

何 静,廖仕成. 食品可追溯系统的质量成本分担合同设计——从传统供应链到供需网的优化和改进[J]. 江苏农业科学,2018,46(16): 350-354.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.16.080

食品可追溯系统的质量成本分担合同设计 ——从传统供应链到供需网的优化和改进

何 静,廖仕成

(上海海洋大学经济管理学院,上海 201306)

摘要:食品可追溯系统可以实现从农田到餐桌的全过程监管,把食品安全的风险降到最低。在传统供应链的食品可追溯系统中构建成本分担模型,通过合同的设计实现信息不对称下成员企业的利益最大化。在此基础上,结合供需网理念,设计信息对称下的食品可追溯系统的成本分担合同,实现系统整体利益和成员利益的最大化。通过对食品可追溯系统的质量成本进行合理地分摊,可以促进可追溯系统在我国的发展。

关键词:食品可追溯系统;质量成本;合同设计;食品供需网;传统供应链

中图分类号:F224.5;F252.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2018)16-0350-05

食品安全一直是人们关注的焦点,但食品安全问题却屡见不鲜,如含甜蜜素的鸭舌制品、硫磺熏制的毒生姜、工业明胶制造酸奶等。一个重要的原因在于交易双方的信息不对称,消费者或下游购买商往往是信息获取的劣势方。针对解决信息不对称、提高食品的质量安全、保护消费者的权益等问题,可追溯系统的建设和实施显得尤为重要。然而,我国在建设食品可追溯系统时仍面临着一些问题,包括没有统一的标准规范,相应的法律法规不完善,信息不完整等^[1-3]。但从经济学的角度分析,食品可追溯系统能够顺利实施和运行的关键之处在于如何降低可追溯系统构建和实施的质量成本,以及如何将这些成本在成员之间进行合理的分摊。熊中楷等在信息不对称条件下,研究了在供应商和购买商组成的二级供应链中如何设计出最优的质量成本分担合同^[4]。Baiman 等建立了供应商和购买商之间的契约关系,并分析了在结构分离和结构不分离 2 种情况下内部、外部损失分担的差异,结果表明只有结构分离的产品,基于内部、外部损失建立的契约才能得到一阶最优解;反之,结构不分离的产品无法得到一阶最优解^[5]。曹東等在供应链考虑产品质量失误的情况下,建立了供应链博弈模型,通过对内部、外部损失的不同承担方式的对比,实现了供应链全局最优和局部最优的一致^[6]。段春艳等针对供应链质量控制中的不确定性问题设定参数和构建模型,并提出了连续情况下质量参数模型的构建,证明了连续情况下的质量控制决策比离散情况下的决策更加准确,符合实际^[7]。以上文献都是在非对称信息或对称信息下单独考虑

质量成本分担合同的设计。在以上文献研究的基础上,本研究根据食品可追溯系统的现状(传统供应链的视角)及未来发展趋势(供需网的视角),对食品可追溯系统的质量成本设计非信息对称下和信息对称下的质量合同。对于传统供应链的可追溯系统,运用委托代理理论构建信息不对称下质量成本分担模型。结合供需网理念,基于 Stackelberg 的博弈理论构建完全信息下的可追溯系统成本分担合同模型,通过合理的成本分担设计,以期为我国食品可追溯系统的发展提供合理的建议。

1 模型假设与描述

1.1 食品可追溯系统成本分担模型的问题描述和基本假设

质量成本是总成本的一部分,为了保证和提高质量所支付的一切费用,以及产品不合格所导致的全部损失。根据质量成本的定义,食品可追溯系统是为了保证和提高食品安全质量而构建的,从这个意义上食品可追溯系统构建和实施过程中所发生的成本都可以看作是质量成本。食品可追溯系统的质量成本由食品安全的预防成本、鉴定成本以及食品出现问题时的质量风险成本等要素构成,即食品供应商、购买商等付出的努力成本,对食品的检测成本和食品出现问题时所造成的内部、外部损失成本。其中,预防成本包括食品可追溯信息系统的建设投入成本、相应的员工培训成本等,鉴定成本包括食品质量检测成本、检测设备的折旧成本以及质量评审成本等,内部损失成本则为废品成本、停工损失、寻找替换中间品的成本等,外部损失成本则为消费者维护自己权益而要求的索赔、退货损失以及信誉损失等。

本研究构建的食品可追溯系统成本分担模型是由风险中性的食品供应商和食品购买商所组成的二级供应链。为了方便研究,从供需网中任意选取 2 个存在供需流关系的上下游企业(食品供应商和食品购买商),并且组成一个二级供应链。

为了方便研究,对模型提出的假设条件如下:(1)购买商

收稿日期:2017-08-30

基金项目:教育部人文社会科学规划项目(编号:13YJA630028);上海市教育委员会科研创新重点项目(编号:13ZS099)。

作者简介:何 静(1972—),女,山东济宁人,博士,副教授,硕士生导师,从事供应链、食品供需网、食品可追溯系统等研究。Tel:(021)55825535;E-mail:hejingzz@126.com。

通信作者:廖仕成,硕士研究生,从事食品供需网、食品可追溯系统等研究。E-mail:lsc_19950607@163.com。

对供应商提供的中间品进行加工时,并不改变中间产品本身的质量水平;(2)购买商由于自身水平的限制,并不能完全检测出所有的不合格中间品,检测过程中不会对中间品的质量水平产生影响;(3)不合格的成品是由检测的不合格中间品和合格的中间品在加工过程中产生的不合格成品组成的;(4)生产的成品全部能够卖出,一旦发生外部损失,顾客会将所有的不合格品退回并且要求赔偿;(5)基于传统供应链下的食品可追溯系统,存在道德风险问题,其供应商和制造购买商的努力水平部分是不可测的;基于供需网下的食品可追溯系统,信息是完全公开的,其供应商和制造购买商的努力水平都是可测的。

1.2 食品可追溯系统成本分担模型的参数

P_1 表示食品供应商的质量努力水平程度, $P_1 \in (0, 1)$, $C_1(P_1)$ 是供应商保证产品质量水平而产生的成本,假定其一阶导数 $C_1'(P_1) > 0$, 二阶导数 $C_1''(P_1) > 0$, 且 $C_1(0) = C_1'(0) = 0, C_1'(1) = \infty$, 即随着供应商的质量努力水平的增加,其质量努力成本和边际质量努力成本也是增加的。 P_2 表示食品购买商对供应商提供的中间品质量的检验水平, $P_2 \in (0, 1)$, $C_2(P_2)$ 是购买商对中间品的检测成本,假定 $C_2'(P_2) > 0, C_2''(P_2) > 0$, 且 $C_2(0) = C_2'(0) = 0, C_2'(1) = \infty$ 。 P_3 表示食品购买商的质量努力水平程度(即购买商对中间品进行加工并且合格的概率), $P_3 \in (0, 1)$, $C_3(P_3)$ 是购买商对中间产品的加工成本,假定条件与前面 2 个相同。 S 表示购买商基于供应商的质量努力水平而支付中间产品的价格。 I 表示被购买商检测出来的不合格中间品所造成的损失,即内部损失成本,发生内部损失的概率为 $(1 - P_1)P_2$ 。 d 表示不合格的成品最后被消费者发现造成的损失,即外部损失成本,发生外部损失的概率为 $(1 - P_1)(1 - P_2) + P_1(1 - P_3)$ 。 r 表示最终成品的销售价格, L 为发生外部损失时消费者不满意造成的成本,因此 $d = r + L$ 。 α 为发生内部损失时供应商应该承担的比例, $\alpha \in (0, 1)$, 因此购买商应承担的内部损失比例为 $1 - \alpha$ 。 β 为发生外部损失时供应商应该承担的比例, $\beta \in (0, 1)$, 因此购买商应承担的外部损失比例为 $1 - \beta$ 。

2 信息不对称下的食品可追溯系统的质量成本合同设计

根据委托代理的分析逻辑可知,在运用委托代理理论解决代理问题时,都是先基于信息对称的理想情况下处理代理问题,即委托人可以直接观察到代理人的努力程度,并给出相应的奖惩;代理人可以只考虑自身,直接选择使自己利益最大化的努力程度。因此在信息对称的情况下,合同的设计是不需要激励相容约束条件的,委托代理问题转化为在参与约束条件下,如何设计委托人利益最大化的合同的问题。最后求解出最优解,实现帕累托最优,并以此作为信息不对称情况下处理代理问题的基本参照系^[8]。在信息不对称的情况下,水产品供应商或购买商的隐匿行为往往会产生道德风险问题。针对这种问题,运用委托代理理论,通过激励相容约束条件来约束代理人的行为,且以信息对称下的最优决策为依据来设计合同。

在供应链中,由于信息不对称,食品供应商或购买商的隐匿行为往往会产生道德风险问题。针对这种问题,运用委托代理理论,设计最优的质量成本分担合同,使得代理人在追求

自己利益的同时保证了委托人的效用最大化。以信息对称下的最优决策为依据,通过在供应商和购买商之间合理地分摊内部、外部损失,使得双方的行动与完全信息下供应链的最优解一致,即实现了各自利益的最大化。

2.1 信息对称下的食品可追溯系统的质量成本模型

根据上述假定和参数,可追溯系统的整体收益函数为

$$\Pi = r - C_1(P_1) - C_2(P_2) - C_3(P_3) - (1 - P_1)P_2I - (1 - P_1)(1 - P_2)(r + L) - P_1(1 - P_3)(r + L) \quad (1)$$

根据公式(1),分别对 P_1, P_2, P_3 求解一阶偏导数,可得:

$$\frac{\partial \Pi}{\partial P_1} = -C_1'(P_1) + P_2I + (1 - P_2)(r + L) - (1 - P_3)(r + L); \quad (2)$$

$$\frac{\partial \Pi}{\partial P_2} = -C_2'(P_2) - (1 - P_1)I + (1 - P_1)(r + L); \quad (3)$$

$$\frac{\partial \Pi}{\partial P_3} = -C_3'(P_3) + P_1(r + L) \quad (4)$$

令公式(2)、公式(3)、公式(4)均等于 0,可得到系统 $\{P_1^*, P_2^*, P_3^*\}$ 的最优解(达到各自的最优努力水平),并满足下列隐函数方程式:

$$C_1'(P_1) = P_2I + (1 - P_2)(r + L) - (1 - P_3)(r + L); \quad (5)$$

$$C_2'(P_2) = -(1 - P_1)I + (1 - P_1)(r + L); \quad (6)$$

$$C_3'(P_3) = P_1(r + L) \quad (7)$$

2.2 信息不对称下的食品可追溯系统质量成本分担研究

供应商的收益函数为

$$\Pi_1 = S - C_1(P_1) - (1 - P_1)P_2[\alpha I + S] - (1 - P_1)(1 - P_2)\beta(r + L) \quad (8)$$

购买商的收益函数为

$$\Pi_2 = r - S - C_2(P_2) - C_3(P_3) - (1 - P_1)P_2[(1 - \alpha)I - S] - (1 - P_1)(1 - P_2)(1 - \beta)(r + L) - P_1(1 - P_3)(r + L) \quad (9)$$

2.2.1 食品供应商存在道德风险时的最优合同设计 当供应商存在道德风险时, P_1 是隐匿的, P_2 和 P_3 是可观测的。这种情况下,购买商作为委托人设计质量成本的分担合同为

$$\max \Pi_2; \quad (10)$$

$$\text{s. t. } (IR) \Pi_1 \geq 0; \quad (11)$$

$$(IC) P_1 \in \arg P_1 \max \Pi_1 \quad (12)$$

购买商作为委托人会选择 P_2 和 P_3 的最优解,即 P_2^*, P_3^* 。而供应商作为代理人也会追求自己的利益最大化。因此可转化为

$$\max \Pi = \max \Pi_1 + \max \Pi_2; \quad (13)$$

$$\text{s. t. } (IC) P_2[\alpha I + S] + (1 - P_2)\beta(r + L) = C_1'(P_1) \quad (14)$$

因此,最优合同的设计可简化为求解 α, β 使得公式(5)与公式(14)相等,即

$$P_2[\alpha I + S] + (1 - P_2)\beta(r + L) = P_2I + (1 - P_2)(r + L) - (1 - P_3)(r + L) \quad (15)$$

(1) 当 $\alpha = 0$ 时(只发生外部损失),代入公式(15)得到

$$\beta = 1 + \frac{P_2(I - S) - (1 - P_3)(r + L)}{(1 - P_2)(r + L)} \quad (16)$$

(2) 当 $\beta = 0$ 时(只发生内部损失),代入公式(15)得到

$$\alpha = 1 + \frac{(P_3 - P_2)(r + L)}{P_2 I} - \frac{S}{I}。$$

2.2.2 食品购买商存在道德风险时的最优合同设计 当购买商存在道德风险时, P_2 、 P_3 是隐匿的, P_1 是可观测的。这种情况下,

$$\max \Pi_1; \quad (16)$$

$$\text{s. t. (IR)} \Pi_2 \geq 0; \quad (17)$$

$$\text{(IC)} P_2 \in \arg P_2 \max \Pi_2; \quad (18)$$

$$P_3 \in \arg P_3 \max \Pi_2。 \quad (19)$$

同理可求出此时的最优合同下的 α 、 β :

$$(1) \text{ 当 } \alpha = 0 \text{ 时 (只发生外部损失), } \beta = \frac{S}{r + L}; \quad (20)$$

$$(2) \text{ 当 } \beta = 0 \text{ 时 (只发生内部损失), } \alpha = -\frac{S}{I}。 \quad (21)$$

可以发现在购买商存在隐匿的情况下, 根据求出的 α 、 β 代入到供应商的内部、外部损失应分担比例, 即供应商应承担的内部损失为 $\alpha I = -S$, 表示供应商不仅不承担任何的内部损失, 还会得到等同于购买商支付中间产品的价格补偿; 供应商应承担的外部损失为 $\beta(r + L) = S$, 表示供应商承担的外部损失等同于购买商支付中间产品的价格。通过这样的合同设计解决了信息不对称问题, 使得双方实现了各自的利益最大化, 但并没有实现可追溯系统的整体利益最大化。

3 信息对称下的食品可追溯系统的质量成本合同设计

即使可追溯系统不存在任何信息的不对称, 可追溯系统也会由于供应商和制造商的双重边际效应而导致无法达到系统的整体利益最大化。双重边际效应指的是在完全信息下, 供应链的不同成员各自优化自己的目标函数, 使得供应链无法达到整体利益最大化。上下游企业为了谋求各自的收益最大化, 在决策过程中制定的产品价格高于其边际生产成本, 从而使整个供应链的收益受到损伤, 导致各自的利益不能达到最优^[9]。在合作博弈中, 制造商和零售商均以系统的利润最大化为目标; 在非合作博弈中, 制造商和零售商均以各自的利润最大化为目标^[10]。结合第 2 章节的研究和结论, 笔者结合食品供需网充分合作的特性, 设计完全信息下的可追溯系统的质量成本最优合同设计。在信息完全的情况下, 以合作博弈下的质量成本模型为基准, 通过质量成本合同的设计, 使质量成本在各主体之间进行合理的分配, 提高各成员的质量努力程度, 增加非合作博弈下可追溯系统的整体利润和各主体利润。

食品供需网是针对食品供应链存在的不足而提出的一种创新的理念, 它以全球资源获取、全球生产加工、全球销售和保障食品安全、健康、营养为目标。食品供需网不同于供应链之间的链内合作、链外竞争, 一直提倡的是“来者均是客”, 结合动力机制原理(图 1)的特点, 由于成员企业之间追求合作的长期稳定性及长期收益, 在一定条件下, 实现了供需网中集体利益与个体利益的一致, 因此全部成员都会积极地寻找这种均衡, 在实现自身利益最大的同时使供需网总收益达到最大, 即合作共赢^[11]。因此, 每一个节点企业都有追求合作共赢的动力, 从而形成整个系统趋向帕累托最优的大动力, 为成员企业之间提供了一种合作机制。这与合作博弈中的系统利润最大化的目标是一致的。

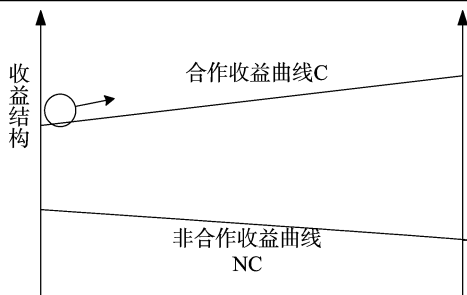


图1 动力机制原理

相比于传统供应链供需流的概念, 供需网中供需流的内涵比传统供应链中的“流”有了较大的扩展, 每种供需流的功能也都有了新的突破。其中, 物流在传统供应链中被描述为原材料、半成品、产成品等物质流经供应商、制造商、分销商、零售商到顾客手中的一个过程, 但在供需网中物流还包括对废旧物的回购和污染物的加工处理。譬如食品企业在生产过程中, 其附带产生的下脚料对该企业是无用的废料, 但很可能是其他企业加工制造过程中重要的原料。过去, 养殖户常常会为堆积如山、散发着臭味的蟹壳不知道如何处理而伤脑筋, 但蟹壳和虾壳中含有丰富的天然钙质, 加工处理后可以用来生产小孩的补钙保健品以及治疗软骨病的辅助药物等; 蟹壳和虾壳中的蟹黄素和虾红素是天然、安全的食用色素; 蟹壳中提取的甲壳素对因胃酸过多而引起的胃溃疡病也有很好的疗效。乌贼的内脏可以提取出促生长剂, 可以促进海藻类的生产。鱼头、鱼皮、鱼鳍、鱼鳞等下脚料可以经有效处理后, 成为海鲜调味品、营养强化剂、微胶囊饵料等。传统供应链中的节点只能为单个企业, 但供需网中的网络节点包括单个企业、企业联盟、消费者等, 因此这种变废为宝的上下游节点企业在供需网中构成了供应链节点。

为方便研究, 以下将围绕供需网中的供应链节点进行讨论, 通过对供应链节点及其成员企业的建模, 定量地分析在合作博弈与非合作博弈中如何分配质量成本。2 个生产不同食品的供应链节点 A_1 和 A_2 , 由于供需流之间的关系它们各自的下游企业 (A_{12} 、 A_{22}) 会重新构成一个新的供应链节点 C, 即可以看成本节构建的食品可追溯系统成本分担模型是由风险中性的食品供应商 A_{12} 和食品购买商 A_{22} 所组成的二级供应链 C(图 2)。

3.1 合作博弈下的食品可追溯系统的质量成本模型

供需网中的每一个节点企业都有追求合作共赢的动力, 从而形成整个系统趋向帕累托最优的点的巨大动力, 为成员企业之间提供了一种合作机制。正是这种机制, 使得在一定条件下, 其纳什均衡努力水平与帕累托最优努力水平是相等的, 从而实现了供需网中的合作共赢。因此供需网中的供应链节点 C 的利益达到最大化, 此时可追溯系统的整体收益是最大的。

可追溯系统的整体收益函数为

$$\Pi = r - C_1(P_1) - C_2(P_2) - C_3(P_3) - (1 - P_1)P_2I - [(1 - P_1)(1 - P_2) + P_1(1 - P_3)](r + L); \quad (22)$$

对其求解 P_1 、 P_3 的一阶偏导数:

$$\frac{\partial \Pi}{\partial P_1} = -C_1'(P_1) + P_2I - (P_2 - P_3)(r + L); \quad (23)$$

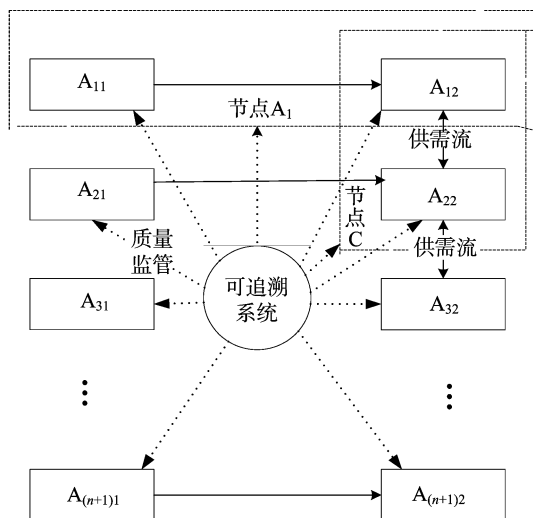


图2 供需网下的食品可追溯系统模型

$$\frac{\partial \Pi}{\partial P_3} = -C_3'(P_3) + P_1(r+L)。 \quad (24)$$

令公式(23)、公式(24)均等于0,可以得到供应商和购买商最优质量水平分别为 P_{11}^* 、 P_{31}^* ,系统最大利润为 $\Pi(P_{11}^*, P_{31}^*)$,并满足下列隐函数:

$$C_1'(P_1) = P_2 I - (P_2 - P_3)(r+L); \quad (25)$$

$$C_3'(P_3) = P_1(r+L)。 \quad (26)$$

3.2 非合作博弈下的食品可追溯系统质量成本合同分担研究

当供应商和购买商追求各自利益的最大化,他们之间进行着非合作博弈。基于上述的研究结论:当购买商存在道德风险,发生内部损失的时候供应商不须要承担任何的内部损失;发生外部损失的时候供应商只须承担等于中间品价格的外部损失,通过这样的合同设计解决了信息不对称的问题,使得双方实现了各自的利益最大化,但并没有实现可追溯系统的整体利益最大化。笔者在此基础上设计3种不同的内部、外部损失分担合同,通过对比分析,研究在完全信息下(供应商和购买商的质量努力水平都是可观测的)如何实现系统利益最大化的同时,也保证成员的最大利益。此处的模型基于Stackberg 博弈理论,假定购买商是领导者,供应商是追随者,购买商提供给供应商损失分摊合同。

3.2.1 内部损失惩罚合同 内部损失分担合同:购买商把发生的内部损失全部分摊给供应商,自己承担全部的外部损失。他们的行动顺序为购买商向供应商提供内部损失合同,并确定自己的质量努力水平程度;供应商选择接受或拒绝,选择接受则确定供应商的质量努力水平;购买商对供应商提供的中间品进行检测,检验合格则继续加工,否则将内部损失全部转移给供应商;购买商对中间品加工至成品并且销售给顾客,若产品发现问题,产生的外部损失由自己全部承担。符合完美信息的动态博弈,采用逆向归纳法来求解模型,先求供应商的最优质量努力水平,再求解购买商的质量努力水平。

供应商的收益函数为

$$\Pi_1 = S[1 - (1 - P_1)P_2] - C_1(P_1) - (1 - P_1)P_2 I; \quad (27)$$

对公式(27)求一阶导数和二阶导数:

$$\frac{\partial \Pi_1}{\partial P_1} = (S + I)P_2 - C_1'(P_1); \quad (28)$$

$$\frac{\partial^2 \Pi_1}{\partial P_1^2} = -C_1''(P_1) < 0。 \quad (29)$$

令公式(28)为0,可知供应商的最优质量努力水平 P_{12}^* 和供应商的最大利润 $\Pi_1(P_{12}^*)$,且满足下列隐函数:

$$C_1'(P_{12}^*) = (S + I)P_2。 \quad (30)$$

购买商的收益函数为

$$\Pi_2 = r - S[1 - (1 - P_1)P_2] - (r + L)[(1 - P_1)(1 - P_2) + P_1(1 - P_3)] - C_2(P_2) - C_3(P_3); \quad (31)$$

对其求解一阶导数和二阶导数:

$$\frac{\partial \Pi_2}{\partial P_3} = (r + L)P_1 - C_3'(P_3); \quad (32)$$

$$\frac{\partial^2 \Pi_2}{\partial P_3^2} = -C_3''(P_3) < 0。 \quad (33)$$

令公式(32)等于0,可知购买商的最优质量努力水平 P_{32}^* ,代入 P_1^* 得到购买商的最大利润 $\Pi_2(P_{12}^*, P_{32}^*)$,且满足下列隐函数:

$$C_3'(P_{32}^*) = (r + L)P_{12}^*。 \quad (34)$$

3.2.2 外部损失分担合同 外部损失分担合同:购买商把发生的内部损失全部自己承担,外部损失在购买商和供应商之间进行正确的分摊,供应商承担 $(r + L)(1 - P_1)(1 - P_2)$,购买商承担 $(r + L)P_1(1 - P_3)$ 。

供应商的收益函数为

$$\Pi_1 = S[1 - (1 - P_1)P_2] - C_1(P_1) - (r + L)(1 - P_1)(1 - P_2)。 \quad (35)$$

求解一阶导数和二阶导数可知,供应商的最优质量努力水平 P_{13}^* 和供应商的最大利润 $\Pi_1(P_{13}^*)$,并且满足下列隐函数:

$$C_1'(P_{13}^*) = SP_2 + (r + L)(1 - P_2)。 \quad (36)$$

购买商的收益函数为

$$\Pi_2 = r - S[1 - (1 - P_1)P_2] - (1 - P_1)P_2 I - (r + L)P_1(1 - P_3) - C_2(P_2) - C_3(P_3)。 \quad (37)$$

求解一阶导数和二阶导数可知,购买商的最优质量努力水平 P_{33}^* ,代入 P_{13}^* 可知购买商的最大利润 $\Pi_2(P_{13}^*, P_{33}^*)$,且满足下列隐函数:

$$C_3'(P_{33}^*) = P_{13}^*(r + L)。 \quad (38)$$

3.2.3 内部损失和外部损失共同分担合同 内部损失和外部损失共同分担合同:购买商把发生的内部损失全部分摊给供应商,外部损失在购买商和供应商之间进行正确的分摊,供应商承担 $(r + L)(1 - P_1)(1 - P_2)$,购买商承担 $(r + L)P_1(1 - P_3)$ 。

供应商的收益函数为

$$\Pi_1 = S[1 - (1 - P_1)P_2] - C_1(P_1) - (r + L)(1 - P_1)(1 - P_2) - (1 - P_1)P_2 I。 \quad (39)$$

求解一阶导数和二阶导数可知,供应商的最优质量努力水平 P_{14}^* 和供应商的最大利润 $\Pi_1(P_{14}^*)$,且满足下列隐函数:

$$C_1'(P_{14}^*) = (S + I)P_2 + (r + L)(1 - P_2)。 \quad (40)$$

购买商的收益函数为

$$\Pi_2 = r - S[1 - (1 - P_1)P_2] - (r + L)P_1(1 - P_3) -$$

$$C_2(P_2) - C_3(P_3); \quad (41)$$

求解一阶导数和二阶导数可知,购买商的最优质量努力水平 P_{34}^* ,代入 P_{14}^* 可知购买商的最大利润 $\Pi_1(P_{14}^*, P_{34}^*)$,并且满足下列隐函数:

$$C_3'(P_{34}^*) = (r+L)P_{14}^*. \quad (42)$$

3.3 信息对称与不对称下的食品可追溯系统的比较分析

根据文献[7],令 $C_1(P_1) = \frac{1}{2}K_1P_1^2$, $C_3(P_3) = \frac{1}{2}K_3P_3^2$,

其中, K_1 代表供应商的质量努力成本参数; K_3 代表购买商的质量努力成本参数。并代入到公式(30)、公式(34)、公式(36)、公式(38)、公式(40)、公式(42)中,可求得:

$$P_{12}^* = \frac{P_2(S+I)}{K_1}; \quad (43)$$

$$P_{13}^* = \frac{SP_2 + (r+L)(1-P_2)}{K_1}; \quad (44)$$

$$P_{14}^* = \frac{(S+I)P_2 + (r+L)(1-P_2)}{K_1}; \quad (45)$$

$$P_{32}^* = \frac{(r+L)P_2(S+I)}{K_1K_3}; \quad (46)$$

$$P_{33}^* = \frac{(r+L)[SP_2 + (r+L)(1-P_2)]}{K_1K_3}; \quad (47)$$

$$P_{34}^* = \frac{(r+L)[(S+I)P_2 + (r+L)(1-P_2)]}{K_1K_3}. \quad (48)$$

可知 $P_{34}^* > P_{33}^*$, $P_{34}^* > P_{32}^*$, $P_{14}^* > P_{13}^*$, $P_{14}^* > P_{12}^*$, 因此 (P_{14}^*, P_{34}^*) 为 3 种合同中最优的质量努力水平。

代入到食品供需网的可追溯系统中,即公式(25)、公式(26)中可得到:

$$P_{11}^* = \frac{(r+L-I)K_3P_2}{(r+L)^2 - K_1K_3}; \quad (49)$$

$$P_{31}^* = \frac{(r+L)^2P_2 - (r+L)IP_2}{(r+L)^2 - K_1K_3}. \quad (50)$$

比较内部、外部损失共同分担合同和合作博弈下的最优质量水平:

$$\frac{P_{31}^*}{P_{11}^*} = \frac{P_{34}^*}{P_{14}^*} = \frac{r+L}{K_3}; \quad (51)$$

$$\frac{P_{31}^*}{P_{34}^*} = \frac{[(r+L)^2P_2 - (r+L)IP_2]K_1K_3}{[(r+L)^2 - K_1K_3][(S+I)P_2 + (r+L)(1-P_2)](r+L)} = A = \frac{P_{11}^*}{P_{14}^*}. \quad (52)$$

只有当 $A=1$ 时,通过内部损失和外部损失共同分担合同的设计,才能达到各自利益和系统整体利益最大化。因此,食品可追溯系统的成本在第 3 种合同的合理分担下,可以使得可追溯系统在完全信息下,既保证了成员的利益也实现了整

体利益最大化,消除了双重边际效应。

4 结论

本研究从不完全信息和完全信息 2 个方面设计了食品可追溯系统的质量成本分担合同,为了解决信息不完全下道德风险问题,运用委托代理理论展开了质量成本分担研究,得出购买商存在道德风险,当内部损失发生时,供应商不须要承担任何的内部损失;当外部损失发生时,供应商只须承担等于中间品价格的外部损失就可以实现各自的利益最大化,但无法达到系统整体的最优。基于信息不完全下的合同设计,并且结合 Stackelberg 博弈理论,设计了 3 种信息完全下的食品可追溯系统的质量成本分担合同,通过对比分析,得出了只有购买商把发生的内部损失全部分摊给供应商,外部损失在购买商和供应商之间按照各自的责任进行分摊时,才实现了整体和局部的共同最优,而且相比于不完全信息下的合同设计,这样的设计显得更为合理,更加容易被采纳和实施,保证了可追溯系统能够顺利实施和运行,对我国的食品可追溯系统的推广具有一定的实践意义。

参考文献:

- [1] 殷俊峰,陶运来,刘铁兵,等. 食品可追溯系统建设之初探[J]. 安徽农业科学,2008,36(27):11985-11987,11994.
- [2] 何 莲,凌秋育. 农产品质量安全可追溯系统建设存在的问题及对策思考——基于四川省的实证分析[J]. 农村经济,2012(2):30-33.
- [3] 尹玉伶,何 静. 我国建立农产品质量安全可追溯系统的对策研究[J]. 山西农业科学,2011,39(5):488-490.
- [4] 熊中楷,刘芳兵. 考虑质量提升的供应链质量成本分担合同研究[J]. 华东经济管理,2009,23(12):100-103.
- [5] Baiman S, Fischer P E, Rajan M V. Performance measurement and design in supply chains[J]. Management Science, 2001, 47(1):173-188.
- [6] 曹 东,杨春节. 考虑质量失误的供应链博弈模型研究[J]. 中国管理科学,2006,14(1):25-29.
- [7] 段春艳,黄志明,武小军,等. 供应链质量控制模型构建的参数设置比较[J]. 同济大学学报(自然科学版),2014,42(8):1292-1297.
- [8] 刘有贵,蒋年云. 委托代理理论述评[J]. 学术界,2006(1):69-78.
- [9] 马丽莎,马 燕. 分散型供应链中“双重边际效应”协调策略研究[J]. 现代商贸工业,2016,37(11):34-35.
- [10] 丁 斌,罗秋慧. 在线零售商和物流商的配送能力博弈分析[J]. 科研管理,2014,35(3):140-146.
- [11] 何 静,马 青. 食品供需网可追溯体系构建的博弈分析[J]. 中国农学通报,2015,31(14):114-118.