

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2020.09.018

考虑控制力的生鲜品供应链绩效比较

张艳^{1,2}, 王淑云^{1,2}

(1. 河北工业大学 经济管理学院, 天津 300401; 2. 烟台大学 经济管理学院, 山东 烟台 264005)

摘要: 供应链中各成员企业的权力是不对等的, 权力大小会影响企业的运作管理, 权力(控制力)在不同成员企业之间的合理分配对供应链的稳定十分重要。为探究控制力因素对生鲜品供应链定价与绩效的影响, 针对单个供应商和零售商组成的二级生鲜品供应链, 构建了3种博弈模型: 集中决策模型、供应商主导的分散决策模型、零售商主导的分散决策模型。将零售价格视为控制力的函数、控制力为 $[0, 1]$ 区间内取值的内生变量, 并考虑零售价格和保鲜努力对需求的影响, 构建了确定性环境下生鲜品市场需求函数。随后, 借助数学优化和逆向归纳求解供应链最优定价决策和绩效水平。最后, 通过算例仿真, 对比分析了3种模型的绩效水平。结果表明: 控制力会影响供应链定价与绩效水平; 不论是分散决策还是集中决策, 最优零售价格取决于不同运作环境下的控制力水平大小; 集中决策下供应链绩效水平最大, 分散决策下谁对系统拥有控制权, 谁的绩效越高, 但控制力水平不是越大越好, 满足一定条件时, 存在最优的控制力水平使得系统绩效最大; 针对生鲜品的销售, 集中决策系统绩效最优, 要求的保鲜投入水平也最高, 供应商主导的分散决策系统绩效水平大于零售商主导的分散决策系统绩效水平, 且供应商主导下保鲜努力水平也较大。

关键词: 运输经济; 控制力; Stackberg 博弈模型; 供应链绩效; 保鲜努力; 生鲜品

中图分类号: F274

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268(2020)09-0139-09

Comparison of Fresh Product Supply Chain Performances Considering Control Power

ZHANG Yan^{1,2}, WANG Shu-yun^{1,2}

(1. School of Economics and Management, Hebei University of Technology Tianjin 300401, China;

2. School of Economics and Management, Yantai University, Yantai Shandong 264005, China)

Abstract: The power of each member enterprise in the supply chain is not equal and can affect the operation and management of the enterprise. The reasonable distribution of power (control power) among different members is very important for the stability of the supply chain. In order to explore the influence of control power on the pricing and performance of fresh product supply chain, 3 game models (centralized decision-making model, decentralized decision-making models dominated by supplier and retailer) for a 2-stage fresh product supply chain composed of a single supplier and a retailer are established. Taking the retail price as a function of control power which is an endogenous variable with a value range of $[0, 1]$, and considering the common influence of retail price and fresh keeping effort on demand, the market demand function of fresh products under the deterministic environment is constructed. Then, the optimal pricing decision and performance level of supply chain are solved by mathematical optimization and reverse induction. Finally, the performance levels of the 3 models is compared and analyzed through example simulation. The result shows that (1) Control power will affect the pricing and performance level of supply chain. (2) Whether decentralized or centralized decision-making, the optimal retail price depends on the control power level

收稿日期: 2020-01-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(71672166, 71372122); 山东省社会科学规划研究项目(17CKJJ11)

作者简介: 张艳(1979-), 女, 山东菏泽人, 博士研究生. (zy_ht@163.com)

under different operating environments. (3) The supply chain performance level is the largest under centralized decision-making, while under decentralized decision-making, whoever has control of the system has higher performance, but the control power level is not the greater the better. There is an optimal control level to maximize the system performance under certain conditions. (4) For the sale of fresh products, the centralized decision-making system has the best performance, and the required fresh-keeping investment level is also the highest. The performance of decentralized decision-making led by suppliers is higher than that led by retailers, and the level of fresh-keeping effort led by suppliers is also higher.

Key words: transport economics; control power; Stackberg game model; supply chain performance; freshness-keeping effort; fresh product

0 引言

近年来,随着生活水平的不断提高,人们越来越关注产品品质与消费安全,生鲜品冷链物流的运作管理也应运而生。但冷链不完整、断链现象仍然比较普遍,致使流通环节损耗严重。例如,肉类、果蔬、水产品的流通损耗率高达12%,20%~30%,15%,远远高于发达国家的1.7%~5%,每年的直接损失达1 000亿元以上。因此,我国供应链企业如何提高保鲜投入、并确保冷链的完整就成为降低冷链损耗率、提升人民生活质量亟需解决的重要问题之一。

生鲜品的新鲜度是影响消费者需求的一个重要因素,对生鲜品的保鲜投入可以提高产品新鲜度、降低损耗,进而增加市场需求,但保鲜投入的增加同时也会带来成本的增加。Hsu等^[1]首次提出了零售商保鲜投入下的易腐品库存模型,并在此基础上研究了零售商的最优保鲜投入和最优订货决策。王磊等^[2]构建了价格和新鲜度共同影响生鲜农产品消费需求的零售商最优定价和最优保鲜投入模型。李琳等^[3]考虑RFID技术的成本影响,构建了零售商主导下的定价与订货决策模型。王淑云等^[4]引入保鲜因子对量变损耗和质变损耗函数进行刻画,考虑需求受价格和质变损耗率的影响,求解集中决策和分散决策下的最优定价和库存水平。

Munson等^[5]认为供应链中各参与企业的权力是不对等的。供应链中所有成员经济权力的对比形成了供应链的权力结构,在传统的二级供应链中,会呈现3种不同的权力结构,即制造商主导的Stackelberg博弈、零售商主导的Stakelberg博弈、制造商和零售商地位均等的Nash均衡博弈^[6]。生鲜品供应链定价决策和协调优化的Stakelberg博弈,就是一种考虑供应链成员权力结构的决策形式。Cai等^[7]在基于保鲜努力的二级生鲜品供应链决策模型中,

分别将生产商和经销商视为Stackelberg博弈的领导者和追随者,对比分析了分散决策和集中决策下的供应链系统最优决策。王磊等^[8]建立了由零售商和供应商组成的两级生鲜农产品供应链的Stakelberg模型,并构建了“保鲜成本分担+收益共享”优化协调模型。曹裕等^[9]引入消费者效用,设计了以供应商为领导者,零售商为追随者的Stakelberg模型,求解得出供应链的最优定价策略及供应商的最优新鲜度水平。上述研究主要就单方主导的Stackelberg博弈进行分析,还有学者就不同主导模式下的博弈模型进行了比较研究,如Yu等^[10]研究了由1个供应商、1个零售商和1个第三方物流商组成的生鲜品供应链系统中渠道领导力对价格和服务水平决策、利润的影响,设计了两个Stakelberg博弈模型,分别是物流服务提供商主导和供应商主导,结论表明,在供应商主导情景下,渠道领导力并不能保证更高的利润,而当冷链服务价格为外生变量、服务敏感性足够低时,物流服务商主导对供应商、社会更有利。Wu等^[11]建立了物流服务水平、产品新鲜度、到岸完好率之间的数量关系,对比分析了由供应商、TPL和零售商组成的三级供应链系统中不同权利结构下供应链的决策及绩效。王永明等^[12]考虑保鲜努力影响市场需求下,针对二级生鲜农产品供应链,考虑零售商主导、供应商主导及合作博弈3种模型,对不同供应链成员主导博弈进行了对比研究。曾佑新等^[13]针对单一生鲜电商和农产品供应商组成的二级供应链系统,运用Stackelberg博弈模型求解集中决策、生鲜电商主导、生鲜农产品供应商主导的3种不同决策模式下供应链的最优策略和最大利润,发现Stackelberg博弈下的系统总利润均低于集中决策时的供应链利润,供应链企业的利润有利于主导方,对跟随者不利。

上述关于生鲜品供应链定价与绩效的研究都是基于Stackelberg博弈开展的,供应链中供应商和零

售商权力的大小直接决定了其在市场中的地位, 进而影响博弈双方的决策顺序, 并且认为主导者拥有对供应链的绝对控制权 (主导者拥有的控制力为 1), 而追随者完全没有控制权 (追随者的控制力为 0), 即系统中控制权的分配是 1 个 $[0, 1]$ 变量值。Munson 等^[5]指出, 处于核心位置的企业往往在供应链中具有较强的控制力。供应链控制力是指供应链成员主导供应链决策的权力^[14]。权力是指 1 个人或 1 个组织对其他人或组织的影响能力, 通常会影响到企业的运作管理, 比如价格控制、库存控制、渠道结构控制、信息控制等^[15]。在供应链关系中, 许多企业越来越认识到供应链控制力对自身效益的影响, 如美国宝洁和沃尔玛关于大宗商品价格和货位的控制权之争, 以及我国国美电器和格力空调之战, 均是供应链控制力之争的体现。根据资源论的观点, 处于跟随地位的供应链成员并不是完全缺乏控制力, 只是相比于供应链主导成员, 其拥有的控制力较低而已。因此, 在供应链系统中, 合作双方对于合作结果具有不同的控制程度, 控制力的变化应该是 1 个在 $[0, 1]$ 之间的连续变量^[16]。为证明权力分配决策对供应链绩效的影响, Liu 等^[14]将供应链控制力水平作为 1 个在 $[0, 1]$ 区间内连续变动的内生变量, 将制造商对零售商的补贴视为控制力的函数, 分析了制造型供应链中 4 种不同合作模式下的最优控制力水平和供应链绩效, 研究表明, 供应链控制力对制造型供应链利润有很大影响, 分散决策下, 获得供应链控制权的一方利润最大, 但控制力水平有 1 个最优值, 并不是越大越好。Liu 等^[17]又构建了基于控制力分配的服务供应链协调模型, 将服务成本视为控制力的函数, 构建 3 种 Stackelberg 博弈模型, 结论表明在最优控制力水平的分配方面, 制造型供应链和服务型供应链存在显著差异, 分散决策下, 服务供应链控制力的最优分配值为 0.5, 而制造型供应链控制力的最优分配值大于 0.5。

区别于以往的研究, 本研究将控制力因素纳入生鲜品供应链研究之中, 所做的 Stackelberg 博弈, 不是将主导者与跟随者的控制力简单地视为 1 和 0, 而是在 Liu 等^[14, 17]的基础上, 将供应链控制力视为 $[0, 1]$ 区间的 1 个内生变量。区别 Liu 等的研究, 本研究将零售价格视为控制力的函数, 据此分析控制力对生鲜品供应链定价决策及其绩效的影响, 以期为生鲜品供应链的管理优化提供理论与实践支撑。

1 问题描述

1.1 研究问题

本研究主要考虑 1 个供应商 S 和 1 个零售商 R 组成的二级生鲜品供应链系统。消费者在购买生鲜品时会同时考虑产品价格和产品的新鲜度。供应商和零售商基于其所拥有的资源不同, 会对供应链形成不同的控制力。这种控制力会影响产品定价权, 供应商权力受限时, 只能影响批发价格的制订, 但当供应商权力占优时, 其可以控制供应链, 进一步决定产品零售价格, 如市场上有些产品包装上注明“建议零售价”即是如此。供应链成员依据其所拥有的控制力决定产品售价, 进而影响供应链企业间的决策顺序。供应商对生鲜品进行基础的保鲜投入, 并向零售商供货, 零售商为了实现利益最大化, 需要对生鲜品进行必要的保鲜投入。

1.2 研究假设

假设 1: 供应商向零售商供货, 未售出的生鲜品残值为零且不考虑缺货情况, 供应商和零售商完全理性, 信息对称, 所有行为均以企业利润最大化为目标。

假设 2: 谁拥有较强的供应链控制力谁就能控制产品价格^[18]。假设供应商的系统控制力水平为 x , 若 x 取值在 0.5 ~ 1 之间, 则供应商对供应链有着较强的控制力, 并可以控制产品售价。假定产品零售价格为 p , 令 $p = \mu + \eta x$, 其中 μ 为不考虑控制力影响的基础价格水平, 且 $\mu > w > c$; η 为控制力水平对产品零售价格的影响系数, 且 $\eta > 0$ 。若供应商的系统控制力水平 $0 < x < 0.5$, 零售商的系统控制力水平为 $t = 1 - x$, 则 t 在 0.5 ~ 1 之间, 零售商对供应链系统有较强的控制力, 则 $p = \mu + \eta t$ 。即产品价格与控制力水平正相关。

假设 3: 消费者购买生鲜品时不仅考虑价格因素, 同时还考虑产品的新鲜度。假设市场需求函数为 $q = a - bp + re$, 其中 e 为零售商的保鲜努力水平, 且 $e > 0$ 。

假设 4: 零售商投入保鲜努力, 必须付出相应的成本。保鲜努力水平越高, 零售商付出的保鲜成本越高, 且保鲜成本的增加值呈加速递增趋势。这里, 将零售商的保鲜投入成本函数视为 $C_e = 1/2\lambda e^2$ 。

假设 5: 拥有系统控制权必须承担相应的控制成本, 控制权越大, 所发生的成本就越高。参考 Liu 等^[14]的假设, 假定制造商和零售商的控制力成本系数没有差异, 供应商和零售商的控制力成本系数为 ρ , 且 $\rho > 0$, 则供应商控制力成本函数可以表达为

$C_{sx} = 1/2\rho x^2$, 零售商控制力成本函数则为 $C_{rx} = 1/2\rho(1-x)^2$ 。

1.3 参数符号及含义

模型中的其他参数及其含义参见表1。

表1 参数符号及含义

Tab.1 Symbols and meanings of parameters

参数符号	含义
a	基础市场需求, 且 $a > 0$
b	消费者价格敏感系数, 且 $b > 0$
w	供应商批发价格
c	供应商的固定生产成本
x	供应商的系统控制力水平, 且 $0 < x < 1$
t	零售商的系统控制力水平, 且 $0 < t < 1$, $t = 1 - x$
r	保鲜努力水平对市场需求的影响系数, 且 $r > 0$
λ	零售商保鲜投入成本系数, 且 $\lambda > 0$
C_e, C_{sx}, C_{rx}	分别为零售商的保鲜投入成本, 供应商的控制力成本, 零售商的控制力成本;
$\pi_{ri}, \pi_{si}, \pi_i$	分别为不同决策模型下零售商、供应商、供应链系统的利润 (其中 $i=1, 2, 3$)
x_i^*, t_i^*	分别为不同决策模型下的最优控制力水平 (其中 $i=1, 2, 3$)
$e_i^*, w_i^*, p_i^*, q_i^*$	分别为不同决策模型下的最优保鲜努力水平、最优批发价、最优零售价格和最优销售量 (其中 $i=1, 2, 3$)
$\pi_{ri}^*, \pi_{si}^*, \pi_i^*$	分别为不同决策模型下零售商、供应商、供应链系统的最优利润 (其中 $i=1, 2, 3$)

2 模型构建

在包含供应商和零售商的二级供应链中, 供应链主导结构可以分为3种形式。当供应商的控制力大于零售商时, 供应链由供应商主导; 当零售商和供应商拥有同等的控制权力时, 供应链由供应商和零售商共同主导; 当供应商的控制力小于零售商时, 供应链由零售商主导。本研究考虑控制力影响产品价格, 并影响决策顺序、价格和保鲜努力共同影响市场需求的二级生鲜品供应链决策模型, 旨在对分散决策和集中决策下二级生鲜品供应链系统的利润水平及节点企业的优化决策进行对比分析, 以期为生鲜品供应链管理提供理论指导。拟构建3种供应链决策模型, 分别是供应商主导的决策模型、零售商主导的决策模型和集中式决策模型。不同决策模型的博弈过程如表2所示。

2.1 供应商主导的分散决策

分散决策下, 供应商和零售商各自以自身利益最大化确定其最优决策, 假设供应商的控制力水平 $x > 0.5$, 则供应商主导供应链并决定市场零售价格 p 。把供应商看作领导者, 把零售商看作追随者, 供应商和零售商进行动态的 Stackelberg 博弈。博弈顺序为: 供应商首先决定批发价格 w 和控制力水平 x , 零售商再据此决定保鲜努力水平 e , p 为控制力水平 x 的函数。

表2 三种供应链决策模型的博弈过程

Tab.2 Game processes in 3 supply chain decision models

供应商主导的供应链	零售商主导的供应链	集中决策的供应链
供应商设定最优控制力水平 x	零售商设定最优控制力水平 t	二者合作寻求系统利润最大化
零售商获得分配的控制力水平 $t = 1 - x$	供应商获得分配的控制力水平 $x = 1 - t$	
供应商确定最优批发价格 w	零售商确定保鲜努力水平 e	确定系统最优控制力水平 x 和最优保鲜努力水平 e
零售商确定保鲜努力水平 e	供应商确定最优批发价格 w	
供应链最优绩效实现	供应链最优绩效实现	供应链最优绩效实现

供应商的利润函数为:

$$\pi_{s1} = (w - c)q - C_{sx} = (w - c)[a - b \cdot (\mu + \eta x) + re] - \frac{1}{2}\rho x^2. \quad (1)$$

零售商的利润函数为:

$$\pi_{r1} = (p - w)q - C_{rx} - C_e = (\mu + \eta x - w) \cdot [a - b(\mu + \eta x) + re] - \frac{1}{2}\rho(1-x)^2 - \frac{1}{2}\lambda e^2. \quad (2)$$

运用逆序求解法, 先对零售商利润 π_{r1} 求关于 e 的一阶偏导: $\frac{\partial \pi_{r1}}{\partial e} = (\mu + \eta x - w)r - \lambda e$, 进一步, 对零售商利润 π_{r1} 求关于 e 的二阶偏导, 则 $\frac{\partial^2 \pi_{r1}}{\partial e^2} = -\lambda < 0$, 说明 π_{r1} 是保鲜投入水平 e 的严格上凸函数, 存在最优解 e^* 使得 π_{r1} 最大。因此, 令 $\frac{\partial \pi_{r1}}{\partial e}$ 等于零, 求解得 $e^* = \frac{(\mu + \eta x - w)r}{\lambda}$ 。

将式 e^* 代入式 (1) 得:

$$\pi_{s1} = (w - c) \left[a - b(\mu + \eta x) + r \frac{(\mu + \eta x - w)r}{\lambda} \right] - \frac{1}{2} \rho x^2. \quad (3)$$

式(3)关于 x 和 w 的二阶海赛矩阵为:

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} -\rho & -b\eta + \frac{r^2\eta}{\lambda} \\ -b\eta + \frac{r^2\eta}{\lambda} & -\frac{2r^2}{\lambda} \end{bmatrix}. \quad (4)$$

$\mathbf{H}$ 的第1顺序式 $-\rho < 0$, 当第2顺序式 $\frac{2\rho r^2}{\lambda} - \left(\frac{r^2\eta}{\lambda} - b\eta\right)^2 > 0$, 即 $2r^2\rho\lambda - \eta^2(r^2 - b\lambda)^2 > 0$ 时, 海赛矩阵 $\mathbf{H}$ 为负定矩阵, π_{s1} 为 (x, w) 的严格上凸函数, 存在唯一的 (x^*, w^*) 使得 π_{s1} 最大。

对式(3)分别求解关于 x 和 w 的一阶偏导, 并令其等于零, 可得联立方程组:

$$\begin{cases} \frac{\partial \pi_{s1}}{\partial w} = a - b(\mu + \eta x) + \frac{r^2}{\lambda}(\mu + \eta x - 2w + c) = 0 \\ \frac{\partial \pi_{s1}}{\partial x} = -(w - c)b\eta + \frac{(w - c)r^2}{\lambda}\eta - \rho x = 0 \end{cases}. \quad (5)$$

求解可得最优解:

$$x_1^* = \frac{\eta(r^2 - b\lambda)[\lambda(a - b\mu) + r^2(\mu - c)]}{2r^2\rho\lambda - \eta^2(r^2 - b\lambda)^2}, \quad (6)$$

$$w_1^* = \frac{\rho\lambda[\lambda(a - b\mu) + r^2(\mu - c)]}{2r^2\rho\lambda - \eta^2(r^2 - b\lambda)^2} + c, \quad (7)$$

进一步求解最优解:

$$e_1^* = \frac{\rho r[r^2(\mu - c) - \lambda(a - b\mu)] + r\eta^2(a - bc)(r^2 - b\lambda)}{2r^2\rho\lambda - \eta^2(r^2 - b\lambda)^2}, \quad (8)$$

$$p_1^* = \frac{2r^2\rho\lambda\mu + \eta^2(r^2 - b\lambda)(a\lambda - r^2c)}{2r^2\rho\lambda - \eta^2(r^2 - b\lambda)^2}, \quad (9)$$

$$q_1^* = \frac{\rho r^2[r^2(\mu - c) + \lambda(a - b\mu)]}{2r^2\rho\lambda - \eta^2(r^2 - b\lambda)^2}. \quad (10)$$

将 x_1^* , w_1^* , e_1^* 代入式(1)和式(2), 可得出最优利润 π_{r1}^* 和 π_{s1}^* , $\pi_1^* = \pi_{s1}^* + \pi_{r1}^*$ 。

综上所述, 供应商主导的分散决策, 当各参数需满足 $2r^2\rho\lambda - \eta^2(r^2 - b\lambda)^2 > 0$, 且满足供应商的系统控制力水平 x 在 $0.5 \sim 1$ 之间的假设条件, 即 $0.5 < \frac{\eta(r^2 - b\lambda)[\lambda(a - b\mu) + r^2(\mu - c)]}{2r^2\rho\lambda - \eta^2(r^2 - b\lambda)^2} < 1$ 时, 系

统存在最优控制力水平、最优批发价格及保鲜努力水平, 使得供应链绩效最优。

2.2 零售商主导的分散决策

零售商主导的分散决策模型中, 零售商的控制力水平 $t = 1 - x > 0.5$, 零售商确定市场价格 $p = \mu + \eta t$, 零售商为领导者, 供应商为追随者, 供应商和零售商进行动态的 Stackelberg 博弈。博弈顺序为: 零售商首先决定控制力水平 t 和保鲜努力水平 e , 供应商再据此决定批发价格 w 。

零售商的利润函数为:

$$\pi_{r2} = (p - w)q - C_{r1} - C_{re} = (\mu + \eta t - w)[a - b(\mu + \eta t) + re] - \frac{1}{2}\rho t^2 - \frac{1}{2}\lambda e^2. \quad (11)$$

供应商的利润函数为:

$$\pi_{s2} = (w - c)q - C_{s2} = (w - c)[a - b(\mu + \eta t) + re] - \frac{1}{2}\rho(1 - t)^2. \quad (12)$$

为求解方便, 假设 $p = \mu + \eta t = w + m + \eta t$, m 为考虑控制力水平影响下的利润加成。将 p 代入式(12)中, 则 $\pi_{s2} = (w - c)[a - b(w + m + \eta t) + re] - \frac{1}{2}\rho \cdot (1 - t)^2$, 运用逆序求解法, 先对供应商利润 π_{s2} 求关于 w 的一阶偏导:

$$\frac{\partial \pi_{s2}}{\partial w} = a - 2bw - b(m + \eta t) + re + bc, \quad (13)$$

进一步求解 π_{s2} 关于 w 的二阶偏导, $\frac{\partial^2 \pi_{s2}}{\partial w^2} = -2b < 0$, 故存在最优解 w^* 使得 π_{s2} 最大。

令式(13)等于零, 求解最优解:

$$w_2^* = \frac{a - b\mu - b\eta t + re + bc}{b}. \quad (14)$$

将 w_2^* 代入式(11)中,

$$\pi_{r2} = \left(\mu + \eta t - \frac{a - b\mu - b\eta t + re + bc}{b} \right) \cdot$$

$$\left[a - b(\mu + \eta t) + re \right] - \frac{1}{2}\rho t^2 - \frac{1}{2}\lambda e^2. \quad (15)$$

式(15)关于 t 和 e 的二阶海赛矩阵为:

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} -4b\eta^2 - \rho & 3r\eta \\ 3r\eta & -\frac{2r^2}{b} - \lambda \end{bmatrix}. \quad (16)$$

H 的第1顺序式 $-4b\eta^2 - \rho < 0$, 当第2顺序式 $(-4b\eta^2 - \rho)\left(-\frac{2r^2}{b} - \lambda\right) - 9r^2\eta^2 > 0$, 即 $\rho(2r^2 + \lambda b) + b\eta^2(4b\lambda - r^2) > 0$ 时, H 为负定矩阵, 存在唯一解 (t^*, w^*) 使得 π_{r2} 最大。

对 π_{r2} 分别对 t, e 求一阶偏导, 并令其等于零, 得联立方程组:

$$\begin{cases} \frac{\partial \pi_{r2}}{\partial t} = -4b\mu\eta + 3a\eta + 3re\eta + bc\eta - 4b\eta^2 t - \rho t = 0 \\ \frac{\partial \pi_{r2}}{\partial e} = 3\mu r + 3t\eta r - \frac{2ar}{b} - cr - \frac{2r^2 e}{b} - \lambda e = 0 \end{cases} \quad (17)$$

得出最优解:

$$t_2^* = \frac{b\eta\lambda(-4b\mu + 3a + bc) + b\eta r^2(\mu - c)}{\rho(2r^2 + \lambda b) + b\eta^2(4b\lambda - r^2)}, \quad (18)$$

$$e_2^* = \frac{\rho r(3b\mu - 2a - bc) + b\eta^2 r(a - bc)}{\rho(2r^2 + \lambda b) + b\eta^2(4b\lambda - r^2)}. \quad (19)$$

将 t_2^* 和 e_2^* 代入 (14) 式中, 求得最优解:

$$w_2^* = \frac{b\eta^2\lambda(a - bc) + \rho[\lambda(a - b\mu) + r^2(\mu - c)]}{\rho(2r^2 + \lambda b) + b\eta^2(4b\lambda - r^2)} + c, \quad (20)$$

进一步求得最优解:

$$\begin{aligned} p_2^* &= \mu + \eta t_2^* = \\ &= \frac{\rho\mu(2r^2 + \lambda b) + b\eta^2(3a\lambda + bc\lambda - cr^2)}{\rho(2r^2 + \lambda b) + b\eta^2(4b\lambda - r^2)}, \quad (21) \\ q_2^* &= \frac{b\rho[(a - b\mu)\lambda + r^2(\mu - c)] + b^2\eta^2\lambda(a - bc)}{\rho(2r^2 + \lambda b) + b\eta^2(4b\lambda - r^2)}. \end{aligned} \quad (22)$$

将 t_2^*, e_2^*, w_2^* 代入式 (11) 和式 (12), 可以得出最优利润 π_{s2}^* 和 π_{r2}^* , $\pi_2^* = \pi_{s2}^* + \pi_{r2}^*$ 。

综上所述, 零售商主导分散决策, 当各参数需满足 $\rho(2r^2 + \lambda b) + b\eta^2(4b\lambda - r^2) > 0$, 且满足零售商的系统控制力水平 t 在 0.5 ~ 1 之间的假设条件, 即 $0.5 < \frac{b\eta\lambda(-4b\mu + 3a + bc) + b\eta r^2(\mu - c)}{\rho(2r^2 + \lambda b) + b\eta^2(4b\lambda - r^2)} < 1$ 时, 系统存在最优控制力水平、最优批发价格及保鲜努力水平, 使得供应链绩效最优。

2.3 集中决策

集中决策下, 供应商和零售商互相合作, 以实现供应链整体利润最大化为目的。假设在此情况下仍然存在控制力因素的影响, 该控制力的存在是为

了实现系统总体利润的最大化, 对决策先后顺序没有影响, 但零售价格仍受控制力水平的影响。设对系统控制力占优一方的控制力水平为 x , 则 $p = \mu + \eta x$, 则供应链系统利润函数为:

$$\begin{aligned} \pi_3 &= \pi_{s3} + \pi_{r3} = (w - c)q + (p - w)q - \frac{1}{2}\rho x^2 - \\ &= \frac{1}{2}\rho(1 - x)^2 - \frac{1}{2}\lambda e^2 = \\ &= (\mu + \eta x - c)[a - b(\mu + \eta x) + re] - \frac{1}{2}\rho x^2 - \\ &= \frac{1}{2}\rho(1 - x)^2 - \frac{1}{2}\lambda e^2, \end{aligned} \quad (23)$$

式 (22) 关于 x 和 e 的二阶海塞矩阵为:

$$H = \begin{bmatrix} -2b\eta^2 & \eta r \\ \eta r & -\lambda \end{bmatrix}. \quad (24)$$

H 的第1顺序式 $-2b\eta^2 - 2\rho < 0$, 当第2顺序式 $(2b\eta^2 + 2\rho)\lambda - \eta^2 r^2 > 0$ 时, H 为负定矩阵, 存在唯一解 (x^*, e^*) 使得 π_3 最大。

对 π_3 分别对 x, e 求一阶偏导, 并令其等于零, 得联立方程组:

$$\begin{cases} \frac{\partial \pi_3}{\partial x} = a\eta - 2b\mu\eta + \eta re + bc\eta + \rho - 2b\eta^2 x - 2\rho x = 0 \\ \frac{\partial \pi_3}{\partial e} = (\mu + \eta x)r - cr - \lambda e = 0 \end{cases}, \quad (25)$$

求解得最优解:

$$x_3^* = \frac{\lambda(a\eta + bc\eta - 2b\mu\eta + \rho) + \eta r^2(\mu - c)}{(2b\eta^2 + 2\rho)\lambda - \eta^2 r^2}, \quad (26)$$

$$e_3^* = \frac{r(2\rho\mu - 2\rho c + a\eta^2 - bc\eta^2 + \eta\rho)}{(2b\eta^2 + 2\rho)\lambda - \eta^2 r^2}, \quad (27)$$

进而求得最优解:

$$p_3^* = \frac{\lambda\rho(2\mu + \eta) + \eta^2(\lambda a + \lambda bc - cr^2)}{(2b\eta^2 + 2\rho)\lambda - \eta^2 r^2}, \quad (28)$$

$$q_3^* =$$

$$\frac{\rho[(r^2 - b\lambda)(2\mu + \eta) + 2a\lambda - 2cr^2] + \eta^2\lambda b(a - bc)}{(2b\eta^2 + 2\rho)\lambda - \eta^2 r^2}. \quad (29)$$

将 x_3^* 和 e_3^* 代入式 (23), 可以得出最优利润 π_3^* 。

综上所述, 集中决策下, 当各参数满足条件

$(2b\eta^2+2\rho)\lambda-\eta^2r^2>0$ 时,存在最优的控制力水平及保鲜努力水平,使得供应链系统利润最大。

3 算例分析

3.1 算例参数

由前述模型求解可知,不论是分散决策还是集中决策,将控制力因素作为影响系统决策的1个内在变量是必要的。系统主导方的控制力水平并不是越大越好,满足一定条件时,存在1个最优的取值,使得系统绩效最大。为进一步了解不同决策模式下的供应链定价及绩效水平,本部分对3种决策模型的最优解进行比较分析。考虑最优解的复杂性,无法通过理论计算的方法对不同决策模式下的决策变量及系统绩效大小进行比较分析,因此,本部分利用 Matlab 软件进行算例仿真,通过数值分析的方法,对各决策变量和系统

绩效进行比较。借鉴前人研究成果^[11, 19]及对实际进行调研,给定以下的两组参数取值进行对比分析,具体如表3所示。

表3 各参数赋值表

Tab.3 Parameter assignment table

参数	$a/(\text{元}\cdot\text{件})$	b	$\mu/(\text{元}\cdot\text{件}^{-1})$	$\eta/(\text{元}\cdot\text{件}^{-1})$	r	ρ	λ	$c/(\text{元}\cdot\text{件}^{-1})$
赋值1	2 400	27	87	4	47	124	79	25
赋值2	250	14	14	5	50	150	150	5

3.2 算例结果

表3中各参数赋值满足最优解存在的假设条件,并且使得最优控制力水平 x^* 或 t^* 在0.5~1的取值范围内。经计算分别得到考虑控制力因素的分散决策和集中决策下各决策变量最优值及利润数值,如表4所示。

表4 供应链不同决策模式下的决策变量最优值及利润数值

Tab.4 Optimal values of decision variables and profit values under different decision modes of supply chain

变量	赋值1			赋值2		
	供应商主导的分散决策(模型1)	零售商主导的分散决策(模型2)	考虑控制力的集中决策(模型3)	供应商主导的分散决策(模型1)	零售商主导的分散决策(模型2)	考虑控制力的集中决策(模型3)
$x^*(t^*)$	0.992 4	0.512 0	0.852 5	0.564 1	0.624 0	0.925 7
e^*	20.221 6	12.468 3	38.914 8	1.824 9	1.049 5	4.542 9
$w^*/(\text{元}\cdot\text{件}^{-1})$	56.980 2	46.545 2	—	11.345 6	9.485 6	—
$p^*/(\text{元}\cdot\text{件}^{-1})$	90.969 8	89.047 8	90.410 0	16.820 3	17.119 8	18.628 6
$q^*/\text{件}$	894.232 3	581.720 5	1 787.926 1	105.760 4	62.798 7	216.342 9
$\pi_s^*/\text{元}$	28 536.697 4	12 518.519 7	—	647.253 4	271.086 0	—
$\pi_r^*/\text{元}$	14 242.433 2	18 567.749 9	—	314.982 5	367.605 4	—
$\pi^*/\text{元}$	42 779.130 7	31 086.269 6	57 084.520 2	962.236 0	638.691	1 335.942 9

在各参数满足假设条件的两种赋值下,由表4可以得到以下分析结果:

(1) 系统参数取值影响供应链主导方的最优控制力水平,但最优控制力水平并非越接近1越好,两种分散决策下的系统最优控制力水平亦没有明确的大小关系。另外,无论何种情况,集中决策下控制力都是存在的。

如第1种运作管理情况下,基础市场需求水平较大, x^* 为0.992 4左右,接近绝对控制水平1,即供应商对供应链的控制接近绝对控制;而在第2种运作管理情况下,基础市场需求水平较小, x^* 为0.564 1左右,远低于绝对控制水平1,说明系统控制力水平并不是1。另外,第1种运作管理情况下, $x^*>t^*$,供应商主导供应链时需付出的控制成本会大于零售商主导供应链付出的控制成本,而在赋值2情况下则相反。这说明市场运作环境的不同对最优

控制力水平有一定的影响。集中决策下,不管何种情况,都可以求解得出最优的系统控制力水平,说明即使是合作决策,仍存在供应链成员对系统价格的控制,并且数据显示供应商对系统价格的制订具有较强的控制力,原因在于集中决策下需要零售商投入大量的保鲜努力,导致其承担的成本加大,而额外的控制亦需一定的成本,因此零售商缺乏控制的动力。

(2) 满足一定条件时,存在 $e_2^*<e_1^*<e_3^*$, $w_1^*>w_2^*$, $q_2^*<q_1^*<q_3^*$, $\pi_2^*<\pi_1^*<\pi_3^*$, $\pi_{s1}^*>\pi_{s2}^*$, $\pi_{r1}^*<\pi_{r2}^*$ 。

由表4可知,各参数取值满足控制力水平在0.5~1的范围时,集中决策下,保鲜努力水平最大,相应的市场需求也最大,系统利润水平最高。说明从系统整体出发,希望投入更多的保鲜努力,从而提高产品新鲜度水平,刺激消费者的购买需求,提

高销量,从而获得更大的系统利润。分散决策下,供应商控制供应链时,零售商保鲜努力水平大于零售商控制供应链时的保鲜努力水平,即 $e_2^* < e_1^*$,说明当供应商对供应链拥有控制权时,会利用自己对供应链的控制权,影响零售商的保鲜投入,从而达到刺激销售的目的,而零售商由于自己的弱势地位,不得不屈从供应商而提升保鲜投入水平,此时零售商会发生更多的保鲜努力成本,因此,供应商的利润会大大高于零售商的利润,如表4所示 $\pi_{s1}^* > \pi_{r1}^*$ 。当零售商对供应链拥有控制权时,零售商只会进行必要的保鲜努力,此时市场销量也会随之降低,因此,有 $q_2^* < q_1^*$,销量降低,会有 $\pi_{s2}^* < \pi_{s1}^*$ 。此种情况下,由于零售商降低了保鲜投入成本,其利润水平大于供应商控制下的利润水平,有 $\pi_{r2}^* > \pi_{r1}^*$ 。

另外,在一定运作管理情况下,供应商主导时的批发价格大于零售商主导时的批发价格,即 $w_1^* > w_2^*$,这表明如果供应商控制力较强,则其可以通过提高批发价格进而获取更多利润,如实践中有些大型食品供应商凭借其品牌价值、强势的产品优势抬高批发价格。而若供应链由零售商控制,比如一些大型的卖场(沃尔玛、家乐福等)凭借其渠道优势及对市场的控制,就会与供应商讨价还价,压低批发价格,从而获得较多利润。这与我们模型中得出的结论也是一致的。

(3) 零售价格 p 受控制力水平 x 的影响。将零售价格看作是控制力的函数,即 $p = \mu + \eta x$,因此,不论是分散决策还是集中决策,最优零售价格与控制力水平大小有关,满足一定条件时,可以 $p_1^* > p_2^*$,也可以 $p_2^* > p_1^*$,取决于不同运作环境、不同经营参数取值下的最优控制力水平的大小。

4 结论

(1) 供应链控制力会影响整个供应链的利润,集中决策模式下的供应链整体利润最大。分散决策模式下,谁对供应链具有控制权,谁赚取的利润就较多,如表4模型1中, $\pi_{s1}^* > \pi_{r1}^*$;模型2中, $\pi_{s2}^* < \pi_{r2}^*$ 。因此,实践中就会出现供应链成员为获取供应链控制权而战的现象。

(2) 实践中,供应链系统通常由1个占主导地位的企业控制,但控制力越大,就会承担较大的供应链责任和风险。因此,企业也不会盲目地提高其控制力以提高他们的利润,这样就会存在1个最优的控制力水平 x 和 t ,分别对应供应商主导的供应链

和零售商主导的供应链。集中决策下,供应商与零售商合作进行决策,仍存在一定的控制力,说明即使在合作模式下,也需要有一方对供应链进行控制,只是决策宗旨在于以系统整体利润最大化而已。

(3) 针对生鲜品供应链,产品的新鲜度会影响市场需求。因此,供应商主导下会要求零售商进行更多的保鲜投入,以提高产品销售量。所以,供应商主导下的系统利润水平会大于零售商主导下的利润水平,且供应商主导下供应商的利润也大于零售商的利润,所以针对生鲜品的销售,由供应商主导比由零售商主导更有利。同时,集中决策模式下,要求零售商的保鲜努力水平更高,远大于分散决策下的保鲜努力水平,说明生鲜品供应链进行保鲜投入是非常必要的,而这对零售商而言是不利的,因此,在合作博弈中,供应商的意愿更高,如表4中,供应商控制力水平较高。为了保证合作博弈的顺利进行,需要进行必要的协调,以确保合作双赢。

综上所述,生鲜品供应链的控制力因素着实会对供应链系统定价及其绩效产生影响。供应链控制力在不同成员企业之间的合理分配对供应链的稳定也有十分重要的意义。因此,企业管理者应清楚地理解和认识供应链合作中控制力的作用。对供应商和零售商而言,获得供应链控制力是有益的,但也不是越大越好,还需要考虑其他因素,比如控制力成本、保鲜努力水平等。供应商对生鲜冷链品的开发创新、销售占据控制地位时,有助于更好地实现利润最大化。

本研究为基于控制力的供应链优化与协调提供了理论基础,但仍存在一些不足,仅考虑了保鲜努力和控制力对市场需求的线性影响,没有考虑其他随机扰动影响,这将是今后本研究的努力方向。

参考文献:

References:

- [1] HSU P H, WEE H M, TENG H M. Preservation Technology Investment for Deteriorating Inventory [J]. International Journal of Production Economics, 2010, 124 (2): 388-394.
- [2] 王磊,但斌. 基于消费者选择行为的生鲜农产品保鲜和定价策略研究[J]. 管理学报, 2014, 11 (3): 449-454.
WANG Lei, DAN Bin. Fresh-keeping and Pricing Strategy for Fresh Agricultural Product Based on Customer Choice [J]. Chinese Journal of Management, 2014, 11 (3): 449-454.

- [3] 李琳,范体军. 零售商主导下生鲜农产品供应链的定价策略对比研究 [J]. 中国管理科学, 2015, 23 (12): 113-123.
- LI Lin, FAN Ti-jun. Comparison and Analysis on Pricing Policies for Fresh Agricultural Produce Supply Chain with Dominant Retailer [J]. Chinese Journal of Management Science, 2015, 23 (12): 113-123.
- [4] 王淑云,马文秀. 基于保鲜努力的生鲜农产品库存和协调优化 [J]. 公路交通科技, 2019, 36 (6): 125-134.
- WANG Shu-yun, MA Wen-xiu. Fresh Agricultural Products Inventory and Coordinative Optimization Based on Fresh Keeping Effort [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2019, 36 (6): 125-134.
- [5] MUNSON C L, ROSENBLATT M J, ROSENBLATT Z. The Use and Abuse of Power in Supply Chains [J]. Business Horizons, 1999, 42 (1): 55-65.
- [6] 冯颖,张炎治. 不同权力结构下 TPL 服务增值的供应链决策与效率评价 [J]. 中国管理科学, 2018, 26 (10): 164-175.
- FENG Yin, ZHANG Yan-zhi. Decision Making and Efficiency Evaluation in a Supply Chain with TPL's Value-added Services under Different Power Structures [J]. Chinese Journal of Management Science, 2018, 26 (10): 164-175.
- [7] CAI X Q, CHEN J, XIAO Y B, et al. Optimization and Coordination of Fresh Product Supply Chains with Fresh-keeping Effort [J]. Product and Management, 2010, 19 (3): 261-278.
- [8] 王磊,但斌. 考虑零售商保鲜和消费者效用的生鲜农产品供应链协调 [J]. 运筹与管理, 2015, 24 (5): 44-51.
- WANG Lei, DAN Bin. Coordination of Fresh Agricultural Supply Chain Considering Retailer's Freshness-keeping and Consumer Utility [J]. Operations Research and Management Science, 2015, 24 (5): 44-51.
- [9] 曹裕,李业梅,万光羽. 基于消费者效用的生鲜农产品供应链生鲜度激励机制研究 [J]. 中国管理科学, 2018, 26 (2): 160-174.
- CAO Yu, LI Ya-mei, WAN Guang-yu. Study on the Fresh Degree Incentive Mechanism of Fresh Agricultural Product Supply Chain Based on Consumer Utility [J]. Chinese Journal of Management Science, 2018, 26 (2): 160-174.
- [10] YU Y L, XIAO T J. Pricing and Cold-chain Service Level Decisions in a Fresh Agri-products Supply Chain with Logistics Outsourcing [J]. Computers & Industrial Engineering, 2017, 111: 56-66.
- [11] WU Q, MU Y P, FENG Y. Coordinating Contracts for Fresh Product Outsourcing Logistics Channels with Power Structures [J]. International Journal of Production Economics, 2014, 160: 94-105.
- [12] 王永明,秦翠平. 保鲜努力下的鲜活农产品收益共享机制研究 [J]. 科技与经济, 2017, 30 (1): 51-55.
- WANG Yong-ming, QIN Cui-ping. Research on Revenue-sharing Mechanism in the Fresh Agriculture Product Based on the Freshness-keeping Effort [J]. Science & Technology and Economy, 2017, 30 (1): 51-55.
- [13] 曾佑新,袁盼,张怡雯. 博弈论视角下不同主导权的生鲜电商供应链决策分析 [J]. 南京审计大学学报, 2019, 16 (5): 55-64.
- ZENG You-xin, YUAN Pan, ZHANG Yi-wen. Decision-making Analysis of Fresh E-commerce Supply Chain with Different Dominant Powers from the Perspective of Game Theory [J]. Journal of Nanjing Audit University, 2019, 16 (5): 55-64.
- [14] LIU W, WANG S, ZHU D. The More Supply Chain Control Power, the Better? A Comparison among Four Kinds of Cooperation Models [J]. Mathematical Problems in Engineering, 2015, 2015: 290912.
- [15] PFEFFER J. Power in Organizations [M]. Boston: Harvard Business School Press, 1992.
- [16] KIRILENKO A A. Valuation and Control in Venture Finance [J]. Journal of Finance, 2001, 56 (2): 565-587.
- [17] LIU W H, WANG S Q, CHEN L J. The role of Control Power Allocation in Service Supply Chains: Model Analysis and Empirical Examination [J]. Journal of Purchasing & Supply Management, 2017, 23 (3): 176-190.
- [18] WANG X H, WANG X Y, SU Y S. Wholesale-price Contract of Supply Chain with Information Gathering [J]. Applied Mathematical Modelling, 2013, 37 (6): 3848-3860.
- [19] 曹裕,刘培培,胡韩莉. 基于成本共担契约的生鲜供应链保鲜努力机制研究 [J]. 控制与决策, 2020, 35 (1): 205-214.
- CAO Yu, LIU Pei-pe, HU Han-li. Freshness Efforts Mechanism of Fresh-keeping Supply Chain Based on Cost Sharing Contract [J]. Control and Decision, 2020, 35 (1): 205-214.