

基于混合契约的生鲜电商供应链协调策略

白世贞, 谢 爽[†]

(哈尔滨商业大学 管理学院, 哈尔滨 150028)

摘 要: 考虑到生鲜电商平台销售过程中保鲜努力水平和促销努力水平对消费者需求的影响, 构建保鲜努力水平和促销努力水平共同影响下的消费者需求函数, 研究由单一生鲜供应商和单一生鲜电商平台构成的二级生鲜电商供应链协调问题. 根据模型比较不同决策模式下的生鲜产品最优定价、最优保鲜努力水平、最优促销努力水平和生鲜电商供应链成员收益等, 发现合作能够提升供应链成员收益, 因此构建“收益共享-成本共担”的混合契约协调供应链, 并讨论混合契约实施的条件. 研究表明: 混合契约对生鲜电商平台保鲜努力水平和促销努力水平的提升具有正向影响; 努力水平弹性系数对于努力水平存在不同程度的影响, 在一定范围内, 随着努力水平弹性系数的增加, 成员收益也在不断增加, 当超过最优值后, 弹性系数的提升会造成成员收益受损. 最后采用算例验证混合契约对于生鲜电商供应链协调的有效性.

关键词: 生鲜电商; 供应链协调; 消费者需求; 保鲜努力水平; 促销努力水平; 混合契约

中图分类号: F323.7

文献标志码: A

E-commerce of fresh agricultural products supply chain coordination based on compound contract

BAI Shi-zhen, XIE Shuang[†]

(School of Management, Harbin University of Commerce, Harbin 150028, China)

Abstract: Considering the impact of the level of fresh-keeping effort and the level of promotional effort on consumer demand in the process of selling fresh online, the consumer demand function is constructed under the common influence of the level of fresh-keeping effort and the level of promotional effort. The coordination of two-layer E-commerce of fresh agricultural products supply chain that consists of one fresh supplier and one fresh online platform is studied. According to the model, the optimal pricing of products, optimal fresh-keeping effort level, optimal promotion effort level and the profit of the supply chain members are compared with the different decision making. It is found that cooperation can improve the profits of both parties. Therefore, a compound contract coordination supply chain with “revenue sharing-cost sharing” is constructed, and the conditions for the implementation of compound contract coordination are also discussed. The results show that, the compound contract for the fresh online platform has positive impacts on the improvement of the level of fresh-keeping effort and the level of promotional effort, the effort level elasticity coefficients have different effects on the two effort level. In a certain range, with the increase of the elastic coefficient of effort level, the member income increases, when it is more than the optimal value, the increase of the elastic coefficient will cause member income damaged. Finally, a numerical example is given to illustrate the effectiveness of the hybrid contract in supply chain coordination of E-commerce of the fresh agricultural products supply chain.

Keywords: E-commerce of fresh agricultural products; supply chain coordination; consumer demand; level of fresh-keeping effort; level of promotional effort; compound contract

0 引 言

自 2011 年起, 生鲜产品电子商务迅速兴起, 天猫、京东、沱沱工社、顺丰优选等不同类型的生鲜电商平台如雨后春笋般蓬勃发展. 2016 年, 双十一天猫生鲜

推出的“甄鲜全球”计划仅用 10 h 就打破了 2015 年的双十一天猫生鲜销售额. 艾瑞咨询公司发布的数据显示, 2016 年我国生鲜电商整体交易金额达到 909 亿元, 环比增长超过 80%, 预测在 2017 年整体交易规模

收稿日期: 2017-06-30; 修回日期: 2017-11-26.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71671054, 71371061).

责任编辑: 樊治平.

作者简介: 白世贞(1962—), 男, 教授, 博士生导师, 从事供应链金融等研究; 谢爽(1992—), 女, 硕士生, 从事物流与供应链管理的研究.

[†]通讯作者. E-mail: 18345063624@163.com

可达到1500亿元^[1]。研究报告指出:59.8%的消费者选择生鲜电商的首要原因是生鲜产品价格低于线下超市,其次才会考虑产品的品质与丰富性。因此,为了刺激消费者对于生鲜电商的需求,生鲜电商提出各种促销活动,如苏宁易购的616生鲜狂欢节、沱沱工社的春季生鲜节、每日优鲜的温情圣诞等。随着生鲜电商一同发展起来的还有冷链配送体系,为了保证消费者吃到新鲜健康的生鲜产品,苏宁超市提出了24小时到货,京东冷链物流提供全程冷链服务,每日优鲜提出2小时极速达等,旨在满足消费者对于生鲜产品质量的需求。传统的配送方式无法满足生鲜产品的配送要求,因此基于对生鲜电商的长久发展考虑,自建生鲜冷链配送体系,提升生鲜产品保鲜水平至关重要。由此可见,对于生鲜电商而言,必要的促销努力以及产品保鲜努力已经成为吸引消费者、增加消费者需求、提高生鲜销售额的重要方式。

促销努力水平在很大程度上影响着电商环境下消费者对于产品的诉求,进而影响消费者的购买意愿,并最终促成消费者的购买行为^[2]。Edelman等^[3]构建了两种促销机制来研究在线促销活动对企业获利的影响,研究结果表明促销努力对消费者的购买动机呈现促进作用,增加现实的市场需求量;黄静等^[4]研究发现,当产品涉入度不同时,不同的限制促销方式对于消费者消费行为的影响是不同的;王新珠等^[5]通过研究促销方式对于质量感知的影响得出,打折促销与赠品促销能够影响消费者的质量感知,进而影响消费者的产品需求。在实际的生鲜电商产品营销过程中,Konuk^[6]在研究生鲜电商产品实惠性时,通过实验得出消费者对于产品的认知会受到自身促销偏好的影响。因此,为了刺激生鲜电商零售商扩大市场,越来越多的上游供应商选择承担部分促销费用,与电商零售商进行联合促销^[7]。

上述文献主要对促销手段、促销努力等影响消费者行为的机理进行了深入研究。当消费者在生鲜电商平台购买生鲜产品时,除了受到产品促销活动的影响以外,收货后生鲜产品的质量品质受到越来越多消费者的重视,因此保鲜努力水平也成为影响消费者生鲜需求的重要因素。杨春等^[8]发现物流服务商的物流服务努力投入能够提升生鲜产品的保鲜水平,减少生鲜产品的在途运输耗损;Wu等^[9]研究生鲜供应商与第三方物流(TPL)提供商物流外包合同,得出保鲜水平影响生鲜产品的最终产品质量;Cai等^[10]研究电子商务环境下三级生鲜供应链时发现,消费者对于生鲜产品的新鲜度很敏感,TPL提供商提供的保鲜努

力水平通过影响市场需求来影响三级供应链整体的绩效;徐广妹等^[11]在研究生鲜宅配模式时得出,物流服务提供商的在途保鲜投入会影响生鲜产品的新鲜度,进而影响消费者的二次购买意愿。以上文献主要研究了保鲜努力水平对于产品质量以及消费者需求的影响,且学者们都是讨论单一努力水平对于消费者生鲜电商购买行为的影响。但在现实中,由于在线评论信息的传播性,使得消费者在购前对于产品的保鲜努力水平以及促销努力水平具有一定的了解,使得消费者在进行产品选择时同时受到二者的影响。在由生鲜电商平台与供应商组成的生鲜电商供应链中,努力水平的提升需要付出相应的努力成本,进而导致供应链总成本的上升。因此,如何有效地提升生鲜电商供应链的促销努力水平和保鲜努力水平,协调双方成员的合作关系,是提高供应链运营效率的关键因素。

对于供应链的促销努力水平和保鲜努力水平,学者主要采用供应链协调机制对其进行提升。王磊等^[12-13]在研究生鲜农产品供应链中单个成员企业保鲜服务努力能力有限的问题时,采用批发价契约帮助成员企业提升保鲜努力水平;Cai等^[14]考虑零售商的保鲜努力能够维持生鲜产品的新鲜度,构建了新鲜度影响消费者需求的生鲜产品需求函数,通过建立协调机制实现供应链最优决策;李新然等^[15]研究需求不确定环境下促销努力水平对于供应链管理库存(VMI)供应链决策的影响时,得出数量折扣契约能够提升成员的促销努力水平和供应链的最优收益;Sana^[16]研究在不确定的市场需求下,促销努力对供应链渠道协调的影响,结论表明市场需求受到促销努力水平和随机变量的双重影响,且促销努力的影响并不是无限递增的。然而,上述文献对于供应链努力水平的研究主要是针对单一的努力水平,因此同时考虑两个努力水平对于生鲜电商供应链决策的影响,更加贴近现实情境,更具有理论指导与现实意义。

在协调契约的研究上,Cachon等^[17]指出收益共享契约能够激励成员企业朝着有利于供应链总利润最大化的方向制定决策。Ma等^[18]在研究两级供应链服务努力问题时,得出只有在契约中考虑成本分担契约才能够实现供应链的完美协调。因此,本文对于生鲜电商供应链协调将采用“收益共享-成本共担”的混合契约。

综上所述,本文研究保鲜努力水平和促销努力水平共同影响市场需求的生鲜电商供应链协调问题。比较生鲜电商供应链在两种不同决策模式下的最优决策,通过构建混合契约提升努力水平,降低生

鲜产品最优定价,并分析混合契约实现生鲜电商供应链协调的限制条件.

1 问题描述与假设

考虑由单个生鲜电商平台(r)和单个生鲜供应商(s)组成的生鲜电商供应链,生鲜供应商负责生鲜产品的生产、初加工以及包装等活动;生鲜电商平台负责对生鲜产品进行销售,并为消费者提供相关的在线咨询、下单服务,消费者下单成功后,由生鲜电商平台专业的线下冷链配送服务体系完成生鲜产品的配送服务.具体运作模式参见图1.

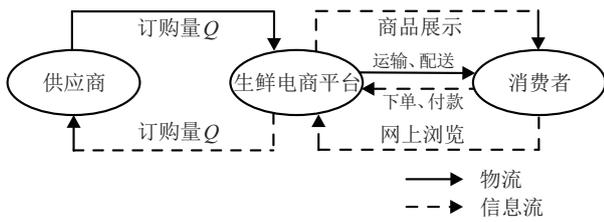


图1 生鲜电商供应链的运作模式

生鲜供应商生产单位生鲜产品成本为 c_1 ,生鲜电商从生鲜供应商手中获得产品的单位批发价格为 w ,生鲜电商平台的单位销售价格为 p ,生鲜电商平台进行产品配送的单位成本为 c_2 .在文献[16,19]提出的市场需求函数的基础上引入促销努力水平和保鲜努力水平,将生鲜电商平台中消费者对于生鲜产品的需求函数表示为

$$Q = a - bp + \alpha\theta_0 e_1 + \beta e_2,$$

即消费者对于电商生鲜产品的需求量受到生鲜产品销售价格 p 、在途保鲜努力水平 e_1 以及促销努力水平 e_2 的共同影响.其中: $a(a > 0)$ 为生鲜产品的潜在电商市场环境需求, $b(b > 0)$ 为需求量 Q 的价格弹性系数, $e_1(e_1 > 0)$ 为保鲜努力水平, $\alpha(\alpha > 0)$ 为需求量 Q 的保鲜努力水平弹性系数, θ_0 为生鲜产品配送前的新鲜度, $e_2(e_2 > 0)$ 为促销努力水平, $\beta(\beta > 0)$ 为需求量 Q 的促销努力水平弹性系数.关于努力成本,参考文献[19-20]中二次形式的质量成本表达方式,将保鲜成本与保鲜努力水平的函数关系式定义为 $C(e_1) = \frac{1}{2}\lambda e_1^2$, $\lambda(\lambda > 0)$ 为电商平台的产品保鲜成本系数,其数值越大,表明提高相同的新鲜度所付出的成本越高,这里的 $C(e_1)$ 指生鲜电商平台用于改善产品保鲜、冷藏等相关的物流技术所额外支付的成本;将促销成本与促销努力水平的函数关系式定义为 $C(e_2) = \frac{1}{2}\mu e_2^2$, $\mu(\mu > 0)$ 为生鲜电商平台的促销成本系数,其数值越大,表明提高相同的促销水平所支付的成本越高,这里的 $C(e_2)$ 指生鲜电商平台对产品的推广、宣传等成本,这种成本与生鲜电商平台

所需维持的基本运营成本无关,而与市场需求量 Q 有关.

相关参数符号定义如下.

集中决策模式: p_c 为生鲜产品定价, e_{c1} 为保鲜努力水平, e_{c2} 为促销努力水平, π_c 为生鲜电商供应链总利润;

分散决策模式: p_{d1} 为生鲜产品定价, w_1 为生鲜产品批发价格, e_{d1} 为保鲜努力水平, e_{d2} 为促销努力水平, π_{r1} 为生鲜电商平台利润, π_{s1} 为生鲜供应商利润;

契约协调后: p_{d2} 为生鲜产品定价, w_2 为生鲜产品批发价格, e_{d11} 为保鲜努力水平, e_{d22} 为促销努力水平, π_{r2} 为生鲜电商平台利润, π_{s2} 为生鲜供应商利润.

除此之外,本文提出如下假设.

假设1 双方风险中性,且共享全部信息.

假设2 为保证成员企业有利可图,参数需满足 $p > w + c_2 > c_1 + c_2$.

假设3 本文仅考虑消费者是同质的情况,不同消费者受到努力水平的影响程度是相同的.

假设4 不考虑生鲜产品的缺货损失.

2 基本模型

2.1 集中决策模式

将生鲜电商平台和生鲜供应商看作一个利益共同体,供应链系统内部不存在生鲜产品结算,只存在唯一的决策者,并以系统利益最大化为决策目标.此时利润函数为

$$\begin{aligned} \pi_c &= (p_c - c_1 - c_2)Q - [c(e_{c1}) + c(e_{c2})] = \\ &= (p_c - c_1 - c_2)(a - bp_c + \alpha\theta_0 e_{c1} + \beta e_{c2}) - \\ &= \frac{1}{2}\lambda e_{c1}^2 - \frac{1}{2}\mu e_{c2}^2. \end{aligned} \tag{1}$$

定理1 集中决策模式下,生鲜产品最优定价为

$$p_c^* = \frac{\lambda\mu a + (c_1 + c_2)(b\mu\lambda - \mu\alpha^2\theta_0^2 - \lambda\beta^2)}{2b\lambda\mu - \mu\alpha^2\theta_0^2 - \lambda\beta^2},$$

最优保鲜努力水平为

$$e_{c1}^* = \frac{\alpha\theta_0\mu[a - b(c_1 + c_2)]}{2b\lambda\mu - \mu\alpha^2\theta_0^2 - \lambda\beta^2},$$

最优促销努力水平为

$$e_{c2}^* = \frac{\beta\lambda[a - b(c_1 + c_2)]}{2b\lambda\mu - \mu\alpha^2\theta_0^2 - \lambda\beta^2}.$$

证明 根据式(1)对 p_c, e_{c1}, e_{c2} 求偏导数,存在

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \pi_c}{\partial p_c^2} &= -2b < 0, \\ \frac{\partial^2 \pi_c}{\partial e_{c1}^2} &= -\lambda < 0, \\ \frac{\partial^2 \pi_c}{\partial e_{c2}^2} &= -\mu < 0. \end{aligned}$$

π_c 对于 p_c, e_{c1}, e_{c2} 的三阶海塞矩阵为

$$H_3 = \begin{bmatrix} -2b & \alpha\theta_0 & \beta \\ \alpha\theta_0 & -\lambda & 0 \\ \beta & 0 & -\mu \end{bmatrix},$$

其中一阶主子式为 $-2b < 0$. 因此, 当

$$-2b\mu\lambda + \mu\alpha^2\theta_0^2 + \lambda\beta^2 \leq 0,$$

即

$$2b\mu\lambda - \mu\alpha^2\theta_0^2 - \lambda\beta^2 \geq 0$$

时, 三阶海塞矩阵为负定, 此时 π_c 是 p_c, e_{c1}, e_{c2} 的凹函数, p_c, e_{c1}, e_{c2} 具有最优解.

进一步, 根据一阶条件 $\frac{\partial \pi_c}{\partial p_c} = 0, \frac{\partial \pi_c}{\partial e_{c1}} = 0, \frac{\partial \pi_c}{\partial e_{c2}} = 0$, 联立 p_c, e_{c1}, e_{c2} , 解得

$$p_c^* = \frac{\lambda\mu\alpha + (c_1 + c_2)(b\mu\lambda - \mu\alpha^2\theta_0^2 - \lambda\beta^2)}{2b\lambda\mu - \mu\alpha^2\theta_0^2 - \lambda\beta^2},$$

$$e_{c1}^* = \frac{\alpha\theta_0\mu[a - b(c_1 + c_2)]}{2b\lambda\mu - \mu\alpha^2\theta_0^2 - \lambda\beta^2},$$

$$e_{c2}^* = \frac{\beta\lambda[a - b(c_1 + c_2)]}{2b\lambda\mu - \mu\alpha^2\theta_0^2 - \lambda\beta^2}. \quad \square$$

将 $p_c^*, e_{c1}^*, e_{c2}^*$ 代入式 (1), 可以求得集中决策模式下生鲜电商供应链系统的最大利润为

$$\pi_c = \frac{\lambda\mu[a - b(c_1 + c_2)]^2}{2(2b\mu\lambda - \mu\alpha^2\theta_0^2 - \lambda\beta^2)}. \quad (2)$$

2.2 分散决策模式

分散决策模式下, 双方作为独立利益体各自进行决策. 双方博弈过程如下: 首先, 生鲜供应商根据生鲜产品的生产成本价格、产品市场需求现状以及自身期望收益等, 向生鲜电商平台报出单位生鲜产品批发价格 w_1 ; 然后, 生鲜电商平台结合自身的利润以及市场行业, 对其所报出的批发价格 w_1 进行分析, 以判断该批发价格 w_1 是否合理, 并确定保鲜努力水平 e_{d1} 和促销努力水平 e_{d2} ; 若生鲜电商平台接受供应商的批发价格, 则达成协议, 若拒绝该批发价格, 则生鲜供应商重新调整批发价格进行协商, 直至双方达成协议或终止协议.

根据此情景中的决策时序, 采用逆向求解法, 首先求解生鲜电商平台的最优策略.

2.2.1 生鲜电商平台的最优决策

生鲜电商平台的利润函数为

$$\begin{aligned} \pi_{r1} = & (p_{d1} - w_1 - c_2)Q - [c(e_{d1}) + c(e_{d2})] = \\ & (p_{d1} - w_1 - c_2)(a - bp_{d1} + \alpha\theta_0e_{d1} + \beta e_{d2}) - \\ & \frac{1}{2}\lambda e_{d1}^2 - \frac{1}{2}\mu e_{d2}^2. \end{aligned} \quad (3)$$

定理 2 在分散决策模式下, 对于给定的生鲜产品批发价格 w_1 , 生鲜电商平台的最优定价为

$$p_{d1}^* = \frac{\lambda\mu\alpha + (w_1 + c_2)(\lambda\mu b - \mu\alpha^2\theta_0^2 - \lambda\beta^2)}{2b\lambda\mu - \mu\alpha^2\theta_0^2 - \lambda\beta^2},$$

最优保鲜努力水平为

$$e_{d1}^* = \frac{\alpha\theta_0\mu[a - b(w_1 + c_2)]}{2b\lambda\mu - \mu\alpha^2\theta_0^2 - \lambda\beta^2},$$

最优促销努力水平为

$$e_{d2}^* = \frac{\beta\lambda[a - b(w_1 + c_2)]}{2b\lambda\mu - \mu\alpha^2\theta_0^2 - \lambda\beta^2}.$$

证明 根据式 (3) 对 p_{d1}, e_{d1}, e_{d2} 求偏导数, 存在

$$\frac{\partial^2 \pi_{r1}}{\partial p_{d1}^2} = -2b < 0,$$

$$\frac{\partial^2 \pi_{r1}}{\partial e_{d1}^2} = -\lambda < 0,$$

$$\frac{\partial^2 \pi_{r1}}{\partial e_{d2}^2} = -\mu < 0.$$

π_{r1} 对于 p_{d1}, e_{d1}, e_{d2} 的三阶海塞矩阵为

$$H_3 = \begin{bmatrix} -2b & \alpha\theta_0 & \beta \\ \alpha\theta_0 & -\lambda & 0 \\ \beta & 0 & -\mu \end{bmatrix},$$

其中一阶主子式为 $-2b < 0$. 因此, 当

$$-2b\mu\lambda + \mu\alpha^2\theta_0^2 + \lambda\beta^2 \leq 0,$$

即

$$2b\mu\lambda - \mu\alpha^2\theta_0^2 - \lambda\beta^2 \geq 0$$

时, 三阶海塞矩阵为负定, 此时 π_{r1} 是 p_{d1}, e_{d1}, e_{d2} 的凹函数, p_{d1}, e_{d1}, e_{d2} 存在最优解.

进一步, 根据一阶条件 $\frac{\partial \pi_{r1}}{\partial p_{d1}} = 0, \frac{\partial \pi_{r1}}{\partial e_{d1}} = 0, \frac{\partial \pi_{r1}}{\partial e_{d2}} = 0$, 联立 p_{d1}, e_{d1}, e_{d2} , 解得

$$p_{d1}^* = \frac{\lambda\mu\alpha + (w_1 + c_2)(\lambda\mu b - \mu\alpha^2\theta_0^2 - \lambda\beta^2)}{2b\lambda\mu - \mu\alpha^2\theta_0^2 - \lambda\beta^2},$$

$$e_{d1}^* = \frac{\alpha\theta_0\mu[a - b(w_1 + c_2)]}{2b\lambda\mu - \mu\alpha^2\theta_0^2 - \lambda\beta^2},$$

$$e_{d2}^* = \frac{\beta\lambda[a - b(w_1 + c_2)]}{2b\lambda\mu - \mu\alpha^2\theta_0^2 - \lambda\beta^2}. \quad \square$$

2.2.2 生鲜供应商的最优决策

生鲜供应商的利润函数为

$$\begin{aligned} \pi_{s1} = & (w_1 - c_1)Q = \\ & (w_1 - c_1)(a - bp_{d1} + \alpha\theta_0e_{d1} + \beta e_{d2}). \end{aligned} \quad (4)$$

将 $p_{d1}^*, e_{d1}^*, e_{d2}^*$ 代入式 (3) 和 (4) 中, 此时分散决策模式下供应商和生鲜电商平台的最大利润为

$$\pi_{s1} = \frac{b\lambda\mu(w_1 - c_1)[a - b(w_1 + c_2)]}{2b\mu\lambda - \mu\alpha^2\theta_0^2 - \lambda\beta^2}, \quad (5)$$

$$\pi_{r1} = \frac{\lambda\mu[a - b(w_1 + c_2)]^2}{2(2b\mu\lambda - \mu\alpha^2\theta_0^2 - \lambda\beta^2)}. \quad (6)$$

2.3 集中决策模式与分散决策模式对比

比较定理1和定理2两种决策模式下的生鲜产品最优定价、最优努力水平以及最大利润,能够得出如下命题.

命题1 1) $e_{c1}^* > e_{d1}^*, e_{c2}^* > e_{d2}^*$.

2) 当 $\frac{1}{2}(\mu\alpha^2\theta_0^2 + \lambda\beta^2) < b\lambda\mu < \mu\alpha^2\theta_0^2 + \lambda\beta^2$ 时

$$p_{d1}^* < p_c^*;$$

当 $b\lambda\mu > \mu\alpha^2\theta_0^2 + \lambda\beta^2$ 时

$$p_{d1}^* > p_c^*.$$

3) $\pi_{r1} + \pi_{s1} < \pi_c$.

证明 1) 因为

$$e_1^* - e_{d1}^* = \frac{\alpha\theta_0\mu b(w_1 - c_1)}{2b\lambda\mu - \mu\alpha^2\theta_0^2 - \lambda\beta^2} > 0,$$

$$e_2^* - e_{d2}^* = \frac{\lambda\beta b(w_1 - c_1)}{2b\lambda\mu - \mu\alpha^2\theta_0^2 - \lambda\beta^2} > 0,$$

所以 $e_1^* > e_{d1}^*, e_2^* > e_{d2}^*$.

2) $p_{d1}^* - p_c^* = \frac{(w_1 - c_1)(b\lambda\mu - \mu\alpha^2\theta_0^2 - \lambda\beta^2)}{2b\lambda\mu - \mu\alpha^2\theta_0^2 - \lambda\beta^2}$. 因

为 $2b\lambda\mu - \mu\alpha^2\theta_0^2 - \lambda\beta^2 \geq 0$, 所以当 $b\lambda\mu - \mu\alpha^2\theta_0^2 - \lambda\beta^2 \geq 0$, 即 $b\lambda\mu > \mu\alpha^2\theta_0^2 + \lambda\beta^2$ 时

$$p_{d1}^* > p_c^*;$$

当 $b\lambda\mu - \mu\alpha^2\theta_0^2 - \lambda\beta^2 < 0$, 即 $\frac{1}{2}(\mu\alpha^2\theta_0^2 + \lambda\beta^2) < b\lambda\mu < \mu\alpha^2\theta_0^2 + \lambda\beta^2$ 时

$$p_{d1}^* < p_c^*.$$

3) 因为

$$\frac{\pi_{r1} + \pi_{s1}}{\pi_c} = \frac{[a - b(c_1 + c_2)]^2 - [b(w_1 - c_1)]^2}{[a - b(c_1 + c_2)]^2} < 1,$$

所以 $\pi_{r1} + \pi_{s1} < \pi_c$. \square

命题1表明,由于双重边际效应的存在,分散决策模式下的产品最优定价、最优努力水平以及最优利润均低于集中决策模式下的最优水平. 这表明此时生鲜电商供应链没有达到协调状态,需要制定合理的契约帮助生鲜电商平台投入更高的保鲜努力和促销努力,使供应链达到协调状态.

3 协调契约模型

由命题1可知,在分散决策模式下提升保鲜努力水平和促销努力水平意味着生鲜电商平台需要付出更高的成本,降低生鲜电商平台的利润. 对此较为直观的是建立成本共担契约,由生鲜供应商承担生鲜电商平台一定比例的保鲜努力成本和促销努力成本. 同时,为了使得生鲜供应商达到集中决策下的最

大收益,在成本共担的基础上,进一步考虑由生鲜电商平台向生鲜供应商分享部分收益,从而保证契约协调下的生鲜电商供应链整体利润与集中决策模式下的利润相等,达到互惠共赢.

通过上述分析,设立“收益共享-成本共担”契约(φ_1, φ_2). 假设 $\varphi_1 \in (0, 1)$ 是收益共享比例, $\varphi_2 \in (0, 1)$ 是成本共担比例,生鲜电商平台按照 φ_1 的收益比例将收益分享给生鲜供应商,生鲜供应商按照 φ_2 的比例分担生鲜电商平台的保鲜努力成本和促销努力成本. 假设生鲜供应商与生鲜电商平台能够共享全部收益,此时按照“收益共享-成本共担”契约,生鲜电商平台与生鲜供应商的利润函数分别为

$$\begin{aligned} \pi_{r2} = & (1 - \varphi_1)p_{d2}Q - (c_2 + w_2)Q - \\ & (1 - \varphi_2)[c(e_{d11}) + c(e_{d22})] = \\ & [(1 - \varphi_1)p_{d2} - c_2 - w_2](a - bp_{d2} + \alpha\theta_0e_{d11} + \\ & \beta e_{d22}) - (1 - \varphi_2)\left(\frac{1}{2}\lambda e_{d11}^2 + \frac{1}{2}\mu e_{d22}^2\right), \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \pi_{s2} = & (w_2 - c_1)Q + \varphi_1p_{d2}Q - \varphi_2[c(e_{d11}) + c(e_{d22})] = \\ & (\varphi_1p_{d2} + w_2 - c_1)(a - bp_{d2} + \alpha\theta_0e_{d11} + \\ & \beta e_{d22}) - \varphi_2\left(\frac{1}{2}\lambda e_{d11}^2 + \frac{1}{2}\mu e_{d22}^2\right). \end{aligned} \quad (8)$$

定理3 在“收益共享-成本共担”契约下,对于给定的任意 w_2, φ_1 和 φ_2 , 生鲜产品的最优定价为

$$\begin{aligned} p_{d2}^* = & \{(1 - \varphi_2)(1 - \varphi_1)\lambda\mu a + (c_2 + w_2) \times \\ & [(1 - \varphi_2)b\lambda\mu - (1 - \varphi_1)\mu\alpha^2\theta_0^2 - (1 - \varphi_1)\lambda\beta^2]\} / \\ & \{(1 - \varphi_1)[2b\lambda\mu(1 - \varphi_2) - (1 - \\ & \varphi_1)\mu\alpha^2\theta_0^2 - (1 - \varphi_1)\lambda\beta^2]\}, \end{aligned}$$

最优保鲜努力水平为

$$e_{d11}^* = \frac{\alpha\theta_0\mu[(1 - \varphi_1)a - b(w_2 + c_2)]}{2b\lambda\mu(1 - \varphi_2) - (1 - \varphi_1)\mu\alpha^2\theta_0^2 - (1 - \varphi_1)\lambda\beta^2},$$

最优促销努力水平为

$$e_{d22}^* = \frac{\beta\lambda[(1 - \varphi_1)a - b(w_2 + c_2)]}{2b\lambda\mu(1 - \varphi_2) - (1 - \varphi_1)\mu\alpha^2\theta_0^2 - (1 - \varphi_1)\lambda\beta^2}.$$

证明 根据式(7)对 p_{d2}, e_{d11}, e_{d22} 求偏导数,存在

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \pi_{r2}}{\partial p_{d2}^2} &= -2b(1 - \varphi_1) < 0, \\ \frac{\partial^2 \pi_r}{\partial e_{d11}^2} &= -\lambda(1 - \varphi_2) < 0, \end{aligned}$$

$$\frac{\partial^2 \pi_r}{\partial e_{d22}^2} = -\mu(1 - \varphi_2) < 0,$$

π_{r2} 对于 p_{d2} 、 e_{d11} 、 e_{d22} 的三阶海塞矩阵为

$$H_3 = \begin{bmatrix} -2b(1 - \varphi_1) & \alpha\theta_0(1 - \varphi_1) & \beta(1 - \varphi_1) \\ \alpha\theta_0(1 - \varphi_1) & -\lambda(1 - \varphi_2) & 0 \\ \beta(1 - \varphi_1) & 0 & -\mu(1 - \varphi_2) \end{bmatrix},$$

其中一阶主子式 $-2b(1 - \varphi_1) < 0$ 。因此, 当

$$-2b\mu\lambda(1 - \varphi_1)(1 - \varphi_2)^2 + \mu\alpha^2\theta_0^2(1 - \varphi_1)^2(1 - \varphi_2) + \lambda\beta^2(1 - \varphi_1)^2(1 - \varphi_2) \leq 0,$$

即

$$2b\mu\lambda(1 - \varphi_2) - \mu\alpha^2\theta_0^2(1 - \varphi_1) - \lambda\beta^2(1 - \varphi_1) \geq 0$$

时, 三阶海塞矩阵为负定, π_{r2} 是 p_{d2} 、 e_{d11} 、 e_{d22} 的凹函数, p_{d2} 、 e_{d11} 、 e_{d22} 具有最优解。

进一步, 根据一阶条件 $\frac{\partial \pi_{r2}}{\partial p_{d2}} = 0$, $\frac{\partial \pi_{r2}}{\partial e_{d11}} = 0$, $\frac{\partial \pi_{r2}}{\partial e_{d22}} = 0$, 联立 p_{d2} 、 e_{d11} 、 e_{d22} , 解得

$$p_{d2}^* = \frac{\{(1 - \varphi_2)(1 - \varphi_1)\lambda\mu a + (c_2 + w_2)[(1 - \varphi_2)b\lambda\mu - (1 - \varphi_1)\mu\alpha^2\theta_0^2 - (1 - \varphi_1)\lambda\beta^2]\}}{\{(1 - \varphi_1)[2b\lambda\mu(1 - \varphi_2) - (1 - \varphi_1)\mu\alpha^2\theta_0^2 - (1 - \varphi_1)\lambda\beta^2]\}},$$

$$e_{d11}^* = \frac{\alpha\theta_0\mu[(1 - \varphi_1)a - b(w_2 + c_2)]}{2b\lambda\mu(1 - \varphi_2) - (1 - \varphi_1)\mu\alpha^2\theta_0^2 - (1 - \varphi_1)\lambda\beta^2},$$

$$e_{d22}^* = \frac{\beta\lambda[(1 - \varphi_1)a - b(w_2 + c_2)]}{2b\lambda\mu(1 - \varphi_2) - (1 - \varphi_1)\mu\alpha^2\theta_0^2 - (1 - \varphi_1)\lambda\beta^2}. \quad \square$$

定理 4 若“收益共享-成本共担”契约 (φ_1, φ_2) 满足

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= \varphi_2, \\ w_2 &= c_1 - \varphi_1(c_1 + c_2), \end{aligned}$$

且

$$\frac{[a - b(c_2 + w_1)](w_1 - c_1)}{[a - b(c_1 + c_2)]^2} \leq \varphi_1 \leq 1 - \frac{[a - b(c_2 + w_1)]^2}{[a - b(c_1 + c_2)]^2},$$

则生鲜电商供应链达到协调状态。

证明 联立 $p_c^* = p_{d2}^*$, $e_{d11}^* = e_{c1}^*$, $e_{d22}^* = e_{c2}^*$, 解得 $\varphi_1 = \varphi_2$, $w_2 = c_1 - \varphi_1(c_1 + c_2)$, 此时

$$\begin{aligned} \pi_{r2} &= ((1 - \varphi_1)p_{d2} - c_2 - w_2)Q - \\ &(1 - \varphi_2)[c(e_{d11}) + c(e_{d22})] = \\ &(1 - \varphi_1)\left[(p_c - c_1 - c_2)(a - bp_c + \right. \\ &\left. \alpha\theta_0 e_1 + \beta e_2) - \frac{1}{2}\lambda e_1^2 - \frac{1}{2}\mu e_2^2\right] = \\ &(1 - \varphi_1)\pi_c, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \pi_{s2} &= (w_2 - c_1)Q + \varphi_1 p_{d2} Q - \\ &\varphi_2 [c(e_{d11}) + c(e_{d22})] = \\ &\varphi_1 \left[(p_c - c_1 - c_2)(a - bp_c + \right. \\ &\left. \alpha\theta_0 e_1 + \beta e_2) - \frac{1}{2}\lambda e_1^2 - \frac{1}{2}\mu e_2^2 \right] = \\ &\varphi_1 \pi_c, \end{aligned}$$

解得 $\pi_{r2} + \pi_{s2} = \pi_c$ 。若要生鲜电商平台和生鲜供应商接受该协调契约, 还必须保证合作之后的各自收益不低于分散决策下的收益, 即满足

$$\begin{cases} \pi_{r2} \geq \pi_{r1}, \\ \pi_{s2} \geq \pi_{s1}, \\ \pi_{r2} = (1 - \varphi_1)\pi_c > \pi_{r1}, \\ \pi_{s2} = \varphi_1\pi_c > \pi_{s1}. \end{cases}$$

解得

$$\begin{aligned} \frac{2b[a - b(c_2 + w_1)](w_1 - c_1)}{[a - b(c_1 + c_2)]^2} &\leq \\ \varphi_1 &\leq 1 - \frac{[a - b(c_2 + w_1)]^2}{[a - b(c_1 + c_2)]^2}. \quad \square \end{aligned}$$

定理 4 表明, “收益共享-成本共担” 契约能够有效地实现生鲜电商供应链的协调, 同时使得生鲜供应商和生鲜电商平台都获利。 φ_1 和 φ_2 是属于一定区间范围内的任意数值, 数值的大小除了受到价格弹性的影响之外, 还受到生鲜电商供应链成员企业在供应链中的地位影响。随着 φ_1 取值的增加, 在混合契约下的生鲜供应商所获收益分享增多, 这在一定程度上能够鼓励生鲜供应商与生鲜电商平台进行合作。

4 算例分析

为了进一步了解“收益共享-成本共担” 契约相比于分散式决策对改善保鲜努力水平和促销努力水平的激励作用和供应链协调的效果, 以及讨论生鲜电商平台努力水平波动对双方决策的影响, 假设生鲜电商供应链系统具有如表 1 所示的特征。

表 1 系统参数赋值

	c_1	c_2	w_1	λ	μ	θ_0	α	β	a	b
赋值	5	4	10	20	25	0.9	5	12	300	10

此时, $b\mu\lambda - \mu\alpha^2\theta_0^2 - \lambda\beta^2 = 1613.75 > 0$, 根据表 1 所赋数值, 可以得到两种决策模式下的参数变化结果, 如表 2 所示。

表2 参数变化结果

决策模式	φ_1	φ_2	p	e_1	e_2	w_2	Q	π	π_r	π_s
集中决策	N/A	N/A	24.87	3.57	7.62	N/A	158.76	1666.98	N/A	N/A
分散决策	N/A	N/A	26	2.72	5.81	N/A	120.96	1572.48	967.68	604.80
协调契约	0.3628	0.3628	24.87	3.57	7.62	1.7347	158.76	1666.98	1062.18	604.8
	0.3817	0.3817	24.87	3.57	7.62	1.5646	158.76	1666.98	1030.68	636.3
	0.4006	0.4006	24.87	3.57	7.62	1.3946	158.76	1666.98	999.18	667.8
	0.4195	0.4195	24.87	3.57	7.62	1.2245	158.76	1666.98	967.68	699.3

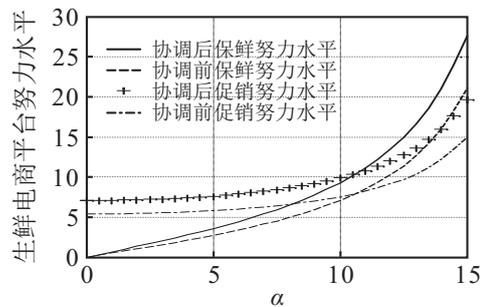
比较两种模式下参数变化的结果:与集中决策模式相比,分散决策模式的最优利润下降了94.5,生鲜产品最优定价提高了1.13,最优保鲜努力水平降低了0.85,最优促销努力水平降低了1.81,命题1得证.在“收益共享-成本共担”契约下可以得出,生鲜电商平台与生鲜供应商的收益实现帕累托最优的必要条件为 $\varphi_1 \in (0.3628, 0.4195)$.从表2可以看出,当 φ_1 在该区间变化时,生鲜电商平台和生鲜供应商的最优利润均高于分散决策模式.但是,在混合协调契约下,生鲜产品批发价格远远低于其产品的生产成本,这意味着当生鲜供应商具有风险偏好时无法接受该契约.但实际上,因为 $\varphi_1 = \varphi_2$ 才能满足生鲜电商供应链协调,所以若生鲜供应商接受该批发价格,随着批发价格的逐渐降低,生鲜供应商能够获得来自生鲜电商平台的补偿收益也越多,因此只有当生鲜电商平台与生鲜供应商具备长期稳定的合作关系,或生鲜电商平台处于供应链主导地位时,才能保障该契约的顺利实施.

下面讨论系统参数变化产生的影响.

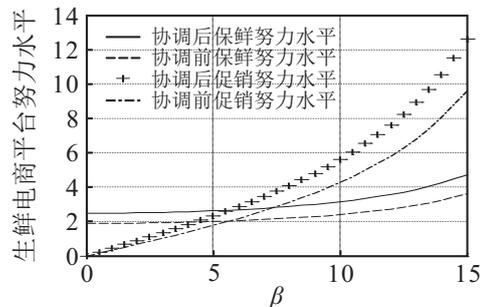
1) 努力水平弹性系数对生鲜电商平台服务努力水平的影响.

由图2可知, α 的增加对生鲜电商平台的保鲜努力水平和促销努力水平都起到了正向作用,并且在协调契约的影响下,协调后的努力水平均大于分散决策模式下的努力水平,这表明“收益共享-成本共担”契约对于生鲜电商平台提升努力水平起到了一定的激励作用.当保鲜努力水平系数较小,即单位保鲜努力水平对于消费者需求影响较小时,混合契约对于改进促销努力水平的程度要高于改进保鲜努力水平的程度.随着系数的不断增加,保鲜努力水平的增幅逐渐超过促销努力水平的增幅.由图2可以看出,协调前后生鲜电商平台的保鲜努力水平相差不大,表明对于生鲜电商平台而言,生鲜产品的品质至关重要,无论进行供应链协调与否,生鲜电商平台都必须对生鲜产品进行保鲜努力. β 的增加正向影响协调实施前后的保鲜努力水平和促销努力水平,并且在协调契约的

影响下,协调后的努力水平较之协调前有一定程度的提升,表明契约有助于激励努力水平的提升.同时,促销努力水平系数的增加对保鲜努力水平影响较小,但对促销努力水平影响较大,说明对于生鲜电商平台而言,当促销努力水平对消费者需求的影响越大,消费者对于促销活动、促销手段越敏感,越能够激励生鲜电商平台进行促销努力水平的提升.



(a) α 对生鲜电商平台努力水平的影响

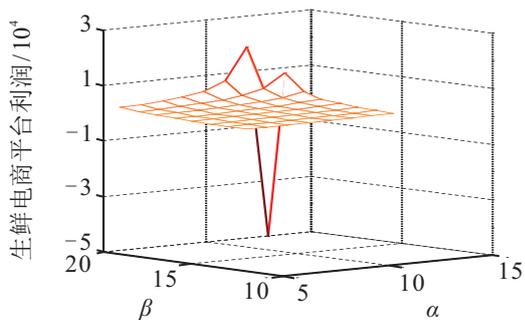


(b) β 对生鲜电商平台努力水平的影响

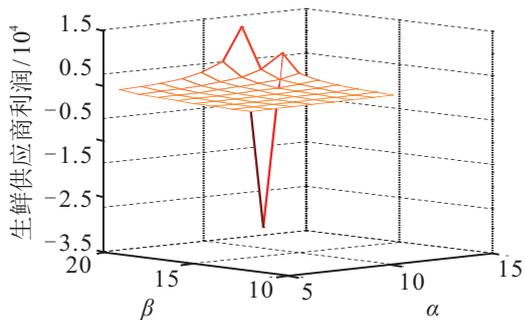
图2 努力水平弹性系数对生鲜电商平台努力水平的影响

2) 努力水平弹性系数对协调契约下双方利润的影响.令 $\varphi_1 = 0.4$,分析努力水平系数变化对于协调契约下双方利润的影响,如图3所示.

从图3可以看出,在一定范围内,随着保鲜努力水平系数和促销努力水平系数的增加,双方的收益也在不断增加,表明随着促销努力水平和保鲜努力水平对于消费者生鲜需求影响的增大,提升努力水平能够为生鲜电商平台和生鲜供应商带来更高的收益;当超过一定范围,即超过生鲜电商平台的最优促销努力水平和最优保鲜努力水平时,随着努力水平的提升,



(a) 努力水平弹性系数对生鲜电商平台利润的影响



(b) 努力水平弹性系数对生鲜供应商利润的影响

图3 努力水平弹性系数对协调契约下生鲜电商平台利润的影响

平台需要付出更大的努力成本,此时生鲜电商平台的利润会降低,甚至会造成亏损. 生鲜供应商需要分担部分电商平台的努力成本,当电商平台过于追求高质量的服务水平而造成收益的减少时,供应商获得的补偿收益也在不断减少,供应商支付更多的努力成本却获得较少的补偿时,供应商的利润就在不断下降,甚至会产生亏损.

3) 批发价格对协调前后利润的影响.

为了更直观地分析生鲜产品批发价格对于协调前后双方利润变化的影响,令

$$A = \frac{2b[a - b(c_2 + w_1)](w_1 - c_1)}{[a - b(c_1 + c_2)]^2},$$

$$B = 1 - \frac{[a - b(c_2 + w_1)]^2}{[a - b(c_1 + c_2)]^2},$$

$$\varphi_1 = (A + B)/2,$$

结果如图4所示.

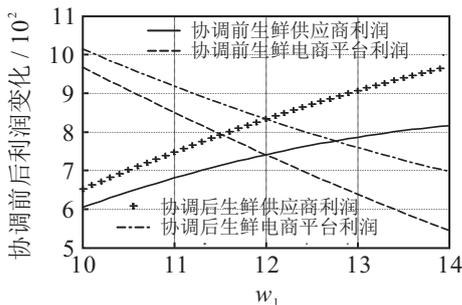


图4 w_1 对协调前后利润的影响

由图4可以得出,在供应链协调前后,供应商的利润都会随着批发价格的增加而提高,生鲜电商平台的利润会随着批发价格的增加而减少. 当 $w_1 = 12$ 时,生鲜电商平台与生鲜供应商的利润相等. w_1 的不断增大使得 φ_1 也在逐渐增加,表明生鲜供应商在生鲜电商供应链上的地位不断提高,在承担一定比例的保鲜努力成本和促销努力成本后,从生鲜电商平台获得的共享利润越来越多. 因此对于生鲜电商平台而言,不断上升的批发价格会造成利润受损,要求生鲜供应商重新调整批发价格进行协商.

4) 新鲜度对协调前后利润的影响.

基于图4关于收益共享系数的确立,探讨新鲜度变化对于协调前后双方利润变化的影响,结果见图5.

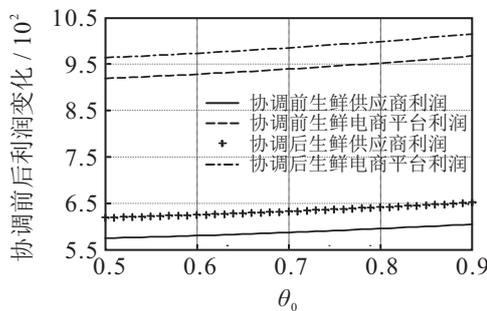


图5 θ_0 对协调前后利润的影响

由图5可知,不论是在协调前还是在协调后,双方的收益都是随着新鲜度系数的增加而不断增加,表明消费者对于新鲜度高的生鲜产品具有较高的需求,当生鲜产品的新鲜度较高时,生鲜电商与生鲜电商平台能够获得更高的收益,这一结论能够促进双方进行生鲜产品的保鲜努力投入.

5 结论

本文针对单一生鲜电商平台和单一生鲜供应商所构成的两级生鲜电商供应链,在保鲜努力和促销努力均影响市场需求的背景下,研究了生鲜电商供应链的协调问题. 相关研究结论如下: 1) 混合契约能够增加生鲜产品的市场需求,如降低生鲜产品定价的同时提高双方的收益,并且提升保鲜努力水平和促销努力水平,增加消费者对于平台的需求黏性; 2) 努力水平系数的增大会促使生鲜电商平台提高努力水平,混合契约能够有效激励生鲜电商平台提高努力水平,且努力水平对需求影响越大时,双方达成契约的意愿越高; 3) 在一定范围内提升努力水平能够提高双方的收益,当超过最优努力水平时,努力水平的提升会降低双方的收益,甚至造成亏损; 4) 新鲜度的提高能够增加双方收益,激励双方进行保鲜努力投入. 本文在构建需求函数时,将消费者需求视为可预测的,将生

鲜电商供应链界定为一对一的二级供应链,且没有考虑生鲜产品的新鲜度随着时间变化的影响,未来的研究将考虑竞争环境中需求不确定的二级生鲜电商供应链优化决策问题。

参考文献(References)

- [1] 艾瑞咨询. 2016年中国生鲜电商行业研究报告 [EB/OL]. (2016-06-30)[2017-03-10]. <http://report.iresearch.cn/report/201606/2608.shtml>.
- [2] Ailawadi K L, Gedenk K, Langer T, et al. Consumer response to uncertain promotions: An empirical analysis of conditional rebates[J]. *Int J of Research in Marketing*, 2014, 31(1): 94-106.
- [3] Edelman B, Jaffe S, Kominers S D. To Groupon or not to Groupon: The profitability of deep discounts[J]. *Marketing Letters*, 2016, 27(1): 39-53.
- [4] 黄静, 刘洪亮, 郭昱琅. 在线促销限制对消费者购买决策的影响研究——基于精细加工可能性视角[J]. *商业经济与管理*, 2016(5): 76-85.
(Huang J, Liu H L, Guo Y L. Research on the influence of online promotion restriction on consumer purchase decision — Based on the possibility of fine machining[J]. *Business Economics and Management*, 2016(5): 76-85.)
- [5] 王新珠, 牛永革, 李蔚. 促销方式对质量感知的影响——基于解释一致效应与加工流畅性分析[J]. *软科学*, 2016, 30(4): 111-113.
(Wang X Z, Niu Y G, Li W. The impact of promotion methods on quality perception — Based on interpretation consistent effect and processing fluency analysis[J]. *Soft Science*, 2016, 30(4): 111-113.)
- [6] Konuk F A. The effects of price consciousness and sale proneness on purchase intention towards expiration date-based priced perishable foods[J]. *British Food J*, 2015, 117(2): 793-804.
- [7] 王道平, 张博卿. 联合促销和风险规避下应对突发事件的供应链协调策略[J]. *控制与决策*, 2017, 32(3): 498-506.
(Wang D P, Zhang B Q. Supply chain coordination strategy for emergency response under joint promotion and risk aversion [J]. *Control and Decision*, 2017, 32(3): 498-506.)
- [8] 杨春, 但斌, 吴庆, 等. 考虑保鲜努力的生鲜农产品零售商与物流服务商的协调合同[J]. *技术经济*, 2010, 29(12): 122-126.
(Yang C, Dan B, Wu Q, et al. Coordination contract between fresh produce retailers and logistics service providers considering fresh keeping efforts[J]. *Technical Economy*, 2010, 29(12): 122-126.)
- [9] Wu Q, Mu Y, Feng Y. Coordinating contracts for fresh product outsourcing logistics channels with power structures[J]. *Int J of Production Economics*, 2015, 160: 94-105.
- [10] Cai X, Chen J, Xiao Y, et al. Fresh-product supply chain management with logistics outsourcing[J]. *Omega*, 2013, 41(4): 752-765.
- [11] 徐广妹, 宋子龙. 生鲜电商与物流服务商的契约协调——基于生鲜宅配模式的分析[J]. *商业研究*, 2017, 59(2): 151-159.
(Xu G S, Song Z L. Contract coordination of fresh electricity supplier and logistics service providers based on the analysis of fresh delivery mode[J]. *Business Studies*, 2017, 59(2): 151-159.)
- [12] 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 L, Dan B. Supply chain coordination of fresh agricultural products considering retailer freshness and consumer utility[J]. *Operations Research and Management Science*, 2015, 24(5): 44-51.)
- [13] 王磊, 但斌. 考虑消费者效用的生鲜农产品供应链保鲜激励机制研究[J]. *管理工程学报*, 2015, 29(1): 200-206.
(Wang L, Dan B. Study on fresh keeping mechanism of fresh agricultural product supply chain considering consumer utility[J]. *J of Management Engineering*, 2015, 29(1): 200-206.)
- [14] Cai X, Chen J, Xiao Y, et al. Optimization and coordination of fresh product supply chains with freshness-keeping effort[J]. *Production & Operations Management*, 2010, 19(3): 261-278.
- [15] 李新然, 牟宗玉, 黎高. VMI模式下考虑促销努力的销量回扣契约模型研究[J]. *中国管理科学*, 2012(4): 86-94.
(Li X R, Mu Z Y, Li G. Research on sales rebate contract model considering promotion effort under VMI model[J]. *Chinese Management Science*, 2012(4): 86-94.)
- [16] Sana S S. Optimal contract strategies for two stage supply chain[J]. *Economic Modelling*, 2013, 30(1): 253-260.
- [17] Cachon G P, Lariviere M A. Supply chain coordination with revenue-sharing contracts: Strengths and limitations[J]. *Management Science*, 2005, 51(1): 30-44.
- [18] Ma P, Wang H, Shang J. Contract design for two-stage supply chain coordination: Integrating manufacturer-quality and retailer-marketing efforts[J]. *Int J of Production Economics*, 2013, 146(2): 745-755.
- [19] Kaya M, Özalp Özer. Quality risk in outsourcing: Noncontractible product quality and private quality cost information[J]. *Naval Research Logistics*, 2009, 56(7): 669-685.
- [20] Tsay A A, Agrawal N. Channel dynamics under price and service competition[J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2000, 2(4): 372-391.