - xF_A}{(P_A - C_A)(\alpha_1 - \alpha_0)q - T_A} < z < 1$, 则供应商的策略选择将由“消极投入”转向“积极投入”。

2.3 加工商策略的复制动态分析

可得加工商的复制动态方程:

$$F(z) = z(1-z) \{ [(P_B - P_A - C_B)\beta_0 q - \pi_B] + y[(P_B - P_A - C_B)(\beta_1 - \beta_0)q - T_B] \} + xF_B$$

$$(1) \text{ 当 } x = \frac{-(P_B - P_A - C_B)\beta_0 q + \pi_B + yT_B}{F_B} -$$

$\frac{y[(P_B - P_A - C_B)(\beta_1 - \beta_0)q]}{F_B}$ 时, $F(z) \equiv 0$, 说明无论 z

取何值, z 都是稳定状态, 即加工商不管选择怎样比例的“积极投入”, 策略均是稳定策略。

$$(2) \text{ 当 } x \neq \frac{-(P_B - P_A - C_B)\beta_0 q + \pi_B + yT_B}{F_B} -$$

$\frac{y[(P_B - P_A - C_B)(\beta_1 - \beta_0)q]}{F_B}$ 时, 只有 $z = 0, z = 1$ 两点

是稳定状态, 此时分两种情况:

$$\textcircled{1} \text{ 当 } 0 < x < \frac{-(P_B - P_A - C_B)\beta_0 q + \pi_B + yT_B}{F_B} -$$

$\frac{y[(P_B - P_A - C_B)(\beta_1 - \beta_0)q]}{F_B} < 1$ 时, $F'(z)|_{z=0} < 0$,

$F'(z)|_{z=1} > 0$, 于是 $z = 0$ 是演化稳定策略, 也即当政府监管部门选择“监管”策略的比例小于

$$\frac{-(P_B - P_A - C_B)\beta_0 q - y[(P_B - P_A - C_B)(\beta_1 - \beta_0)q]}{F_B} +$$

$\frac{\pi_B + yT_B}{F_B}$ 时, 加工商终会选择“消极投入”策略。

$$\textcircled{2} \text{ 当 } 0 < \frac{-y[(P_B - P_A - C_B)(\beta_1 - \beta_0)q - T_B] + \pi_B}{F_B} -$$

$$J = \begin{pmatrix} (1-2x)[(W+W_L-C_S+F_A+F_B+R_A+R_B)-y(F_A+R_A)-z(F_B+R_B)] & -x(1-x)(F_A+R_A) & -x(1-x)(F_B+R_B) \\ y(1-y)F_A & (1-2y)\{[P'_A\alpha_0-\pi_A]+xF_A+yz[P'_A(\alpha_1-\alpha_0)-T_A]\} & y(1-y)[P'_A(\alpha_1-\alpha_0)-T_A] \\ z(1-z)F_B & z(1-z)[P'_B(\beta_1-\beta_0)-T_B] & (1-2z)\{[P'_B\beta_0-\pi_B]+xF_B+y[P'_B(\beta_1-\beta_0)-T_B]\} \end{pmatrix}$$

$$\frac{(P_B - P_A - C_B)\beta_0 q}{F_B} < x < 1 \text{ 时, } F'(z)|_{z=0} > 0, F'(y)|_{y=1} <$$

0, 于是 $z = 1$ 是演化稳定策略, 也即当政府监管部门选择“监管”策略的比例大于

$$\frac{-(P_B - P_A - C_B)\beta_0 q - y[(P_B - P_A - C_B)(\beta_1 - \beta_0)q]}{F_B} +$$

$\frac{\pi_B + yT_B}{F_B}$ 时, 加工商终会选择“积极投入”策略。

由上述分析可知, 加工商策略选择的走向既会受到政府监管部门策略选择的影响, 还会受到供应商策略选择的影响, 而且加工商积极投入物流资源的收益增加比率、积极投入物流资源的成本、“搭便车”行为获得的收益等各参数都会影响加工商的策略演化。当加工商选择“消极投入”策略时, 存在 $0 < x < \frac{-(P_B - P_A - C_B)\beta_0 q + \pi_B}{F_B} - \frac{y[(P_B - P_A - C_B)(\beta_1 - \beta_0)q - T_B]}{F_B}$

< 1 , 可得命题3。

命题3 当加工商积极投入物流资源所获得的收益增加比率升高, 积极投入物流资源的成本越低, 由“搭便车”行为获得的收益减少, 加工商消极投入物流资源时的惩罚加大时, 存在 $\frac{-(P_B - P_A - C_B)\beta_0 q - y[(P_B - P_A - C_B)(\beta_1 - \beta_0)q]}{F_B} +$

$\frac{\pi_B + yT_B}{F_B} < x < 1$, 则加工商的策略选择将由“消极投入”转向“积极投入”。

3 三方演化平衡点的稳定性分析

根据 Ritzberger 和 Weibull^[12] 研究的结果可知, 对于政府监管部门、供应商和加工商三方之间的系统演化均衡点的稳定性, 只需讨论均衡点 $E_1(0,0,0)$, $E_2(1,0,0)$, $E_3(0,1,0)$, $E_4(0,0,1)$, $E_5(1,1,0)$, $E_6(1,0,1)$, $E_7(0,1,1)$, $E_8(1,1,1)$ 的渐进稳定性, 其余的点则都是非渐近稳定点。根据政府监管部门、供应商和加工商的复制动态方程, 令 $P'_A = (P_A - C_A)q$, $P'_B = (P_B - P_A - C_B)q$ 可得系统的雅克比矩阵为

根据李雅普诺夫第一法则知,如果均衡点为演化稳定策略(ESS),则其所对应的雅可比矩阵的特

征值是非正的,则各均衡点的特征值如表 2 所示。

表 2 各均衡点的特征值

Table 2 Eigenvalues of each equilibrium point

均衡点	特征值 λ_1	特征值 λ_2	特征值 λ_3
$E_1(0,0,0)$	$W+W_L-C_S+F_A+F_B+R_A+R_B$	$P'_A\alpha_0-\pi_A$	$P'_B\beta_0-\pi_B$
$E_2(1,0,0)$	$-W-W_L+C_S-F_A-F_B-R_A-R_B$	$P'_A\alpha_0-\pi_A+F_A$	$P'_B\beta_0-\pi_B+F_B$
$E_3(0,1,0)$	$W+W_L-C_S+F_B+R_B$	$-(P'_A\alpha_0-\pi_A)$	$P'_B\beta_1-\pi_B-T_B$
$E_4(0,0,1)$	$W+W_L-C_S+F_A+R_A$	$P'_A\alpha_1-\pi_A-T_A$	$-(P'_B\beta_0-\pi_B)$
$E_5(1,1,0)$	$-(W+W_L-C_S+F_B+R_B)$	$-(P'_A\alpha_0-\pi_A+F_A)$	$P'_B\beta_1-\pi_B+F_B-T_B$
$E_6(1,0,1)$	$-(W+W_L-C_S+F_A+R_A)$	$P'_A\alpha_1-\pi_A+F_A-T_A$	$-(P'_B\beta_0-\pi_B+F_B)$
$E_7(0,1,1)$	$W+W_L-C_S$	$-(P'_A\alpha_1-\pi_A-T_A)$	$-(P'_B\beta_1-\pi_B-T_B)$
$E_8(1,1,1)$	$-(W+W_L-C_S)$	$-(P'_A\alpha_1-\pi_A+F_A-T_A)$	$-(P'_B\beta_1-\pi_B+F_B-T_B)$

为了方便分析不同均衡点所对应特征值的正负号,且不失一般性,假设 $W+W_L+F_i+R_i>C_S$ ($i=A,B$), $P'_A\alpha_0-\pi_A>0$, $P'_B\beta_0-\pi_B>0$, 即政府监管所获得的形象效用、不监管导致的损失、对商家惩罚的收益与生鲜农产品浪费导致的损失之和大于监管所付出的成本,商家积极投入物流资源获得的收益大于商家积极投入物流资源付出的成本。由于系统中的参数多且复杂,下面分 4 种情况对演化稳定策略进行讨论。

情形 1 当 $P'_A\alpha_1-\pi_A+F_A-T_A<0$ 时,即供应商积极投入物流资源所获得的收益与积极投入物流资源所付出的成本之差小于供应商“搭便车”所获得的收益与政府对供应商消极投入物流资源的惩罚之差,此时,由表 2 可以看出均衡点 $E_6(1,0,1)$ 所对应的雅可比矩阵的特征值为负,此情形下系统的稳定点为 $(1,0,1)$, 相位图见图 1, 其对应的演化稳定策略为(监管,消极投入,积极投入)。

情形 2 当 $P'_B\beta_1-\pi_B+F_B-T_B<0$ 时,即加工商积极投入物流资源所带来的收益与积极投入物流资源付出的成本之差小于加工商“搭便车”所获得的收益与政府对加工商消极投入物流资源的惩罚之差,此时,由表 2 可以看出均衡点 $E_5(1,1,0)$ 所对应的雅可比矩阵的特征值为负,此情形下系统的稳定点为 $(1,1,0)$, 相位图见图 2, 其对应的演化稳定策略为(监管,积极投入,消极投入)。

情形 3 当 $W+W_L-C_S<0$, $P'_A\alpha_1-\pi_A-T_A>0$ 且 $P'_B\beta_1-\pi_B-T_B>0$ 时,即政府监管的形象效用与不监管的名望损失之和小于政府监管所付出的成本,并且供应商与加工商积极投入物流资源的收益大于积

极投入物流资源所付出的成本与消极投入时通过“搭便车”行为获得的收益之和,此时,由表 2 可以看出均衡点 $E_7(0,1,1)$ 所对应的雅可比矩阵的特征值为负,此情形下系统的稳定点为 $(0,1,1)$, 相位图见图 3, 其对应的演化稳定策略为(不监管,积极投入,积极投入)。

情形 4 当 $W+W_L-C_S>0$, $P'_A\alpha_1-\pi_A+F_A-T_A>0$ 且 $P'_B\beta_1-\pi_B+F_B-T_B>0$ 时,即政府监管的形象效用与不监管的名望损失之和大于政府监管所付出的成本,并且供应商与加工商积极投入物流资源带来的收益与积极投入物流资源付出的成本之差大于双方通过“搭便车”行为所获得的收益与政府对双方消极投入物流资源的惩罚之差,此时,由表 2 可以看出均衡点 $E_8(1,1,1)$ 所对应的雅可比矩阵的特征值为负,此情形下系统的稳定点为 $(1,1,1)$, 相位图见图 4, 其对应的演化稳定策略为(监管,积极投入,积极投入)。

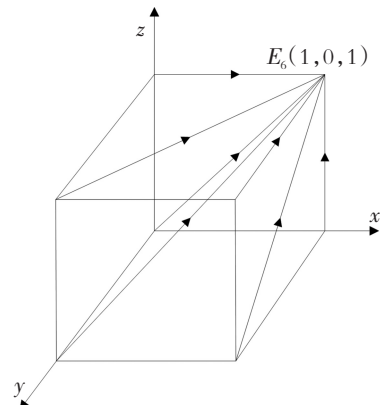
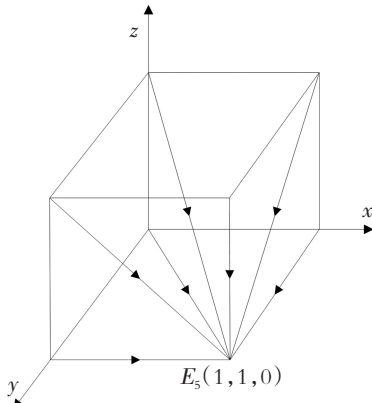
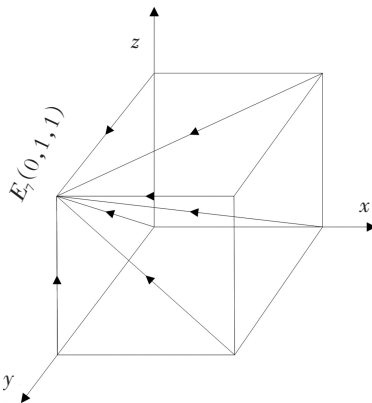
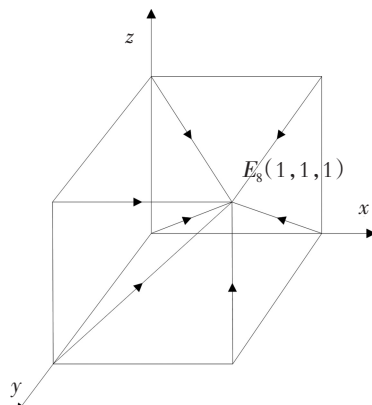


图 1 当 $P'_A\alpha_1-\pi_A+F_A-T_A<0$ 时的相位图

Fig. 1 Phase diagram at $P'_A\alpha_1-\pi_A+F_A-T_A<0$

图2 当 $P'_B\beta_1 - \pi_B + F_B - T_B < 0$ 时的相位图Fig. 2 Phase diagram at $P'_B\beta_1 - \pi_B + F_B - T_B < 0$ 图3 当 $W + W_L - C_S < 0, P'_A\alpha_1 - \pi_A - T_A > 0$
且 $P'_B\beta_1 - \pi_B - T_B > 0$ 时的相位图Fig. 3 Phase diagram at $W + W_L - C_S < 0$,
 $P'_A\alpha_1 - \pi_A - T_A > 0$ and $P'_B\beta_1 - \pi_B - T_B > 0$ 图4 当 $W + W_L - C_S > 0, P'_A\alpha_1 - \pi_A + F_A - T_A > 0$
且 $P'_B\beta_1 - \pi_B + F_B - T_B > 0$ 时的相位图Fig. 4 Phase diagram at $W + W_L - C_S > 0$,
 $P'_A\alpha_1 - \pi_A + F_A - T_A > 0$ and $P'_B\beta_1 - \pi_B + F_B - T_B > 0$

4 仿真分析

为更直观地分析生鲜农产品上游环节中政府监管部门、供应商和加工商的演化路径以及稳定状态,

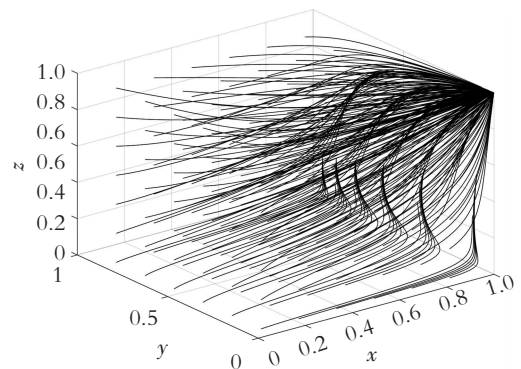
对上面4种情形的参数变量进行取值,利用 Matlab 软件对这4种情形的演化稳定策略分别进行仿真。其中,各参数的取值需满足前提假设: $W + W_L + F_i + R_i > C_S (i=A, B)$; $P'_A\alpha_0 - \pi_A > 0$; $P'_B\beta_0 - \pi_B > 0$ 。由于模型中其他参数的变化不影响这4种情形下的演化稳定策略,所以赋值为 $P_A = 0.6, C_A = 0.1, P_B = 1.2, C_B = 0.2, q = 10, \alpha_0 = 0.2, \beta_0 = 0.3, R_A = 0.1, R_B = 0.1$ 。

当政府监管部门、供应商和加工商的演化稳定策略为 $E_6(1, 0, 1)$ 时,需满足的条件为 $P'_A\alpha_1 - \pi_A + F_A - T_A < 0$, 则取 $W = 1.5, W_L = 1, C_S = 1.2, F_A = 0.2, F_B = 0.8, \alpha_1 = 0.3, \beta_1 = 0.4, \pi_A = 0.8, T_A = 2, \pi_B = 0.8, T_B = 1$, 进行仿真分析,其演化路径如图5所示,系统最终演化到 $(1, 0, 1)$ 。

当政府监管部门、供应商和加工商的演化稳定策略为 $E_5(1, 1, 0)$ 时,需满足的条件为 $P'_B\beta_1 - \pi_B + F_B - T_B < 0$, 则取 $W = 1.5, W_L = 1, C_S = 1.2, F_A = 0.8, F_B = 0.2, \alpha_1 = 0.3, \beta_1 = 0.4, \pi_A = 0.2, T_A = 0.8, \pi_B = 1, T_B = 2$, 进行仿真分析,其演化路径如图6所示,系统最终演化到 $(1, 1, 0)$ 。

当政府监管部门、供应商和加工商的演化稳定策略为 $E_7(0, 1, 1)$ 时,需满足的条件为 $W + W_L - C_S < 0, P'_A\alpha_1 - \pi_A - T_A > 0$ 且 $P'_B\beta_1 - \pi_B - T_B > 0$, 则取 $W = 1, W_L = 0.5, C_S = 2.5, F_A = 0.2, F_B = 0.2, \alpha_1 = 0.5, \beta_1 = 0.7, \pi_A = 0.2, T_A = 0.8, \pi_B = 0.5, T_B = 1$, 进行仿真分析,其演化路径如图7所示,系统最终演化到 $(0, 1, 1)$ 。

当政府监管部门、供应商和加工商的演化稳定策略为 $E_8(1, 1, 1)$ 时,需满足的条件为 $W + W_L - C_S > 0, P'_A\alpha_1 - \pi_A + F_A - T_A > 0$ 且 $P'_B\beta_1 - \pi_B + F_B - T_B > 0$, 则取 $W = 1, W_L = 0.5, C_S = 0.8, F_A = 0.2, F_B = 0.2, \alpha_1 = 0.5, \beta_1 = 0.6, \pi_A = 0.6, T_A = 0.8, \pi_B = 0.5, T_B = 1$, 进行仿真分析,其演化路径如图8所示,系统最终演化到 $(1, 1, 1)$ 。

图5 演化到 $(1, 0, 1)$ Fig. 5 Evolution to $(1, 0, 1)$

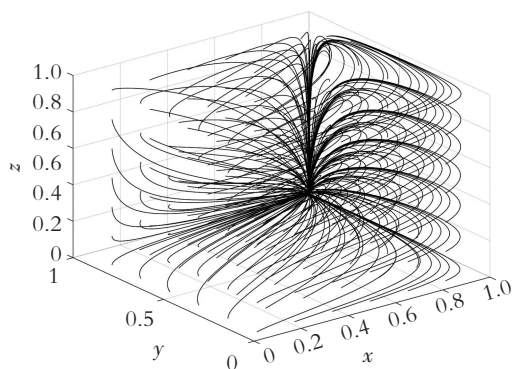


图 6 演化到(1,1,0)

Fig. 6 Evolution to (1,1,0)

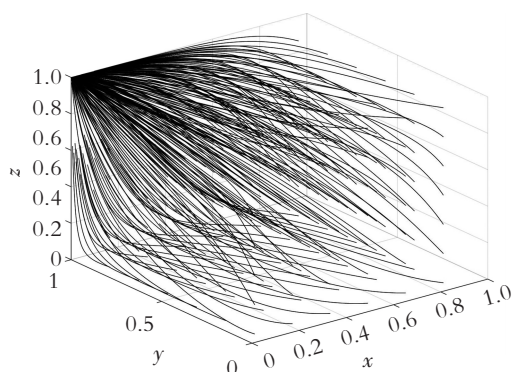


图 7 演化到(0,1,1)

Fig. 7 Evolution to (0,1,1)

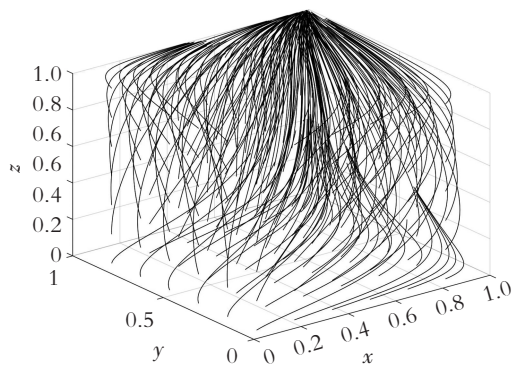


图 8 演化到(1,1,1)

Fig. 8 Evolution to (1,1,1)

5 结论与展望

利用演化博弈理论研究了生鲜农产品供应链上游环节中政府监管部门、供应商与加工商之间的三方演化博弈模型,得出了 3 个行为主体对积极投入物流资源的策略演化过程。结果表明:当形象效用提升、监管成本降低、对消极投入的处罚金额增大时,政府监管部门更愿意选择“监管”策略;当供应商与加工商积极投入物流资源的收益增加比率越

高、投入成本越低、“搭便车”行为获得的额外收益较少、政府监管部门对消极投入的处罚加大时,供应商与加工商更倾向于“积极投入”策略。因此,该研究成果可以为政府调控以及节点企业的物流运输提供建议。文章尚未考虑生鲜农产品供应链中生产加工企业可能存在的契约协调和激励机制的行为策略,所以如何通过合理的契约设计来激励生鲜农产品供应链中各节点企业共同选择积极投入物流资源将是未来进一步研究的一个重要方向。

参考文献(References):

- [1] AKERLOF G A. The market for “lemons”: quality uncertainty and the market mechanism [J]. Quarterly Journal of Economics, 1970, 84(3): 488—500.
- [2] MCCLUSKEY J J. A game theoretic approach to organic foods: an analysis of asymmetric information and policy[J]. Agricultural and Resource Economics Review, 2000, 29(1): 1—9.
- [3] 乔根 W 威布尔. 演化博弈论[M]. 上海: 格致出版社, 2015.
WEIBULL J W. Evolutionary game theory [M]. Shanghai: Gezhi Press, 2015.
- [4] SMITH J M. The theory of games and the evolution of animal conflicts[J]. Journal of Theoretical Biology, 1974, 47(1): 209—221.
- [5] 许民利, 王俏, 欧阳林寒. 食品供应链中质量投入的演化博弈分析[J]. 中国管理科学, 2012, 20(5): 131—141.
XU Min-li, WANG Qiao, OUYANG Lin-han. Evolutionary game analysis of quality input in food supply chain[J]. China Management Science, 2012, 20(5): 131—141.
- [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): 184—193.
YANG Song, ZHUANG Jin-cai, WANG Ai-feng. Evolutionary game analysis of agricultural product quality and safety investment under punishment mechanism[J]. China Management Science, 2019, 27(8): 184—193.
- [7] 周燕, 张麒麟, 付丽娜. 信息公开机制控制搭便车行为的效果—实验证据[J]. 管理科学学报, 2014, 17(4): 86—94.
ZHOU Yan, ZHANG Qi-lin, FU Li-na. Effect of information disclosure mechanism on free riding behavior — experimental evidence[J]. Journal of Management Science, 2014, 17(4): 86—94.
- [8] KEVENHRSTER P, MANCUR O. The logic of collective

- action: public goods and the theory of groups[M]. Cambridge: Harvard University Press, 1965.
- [9] 李昌兵,汪尔晶,杨宇. 政府监管下冷链物流资源投入的演化博弈研究[J]. 北京交通大学学报, 2017, 16(3): 113—123.
- LI Chang-bing, WANG Er-jing, YANG Yu. Research on evolutionary game of cold chain logistics resource investment under government supervision[J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2017, 16(3): 113—123
- [10] 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, 288(12): 79—84.
- ZHU Li-long, GUO Peng-fei. Tripartite evolutionary game and simulation analysis of agricultural product quality and safety supervision under government restraint mechanism[J]. Systems Engineering, 2017, 288(12): 79—84.
- [11] 李静. 生产、监管、审计对农产品质量的三方博弈推判与仿真[J]. 统计与信息论坛, 2019, 34(11): 90—97.
- LI Jing. Tripartite game inference and simulation of production, supervision and audit on the quality of agricultural products[J]. Statistics and Information Forum, 2019, 34(11): 90—97.
- [12] RITZBERGER K, WEIBULL J W. Evolutionary selection in normal-form games[J]. Econometrica, 1995, 63(6): 1371—1399.

Analysis of Three-party Evolutionary Game Based on Fresh Agricultural Products Supply Chain

HUANG Wen, QIU Xiao-ling

(School of Mathematics and Statistics, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: Aiming at the question of whether the input of logistics resources in the upstream link of the fresh agricultural product supply chain is positive, a government supervision mechanism is introduced, and a three-party evolutionary game model between government supervision departments, suppliers and processors is established. The trend of the behavior subject's strategy selection and the system's evolutionary stability strategy in the model are obtained by using the replication dynamic equation and the knowledge of evolutionary game theory, and the parameters are assigned and simulated by MATLAB software to verify the rationality of the results. The results show that only when the image utility of the government supervision department is improved, the supervision cost is reduced, and the penalty amount is increased, the government supervision department is willing to choose the "supervision" strategy; however, when increasing the ratio of profit increase of suppliers and processors actively investing in logistics resources, reducing input costs, reducing the additional benefits obtained from "free-riding" behavior, and increasing penalties for passive investment, suppliers and processors are more inclined to "active" investment" strategy.

Key words: fresh agricultural products; logistics resources; evolutionary game; replication dynamic equation; evolutionary stability strategy (ESS)

责任编辑:李翠薇

引用本文/Cite this paper:

黄文,丘小玲. 基于生鲜农产品供应链上的三方演化博弈分析[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2022, 39(6): 40—47.

HUANG Wen, QIU Xiao-ling. Analysis of three-party evolutionary game based on fresh agricultural products supply chain[J]. Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Science Edition), 2022, 39(6): 40—47.