

基于微分博弈的乳制品供应链质量管理研究

贾晓霞¹, 智路平¹, 师萌²

(1. 上海理工大学管理学院, 上海 200093; 2. 上海市德邦物流股份有限公司, 上海 201702)

摘要: 考虑到合理的成本分担及公平的利润分配是影响乳制品供应链系统稳定及乳制品质量保证的重要环节, 本文以一个乳制品加工企业、一个奶农(牧场)和一个零售商所构成的三级供应链为研究对象, 引入微分博弈的方法, 研究在4种不同的乳制品质量管理博弈情形下, 乳制品供应链上各成员企业愿意为质量管理工作付出的努力及其收益。研究表明, 乳制品加工企业的质量控制和质量改进两种工作的努力程度在3种非合作质量管理博弈情形下具有相同的表现, 而在合作质量管理博弈情形下, 为了供应链整体利益考虑, 核心企业即乳制品加工企业的质量管理工作努力程度发生了变化。而对于乳制品供应链上游的奶农和下游的零售商而言, 二者对于质量管理工作的努力程度随着乳制品供应链合作的深化而不断提高, 在理想的合作博弈情形下达到了最高。

关键词: 乳制品供应链; 供应链质量; 微分博弈; 成本分担

中图分类号: F224.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-980X(2021)02-0065-10

一、引言

中国奶业协会指出, 乳制品在所有的动物性消费品中拥有最大的城镇居民收入需求弹性, 系数为0.674 (王岳峰和谢如鹤, 2002), 然而, 从2004年阜阳劣质奶粉、2005年雀巢婴幼儿奶粉碘超标、2008年三鹿的三聚氰胺事件, 到2015年“倒奶杀牛”现象, 乳制品质量风波频频发生。显然, 乳制品安全不可避免地受到乳制品供应链上各成员企业的影响, 而这些成员企业关注的焦点便在于成本分担是否合理及利益分配是否均衡。现有关于乳制品质量问题的研究在研究对象上多针对乳制品供应链上单个企业展开, 且在研究方法上, 大多运用静态博弈关注乳制品的质量控制, 事实上, 乳制品的质量形成从原料奶开始, 风险具有累加性, 且乳制品质量水平的变化贯穿从上游奶农到下游零售商三级供应链的全过程, 故本文拟引入微分博弈的方法, 在将乳品加工企业作为乳品供应链核心企业的基础上, 构建乳制品质量水平变化的微分方程, 探索不同的质量管理博弈情形下的最优质量管理策略、各自的最优收益和供应链的整体最优收益, 以为乳制品供应链中各成员企业质量管理工作的改进提供一定的决策支持。

二、国内外文献综述

(一) 国外研究现状

国外对于乳业的研究历史相对悠久, 已形成比较完善的乳制品供应链体系, 研究重点主要集中在乳制品供应链管理和乳制品供应链质量管理方面。典型研究有: Helen (2004) 基于对乳制品供应链垂直一体化趋势的认同, 提出处于上游的原料乳生产和中游的乳制品加工环节应当保证乳制品的安全, 且由于奶农牧场的原料乳生产活动一般不为大众所知, 故加强对牧场奶农的管理十分必要且重要。Faye 和 Loiseau (2006) 则主要围绕美国和欧洲乳制品的质量安全措施进行了研究, 其中, 美国侧重于政府视角出发的质量管理举措, 而欧洲侧重于从供应链角度提出乳制品质量安全建议, 该措施建议更适合于管理水平较低的发展中国家。在研究非合作情形供应链质量协调方面, Hsieh 和 Liu (2010) 研究了不同信息披露程度下, 传统两级供应链上供应商和制造商的质量和检验投资策略, 并对有缺陷产品在均衡状态下惩罚的合理性进行了评估。Xie et al (2011) 研究了在不确定的需求下, 全球供应链中的供应链双方基于订单的质量投资和价格决策问题。Chen (2014) 对中国乳制品掺假牛奶事件进行了调查和研究, 指出由于缺乏对乳制品供应链各环节的严格管理, 乳

收稿日期: 2020-05-04

基金项目: 上海市哲学社会科学规划一般课题“城市生活垃圾智慧治理的国际经验与上海实践研究”(2019BCK011)

作者简介: 贾晓霞, 博士, 上海理工大学管理学院教授, 研究方向: 管理决策与风险管理; 智路平, 博士, 上海理工大学管理学院工程师, 研究方向: 供应链管理与优化; 师萌, 硕士, 上海市德邦物流股份有限公司管理专员, 研究方向: 供应链管理。

制品质量安全水平急需强有力的保证。

(二) 国外研究现状

相较于西方国家,我国乳业现代化发展比较晚,学术研究早期也主要集中在乳业组织模式和发展战略方面。震惊全国的三聚氰胺事件引发了学者们对乳制品供应链质量安全问题的深入、细致和广泛的研究。一些学者结合危害分析与关键点控制(HACCP)食品安全体系或从原奶供应、原奶收购与乳制品加工、乳品流通和销售、消费者食用环节深入揭示乳制品供应链的质量安全问题(白宝光等,2013;丁正新和林锦国,2013;吴强和孙世民,2015;张凯和樊斌,2016;郭延景和孙世民,2017)。随着微分博弈研究的深入,年晓红和黄琳(2004)研究了线性二次微分和非线性微分对策在军事、经济领域的应用;熊中楷等(2009)将微分博弈的方法引入管理领域,构建了多寡头品牌和大类广告策略的微分博弈模型;同样是广告合作策略研究,张智勇等(2014)将微分博弈引入到双渠道广告合作协调的策略研究中;陈光华(2014)结合斯坦克伯格博弈模型,探索了经济适用房的定价机制问题;朱莹等(2017)从低碳供应链的可持续发展角度,建立了协同技术创新的随机微分博弈模型,运用HJB方程求得Stackelberg博弈与协同合作博弈情形下,供应商和制造商的最优技术创新投入及Stackelberg博弈下技术创新费用承担比例;朱怀念等(2017)同样也将微分博弈的方法引入到协同创新知识共享研究中;马德清和胡劲松(2018)针对一个主导制造商和一个零售商组成的闭环供应链动态系统,研究制造商回收模式下制造商的最优批发价格、最优回收努力投入策略及零售商的最优销售价格策略的制定问题;一些学者将微分博弈引入到对生鲜食品供应链质量管理的研究中(夏兆敏和孙世民,2014;唐润和彭洋洋,2018)。

考虑到供应链冲突与协调的现实存在,一些学者以二级或三级供应链为研究对象,聚焦供应链系统利润最大化和节点企业利润最大化目标,从博弈均衡状态下的质量努力水平、营销努力水平、消费者转化率和联合支付契约等方面构建了相应的供应链利益协调模型(朱立龙等,2012;吴成霞等,2016;陈晓旭等,2014;晋盛武等,2016;李军等,2016)。进一步地,由于供应链核心企业对链上其他成员企业激励的需要,较多研究围绕供应链成本分担和激励机制展开。典型研究有:潘会平和陈荣秋(2005)用Stackelberg博弈分析了不同分配比例对合作双方利润产生的影响,并基于不同区间利润变化率寻求各自的偏好区间;彭鸿广和骆建文(2015)构建了由风险中性的采购方和风险规避的供应商组成的二级供应链,分别分析了在信息对称和不对称情形下供应链中最优的成本分担线性激励契约;陈宇科和熊龙(2016)研究了由一个制造商和一个零售商构成的两级供应链系统,发现收益共享-成本共担契约不但能协调供应链系统,还能使供应链各成员利润大于分散决策或单一收益共享契约时的利润。

三、模型构建与求解

(一) 基础假设与模型设计

乳制品供应链是把乳制品作为研究对象,供应链上的成员企业围绕着核心企业,将物流、信息流和资金流进行收集和处理。奶农通过养殖奶牛生产出原料乳,然后原料乳被运输到乳制品加工企业,通过乳制品加工企业生产得到乳制品成品,然后将产品运送到下游的各种分销商手中,最终到达消费者的手里。这一系列的过程构成了乳制品供应链(张雄会等,2008)。乳制品供应链中的乳制品加工企业因为处于供应链的中游,在供应链中的作用最大,是乳制品供应链的核心企业。上游的原料乳和最终的产品都因为具有鲜活性而对它们的存储运输及卫生条件有很高的要求,这就要求从乳制品供应链的开始到结束,每个环节都必须进行严格的把控才能保证乳制品质量处于合格水平。显然,从奶牛饲料的需求、原料乳的收购、加工到乳制品的物流运输服务,乳制品供应链涉及第一产业、第二产业、第三产业3大产业,且最终质量受到波动性强的原料乳质量及运输仓储和销售环境的影响,某个环节的偏差会随着链条的延续而传递,从而促发了风险的累加性。

乳制品具有小批量多批次、品种多、容易变质、生命周期短等特点,本文研究的对象是以乳制品加工企业为核心的,由奶农-乳品加工企业-零售商3个主体构成的三级乳制品供应链。其中乳品加工企业(m)对乳制品的加工和成品质量负责,奶农(n)掌握原料奶的质量,零售商(r)控制着乳品成品进入市场后的质量。考虑乳制品的时效性,该模型所研究的问题假定在一个较短的周期也就是7天中进行。乳制品质量管理工作分为两类:一类是根据原料乳的质量水平,乳制品加工企业加工出同质量水平的乳制品成品,并从原料乳的生产和收购开始对已有的质量水平进行控制,也就是质量控制工作;另一种是奶农通过饲养不同品种的奶牛,

投喂不同类型的饲料使得奶牛产生的原料乳质量水平不同于一般的原料乳,这就涉及了质量改进工作。当然乳制品加工企业也可以通过自己技术的改进等手段对乳制品的质量进行改进,但是对于下游的分销商来说,只能对由乳制品加工企业输送过来的乳制品质量进行控制,将其控制在合格的质量水平之上,只能进行质量控制工作。

在乳制品供应链质量管理模型中,用 E 表示乳制品加工企业、奶农和零售商三者在工作上的努力,用 I 表示乳制品加工企业、奶农和零售商三者在工作上的改进。在这个模型中,用 (E_m, I_m) 、 (E_n, I_n) 、 $(E_r, 0)$ 3个向量来分别表示 m 、 n 和 r 在乳制品质量控制和乳制品质量改进上所花费的努力。无疑,乳制品供应链上成员企业的质量管理工作成本函数具有凸性特征,即质量管理工作成本与质量管理工作努力程度成正比,将 m 、 n 和 r 在两种质量管理工作中付出努力会产生成本为 $C(E_m) = \frac{\lambda_1}{2} E_m^2$, $C(I_m) = \frac{\lambda_2}{2} I_m^2$, $C(E_n) = \frac{\lambda_3}{2} E_n^2$, $C(I_n) = \frac{\lambda_4}{2} I_n^2$, $C(E_r) = \frac{\lambda_5}{2} I_r^2$, $\lambda_i (i = 1, 2, 3, 4, 5)$ 是成本函数系数。由此,提出如下假设:

乳制品质量并不是一成不变,乳制品质量水平的提升可通过乳制品质量改进来获得(H1)。

借鉴产品声誉随时间变化的描述,不妨通过式(1)关于 $Q(t)$ 的一个微分方程来描述乳制品质量的变化过程:

$$\frac{dQ(t)}{dt} = \alpha I_m + \beta I_n - \gamma Q(t), Q(0) = Q_0 \quad (1)$$

其中: $Q(t)$ 表示 t 时间点上乳制品的质量;乳制品质量 α 、 β 、 γ 分别表示乳制品加工企业的质量改进努力程度、奶农的质量改进努力程度、 t 时间点上乳制品已有质量水平因不可抗力因素而发生的质量水平降低的程度。

假设奶农(n)、乳制品加工企业(m)和零售商(r)三者可以通过自己的质量控制工作而获得收益,获得收益的多少是与三者愿意在质量控制工作上付出努力的多少相关(H2)。

理论上,当企业在质量控制上付出的努力越多时,获得的收益也就越多。因此,可用式(2)表示奶农(n)、乳制品加工企业(m)和零售商(r)在乳制品供应链质量管理上通过质量控制和质量改进工作所产生的总收益函数:

$$W[E_m(t), E_n(t), E_r(t), Q(t)] = \varepsilon E_m(t) + \eta E_n(t) + a E_r(t) + \delta Q(t) \quad (2)$$

其中: ε 、 η 、 a 和 δ 均为常数, ε 、 η 、 a 分别表示奶农(n)、乳制品加工企业(m)和零售商(r)在为自己的质量控制工作付出努力后,将对乳制品供应链整体利润产生的影响; $\delta Q(t)$ 表示当乳制品的质量水平发生变化时,会对乳制品供应链的整体利润产生的影响。

假设奶农(n)、乳制品加工企业(m)和零售商(r)在进行质量管理工作后能使乳制品供应链获得利润,该利润需要在供应链3个成员企业间分配,而利润如何分配由乳制品供应链核心企业决定,不妨设 n 和 r 能够收获的利润比例为 π_n 、 π_r , $\pi_i \in (0, 1)$, ($i = n, r$)。 $(1 - \pi_n - \pi_r)$ 是乳制品加工企业 m 将获得的利润份额。乳制品供应链上的每个成员企业有相同且为正值贴现率 ρ 。作为定量微分博弈,该模型中的支付函数即目标函数可设置为

$$J_m[E_m(t), I_m(t)] = \int_0^{\infty} e^{-\rho t} \left\{ (1 - \pi_n - \pi_r) [\varepsilon E_m(t) + \eta E_n(t) + a E_r(t) + \delta Q(t)] - \frac{\lambda_1}{2} E_m(t)^2 - \frac{\lambda_2}{2} I_m(t)^2 \right\} dt \quad (3)$$

$$J_n[E_n(t), I_n(t)] = \int_0^{\infty} e^{-\rho t} \left\{ \pi_n [\varepsilon E_m(t) + \eta E_n(t) + a E_r(t) + \delta Q(t)] - \frac{\lambda_3}{2} E_n(t)^2 - \frac{\lambda_4}{2} I_n(t)^2 \right\} dt \quad (4)$$

$$J_r[E_r(t), I_r(t)] = \int_0^{\infty} e^{-\rho t} \left\{ \pi_r [\varepsilon E_m(t) + \eta E_n(t) + a E_r(t) + \delta Q(t)] - \frac{\lambda_5}{2} I_r(t)^2 \right\} dt \quad (5)$$

(二)纳什非合作博弈情形下的模型及求解

当乳制品加工企业 m 、奶农 n 和零售商 r 在纳什非合作质量管理博弈情形下进行质量管理工作决策时,乳制品供应链上的成员企业会同时独立的对自己的质量控制和质量改进工作努力程度进行决策,目的是最大化各自的收益。由于动态参数条件下求解的困难,假设模型中的所有参数 $E_m(t)$ 、 $E_n(t)$ 、 $E_r(t)$ 、 $I_m(t)$ 、 $I_n(t)$ 都设置成常数,使这些参数都不再受到 t 的影响,将乳制品加工企业、奶农和零售商进行的博弈简化为静态博弈,这样做是为了更容易得到三者博弈的均衡解,因为如果将时间的因素加入

到每个参数中,将会使模型过于复杂难以求得均衡解。

情形 1:奶农(n)、乳制品加工企业(m)和零售商(r)在纳什非合作质量管理博弈情形下的静态反馈纳什均衡策略分别为

$$(E_m^1, I_m^1) = \left[\frac{(1 - \pi_n - \pi_r)\varepsilon}{\lambda_1}, \frac{(1 - \pi_n - \pi_r)\delta\alpha}{(\rho + \gamma)\lambda_2} \right] \tag{6}$$

$$(E_n^1, I_n^1) = \left[\frac{\pi_n\eta}{\lambda_3}, \frac{\pi_n\delta\beta}{(\rho + \gamma)\lambda_4} \right] \tag{7}$$

$$(E_r^1, 0) = \left(\frac{\pi_r a}{\lambda_5}, 0 \right) \tag{8}$$

证明:在 $Q \geq 0$ 的条件下, V_m 、 V_n 和 V_r 可通过下列 HJB 式子求得最优解:

$$\rho V_m(Q) = \max_{E_m, I_m} \left\{ (1 - \pi_n - \pi_r) [\varepsilon E_m + \eta E_n + a E_r + \delta Q] - \frac{\lambda_1}{2} E_m^2 - \frac{\lambda_2}{2} I_m^2 + V'_m(Q) (\alpha I_m + \beta I_n - \gamma Q) \right\},$$

$$\rho V_n(Q) = \max_{E_n, I_n} \left\{ \pi_n [\varepsilon E_m + \eta E_n + a E_r + \delta Q] - \frac{\lambda_3}{2} E_n^2 - \frac{\lambda_4}{2} I_n^2 + V'_n(Q) (\alpha I_m + \beta I_n - \gamma Q) \right\},$$

$$\rho V_r(Q) = \max_{E_r, 0} \left\{ \pi_r [\varepsilon E_m + \eta E_n + a E_r + \delta Q] - \frac{\lambda_5}{2} E_r^2 + V'_r(Q) (\alpha I_m + \beta I_n - \gamma Q) \right\}.$$

最大化 HJB 方程式的右端可得:

$$(E_m, I_m) = \left[\frac{(1 - \pi_n - \pi_r)\varepsilon}{\lambda_1}, \frac{\alpha V'_m}{\lambda_2} \right] \tag{9}$$

$$(E_n, I_n) = \left(\frac{\pi_n \varepsilon}{\lambda_3}, \frac{\beta V'_n}{\lambda_4} \right) \tag{10}$$

$$(E_r, 0) = \left(\frac{\pi_r a}{\lambda_5}, 0 \right) \tag{11}$$

将式(9)、式(10)、式(11)代入到 HJB 方程式的右端得:

$$\rho V_m = \left[(1 - \pi_n - \pi_r)\delta - \gamma V'_m \right] Q + \frac{(1 - \pi_n - \pi_r)^2 \varepsilon^2}{2\lambda_1} + \frac{\alpha^2 (V'_m)^2}{2\lambda_2} + \frac{\pi_n (1 - \pi_n - \pi_r)\eta^2}{\lambda_3} + \frac{\beta^2 V'_m V'_n}{\lambda_4} + \frac{a^2 \pi_r (1 - \pi_n - \pi_r)}{\lambda_5} \tag{12}$$

$$\rho V_n = (\pi_n \delta - \gamma V'_n) Q + \frac{\pi_n (1 - \pi_n - \pi_r)\varepsilon^2}{\lambda_1} + \frac{\alpha^2 V'_m V'_n}{\lambda_2} + \frac{\pi_n^2 \eta^2}{2\lambda_3} + \frac{\beta^2 (V'_n)^2}{2\lambda_4} + \frac{a^2 \pi_n \pi_r}{\lambda_5} \tag{13}$$

$$\rho V_r = (\pi_r \delta - \gamma V'_r) Q + \frac{\pi_r (1 - \pi_n - \pi_r)\varepsilon^2}{\lambda_1} + \frac{\alpha^2 V'_m V'_r}{\lambda_2} + \frac{\pi_n \pi_r \eta^2}{\lambda_3} + \frac{\beta^2 V'_m V'_r}{\lambda_4} + \frac{a^2 \pi_r^2}{2\lambda_5} \tag{14}$$

由式(12)、式(13)、式(14)可得出,求解 Q 的最优值函数就是求出 HJB 方程的解。于是令 $V_m(Q) = a_1 Q + a_2$, $V_n(Q) = b_1 Q + b_2$, $V_r(Q) = c_1 Q + c_2$; $a_1, a_2, b_1, b_2, c_1, c_2$ 均为常数,把它们代入到式(12)、式(13)、式(14)中得:

$$\rho(a_1 Q + a_2) = \left[(1 - \pi_n - \pi_r)\delta - \gamma a_1 \right] Q + \frac{(1 - \pi_n - \pi_r)^2 \varepsilon^2}{2\lambda_1} + \frac{\alpha^2 a_1^2}{2\lambda_2} + \frac{\pi_n (1 - \pi_n - \pi_r)\eta^2}{\lambda_3} + \frac{\beta^2 a_1 b_1}{\lambda_4} + \frac{a^2 \pi_r (1 - \pi_n - \pi_r)}{\lambda_5} \tag{15}$$

$$\rho(b_1 Q + b_2) = (\pi_n \delta - \gamma b_1) Q + \frac{\pi_n (1 - \pi_n - \pi_r)\varepsilon^2}{\lambda_1} + \frac{\alpha^2 a_1 b_1}{\lambda_2} + \frac{\pi_n^2 \eta^2}{2\lambda_3} + \frac{\beta^2 b_1^2}{2\lambda_4} + \frac{a^2 \pi_n \pi_r}{\lambda_5} \tag{16}$$

$$\rho(c_1 Q + c_2) = (\pi_r \delta - \gamma c_1) Q + \frac{\pi_r(1 - \pi_n - \pi_r)\varepsilon^2}{\lambda_1} + \frac{\alpha^2 a_1 c_1}{\lambda_2} + \frac{\pi_n \pi_r \eta^2}{\lambda_3} + \frac{\beta^2 b_1 c_1}{\lambda_4} + \frac{a^2 \pi_r^2}{2\lambda_5} \quad (17)$$

由式(15)、式(16)、式(17)可以得到最优值函数系数为

$$a_1 = \frac{(1 - \pi_n - \pi_r)\delta}{\rho + \gamma}, \quad b_1 = \frac{\pi_n \delta}{\rho + \gamma}, \quad c_1 = \frac{\pi_r \delta}{\rho + \gamma},$$

$$a_2 = \frac{(1 - \pi_n - \pi_r)^2 \varepsilon^2}{2\rho\lambda_1} + \frac{\alpha^2 \delta^2 (1 - \pi_n - \pi_r)^2}{2\lambda_2 \rho (\rho + \gamma)^2} + \frac{\pi_n (1 - \pi_n - \pi_r) \eta^2}{\rho\lambda_3} + \frac{\beta^2 \delta^2 \pi_n (1 - \pi_n - \pi_r)}{\lambda_4 \rho (\rho + \gamma)^2} + \frac{a^2 \pi_r (1 - \pi_n - \pi_r)}{\rho\lambda_5},$$

$$b_2 = \frac{\pi_n (1 - \pi_n - \pi_r) \varepsilon^2}{\rho\lambda_1} + \frac{\pi_n (1 - \pi_n - \pi_r) \delta^2 \alpha^2}{(\rho + \gamma)^2 \rho\lambda_2} + \frac{\pi_n^2 \eta^2}{2\lambda_3} + \frac{\beta^2 \pi_n^2 \delta^2}{2\lambda_4 \rho (\rho + \gamma)^2} + \frac{a^2 \pi_n \pi_r}{\rho\lambda_5},$$

$$c_2 = \frac{\pi_r (1 - \pi_n - \pi_r) \varepsilon^2}{\rho\lambda_1} + \frac{\pi_r (1 - \pi_n - \pi_r) \delta^2 \alpha^2}{(\rho + \gamma)^2 \rho\lambda_2} + \frac{\pi_n \pi_r \eta^2}{\rho\lambda_3} + \frac{\beta^2 \pi_n \pi_r \delta^2}{\lambda_4 \rho (\rho + \gamma)^2} + \frac{a^2 \pi_r^2}{2\rho\lambda_5}.$$

将系数 a_1 、 a_2 、 b_1 、 b_2 、 c_1 、 c_2 代入 $V_m(Q)$ 、 $V_n(Q)$ 、 $V_r(Q)$ 中,得到乳制品加工企业 m 、奶农 n 和零售商 r 的最优值函数为

$$V_m^1 = \frac{(1 - \pi_n - \pi_r)\delta}{\rho + \gamma} Q + \frac{(1 - \pi_n - \pi_r)^2 \varepsilon^2}{2\rho\lambda_1} + \frac{\alpha^2 \delta^2 (1 - \pi_n - \pi_r)^2}{2\lambda_2 \rho (\rho + \gamma)^2} + \frac{\pi_n (1 - \pi_n - \pi_r) \eta^2}{\rho\lambda_3} + \frac{\beta^2 \delta^2 \pi_n (1 - \pi_n - \pi_r)}{\lambda_4 \rho (\rho + \gamma)^2} + \frac{a^2 \pi_r (1 - \pi_n - \pi_r)}{\rho\lambda_5} \quad (18)$$

$$V_n^1 = \frac{\pi_n \delta}{\rho + \gamma} Q + \frac{\pi_n (1 - \pi_n - \pi_r) \varepsilon^2}{\rho\lambda_1} + \frac{\pi_n (1 - \pi_n - \pi_r) \delta^2 \alpha^2}{(\rho + \gamma)^2 \rho\lambda_2} + \frac{\pi_n^2 \eta^2}{2\rho\lambda_3} + \frac{\beta^2 \pi_n^2 \delta^2}{2\lambda_4 \rho (\rho + \gamma)^2} + \frac{a^2 \pi_n \pi_r}{\rho\lambda_5} \quad (19)$$

$$V_r^1 = \frac{\pi_r \delta}{\rho + \gamma} Q + \frac{\pi_r (1 - \pi_n - \pi_r) \varepsilon^2}{\rho\lambda_1} + \frac{\pi_r (1 - \pi_n - \pi_r) \delta^2 \alpha^2}{(\rho + \gamma)^2 \rho\lambda_2} + \frac{\pi_n \pi_r \eta^2}{\rho\lambda_3} + \frac{\beta^2 \pi_n \pi_r \delta^2}{\lambda_4 \rho (\rho + \gamma)^2} + \frac{a^2 \pi_r^2}{2\rho\lambda_5} \quad (20)$$

接下来就可以算出整个乳制品供应链的最优值函数:

$$V_{\text{总}}^1 = \frac{\delta}{\rho + \gamma} Q + \frac{(1 - \pi_n - \pi_r)(1 + \pi_n + \pi_r) \varepsilon^2}{2\rho\lambda_1} + \frac{(1 - \pi_n - \pi_r)(1 + \pi_n + \pi_r) \delta^2 \alpha^2}{2\lambda_2 \rho (\rho + \gamma)^2} + \frac{\eta \pi_n (2 - \pi_n)}{2\rho\lambda_3} + \frac{\beta^2 \delta^2 \pi_n (2 - \pi_n)}{2\lambda_4 \rho (\rho + \gamma)^2} + \frac{a^2 \pi_r (2 - \pi_r)}{2\rho\lambda_5} \quad (21)$$

接着,将式(18)~式(20)对 Q 的导数代入式(9)~式(11)中,从而得到式(6)~式(8)。证明完毕。

纳什非合作质量管理博弈情形是比较常见的供应链成员企业决策的情形,即各成员企业都站在自身利益最大化的角度进行博弈,市场的不确定性使得每个成员企业都不愿意承担风险。尽管质量控制和质量改进可以提高乳制品供应链系统的整体利益,并且也有利于消费口碑的树立,但是只要自身经济利益没有得到提升,成员企业通常就没有任何积极性,甚至会担心因投入的质量控制和质量改进的努力成本过高而面临亏损,或许这在一定层面上反映出了乳制品供应链质量问题频发的本质。

(三)弱激励斯坦克伯格博弈情形下的模型及求解

在这种情形下,乳制品加工企业重视乳制品质量水平的控制工作,为保持乳制品较好的质量水平,乳制品加工企业会对供应链上的两个其他成员企业的质量控制工作提供激励,也就是对奶农和零售商的质量控制努力成本进行补贴。此时,作为核心企业的乳制品加工企业(m)是领导者,而奶农和零售商是跟随者,3个企业会按照先后顺序进行博弈。乳制品加工企业(m)会拥有主动性,在3个企业中优先确定两种质量管理工作的最优的努力程度: E_m 、 I_m ,以及对奶农(n)和零售商(r)质量控制努力 E_n 和 E_r 的补贴率 h_n 、 h_r 。奶农(n)和零售商(r)在乳制品加工企业(m)做出决策后,会根据已有的决策来对自己的质量管理工作努力程度进行选择。因此这3个企业的最优策略为静态反馈斯坦克伯格均衡解。

情形2:在乳制品加工企业仅对奶农和零售商的质量控制工作进行补贴的斯坦克伯格质量管理博弈情

形下, m 、 n 和 r 的静态反馈斯坦克伯格均衡策略分别为

$$(E_m^2, I_m^2) = \left[\frac{(1 - \pi_n - \pi_r)\varepsilon}{\lambda_1}, \frac{(1 - \pi_n - \pi_r)\delta\alpha}{(\rho + \gamma)\lambda_2} \right] \quad (22)$$

$$(E_n^2, I_n^2) = \left[\frac{(2 - \pi_n)\eta}{2\lambda_3}, \frac{\pi_n\delta\beta}{(\rho + \gamma)\lambda_4} \right] \quad (23)$$

$$(E_r^2, 0) = \left[\frac{(2 - \pi_r)a}{2\lambda_5}, 0 \right] \quad (24)$$

证明略。从弱激励情形的求解结果来看,与第一种情形相比,作为核心企业的乳制品加工企业愿意为奶农和零售商的质量控制工作提供成本分担,并将质量控制努力的利润以比例的形式进行分配;从质量管理工作的努力程度来看,奶农和零售商都对质量控制工作投入了更多成本;从收益最优值函数来看,供应链各成员的收益都得到了提升,供应链系统的整体收益也得到了提高,缓解了由于成本压力而带来的乳制品供应链上下游质量波动大的情况。

(四) 强激励斯坦克伯格博弈情形下的模型及求解

在这种情况下,乳制品加工企业对于奶农的质量控制和质量改进工作及零售商的质量控制工作都进行激励,即对奶农的质量控制努力成本和质量改进成本及零售商的质量控制成本进行补贴。这也是比较常见的乳制品加工企业既重视奶农提供的奶源质量水平的稳定性,又鼓励奶农对于奶源的质量改进努力。同时,也重视分销环节的零售商在乳制品质量水平控制上的努力。简言之,乳制品加工企业(m)作为核心企业会与成员企业奶农(n)和零售商(r)一起进行有顺序的非合作博弈。核心企业先确定自己在乳制品质量控制和质量改进两种工作上的努力程度,以及对奶农(n)的质量控制 E_n 成本与质量改进 I_n 成本的补贴率 h_n 和 h_r ,对零售商质量控制成本的补贴率 s 。作为追随者的奶农(n)和零售商(r)则会根据乳制品加工企业(m)的决策来决定自己在各项质量管理工作上的努力程度,如此,三者之间进行的博弈实为静态反馈斯坦克伯格均衡策略。

情形 3: 在乳制品加工企业(m)对奶农(n)的质量控制和质量改进工作及零售商(r)的质量控制工作都进行激励的情况下, m 、 n 和 r 的静态反馈 Stackelberg 均衡策略分别为

$$(E_m^3, I_m^3) = \left[\frac{(1 - \pi_n - \pi_r)\varepsilon}{\lambda_1}, \frac{(1 - \pi_n - \pi_r)\delta\alpha}{(\rho + \gamma)\lambda_2} \right] \quad (25)$$

$$(E_n^3, I_n^3) = \left[\frac{(2 - \pi_n)\eta}{2\lambda_3}, \frac{(2 - \pi_n)\delta\beta}{2(\rho + \gamma)\lambda_4} \right] \quad (26)$$

$$(E_r^3, 0) = \left[\frac{(2 - \pi_r)a}{2\lambda_5}, 0 \right] \quad (27)$$

$$h_n = \frac{2 - 3\pi_n - \pi_r}{2 - \pi_n - \pi_r}, \quad h_r = \frac{2 - 3\pi_r - \pi_n}{2 - \pi_r - \pi_n}, \quad s = \frac{2 - 3\pi_n - \pi_r}{2 - \pi_n - \pi_r} \quad (28)$$

$$\pi_n + \pi_r < \frac{2}{3} \quad (29)$$

证明略。不难看出,作为核心企业的乳制品加工企业在强激励斯坦克伯格质量管理博弈情形中,比弱激励斯坦克伯格质量管理博弈情形增加了对奶农质量改进的努力成本分担。比纳什非合作质量管理博弈情形下的质量管理工作更努力。同时,奶农和零售商也都对质量控制工作投入了更多的成本,奶农更是对质量改进工作投入了比弱激励斯坦克伯格质量管理博弈情形下更多的成本。从收益最优值函数来看,乳制品供应链中各成员企业的收益和供应链整体利润都得到了提升,缓解了由于成本压力而造成的乳制品在供应链上下游质量波动大的情况。显然,成本分担使得成员企业愿意进行更多的成本投入,收益的合理分配则使成员企业的付出得到了一定的经济回报。

(五) 合作质量管理博弈模型及求解

当乳制品加工企业(m)、奶农(n)及零售商(r)都能站在乳制品供应链收益最优的出发点进行质量管理

工作决策时,三方将会达到理想的合作状态。

1. 理想情形下的合作博弈进行求解

情形4:这种理想的情形下,m、n和r进行纳什合作博弈,得到均衡策略为

$$(E_m^4, I_m^4) = \left[\frac{\varepsilon}{\lambda_1}, \frac{\delta\alpha}{(\rho + \gamma)\lambda_2} \right] \quad (30)$$

$$(E_n^4, I_n^4) = \left[\frac{\eta}{\lambda_3}, \frac{\delta\beta}{(\rho + \gamma)\lambda_4} \right] \quad (31)$$

$$(E_r^4, 0) = \left(\frac{a}{\lambda_5}, 0 \right) \quad (32)$$

证明:在乳制品加工企业(m)、奶农(n)和零售商(r)共同站在乳制品供应链利益最大化角度进行合作博弈时,证明过程与是纳什非合作博弈质量管理情形下类似,不妨给出乳制品供应链的最优利润函数:

$$V_{\text{总}}^4 = \frac{\delta}{\rho + \gamma} Q + \frac{\varepsilon^2}{2\rho\lambda_1} + \frac{\alpha^2\delta^2}{2(\rho + \gamma)^2\rho\lambda_2} + \frac{\beta^2}{2\rho\lambda_3} + \frac{\beta^2\delta^2}{2(\rho + \gamma)^2\rho\lambda_4} + \frac{a^2}{2\rho\lambda_5} \quad (33)$$

2. 合作博弈后的乳制品供应链的利润增量进行再分配

合作博弈的关键是对最优利润进行再分配。以强激励斯坦克伯格质量管理博弈过渡到合作质量管理博弈为例子,易得从强激励斯坦克伯格到理性合作整个过程中的利润增量,如式(34)所示:

$$\Delta V = \frac{\varepsilon^2(\pi_n + \pi_r)^2}{2\rho\lambda_1} + \frac{\alpha^2\delta^2(\pi_n + \pi_r)^2}{2(\rho + \gamma)^2\rho\lambda_2} + \frac{\beta^2(\pi_n + \pi_r)^2}{2\rho\lambda_3} + \frac{\beta^2\delta^2(\pi_n^2 - \pi_r^2 + 4\pi_r - 8\pi_n\pi_r - 3)}{2(\rho + \gamma)^2\rho\lambda_4} + \frac{a^2(\pi_n + \pi_r)^2}{2\rho\lambda_5} \quad (34)$$

考虑到供应链内部成员之间关系的和谐和供应链的健康发展,乳制品供应链整体利润的增量进行再分配是非常重要的且必要的决策。若将模型中的乳制品加工企业、奶农和零售商都看作是保守派,3个企业的效用函数可以用式(35)表示:

$$U_m(\Delta V_m) = 1 - \exp(-\varphi_m\Delta V_m), U_n(\Delta V_n) = 1 - \exp(-\varphi_n\Delta V_n), U_r(\Delta V_r) = 1 - \exp(-\varphi_r\Delta V_r) \quad (35)$$

由纳什讨价还价模型可知,博弈三方在合作质量管理后对供应链的整体收益增量进行再分配后的最优利润满足式(28)的解:

$$\begin{aligned} \max_{\Delta V_m, \Delta V_n, \Delta V_r} U(\Delta V_m, \Delta V_n, \Delta V_r) &= U_m(\Delta V_m)U_n(\Delta V_n)U_r(\Delta V_r) \\ \text{s.t. } \Delta V_m + \Delta V_n + \Delta V_r &= \Delta V \end{aligned} \quad (36)$$

将条件 $\Delta V_m + \Delta V_n + \Delta V_r = \Delta V$ 代入式(36)后,令: $\partial U/\partial V_m=0, \partial U/\Delta V_m=0, \partial U/\Delta V_m=0$,即可求出m、n、r经过利润增量再分配后的最优利润。

四、结果讨论与算例分析

(一) 结果讨论

1. 4种质量管理博弈情形下乳制品加工企业、奶农和零售商的质量管理行为比较

由式(6)、式(22)、式(25)、式(30)可知,在3种非合作质量管理博弈情形下,乳制品加工企业的质量控制工作努力程度相同,质量改进工作努力程度也是一样的;但在合作质量管理博弈情形下,乳制品加工企业在质量控制工作和质量改进工作的努力程度都得到了提升。由此可知,在合作博弈这种理想情形下,各成员企业都考虑供应链整体利益最大而做决策,他们之间的质量管理行为具有一定的互补性,来自外界的刺激使得核心企业乳制品加工企业对质量控制和质量改进工作的努力程度发生了改变。

由式(7)、式(23)、式(26)、式(31)可知,当 $\pi_n + \pi_r < 2/3$ 时,有 $E_n^1 < E_n^2 = E_n^3 < E_n^4$,此结论说明奶农在纳什非合作质量管理博弈情形下质量控制努力程度最低,而乳制品加工企业在强、弱激励的两种斯坦克伯格博弈情形下的质量控制努力得到了一些提高,而在理想的合作情形下,奶农的质量控制工作努力程度最高。同样,由式(7)、

式(23)、式(26)、式(31)可知,当 $\pi_n + \pi_r < \frac{2}{3}$ 时,有 $I_n^1 = I_n^2 < I_n^3 < I_n^4$,此结论说明奶农在纳什非合作质量管理博弈情形下和弱激励斯坦克伯格质量管理博弈情形下愿意在质量改进工作上付出的努力最小,当乳制品加工企业为奶农的质量改进工作成本进行补贴时,奶农愿意付出的质量改进努力得到了提升,最明显的是在理性的合作情形下,奶农对质量改进工作付出的努力最大。由式(8)、式(24)、式(27)、式(32)可知,当 $\pi_n + \pi_r < 2/3$,有 $E_r^1 < E_r^2 = E_r^3 < E_r^4$ 。此结论说明了零售商在纳什非合作质量管理博弈情形下,最不愿意对质量控制工作付出努力,当乳制品企业对零售商质量管理努力提供强、弱激励的两种成本激励时,零售商才愿意为质量控制工作付出努力,而在理想的合作情形下,零售商的质量管理努力程度达到了最高。

2. 四种质量管理博弈情形下各成员企业和整个乳制品供应链的最优收益比较

$V_m(Q_0)$ 、 $V_n(Q_0)$ 和 $V_r(Q_0)$ 是 m 、 n 和 r 在 $Q_0(Q_0 \geq 0)$ 的最优值函数,是整个时间轴上的总利润。比较 3 种非合作博弈情形下的 m 、 n 和 r 及乳制品供应链的最优值函数,易得:当 $\pi_n + \pi_r < 2/3$ 时, $V_m^1 < V_m^2 < V_m^3$, $V_n^1 < V_n^2 < V_n^3$, $V_r^1 < V_r^2 < V_r^3$ 。

由此可见,从纳什非合作质量管理博弈到弱激励斯坦克伯格博弈,再到强激励斯坦克伯格博弈,不管是核心企业还是追随者,都在 3 种情形的逐步完善中达到了帕累托改进。比较 4 种情形下供应链最优利润函数可得:当 $\pi_n + \pi_r < 2/3$ 时, $V_{总}^1 < V_{总}^2 < V_{总}^3 < V_{总}^4$ 。纳什非合作博弈到弱激励斯坦克伯格博弈,再到强激励斯坦克伯格博弈,最后到合作质量管理博弈,乳制品供应链的整体利润达到了帕累托改进。鉴于学术界关于供应链核心企业收益分配比例的建议(洪江涛和黄沛,2016;申强等,2016),乳制品加工企业收益至少应占比 1/3,它才有动力为奶农和零售商的质量控制和质量改进工作提供激励,也才能保证从非合作质量管理到合作质量管理的整个过程符合帕累托改进规律。

(二)算例分析

假定 $\rho = 0.1$, $\varepsilon = 0.4$, $\eta = 0.3$, $a = 0.3$, $\sigma = 0.6$, $\lambda_1 = 0.1$, $\lambda_2 = 0.2$, $\lambda_3 = 0.1$, $\lambda_4 = 0.2$, $\lambda_5 = 0.1$, $\alpha = 0.4$, $\beta = 0.3$, $\gamma = 1$, $Q_0 = 0.7$, $\pi_n = \pi_r = \frac{1}{6}$, 乳制品供应链上加工企业、奶农、零售商及供应链本身在 4 种情形下收益函数随时间变化趋势如图 1~图 4 所示。

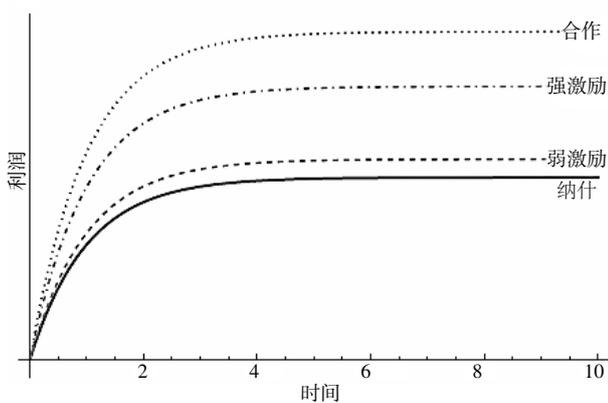


图 1 4 种情形下乳制品加工企业最优收益的比较 ($\pi_n = \pi_r = \frac{1}{6}$)

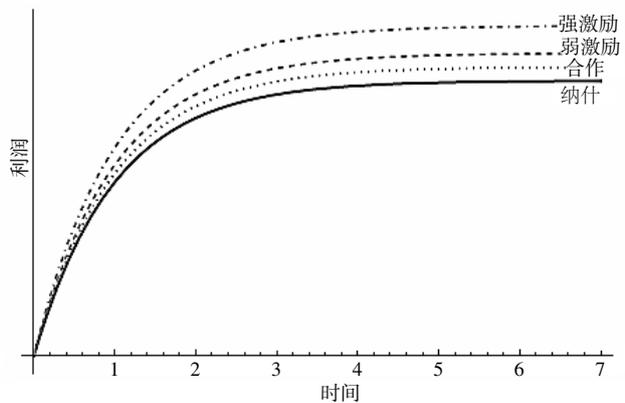
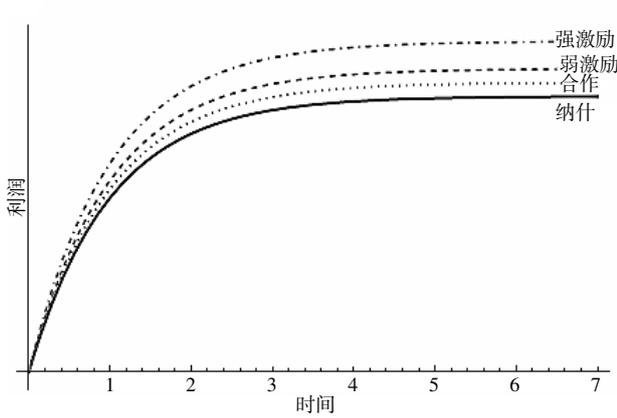
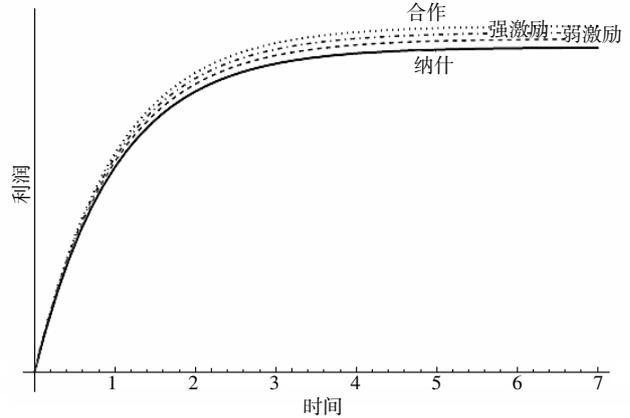


图 2 4 种不同情形下奶农最优收益的比较 ($\pi_n = \pi_r = \frac{1}{6}$)

从图 1~图 3 可以看出,乳制品加工企业、奶农和零售商从纳什非合作质量管理博弈到弱激励斯坦克伯格质量管理博弈,再到强激励斯坦克伯格质量管理博弈情形,都获得了帕累托改进,但是只有乳制品加工企业在 4 种质量管理博弈情形下都完成了帕累托改进。由图 4 可以看出,由奶农-乳制品加工企业-零售商构成的三级供应链系统的总利润,从纳什非合作质量管理博弈,到弱激励斯坦克伯格质量管理博弈,再到强激励斯坦克伯格质量管理博弈,直到合作质量管理博弈情形,体现着一种帕累托改进。显然,作为追随者的奶农和零售商需要考虑对合作情形下乳制品供应链整体利润的增加部分进行再分配,有助于自身的帕累托改进。

图3 4种情形下零售商最优收益的比较($\pi_n = \pi_r = \frac{1}{6}$)图4 4种情形下乳制品供应链最优收益的比较($\pi_n = \pi_r = \frac{1}{6}$)

在合作质量管理博弈情形下,每个供应链成员都将供应链的整体利益作为决策的出发点,奶农、零售商及核心乳制品加工企业的质量控制工作的努力程度都达到了4种质量管理博弈情形中的最高。从纳什非合作质量管理博弈,到弱激励斯坦克伯格质量管理博弈,再到强激励斯坦克伯格质量管理博弈情形,直到合作质量管理博弈情形,随着合作程度越高,乳制品供应链主导者凭借着资源和信息等优势,随着合作的不断深入,获得的收益也在不断地增加;而乳制品供应链中的非主导企业奶农和零售商的利润会增加较少,甚至可能会相对减少。从图2、图3易知,合作质量管理博弈情形下奶农和零售商的收益相比于强激励和弱激励斯坦克伯格质量管理博弈情形下的收益出现了减少。本着转移性、协商性和理性的利润分配原则,有必要对奶农和零售商由于进行合作质量管理博弈而产生的利益损失进行补偿,即保证对合作质量博弈情形中的最终利润进行再分配使得乳制品供应链中的非主导成员企业的利润较非合作时的利润有所增加,这将是各成员之间合作质量管理有效性的关键所在。

五、结论与展望

本文以奶农-乳制品加工企业-零售商组成的三级供应链为主体,将质量管理工作分为质量控制和质量改进,引入微分博弈的支付函数,在纳什非合作质量管理博弈情形、斯坦克伯格弱激励质量管理博弈情形、斯坦克伯格强激励质量管理博弈情形和合作质量管理博弈情形4种情形下分别探讨了各成员企业为质量控制工作和质量改进工作付出的努力,各自的最优值函数和乳制品供应链系统的最优值收益函数。进一步地,通过对比模型的推导结果并进行算例分析,得出乳制品加工企业的质量控制和质量改进两种工作的努力程度在3种非合作质量管理博弈情形下表现相同,合作质量管理博弈情形下乳制品加工企业的质量管理工作努力程度因外界刺激得到提升,而对于乳制品供应链上游的奶农和下游的零售商而言,对于质量管理工作的努力程度随着乳制品供应链合作的加深而不断提高,在理想的合作博弈情形下达到了最高。

由于三级供应链的复杂性,论文未在建模参数的选取上进行更加详尽的研究,今后的研究中可以围绕 π_n 、 π_r 之间的联系、乳制品供应链中非核心成员企业之间的相互影响及乳制品三级供应链的利润分配模型进行更深入的探索。

参考文献

- [1] 白宝光,解敏,孙振,2013.基于科技创新的乳制品质量安全问题监控逻辑[J].科学管理研究(4):61-64.
- [2] 陈光华,2014.基于Stackelberg微分博弈的经济适用房定价机制研究[D].昆明:昆明理工大学.
- [3] 陈晓旭,王勇,于海龙,2014.3PL参与的时变需求变质品三级供应链模型[J].中国管理科学,22(1):65-73.
- [4] 陈宇科,熊龙,2016.基于质量和双投入的供应链最优决策与协调策略[J].统计与决策(22):42-46.
- [5] 丁正新,林锦国,2013.乳业合作社对乳制品质量安全的博弈分析[J].食品工业科技,34(24):22-25.
- [6] 郭延景,孙世民,2017.乳制品供应链质量控制研究进展[J].物流科技,40(4):133-136.
- [7] 洪江涛,黄沛,2016.基于微分博弈的供应链质量协调研究[J].中国管理科学(2):100-107.
- [8] 晋盛武,沈丹婷,庄德林,2016.渠道与产品差异下的供应链技术创新协同策略[J].技术经济,35(3):123-130.
- [9] 李军,朱先奇,姚西龙,等,2016.供应链企业协同创新利益分配策略——基于夏普利值法改进模型[J].技术经济,

35(3): 123-130.

- [10] 马德青, 胡劲松, 2018. 零售器具相对公平的闭环供应链随机微分博弈模型[J]. 管理学报, 15(3): 467-474.
- [11] 年晓红, 黄琳, 2004. 微分对策理论及其应用研究的新进展[J]. 控制与决策(2): 128-133.
- [12] 潘会平, 陈荣秋, 2005. 供应链合作的利润分配机制研究[J]. 系统工程理论与实践, 6: 87-93.
- [13] 彭鸿广, 骆建文, 2015. 不对称信息下供应链成本分担激励契约设计[J]. 系统管理学报, 24(2): 267-274.
- [14] 申强, 杨为民, 刘笑冰, 等, 2016. 基于两种策略的四级供应链质量控制优化研究[J]. 中国管理科学, 24(10): 52-59.
- [15] 唐润, 彭洋洋, 2018. 基于微分对策的生鲜食品供应链双渠道协调机制[J]. 计算机集成制造系统, 24(4): 1034-1045.
- [16] 吴强, 孙世民, 2015. 国外乳制品供应链质量控制策略与启示[J]. 山东农业大学学报(社会科学版), 17(4): 66-70, 119.
- [17] 王岳峰, 谢如鹤, 2002. 供应链管理述略[J]. 物流技术(12): 26-27.
- [18] 吴成霞, 赵道致, 潘新宇, 2016. 大数据服务商参与的三级供应链动态合作策略及其比较[J]. 控制与决策, 31(7): 1169-1177.
- [19] 夏兆敏, 孙世民, 2014. 基于微分博弈的二级猪肉供应链质量行为协调机制研究[J]. 运筹与管理, 23(2): 198-205.
- [20] 熊中楷, 聂佳佳, 李根道, 2009. 基于微分对策的多寡头品牌和大类广告策略研究[J]. 管理工程学报, 23(3): 72-79.
- [21] 张凯, 樊斌, 2016. 基于供应链的乳品质量安全影响因素研究[J]. 湖北农业科学, 55(13): 3501-3504, 3525.
- [22] 张智勇, 李华娟, 杨磊, 等, 2014. 基于微分博弈的双渠道广告合作协调策略研究[J]. 控制与决策, 29(5): 873-879.
- [23] 朱莹, 朱怀念, 方小林, 2017. 基于随机微分博弈的低碳供应链协同技术创新[J]. 企业经济, 36(2): 29-36.
- [24] 朱怀念, 刘贻新, 张成科, 等, 2017. 基于随机微分博弈的协同创新知识共享策略[J]. 科研管理, 38(7): 17-25.
- [25] 朱立龙, 于涛, 夏同水, 2012. 两种激励条件下三级供应链产品质量控制策略研究[J]. 中国管理科学, 20(5): 112-121.
- [26] 张雄会, 陈俊芳, 黄培, 2008. R&D 过程中供应商纵向知识溢出决策分析[J]. 工业工程与管理, 13(4): 29-31.
- [27] CHEN, C, ZHANG J, DELAURENTIS T. 2014. Quality control in food supply chain management: An analytical model and case study of the adulterated milk incident in China[J]. International Journal of Production Economics, 152: 188-199.
- [28] FAYE B, LOISESU G, 2006. Lactoferrin and immunoglobulin content in camel milk from Kazakhstan[J]. Dairy Science, 90: 38-46.
- [29] HELEN D, 2004. Guide to good dairy farming practice[M]. Rome, Italy: Fao's Animal Production & Health Guidelines: 8.
- [30] HSIEH C, LIU Y, 2010. Quality investment and inspection policy in a supplier-manufacturer supply chain[J]. European Journal of Operational Research, 202(3): 717-729.
- [31] XIE G, YUE W Y, WANG S Y, et al, 2011. Quality investment and price decision in a risk-averse supply chain[J]. European Journal of Operational Research, 214(2): 403-410.

Study on the Quality Management of Dairy Product Supply Chain Based on Differential Game

Jia Xiaoxia¹, Zhi Luping¹, Shi Meng²

(1. School of Management, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;

2. Shanghai Deppon Logistics Co., Ltd., Shanghai 201702, China)

Abstract: Considering the reasonable cost sharing and fair distribution of profits are the important segments which can affect the system stability of dairy product supply chain and quality assurance. Focusing on a three-tier supply chain consisting of a dairy processing company, a dairy farmer (grazing farm) and a retailer, a differential game method is introduced. The optimal quality management efforts of dairy processors, dairy farmers, and retailers, and their optimal revenue function and the optimal total revenue function of the entire dairy supply chain in four different dairy product quality management game scenarios are analyzed. It is showed that as for dairy processing company, the effort level of quality control and quality improvement are of the uniform expression under the three kinds of non-cooperative quality management circumstances. While under the cooperative quality management game circumstance, considering the total profit of supply chain, the dairy processors which is as the core company change the work effort level of quality management. As to the dairy farmers and retailers which are receptively at the upriver and downriver of supply chain, the work effort level of quality management is improving continually with the cooperative intensification of dairy supply chain. Moreover, this effort may reach the highest level at the ideal cooperative quality management game circumstance.

Keywords: dairy product supply chain; quality management; differential game; cost sharing