

文章编号: 2095-2163(2022)01-0108-05

中图分类号: F322

文献标志码: A

基于讨价还价模型及追溯技术的生鲜农产品供应链收益分析

苏百威

(上海工程技术大学 管理学院, 上海 201620)

摘要: 本文考虑两个生鲜农产品供应商和一个处于领导地位的零售商所组成的供应链, 两个供应商向零售商供应替代品。通过构建讨价还价模型, 分析两个供应商在采取不同互联网追溯技术决策时对供应链整体收益的影响。研究表明: 若供应商选择投资互联网追溯技术, 则零售商的收益会增加; 在生鲜农产品错放率和损耗率较低且供应商采取 \overline{SS} 决策时, 零售商可以获得最大利润。

关键词: 追溯技术; 生鲜农产品; 讨价还价模型

Profit analysis of fresh agricultural products supply chain based on bargaining model and traceability technology

SU Baiwei

(School of management, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

[Abstract] This paper considers a supply chain consisting of two fresh produce suppliers and one leading retailer. Two suppliers supply alternatives to retailers. The bargaining model is constructed to analyze the impact of two suppliers taking different Internet traceability technology decisions on the overall revenue of the supply chain. The results show that if the supplier chooses to invest in Internet traceability technology, the retailer's revenue will increase. Retailers can make the most profit when the misplace and loss rates of fresh produce are low and the supplier makes the decision.

[Key words] tracing technology; fresh agricultural product; bargaining model

0 引言

生鲜农产品是一类特殊的易变质产品, 随着储存和运输时间的推移而腐蚀损耗, 利用追溯技术能够快速追踪产品流动信息, 准确掌握库存信息, 较好地用于供应链产品追溯、检查产品的保质期, 进而有效地降低产品在供应链过程中的损耗。赵维、Yirui Qian 等分析了将区块链技术应用在产品追溯体系中的优势以及挑战^[1-2]; Kristín Óskarsdóttir 等建立了包含追溯技术的决策支持框架, 以帮助企业进行决策^[3]。Hongwu Bai 等介绍了农场动物现有的追溯技术, 并讨论了新兴技术的优点及其局限^[4]; Marah J. Hardt 等探讨了数字追溯技术在海产品产业中发展的障碍, 并提出了克服这些障碍的建议^[5]; Saikouk 等对可追溯技术应用于森林供应链进行了评估^[6]。事实上, 一些大型零售企业如沃尔玛、麦德隆等已将追溯技术应用于服装和日用品等产品的供应链管理中, 并取得了明显的效果。然而, 运用追溯技术成本较高, 阻碍了其在更多企业中的推广应用。特别是, 追溯技术投资后将改变供应链

的成本和收益结构, 存在竞争环境下的供应链追溯技术投资的搭便车现象, 阻碍了追溯技术的应用。为此, 迫切需要探讨追溯技术在竞争性供应链环境中的投资问题。基于以上的分析, 本文假设利用追溯技术可以完全解决库存不准确中的错放和损耗问题, 同时供应商和零售商之间采用讨价还价的方式, 研究供应链企业在不同模式中的最佳决策及追溯技术的成本效益。

1 模型构建与求解

考虑由两个供应商和一个零售商组成的生鲜农产品供应链, 零售商处于领导地位, 两供应商生产两种互为替代品的产品, 零售商销售这两种单周期产品。根据供应商追溯技术投资应用的不同, 分3种情景进行研究: 两供应商未采用追溯技术 (SS 模式); 仅一供应商采用追溯技术 (\overline{SS} 模式); 两供应商均采用追溯技术 (\overline{SS} 模式)。假设生鲜农产品的需求函数为式(1):

$$D_i = M - \alpha p_i + \beta p_j + r\vartheta_i \quad (1)$$

对于零售商 R 而言, 假设市场需求最大规模为

作者简介: 苏百威(1996-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 生鲜农产品供应链管理。

收稿日期: 2021-07-30

哈尔滨工业大学主办 ◆ 专题设计与应用

Q_0 ，故零售商对产品的期望需求函数为式(2)：

$$q_i = Q_0 - \alpha p_i + r_1(p_j - p_i) + \beta(\theta(t_j) - k_2(\theta(t_j) - \theta(t_i))) \quad (2)$$

其中， $i = 1, 2; j = 3 - i$ ； q_i 为 R 对产品 i 的期望需求； α 为需求的价格敏感性参数； β 为市场对新鲜度偏好系数，且 α 和 β 都大于 0； r 为两鲜农产品的竞争系数。

为了便于分析，假设 $r = r_1 = r_2$ ， $\vartheta_i = \theta(t_i) - r(\theta(t_j) - \theta(t_i))$ ，则有式(3)：

$$y_i = Q_0 - \alpha p_i + r(p_j - p_i) + \beta \vartheta_i \quad (3)$$

与此同时，设产品需求与零售价格成反比关系，且受产品及商店差异化程度影响，基于零售商的产品价格无法预知的情况下，供应商通过讨价还价的方式确定批发价格 w （无关于零售商在实际情况下选择的价格）。供应商 i 与零售商 i 的讨价还价过程为式(4)和式(5)：

$$w_i = (1 - x_i)p_i \quad (4)$$

$$p_i = \operatorname{argmax} \prod_R \quad (5)$$

其中， x_i 为非对称情形下零售商的讨价还价能力， $0 < x_i < 1$ ，且 $c_i < w_i < p_i$ 。

零售商按照预估的市场需求量向供应商进货，两者均没有实现库存信息共享。零售商商品库存存在摆放错误和损耗两大问题，商品摆放错误与库存量的比值为 ρ ($\rho \in [0, 1]$)，商品损耗量与库存量的比值为 μ ($\mu \in [0, 1]$)，当库存量为 Q 时，可以被正常销售的商品数量为 $(1 - \rho - \mu)Q$ ，剩余商品为 ρQ ，其在销售期末具有的单位残值 s 。

鉴于此，考虑利用实时监控的追溯技术来解决

$$p_i^{SS*} = \frac{[r^2 - (\alpha + r)^2] (\rho s_i - w_i) + (\alpha + 2r)(1 - \rho - \mu)(Q_0 + \beta \vartheta_i)}{2(1 - \rho - \mu)[(\alpha + r)^2 - r^2]}$$

将式(4)带入 p_i^{SS*} 得：

$$p_i^{SS*} = \frac{(1 - \rho - \mu)(Q_0 + \beta \vartheta_i) - \alpha \rho s_i}{[1 + x_i - 2(\rho + \mu)] \alpha}$$

同理可得：

$$w_i^{SS*} = (1 - x_i) \frac{(1 - \rho - \mu)(Q_0 + \beta \vartheta_i) - \alpha \rho s_i}{[1 + x_i - 2(\rho + \mu)] \alpha}$$

$$\Pi_R^{SS*}(p) = \sum_{i=1}^2 \left\{ (1 - \rho - \mu) \frac{[\alpha \rho s_i + (x_i - \rho - \mu)(Q_0 + \beta \vartheta_i)] [\alpha \rho s_i + (x_i - \rho - \mu)(Q_0 + \beta \vartheta_i) + k\rho(s_i - s_j)]}{\alpha [1 + x_i - 2(\rho + \mu)]^2} \right\}$$

(2) 供应商收益为式(7)：

$$\Pi_{Si}^{SS}(w) = y_i(w_i - c_i), i = 1, 2 \quad (7)$$

$$\Pi_S^{SS} = \frac{[(\alpha + r)\rho s_i - \rho s_j + (x_i - \rho - \mu)(Q_0 + \beta \vartheta_i)] \{ (1 - x_i)[(1 - \rho - \mu)(Q_0 + \beta \vartheta_i) - \alpha \rho s_i] - \alpha [1 + x_i - 2(\lambda + \varphi)] c_i \}}{\alpha [1 + x_i - 2(\rho + \mu)]^2}$$

商品错放和损耗问题。追溯技术是在产品生产出来之后使用，一般由供应商完成，故假设供应商承担追溯技术成本，但这里只考虑投资该技术所需的变动成本即标签成本，而不考虑一次性固定投资成本。当供应商采用追溯技术时，下游的零售商可以使用供应商贴在商品上的追溯技术标签，使得 $\rho = \mu = 0$ ，即完全消除商品库存错放和损耗，使零售商受益。

1.1 SS 模式下的均衡解

零售商主导下，供应商不采用追溯技术，零售商库存中 ρy 的商品被错放，销售季节末具有残值为 s ，损耗量为 μy ，库存可利用量为 $(1 - \rho - \mu)y$ 。

(1) 零售商的收益为式(6)：

$$\Pi_R^{SS}(p) = \sum_{i=1}^2 \{ [(1 - \rho - \mu)p_i + \rho s_i] y_i - w_i y_i \} \quad (6)$$

其中，批发价格为固定值，零售商求得其利益最大化情况下的求解过程是：式(6)对销售价格 p_i 求导，一阶求导为 0，二阶求导小于 0，得 p_i^* 后带入式(6)中即求得其利润最大值。

首先对式(6)中 p_i 进行求导，式(7)，二阶求导小于 0，式(8)：

$$\frac{\partial \Pi_R^{SS}(p)}{\partial p_i} = -2(1 - \rho - \mu)[(\alpha + r)p_i - \rho s_j] - (\alpha + r)(\rho s_i - w_i) + k(\rho s_j - w_j) + (1 - \rho - \mu)(Q_0 + \beta \vartheta_i)$$

$$\frac{\partial^2 \Pi_R^{SS}(p)}{\partial p_i^2} = -2(\alpha + r)(1 - \rho - \mu) < 0$$

$$\text{令 } \frac{\partial \Pi_R^{SS}(p)}{\partial p_i} = 0, \text{ 得均衡解:}$$

将 p_i^{SS*} 和 w_i^{SS*} 代入式(3)可得：

$$y_i^{SS*} = \frac{(\alpha + r)\rho s_i - \rho s_j + (x_i - \rho - \mu)(Q_0 + \beta \vartheta_i)}{1 + x_i - 2(\rho + \mu)}$$

将 p_i^{SS*} 和 w_i^{SS*} 及 y_i^{SS*} 代入(6)可得供应商最大收益为：

将 y_i^{SS*} 、 w_i^{SS*} 代入式(7)，即求出 Π_{Si}^{SS} ：

1.2 SS 模式下的均衡解

假设供应链供应商 j 采用追溯技术, 则对于零售商来说, 由于其可以免费共享供应商 j 商品上追溯技术标签, 因此从供应商 j 处获得的商品均不会发生错放和损耗, 而从供应商 i 处获得的商品依然存在库存不准确的情况, 此时, 零售商的收益, 讨价还价能力以及市场需求分别为式(8)~式(10):

$$\Pi_R^{\text{SS}}(p) = y_j(p_j - w_j) + [(1 - \rho - \mu)p_i + \rho s_i]y_i - w_i y_i$$

$$p_j^{\text{SS}^*} = \frac{[(2\Phi - 1 + x_i)(\alpha + r) + r\Phi(x_i + \Phi)](Q_0 + \beta\vartheta_j) + r(\alpha + r)\rho s_i(\Phi - 1)}{(1 + x_j)(2\Phi - 1 + x_i)(\alpha + r)^2 - r^2(x_j + \Phi)(\Phi + x_i)}$$

$$p_i^{\text{SS}^*} = \frac{[\Phi(1 + x_j)(\alpha + r) + r(x_j + \Phi)](Q_0 + \beta\vartheta_i) + \rho s_i[r^2(x_j + \Phi) - (1 + x_j)(\alpha + r)^2]}{(1 + x_j)(2\Phi - 1 + x_i)(\alpha + r)^2 - r^2(x_j + \Phi)(\Phi + x_i)}$$

将 $p_j^{\text{SS}^*}$, $p_i^{\text{SS}^*}$ 分别代入式 y_j^{SS} 可得式 $y_j^{\text{SS}^*}$ 和式 $y_i^{\text{SS}^*}$:

$$y_j^{\text{SS}^*} = (Q_0 + \beta\vartheta_j) - \frac{r(Q_0 + \beta\vartheta_j)[r(x_j + \Phi) + (\alpha + r)(x_j + 1)\Phi] - \alpha\rho s_i(\alpha + 2r)(x_j + \Phi)}{K} - \frac{(\alpha + r)\Gamma}{K}$$

其中, $K = (\alpha + r)^2(x_j + 1)(1 - x_i - 2\Phi) + r^2(x_i + \Phi)(x_j + \Phi)$, $\Phi = 1 - \rho - \mu$

$$w_j^{\text{SS}} = (1 - x_j)p_j \quad (8)$$

$$y_j^{\text{SS}} = Q_0 - \alpha p_j + r(p_i - p_j) + \beta\vartheta_j \quad (9)$$

$$\text{式(8)分别对 } p_j, p_i \text{ 一阶求导, 且二阶求导小于}$$

0, 将式(9)与 $\frac{\partial \Pi_R^{\text{SS}}(p)}{\partial p_i} = 0$, $\frac{\partial \Pi_R^{\text{SS}}(p)}{\partial p_j} = 0$ 联立, 可

得:

$$\Gamma = (Q_0 + \beta\vartheta_j)[(\alpha + r)(1 - x_i - 2\Phi) - r\Phi(x_i + \Phi)] + r\rho s_i(\alpha + r)(1 - \Phi)$$

$$M = \alpha\rho(\alpha + 2r)s_i(x_j + \Phi) - (Q_0 + \beta\vartheta_i)[r(x_i + \Phi) + (\alpha + r)(x_j + 1)\Phi]$$

$$y_i^{\text{SS}^*} = (Q_0 + \beta\vartheta_i) + r \frac{(Q_0 + \beta\vartheta_i)[(\alpha + r)(1 - x_i - 2\Phi) - r\Phi(x_i + \Phi)] + r\rho s_i(\alpha + r)(1 - \Phi)}{K} - \frac{(\alpha + r)M}{K}$$

其中, $M = \alpha\rho(\alpha + 2r)s_i(x_j + \Phi) - (Q_0 + \beta\vartheta_i)[r(x_i + \Phi) + (\alpha + r)(x_j + 1)\Phi]$ 。

将式(9)、式(10)求出的变量值带入 $y_i^{\text{SS}^*}$ 中即得零售商收益值。

供应商 j 收益为式(11):

$$\Pi_{S_j}^{\text{SS}}(w) = u_j(w_j - c_j - t) \quad (11)$$

将式(4)、 $p_j^{\text{SS}^*}$ 和 $y_j^{\text{SS}^*}$ 带入 $\Pi_{S_j}^{\text{SS}^*}(w)$ 即得 $\Pi_{S_j}^{\text{SS}^*}$ 。

供应商 i 收益为式(12):

$$\Pi_{S_i}^{\text{SS}}(w) = y_i(w_i - c_i) \quad (12)$$

将 $p_i^{\text{SS}^*}$, $y_i^{\text{SS}^*}$ 和 w_i^{SS} 带入 $\Pi_{S_i}^{\text{SS}^*}(w)$ 即得 $\Pi_{S_i}^{\text{SS}^*}$ 。

1.3 SS模式下的均衡解

两供应商均采用追溯技术对零售商意味着其可以免费共享供应商商品上追溯技术标签, 因此库存商品均可避免发生错放和损耗, 此情况下, 零售商收益和市场需求分别为:

$$\Pi_R^{\text{SS}}(p) = \sum_{i=1}^2 (y_i p_i - w_i y_i) \quad (13)$$

$$y_j^{\text{SS}} = Q_0 - \alpha p_j + r(p_i - p_j) + \beta\vartheta_j \quad (14)$$

$$\Pi_{S_i}^{\text{SS}^*} = (Q_0 + \beta\vartheta_i) \left[1 - \frac{\alpha + r}{(1 + x_i)\alpha} + \frac{r}{(1 + x_j)\alpha} \right] \left[\frac{(1 - x_i)(Q_0 + \beta\vartheta_i)}{(1 + x_i)\alpha} - c_i - t \right] \quad (17)$$

设在零售商谈判能力为 x 的情形下, 得出批发价格 w 关于 x 的关系为:

$$w_i^{\text{SS}} = (1 - x_i)p_i \quad (15)$$

式(13)和式(15)分别对 p_i 一阶求导 ($i=1, 2$), 二阶求导小于零。令一阶导数等于0得到均衡结果为:

$$p_i^{\text{SS}^*} = \frac{Q_0 + \beta\vartheta_i}{(1 + x_i)\alpha}$$

$$w_i^{\text{SS}^*} = \frac{(1 - x_i)(Q_0 + \beta\vartheta_i)}{(1 + x_i)\alpha}$$

将得到的均衡结果代入式(14)可得:

$$y_i^{\text{SS}^*} = (Q_0 + \beta\vartheta_i) \left[1 - \frac{\alpha + r}{(1 + x_i)\alpha} + \frac{r}{(1 + x_i)\alpha} \right]$$

零售商收益为式(16):

$$\Pi_R^{\text{SS}^*} = \sum_{i=1}^2 \frac{x_i(Q_0 + \beta\vartheta_i)^2}{(1 + x_i)\alpha} \left[1 - \frac{\alpha + r}{(1 + x_i)\alpha} + \frac{r}{(1 + x_j)\alpha} \right] \quad (16)$$

供应商收益为式(17):

2 算例分析

假设, 标签成本为 $t, c_1 = 30, c_2 = 30, Q_0 = 300, \alpha = 2, r = 1, x_1 = 0.3, x_2 = 0.3, \rho = 0.1, s_1 = 1, s_2 = 1, \vartheta_1 = 0.7, \vartheta_2 = 0.7$ 。

(1) 3 种模式下对应的收益值情况: 在标签成本

t 小于临界值的前提下, 这里取值为 5, 分别求出 3 种模式下对应的收益值情况, 见表 1。可以看出, 从 SS 模式到 \bar{SS} 模式零售商收益及供应链总收益逐渐增大, 投资采用追溯技术一方的收益总是大于不采用情况下的收益。

表 1 3 种模式下对应的收益值情况

Tab. 1 The Profits of Supply Chain Members under Three Modes

	SS 模式		\bar{SS} 模式		$\bar{\bar{SS}}$ 模式	
	$i = 1$	$i = 2$	$i = 1$	$i = 2$	$i = 1$	$i = 2$
w_i	93.4	93.4	80.8	95.1	80.7	80.7
p_i	133.4	133.4	115.4	135.9	115.5	115.5
y_i	33.6	33.6	90.3	8.0	69.3	69.3
Π_{S_i}	2 128.7	2 128.7	4 583.2	521.7	3 525.4	3 525.4
Π_R	902.9			3 258.1		4 804.1
Π_{SC}	5 160			8 363		11 855

(2) 零售商讨价还价水平变化对标签成本阈值的影响: 供应商 1 的收益随标签成本 t 与讨价还价率 x 变化情况如图 1 所示, 图中两面相交线是供应商的临界值, 可以看出, 随着标签成本阈值的增大, 零售商的讨价还价率逐步减少。

很高时 (如均是 0.25), 零售商的收益为: $\Pi_R^{\bar{\bar{SS}}} < \Pi_R^{\bar{SS}} < \Pi_R^{SS}$ 。因此, 零售商的策略有: 当库存错误率很低的时候, 必须要求供应商均采用追溯技术, 收益才能最大化; 但当库存错误率高于一定值时, 只需要求单一供应商采用追溯技术就可使收益最大化。

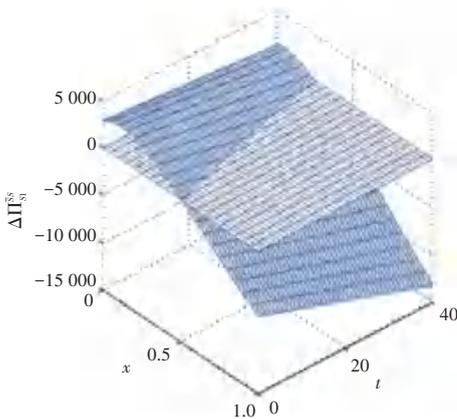


图 1 供应商 1 收益差随讨价还价率和标签成本变化情况

Fig. 1 The Profit of Suppliers 1 Difference Change with t and x

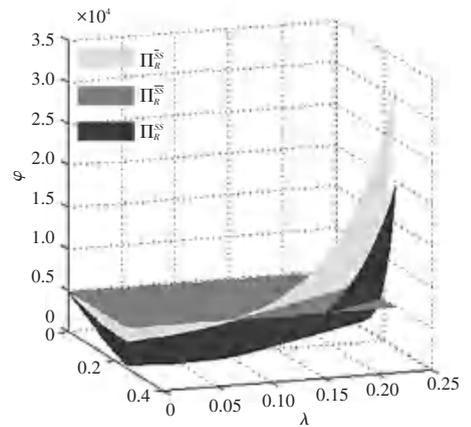


图 2 零售商收益随损耗率和错放率变化的情况

Fig. 2 The Profit of Retailer Change with λ and φ

(3) 错放率、损耗率对零售商期望收益的影响: 零售商收益随损耗率和错放率变化的情况如图 2 所示。可以看出, 当错放率和损耗率较低时 (如均是 0.05), 零售商的收益情况为: $\Pi_R^{SS} < \Pi_R^{\bar{SS}} < \Pi_R^{\bar{\bar{SS}}}$, 当错放率和损耗率较高时 (如均是 0.1), 零售商的收益转变为: $\Pi_R^{SS} < \Pi_R^{\bar{\bar{SS}}} < \Pi_R^{\bar{SS}}$, 但当错放率和损耗率

(4) 讨价还价水平对供应商、零售商利润的影响: 在保持库存损耗率和错放率均为 0.1 的前提下, 研究零售商讨价还价水平对供应商、零售商收益的影响。为了保持链中各成员收益为正值, 分别选取零售商讨价还价水平在 0.4~0.6 之间, 结果如图 3 所示。

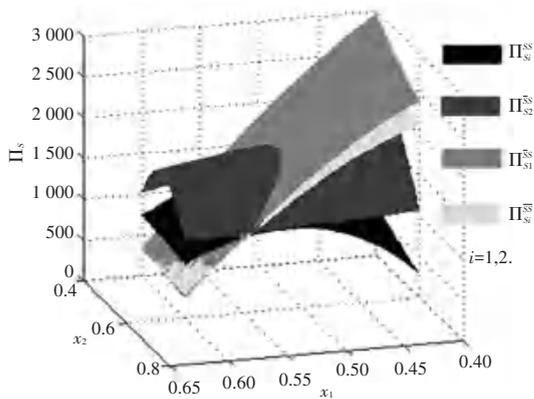


图3 供应商收益随讨价还价水平变化情况

Fig. 3 The Profit of suppliers Difference Change with x

从图3可以看出, \bar{SS} 模式中均采用追溯技术的供应商收益; \bar{SS} 模式中采用追溯技术的供应商1收益均随着零售商的讨价还价水平的提升而减少;而 SS 模式中未采用追溯技术的供应商2收益随着零售商2的讨价还价水平的提升呈先增加后减少的趋势,随零售商1的讨价还价水平的提升而减少。

不同模式下零售商讨价还价水平对其收益的影响如图4所示,可以看出对于零售商而言,收益总是随着讨价还价水平的提升而增加,而且零售商收益总是 $\Pi_R^{SS} < \Pi_R^{\bar{SS}} < \Pi_R^{SS}$, 因为当供应商采用追溯技术时,零售商可以免费共享此技术而帮助其解决库存损耗和错放问题。

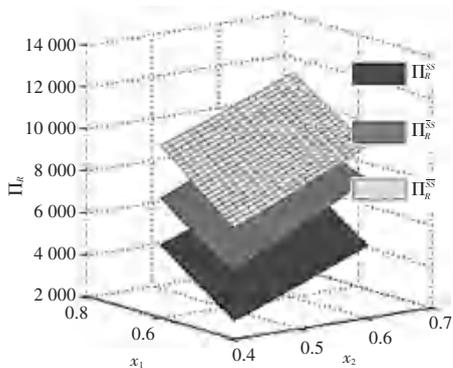


图4 零售商收益随讨价还价水平变化情况

Fig. 4 The Profit of Retailer Difference Change with x

3 结束语

本文基于两个生鲜农产品供应商和一个处于领导地位的零售商所组成的供应链,假设利用追溯技术可以完全解决库存不准确中的错放和损耗问题,同时供应商和零售商之间采用讨价还价的方式,研究供应链企业在不同模式中的最佳决策及追溯技术的成本效益。得出以下结论。

(1)在新技术采用初期,供应商所需承担的成本偏大,此时供应商可以与零售商谈判给其小的折扣或零售商主动协调供应商来鼓励其采用新技术。

(2)基于零售商视角下,当库存错放率和损耗率较低时,供应商需采取 \bar{SS} 模式时才能获得最大收益;反之当库存错放率和损耗率高于一定值时,供应商需采取 \bar{SS} 模式时才能获得最大收益。

(3)未采用追溯技术的供应商的收益并不是总随其相应零售商的讨价还价能力的增加而减少的,当零售商的讨价还价系数在一个合理区间内时,供应链成员可以同时提高各自收益水平。

参考文献

- [1] 赵维. 基于区块链技术的农业食品安全追溯体系研究[J]. 技术经济与管理研究, 2019, 4(1): 16-20.
- [2] QIAN Yirui, ZHANG Cheng, LUO Chengtao, et al. Blockchain-based System for Food Traceability[J]. World Scientific Research Journal, 2020, 6(11): 76-91.
- [3] Kristín Óskarsdóttir, Guðmundur Valur Oddsson. Towards a decision support framework for technologies used in cold supply chain traceability[J]. Journal of Food Engineering, 2019, 240(5): 153-159.
- [4] BAI Hongwu, ZHOU Guanghong, HU Yinong, et al. Traceability technologies for farm animals and their products in China[J]. Food Control, 2017, 79(5): 35-43.
- [5] Marah J. Hardt, Keith Flett, Colleen J. Howell. Current Barriers to Large-scale Interoperability of Traceability Technology in the Seafood Sector[J]. Journal of Food Science, 2017, 82(S1): A3-A12.
- [6] Saikouk, Spalanzani. Review, typology and evaluation of traceability technologies; case of the French forest supply chain [J]. Supply Chain Forum: An International Journal, 2016, 17(1): 39-53.