

DOI:10.3969/j.issn.1003-5060.2023.11.020

# 考虑风险态度的生鲜供应链保鲜努力与 广告成本分担研究

肖敏, 张思宇

(上海海事大学 经济管理学院, 上海 201306)

**摘要:**文章从冷链保鲜运输及冷链广告成本分担的角度,构建一个由风险中性的生鲜电子商务零售商和持有不同风险态度的冷链物流供应商组成的生鲜供应链,运用均值-CVaR 风险度量准则和 Stackelberg 博弈理论,研究分散与集中决策下冷链物流供应商的风险态度对供应链成员的决策和绩效的影响。研究发现:冷链物流供应商的风险态度会限制生鲜运输速度及供应链各方利润;双向成本共担契约可在满足供应商风险限制的同时使协调后各方收益不小于协调前,且供应链整体利润达到最大值。最后通过算例,验证了风险态度对各项决策的影响及协调契约的有效性。

**关键词:**生鲜供应链;风险态度;均值-CVaR;成本共担契约

**中图分类号:**F224.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-5060(2023)11-1564-09

## Research on fresh supply chain preservation effort and advertising cost sharing considering risk attitude

XIAO Min, ZHANG Siyu

(School of Economics and Management, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** A fresh supply chain composed of a risk-neutral fresh e-commerce retailer and a cold chain logistics provider with different risk attitudes was constructed from the perspective of cold chain preservation transportation and cold chain advertising cost sharing. Using the mean-CVaR risk measurement criterion and Stackelberg game theory, the effects of the cold chain logistics provider's risk attitude on the decision-making and performance of supply chain under decentralized and centralized decision-making are studied. The results show that the of the cold chain logistics provider's risk attitude will limit the speed of fresh food transportation and the profits of all parties in the supply chain. A two-way cost-sharing contract could meet the provider risk constraints while making the benefits of all parties after coordination not less than before coordination, and the overall profit of the supply chain reaches the maximum. Finally, the influence of risk attitude on various decisions and the validity of the contract are proved by the examples.

**Key words:** fresh supply chain; risk attitude; mean-CVaR; cost-sharing contract

## 0 引 言

随着我国居民收入水平的提高,生鲜电商在网络购物、配送方式升级的支持下迅速成长,使得

冷链物流加速发展。2020年,电商生鲜产业交易额达到3641.3亿元,同比增长42.54%。由于线上零售产品价格公开,各商家长期竞争后,同类产品的价格差异逐渐缩小,物流因素已超过价格因

收稿日期:2021-06-24;修回日期:2022-10-20

基金项目:国家自然科学基金资助项目(71473162)

作者简介:肖敏(1979—),女,山东聊城人,博士,上海海事大学副教授,硕士生导师。

素,成为消费者在线购买生鲜产品时最关注的部分<sup>[1]</sup>。生鲜产品的生物特性决定其在常温物流运输中极易发生变质,危害消费者健康。在疫情防控期间,大量农产品在运输环节仍采用常温运输,导致损耗率高达 25%,物流费用占总成本 70%<sup>[2]</sup>。生鲜产品只有在冷链环境下运输才能保证品质,减少损耗,实现保值。各大电商企业纷纷与冷链物流企业合作,使其更有竞争力,如华润万家、达达等电子商务零售商与冷链物流供应商合作的模式。运输方的冷链实力除了影响生鲜产品质量,也是影响消费者购买意愿的因素之一;生鲜电商平台多用“次日达”“全程冷链物流”“新鲜送进厨房”等广告来强调其产品品质。广告市场创造需求,平台通过对运输方冷链实力的宣传,让消费者对于送达的生鲜商品质量更有信心,从而刺激销量。在电商环境下,消费者对生鲜产品的新鲜度没有直观体验,且由于年龄地域差异、生活习惯等因素,消费者对线上生鲜产品的新鲜度敏感性具有差异,对相同新鲜度的产品也会表现出不同的支付意愿,由此带来的市场需求不确定性风险使冷链物流供应商在进行新鲜度相关决策时的风险态度尤为重要。

在供应链中,冷链物流供应商和电子商务零售商分别提供不同的服务,如冷链供应商负责保鲜运输、零售商负责销售及广告等行为;供应链成员往往会以合作广告的形式(如广告成本分担)促进市场需求,增加供应链收益;他们在合作中可能会存在搭便车等降低供应链效率的行为。因此,制定激励契约促进合作对提高生鲜运输供应链效率具有重要意义。

广告除了提高购买、支付意愿外,还会使供应链成员利润分配发生变化<sup>[3]</sup>。文献[4]考虑了消费者需求同时受价格和非价格变量影响时,收益共享和广告分担契约在一定条件范围可协调供应链;文献[5]研究了电商零售平台的参与对制造商合作广告策略的影响;文献[6]研究了电商平台下代理与批发模式对制造商和电商平台广告合作策略的影响,并发现制造商的最优策略不一定是联合广告,而平台的最优策略是选择联合广告。参考上述文献的广告合作模式,本文考虑供应商分担电商生鲜冷链广告,并讨论双向分担合作。

目前,国内外学者对于生鲜运输供应链方面已有广泛研究,现有文献主要集中在保鲜努力、冷链物流与贸易模式、契约协调方面。文献[7]指出新鲜度是影响消费者支付意愿的重要因素,考虑

零售商用保鲜努力降低损失率;文献[8]以时间刻画的保鲜投入、新鲜度与数量损耗构建需求受新鲜度影响的冷链库存模型;文献[9]研究了由物流服务商、供应商和零售商构成的生鲜农产品供应链下不同冷链服务模式对定价、服务水平和绩效的影响;文献[10]研究了考虑保鲜成本分担、线上线下相结合的生鲜双渠道供应链,在批发价契约的基础上制定了收益共享契约,协调供应链。

以上研究为本文的生鲜运输供应链构成提供了参考,但未考虑不能直观向消费者披露生鲜产品新鲜度的电子商务环境。文献[11]发现,零售商关于生鲜产品新鲜度信息披露不足会导致难以测量消费者对农产品新鲜度的需求量敏感性;文献[12]研究了消费者对新鲜度的敏感度不同时,零售商对易腐品的动态定价与补充政策。面对市场需求的不确定性,供应链各方不再只追求利润最大化,风险损失也成为重要考虑对象。现实中,供应链决策者往往是有限理性的,对于风险的态度各不相同。学者们在供应链中使用不同的风险度量准则。文献[13]使用均值方差方法分析电子商务环境下,风险规避的生鲜混合双渠道供应链,分析新鲜度和风险规避系数对最优决策的影响;文献[14]使用 CVaR 风险度量准则,设计随机弹性需求条件下风险中性的生鲜产品供应商和风险规避的零售商协调契约;文献[15]引入均值-CVaR 方法,考虑不确定需求和风险厌恶下,批发价合同和回购合同对供应链利率的影响。均值-CVaR 方法在 CVaR 的基础上讨论收益高于分位数的部分,这种方法在供应链中逐渐被广泛应用。文献[16-17]都使用均值-CVaR 建立考虑零售商风险特性的闭环供应链模型。

综上所述,已有很多学者对生鲜运输供应链进行研究并获得了相应的学术成果,但考虑成员风险态度及保鲜与广告成本分担契约的研究还比较少。本文以生鲜电子商务零售商对其使用的冷链物流优势进行广告宣传,吸引消费者;新鲜度敏感性不确定的消费者订购生鲜产品并以冷链物流运输为背景,假设冷链物流供应商具有风险态度,生鲜电子商务零售商为风险中性,建立生鲜运输供应链。为突出冷链广告与保鲜成本协调,考虑到电商环境下各生鲜产品和运输费用价格差异较小,在冷链价格固定的情况下,分析供应链成员在集中和分散决策条件下的广告投入费用、广告成本分担、保鲜努力等问题,并提出双向成本分担协调契约。

### 1 模型说明

本文构建一个由持有不同风险态度的冷链物流供应商 L 和风险中性的生鲜电子商务零售商 R (以下简称生鲜零售商)组成的两级生鲜运输供应链。

冷链物流供应商 L 为 Stackelberg 博弈的领导者,生鲜零售商 R 为追随者。生鲜零售商负责批发及销售商品、采购冷链、对商品和冷链进行宣

传,在本模型中对冷链广告费用进行决策。冷链物流供应商负责生鲜产品从产地到销地的冷链物流,如快速运输、低温储存、与零售商合作广告宣传,在本模型中对保鲜努力程度和冷链广告成本分担比例进行决策。为使本文主题讨论更明确,本文仅讨论冷链运输部分,不讨论生鲜产品本身售价以及批发价。

#### 1.1 符号说明

模型中的符号及说明见表 1 所列。

表 1 模型中的符号及说明

符号	含义	符号	含义
$T$	冷链物流供应商的运输时间, $T \in (0, 1)$	$\beta_t$	冷链服务成本系数
$k_p$	市场需求对零售保鲜运价的敏感系数	$\beta$	受时间影响的新鲜度衰减指数
$X$	生鲜零售商对冷链物流的广告宣传费用	$\theta_0$	生鲜产品原始新鲜度, $\theta_0 \in (0, 1)$
$r_x$	市场需求对冷链广告的敏感系数	$J$	冷链物流供应商分担的冷链广告费用比例
$p$	生鲜零售商向消费者收取的冷链零售运价	$m$	市场规模
$w$	冷链物流供应商的冷链物流批发单价	$\lambda$	冷链物流供应商决策者的悲观系数
$e$	市场需求对新鲜度的敏感系数	$\eta$	冷链物流供应商决策者的置信水平
$C$	契约协调情形	SC	集中决策情形

#### 1.2 模型假设

1) 在购买生鲜产品时,新鲜度是影响消费者购买意愿的主要因素之一<sup>[18]</sup>。生鲜产品新鲜度随时间变化连续衰减<sup>[19]</sup>。新鲜度函数为  $\theta_t = \theta_0 \beta (1 - T)^{[20-21]}$ ,  $T$  为时间。  $1 - T$  为冷链物流供应商的保鲜努力程度;新鲜度  $\theta_t$  与时间  $T$  负相关,符合随着运输时间延长,新鲜度连续下降的现实情况。

2) 冷链物流成本为  $\beta_t (1 - T)^2 / 2^{[20]}$ ,包括包装、人力、燃料成本等。运输时间越短,生鲜产品越新鲜,冷链物流成本越高。生鲜零售商负责批发生鲜产品,以  $w$  的单价从冷链物流供应商处批发冷链物流服务,并对其优质的冷链物流进行广告宣传,以冷链零售运价  $p$  销往受价格、新鲜度  $\theta_t$  和冷链广告影响的消费者市场。

3) 市场需求随冷链广告投入单调递增、边际递减。参考文献[22-23]的设定,使用平方根函数描述,则生鲜零售商关于冷链物流的广告投入费用对于市场需求的影响为  $r_x \sqrt{X}$ ,  $X$  表示生鲜零售商对冷链物流的广告费用。

4) 参考文献[9, 24],在需求上综合考虑价格、新鲜度和广告的影响,以及电子商务生鲜市场下消费者对新鲜度敏感性的随机性,市场需求以加法形式定义:

$$D = m - k_p p + \epsilon \theta_0 \beta (1 - T) + r_x \sqrt{X} \quad (1)$$

由于消费者对于生鲜产品的新鲜度敏感程度各不相同,假设  $\epsilon$  是一个非负连续的随机变量,对新鲜度的敏感程度分布随  $\epsilon$  单调递增、边际递减,取值范围为  $(a, b)$ ,满足  $0 < a < b$ ,  $\epsilon$  的密度函数为  $f(\epsilon)$ ,分布函数为  $F(\epsilon)$ ,  $F(\epsilon) \in (0, 1)$ 。  $\epsilon \theta_0 \beta (1 - T)$  表示新鲜度对消费者支付意愿的影响。

5) 参考文献[25]对 Stackelberg 博弈的冷链物流定价的研究,本文以冷链物流供应商为主导者,生鲜零售商为跟随者。决策的第 1 阶段:冷链物流供应商通过考虑冷链物流成本、市场需求确定冷链广告成本分担比例和保鲜努力程度;第 2 阶段:生鲜零售商基于市场需求、供应商分担冷链广告成本比例,确定对冷链物流的广告宣传费用。生鲜零售商的目标是利润最大化,冷链物流供应商以均值-CVaR 为风险度量准则,目标是在置信水平  $\eta$  下权衡绩效(均值-CVaR 值)最大化。

基于上述假设可知:风险中性的情况下,冷链物流供应商的利润  $\pi_l$ ,生鲜零售商的利润  $\pi_r$  分别为:

$$\pi_l(J, T) = w[m - k_p p + \epsilon \theta_0 \beta (1 - T) + r_x \sqrt{X}] - JX - \frac{\beta_t (1 - T)^2}{2} \quad (2)$$

$$\pi_r(X) = (p - w)[m - k_p p + \epsilon \theta_0 \beta (1 - T) + r_x \sqrt{X}] - (1 - J)X \quad (3)$$

### 1.3 风险度量准则——均值-CVaR

对冷链物流供应商来说,由消费者新鲜度敏感性差异带来的不确定性市场风险可从财务角度缓解,消除利润的下方波动。冷链供应的风险态度是影响供应商风险管理策略选择的一个重要因素。在度量下侧风险方面,CVaR 可度量低于分位数的平均收益,能有效改善尾部风险,可以更好地描述决策者的风险态度,并且具有一致性的风险量化指标。文献[26]提出并定义的 CVaR 公式为:

$$R_{\text{CVaR}}[\pi_1(J, T)] = \max_{v \in \mathbf{R}} \left\{ v_1 - \frac{1}{\eta} E[v - \pi_1(J, T)]^+ \right\} \quad (4)$$

其中: $\eta \in (0, 1]$ 为置信水平; $v_1$ 为随机变量  $\eta$  的分位数; $E$ 为决策变量的期望值。

CVaR 只关注下侧风险损失和低于分位数的随机利润,决策比较保守。为解决这一问题,本文在 CVaR 的基础上,使用将期望利润与 CVaR 组合的均值-CVaR 准则,它在反映决策者不同风险态度的同时,考虑了收益和风险损失,符合本文在利润方面既要衡量风险也要考虑收益的需求。文献[16]结合反应决策者在规避风险和追逐利润之间的权衡情况和置信水平  $\eta$ ,反映决策对象的风险态度,并对均值-CVaR 进行一般化定义:

$$G[\rho_1(J, T)] = \lambda_i E[\rho_1(J, T)] + (1 - \lambda_i) R_{\text{CVaR}}[\rho_1(J, T)] \quad (5)$$

其中: $\lambda_i = (1 - \lambda) / (1 - \eta)$ 反映决策者的风险态度; $\lambda \in [0, 1]$ 为悲观系数, $\lambda$ 越小,决策者越倾向于获得更大利润。当  $\lambda_i = 1$  时, $\lambda = \eta$ , $G[\pi_1(J, T)] = E[\pi_1(J, T)]$ ,决策者为风险中性;当  $\lambda_i > 1$  时, $\lambda < \eta$ ,决策者为风险追逐;当  $\lambda_i < 1$  时, $\lambda > \eta$ ,决策者为风险规避。本文考虑风险态度的冷链物流供应商的目标函数为:

$$G[\pi_1(J, T)] = \lambda_i E[\pi_1(J, T)] + (1 - \lambda_i) \max_{v \in \mathbf{R}} \left\{ v_1 - \frac{1}{\eta} E[v - \pi_1(J, T)]^+ \right\}。$$

## 2 生鲜供应链决策模型

### 2.1 生鲜供应链分散决策模型

在供应链决策过程中,生鲜零售商不考虑风险,决策目标是  $\pi_r(X)$  的最大值;最大化  $\pi_r(X)$  得结论 1。

**结论 1** 当冷链物流供应商决策确定时,生鲜零售商的冷链广告费用  $X^{1*}$  为:

$$X^{1*} = \frac{r_x^2(p-w)^2}{4(1-J)^2} \quad (6)$$

**推论 1** 采用固定冷链物流供应商策略时,最优冷链广告费用与市场需求对冷链广告的敏感系数、冷链零售运价、供应商分担的冷链广告费用比例成正比,与冷链批发单价成反比。

**证明** 最优冷链广告费用  $X^{1*}$  分别对  $J, r_x, w, p$  求一阶导数,可得:

$$\frac{\partial X^{1*}}{\partial r_x} = \frac{(p-w)^2 r_x}{2(J-1)^2} > 0,$$

$$\frac{\partial X^{1*}}{\partial p} = \frac{(p-w) r_x^2}{2(J-1)^2} > 0,$$

$$\frac{\partial X^{1*}}{\partial J} = -\frac{(p-w)^2 r_x^2}{2(J-1)^3} > 0,$$

$$\frac{\partial X^{1*}}{\partial w} = -\frac{(p-w) r_x}{(J-1)^2} < 0。$$

由推论 1 可知:消费者对冷链广告的敏感性越高,对冷链零售运价的支付意愿越高;冷链物流供应商越愿意分担更多比例的广告费用,生鲜零售商越愿意投入更多的广告费用;而冷链批发价越高,生鲜零售商对于冷链广告费用的投入意愿越少。由此可见,市场对优质的生鲜产品需求越大,且冷链物流供应商愿意让利分担成本,生鲜零售商越愿意为其冷链物流进行宣传。

在决策过程中,冷链物流供应商决策目标是  $G[\pi_1(J, T)]$  的最大值;最大化  $G[\pi_1(J, T)]$  得结论 2。

**结论 2** 冷链物流供应商的最优冷链广告费用分担比例  $J^*$ 、最优运输时间  $T^*$ 、生鲜零售商的最优冷链广告费用  $X^*$  分别为:

$$J^* = \frac{3w-p}{p+w},$$

$$T^* = [\beta_i \eta_i^2 - (\phi_1 \beta \theta_0 w + \beta_i) \eta_i + N \lambda \theta_0 \beta w] / [(\eta - 1) \eta \beta_i],$$

$$X^* = \frac{r_x^2(p+w)^2}{16},$$

其中, $\phi_1 = M\lambda - M + N$ 。

**推论 2** 冷链物流供应商的最优冷链广告费用分担比例  $J^*$  与冷链批发单价成正比,与冷链零售运价成反比。冷链物流供应商决策不固定时,最优零售保鲜运价  $X^*$  与冷链批发单价、冷链零售运价都成正比。

**证明**  $\frac{\partial J^*}{\partial w} = \frac{3}{p+w} - \frac{-p+3w}{(p+w)^2} > 0,$

$$\frac{\partial J^*}{\partial p} = \frac{-1}{p+w} - \frac{3w-p}{(p+w)^2} < 0,$$

$$\frac{\partial X^*}{\partial w} = \frac{\partial X^*}{\partial p} = \frac{(p+w) r_x^2}{8} > 0。$$

由推论 2 可知:生鲜零售商愿意接受的冷链

批发价格越高,冷链物流供应商越愿意分担冷链广告费用;生鲜零售商制定的冷链零售价格越高,冷链物流供应商愿意分担的冷链广告费用越低;冷链物流供应商决策不固定时,冷链零售价格、冷链批发价格越高,生鲜零售商越愿意为其冷链物流进行宣传。

**推论 3** 最优运输时间  $T^*$  与冷链物流供应商决策者的悲观系数、冷链服务成本系数成正比,与冷链批发单价、生鲜产品原始新鲜度成反比。

**证明**  $\frac{\partial T^*}{\partial \lambda} = \frac{-\beta \theta_0 \omega (\eta_1 M - N)}{(-1 + \eta) \eta_1 \beta_1} > 0$ ,

$$\frac{\partial T^*}{\partial \beta_1} = \frac{\beta_0 \omega}{(-1 + \eta) \eta_1 \beta_1^2} > 0,$$

$$\frac{\partial T^*}{\partial \omega} = \frac{(\phi_1 \eta - N \lambda) \theta_0 \beta}{(1 - \eta) \eta_1 \beta_1} < 0,$$

$$\frac{\partial T^*}{\partial \theta_0} = \frac{(\phi_1 \eta - N \lambda) \beta \omega}{(1 - \eta) \eta_1 \beta_1} < 0,$$

$$\frac{\partial T^*}{\partial \eta} = \frac{(\phi_1 \eta^2 - 2 \eta_1 N \lambda + N \lambda) \beta \theta_0 \omega}{(1 - \eta)^2 \eta_1^2 \beta_1},$$

$$\lambda > \frac{\eta_1^2 M - \eta_1^2 N}{\eta_1^2 M - 2 \eta_1 N + N}, \quad \frac{\partial T^*}{\partial \eta} > 0,$$

$$\lambda < \frac{\eta_1^2 M - \eta_1^2 N}{\eta_1^2 M - 2 \eta_1 N + N}, \quad \frac{\partial T^*}{\partial \eta} < 0.$$

由推论 3 可知:冷链物流供应商越悲观,保鲜成本系数越高,冷链物流供应商越希望拥有宽裕的运输时间,以降低保鲜成本平衡风险;生鲜零售商接受的冷链批发价越高,生鲜产品原始新鲜度越高,冷链物流供应商越愿意在冷链物流上投入成本,让消费者得到品质更好的生鲜产品。在决策者悲观程度不同时,决策者的置信水平对运输时间的影响不同,因此需要对风险态度进行讨论。

**推论 4** 风险规避冷链物流供应商制定的运输时间  $T^*$  大于风险中性冷链物流供制定的  $T^*$ , 而风险中性冷链物流供应商制定的运输时间  $T^*$  大于风险追逐冷链物流供应商制定的  $T^*$ , 即  $[T^* | \lambda_i < 1(\text{规避})] > [T^* | \lambda_i = 1(\text{中性})] > [T^* | \lambda_i > 1(\text{追逐})]$ , 亦即冷链物流供应商越是采取规避风险的态度,就越希望拥有更宽裕的运输时间,并且会采用降低保鲜成本的方式来确保自己的利润平衡。由于运输时间公式比较复杂,本文将在数值分析章节进行论证。

## 2.2 生鲜供应链集中决策模型

集中决策下电商生鲜供应链利润函数为:

$$\pi^{\text{sc}} = \pi_r(X) + G[\pi_1(J, T)] = [m - k_p p + \theta_0 \beta (1 - T) + r_x \sqrt{X}] -$$

$$(1 - J)X + \lambda_i \int_a^b \pi_1(J, T) f(\epsilon) d\epsilon +$$

$$(1 - \lambda_i) R_{\text{CVaR}}[\pi_1(J, T)] \quad (7)$$

**结论 3** 集中决策下的冷链物流供应商最优运输时间  $T^{\text{sc}*}$ 、生鲜零售商的最优冷链广告费用  $X^{\text{sc}*}$  分别为:

$$T^{\text{sc}*} = [(\eta_1^2 - \eta_1)(\beta_1 - (p - \omega)\theta_0\beta) - \beta \theta_0 \omega (\eta_1 \phi_1 - \lambda N)] / [(\eta_1 - 1) \eta_1 \beta_1] \quad (8)$$

$$X^{\text{sc}*} = \frac{p^2 r_x^2}{4} \quad (9)$$

**证明** 根据式(7)进行利润最大化,分别对  $X, T$  求导并分别令其等于 0, 得到 2 个方程, 求解即得式(8)、式(9)。

通过求解  $\pi^{\text{sc}}$  关于  $X, T$  的海塞矩阵, 可得海塞矩阵  $H^{\text{sc}}$  为:

$$H^{\text{sc}} = \begin{bmatrix} -\beta_1 & 0 \\ 0 & -\frac{pr_x}{4X^{3/2}} \end{bmatrix}.$$

计算海塞矩阵  $H^{\text{sc}}$  的行列式, 得:

$$\det H^{\text{sc}} = \frac{\beta_1 r_x}{4X^{3/2}}.$$

由假设可知,  $\beta_1 r_x / (4X^{3/2}) > 0$ , 故  $H^{\text{sc}}$  是负定的。因此式(8)和式(9)为集中决策下的最优决策。

**结论 4** 集中决策下的  $X^{\text{sc}*}$  和总利润大于分散决策下的  $X^*$  和总利润, 集中决策下的  $T^{\text{sc}*}$  小于分散决策下的  $T^*$ 。

$$\text{证明} \quad X^{\text{sc}*} - X^* = \frac{r_x^4 (p + \omega)^2 p^2}{64} > 0,$$

$$T^{\text{sc}*} < T^*, \quad \pi^{\text{sc}*} > G[\pi_r(X)]^* + \pi_r^*.$$

由于  $T^{\text{sc}*}, T^*$  的函数解析式比较复杂, 不能直接进行比较, 证明部分将在数值分析时进行。结论 4 说明, 分散决策下生鲜零售商的最优运价  $X^*$ 、冷链物流供应商的最优保鲜努力程度  $(1 - T^*)$ 、总利润都小于集中决策的情况。此时需要制定一个契约进行协调, 使得生鲜零售商提高冷链广告费用, 冷链物流供应商增加保鲜努力程度, 以提高总利润。

## 3 双向成本共担契约协调

为提高冷链物流供应商保鲜效果、生鲜零售商冷链广告效果, 本文设计了一个双向成本共担契约协调。根据文献[27], 具有风险偏好的供应链必须达到协调状态的 3 个条件: ① 满足供应商风险限制; ② 供应链整体利润达到最大值; ③ 各方协调后收益不小于协调前。本契约制定: 生鲜

零售商分担冷链物流供应商  $Q^C$  倍的保鲜成本,冷链物流供应商分担生鲜零售商  $J^C$  倍的冷链广告费用。契约协调下冷链物流供应商的利润  $\pi_r^C$ ,生鲜零售商的利润  $\pi_i^C$  分别为:

$$\begin{aligned} \pi_r^C(X) &= (p-w)[m-k_p p + \epsilon \theta_0 \beta(1-T) + r_x \sqrt{X}] - (1-J^C)X - \frac{Q^C \beta_i (1-T)^2}{2}, \\ \pi_i^C(J, T) &= w[m-k_p p + \epsilon \theta_0 \beta(1-T) + r_x \sqrt{X} - J^C X] - (1-Q^C) \frac{\beta_i (1-T)^2}{2}. \end{aligned}$$

均值-CVaR 准则下的冷链物流供应商目标函数为:

$$\begin{aligned} G(\pi_i(J, T))^C &= \lambda_i [\omega(m-k_p p + r_x \sqrt{X}) - J^C X - (1-Q^C) \beta_i \frac{(1-T)^2}{2} + \omega M \theta_0 \beta(1-T)] + (1-\lambda_i) \times \\ &[\omega(m-k_p p + r_x \sqrt{X}) - J^C X - (1-Q^C) \beta_i \frac{(1-T)^2}{2} + \omega \theta_0 \beta(1-T) \frac{N}{\eta_1}]. \end{aligned}$$

**结论 5** 协调契约下,当保鲜成本分担比例  $Q^C$  和冷链广告费用分担比例  $J^C$  分别为  $Q^{C*}$  和  $J^{C*}$  时,分散决策供应链利润等于集中决策供应链利润。

$$J^{C*} = \frac{w}{p} \tag{10}$$

$$\begin{aligned} Q^{C*} &= \eta \epsilon (\eta - 1) (p - w) / \\ &[\epsilon (p - w) \eta^2 + ((\phi_1 + \epsilon) w - \epsilon p) \eta - N \lambda w] \end{aligned} \tag{11}$$

**证明** 对  $\pi_i^C(J, T)$  中的  $X$  求导,并令其等于 0,求解得到  $X^C$ 。令  $X^C = X^{SC*}$ ,得到  $J^{C*}$ 。

将  $J^{C*}$ 、 $X^{SC*}$  分别代入  $G(\pi_i(J, T))^C$ ,对  $T$  求导,并令其等于 0,得到  $T^{C*}$ ;令  $T^C = T^{SC*}$ ,得到  $Q^{C*}$ 。

$$\begin{aligned} X^{C*} &= \frac{(p-w)^2 r_x^2}{4(-1+J^C)^2}, \\ T^{C*} &= [\beta_i(Q^C-1)\eta^2 + ((1-Q^C)\beta_i + \omega\beta\theta_0(\phi_1))\eta - N\beta\lambda\theta_0 w] / \\ &[(1-\eta)\eta(1-Q^C)\beta_i]. \end{aligned}$$

由于涉及风险参数,  $\pi_i^{C*}$ 、 $\pi_r^{C*}$  的公式比较复杂,协调契约的有效性将在算例分析中进行分析。

**推论 5** 双向成本共担契约具有协调效果,且协调效果与冷链物流供应商决策者的风险态度无关。

**证明**  $\pi_r^{SC*} - \pi_r^{SC*} = [(\beta_i r_x^2 + 8\beta^2 \theta_0^2 \epsilon^2) \times$

$$(p-w)^2] / (16\beta_i) > 0.$$

由推论 5、式(10)、式(11)可知,契约协调效果  $\pi_r^{SC*} - \pi_r^{SC*}$  与风险态度无关,即不论供应商持何种风险态度,都能促进协调。虽然保鲜成本分担比例  $Q^{C*}$  与决策者风险态度有关,但  $Q^{C*}$  协调了最优运输时间的决策,消除了风险态度对协调效果的影响,且供应商决策者越是风险追逐,零售商会通过分担越少比例的保鲜成本来平衡风险。

### 4 算例分析

风险后公式比较复杂,难以直接通过公式比较得到相关结论,通过算例分析能更清晰直观地了解结论。本文通过算例分析讨论两点:一是风险态度的影响,二是契约对供应链的协调效果。本文对相关参数的设置分别参考文献[20]、文献[25]、文献[28]和文献[29],具体参数设置见表 2 所列。

表 2 参数取值

参数	$m$	$k_p$	$p$	$w$	$\theta_0$	$\beta$
取值	10	1.5	3	2	0.9	0.8
参数	$r_x$	$a$	$b$	$\beta_i$	$M$	$N$
取值	1.5	2	1	5	$2 \ln 2$	$\ln[4/(2-\eta)]$

#### 4.1 新鲜度敏感性对零售商利润的影响

消费者生鲜产品新鲜度敏感性对零售商利润的影响如图 1 所示。

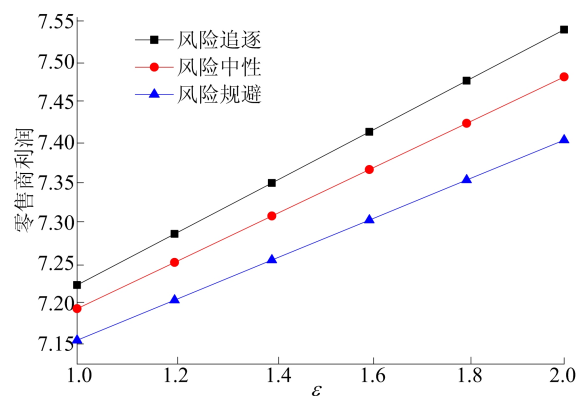


图 1 新鲜度敏感性对零售商利润的影响

从图 1 可以看出,消费者对生鲜产品的新鲜度敏感程度  $\epsilon$  作为  $(a, b)$  上的随机变量,与不具有风险态度的零售商的利润呈正相关,且风险态度越规避,斜率越小。无论冷链物流供应商对风险持何种态度,消费者对生鲜产品的新鲜度越敏感,

零售商的利润越高。面对新鲜度敏感性较高的消费群体,比如地处湿润气候、食品易腐烂的南方消费者,采用与冷链物流供应商合作的电子商务零售商能获得较高利润;采用冷链配送的电子商务零售平台可以通过强调新鲜度重要性,刺激消费者被动提高敏感性,收获更多利润。

#### 4.2 风险态度对契约协调前决策的影响

冷链物流供应商决策者风险态度对分散决策下和集中决策下的最优运输时间的影响如图 2 所示。冷链物流供应商决策者风险态度对供应链效率的影响如图 3 所示。

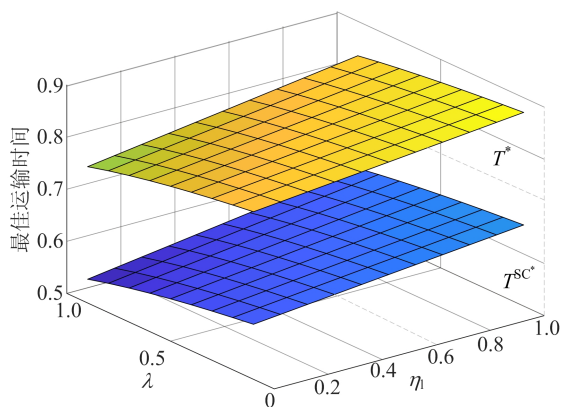


图 2 风险态度对不同决策下最优运输时间的影响

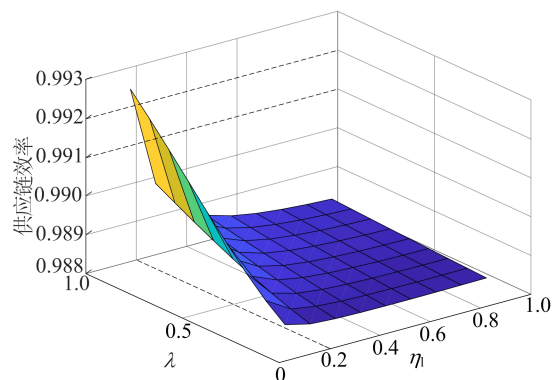


图 3 冷链物流供应商决策者风险态度对供应链效率的影响

从图 2 可以看出,  $\eta$  与  $T^*$ 、 $T^{SC*}$  成正比,  $\lambda$  与  $T^*$ 、 $T^{SC*}$  成反比。冷链物流供应商决策者的置信水平  $\eta$  越高, 冷链物流时间越短。悲观系数  $\lambda$  越高, 冷链物流时间越长; 即随着风险偏好上升, 冷链物流供应商会相应降低冷链物流速度。风险态度保守的冷链物流供应商会通过提高冷链物流速度, 使更多的消费者满意、促进市场需求、增加收入, 平衡风险; 反之, 激进的物流供应商会降低冷链投入。不论冷链物流供应商持何种风险态度, 分散决策下的最佳运输时间都低于集中决策下的情况。而运输时间越短, 运输速度越快, 才越有利

于生鲜供应链发展。由此可见, 集中决策下的运输情况更佳, 供应链需要协调。

从图 3 可以看出, 不论冷链物流供应商决策者持有何种风险态度, 分散决策下的供应链效率都小于 1; 但是当  $\eta < \lambda$  时, 图形相继达到高点, 即风险追逐时供应链效率较好。然而在现实生活中, 很少存在风险态度绝对追逐、不顾风险只专注于利润的供应商。分散决策下的供应链效果始终无法达到集中决策的效果, 这对生鲜零售商和冷链物流供应商来说都是不利的, 因此供应链需要协调。

#### 4.3 契约对供应链协调效果的影响

协调前、后冷链物流供应商决策者的风险态度对生鲜零售商利润的影响如图 4 所示。协调前、后冷链物流供应商决策者的风险态度对冷链物流供应商利润的影响如图 5 所示。

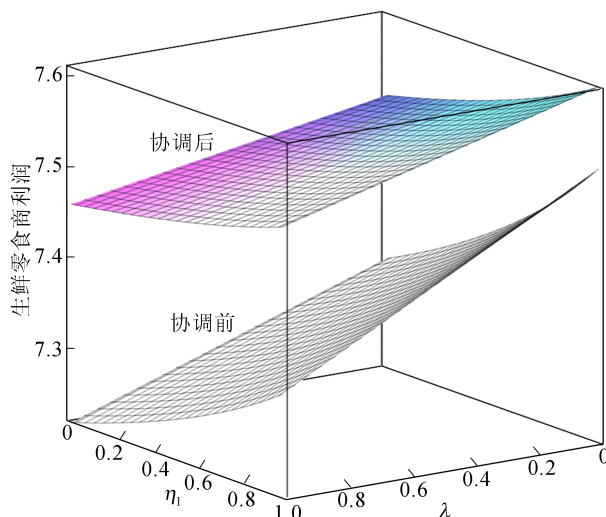


图 4 协调前、后风险态度对生鲜零售商利润的影响

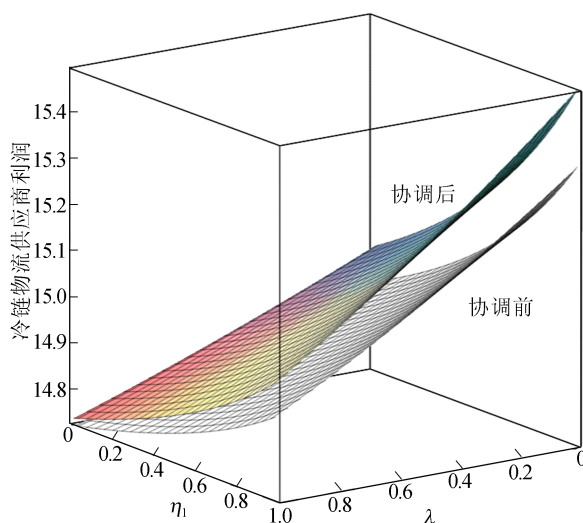


图 5 协调前、后风险态度对冷链物流供应商利润的影响

由图 4、图 5 可知,在不同置信水平和悲观程度组成的风险态度下,双向成本共担契约均起到了协调作用。冷链物流供应商决策者越趋向规避风险,契约对生鲜零售商利润的协调作用越显著;而契约对冷链物流供应商利润的协调作用在冷链物流供应商决策者趋向追逐风险时更显著。由此可见,在供应链合作中,面对具有风险态度的供应链成员,使用双向成本分担契约能够补贴双方的服务成本投入,使得双方的利润都得到改善,共同致力于生鲜供应链的发展。

## 5 结 论

针对电子商务环境下消费者新鲜度敏感性差异引起的不确定性问题,本文从冷链保鲜物流及冷链广告角度,对由风险中性的生鲜电子商务零售商和持有不同风险态度的冷链物流供应商组成的生鲜供应链协调问题进行研究。其中:具有不同风险态度的冷链物流供应商运用均值-CVaR 准则权衡自身利润与风险的关系,并对保鲜努力程度和冷链广告成本分担比例进行决策;生鲜电子商务零售商决策冷链广告费用。本文分析了不同风险态度对最优决策的影响,并制定了一个双向成本共担契约协调供应链。

研究表明:① 冷链物流供应商决策者愿意分担越多比例的广告费用,生鲜零售商越愿意投入更多的广告费用;② 随着冷链物流供应商决策者风险偏好的上升,其保鲜物流速度加快;③ 在置信水平不变的情况下,冷链物流供应商决策者态度越乐观,生鲜零售商和冷链物流供应商的利润越高;④ 分散决策下的生鲜零售商利润受冷链物流供应商风险态度影响较大,且无法达到集中决策下的利润,不利于供应链合作;⑤ 本文设计的契约能使供应链在冷链物流供应商风险限制的条件下,各方协调后的收益不小于协调前,供应链整体利润达到最大值,供应链成员在分散决策下达到帕累托最优,消除双重边际效应。

本文对生鲜产品的新鲜度刻画较为简单,实际上,产品新鲜度还受温度、湿度、本身特性等更多因素影响,未来可对其他因素影响的新鲜度问题进行研究。本文仅对生鲜交易的运输环节进行了讨论,并未考虑商品本身的定价决策,未来可对考虑商品定价的多级生鲜供应链进行研究。

## [参 考 文 献]

- [1] 马凤才,李春月. 消费者对电子商务平台销售生鲜产品满意度测算研究:基于京东生鲜在线评论的分析[J]. 价格理论与实践,2020(5):117-120.
- [2] 卫莉. 新零售模式下我国农产品冷链物流业的发展思考[J]. 中国储运,2021(2):100-101.
- [3] SABHARWAL S, GARG S. Determining cost effectiveness index of remanufacturing: a graph theoretic approach[J]. International Journal of Production Economics, 2013, 144(2):521-532.
- [4] KUNTER M. Coordination via cost and revenue sharing in manufacturer-retailer channels[J]. European Journal of Operational Research, 2012, 216(2):477-786.
- [5] 高丹,王义宝,陈敬文. 面向网络零售平台的合作广告策略研究[J]. 中国管理科学,2020,28(9):176-187.
- [6] 梁家密,易余胤,姜慧. 批发和代理模式下电商平台和制造商的联合广告决策[J]. 计算机集成制造系统,2022,28(3):2579-2591.
- [7] ZHENG Q, PETROS I, FAN T L Z. Supply chain contracting coordination for fresh products with fresh-keeping effort[J]. Industrial Management & Data Systems, 2017, 117(3):538-559.
- [8] 王淑云,范晓晴,马雪丽,等. 考虑商品新鲜度与量变损耗的三级冷链库存优化模型[J]. 系统管理学报,2020,29(2):409-416.
- [9] 余云龙,冯颖. 不同冷链服务模式下生鲜农产品供应链决策[J]. 中国管理科学,2021,29(9):135-143.
- [10] 张晓,安世阳. 保鲜成本分担下考虑零售商公平关切的生鲜品双渠道供应链协调[J]. 工业工程与管理,2021,26(3):15-22.
- [11] 喻登科,祁馨逸,徐兵. 生鲜农产品零售商的产品新鲜度信息披露及定价策略[J]. 江苏农业科学,2020,48(11):293-303.
- [12] HERBON A. Optimal piecewise-constant price under heterogeneous sensitivity to product freshness[J]. International Journal of Production Research, 2016, 54(2):365-385.
- [13] 傅少川,黄亚卿. 考虑风险规避的生鲜混合双渠道供应链协调研究[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版),2020,42(2):115-122.
- [14] 赵忠. 基于 CVaR 的生鲜农产品供应链协调与优化[J]. 系统工程,2018,36(10):111-117.
- [15] 慕永国,麦强,冯英俊. 供应链价格契约的均值-CVaR 模型[J]. 哈尔滨工业大学学报,2009,41(12):298-300.
- [16] 于春海,冯俏,荣冬玲. 基于均值-CVaR 的闭环供应链回购契约协调策略研究[J]. 运筹与管理,2020,29(6):58-64.
- [17] 陈宇科,熊龙,董景荣. 基于均值-CVaR 的闭环供应链协调机制[J]. 中国管理科学,2017,25(2):68-77.
- [18] TSIROS M, HEILMAN C M. The effect of expiration dates and perceived risk on purchasing behavior in grocery store perishable categories [J]. Journal of Marketing, 2005,69(2):114-126.
- [19] LIU W, WANG D, SHEN X. The impacts of distributional and peer-induced fairness concerns on the decision-making of order allocation in logistics service supply chain [J].

- Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2018, 116: 102-122.
- [20] 范辰, 张琼思, 陈一鸣. 新零售渠道整合下生鲜供应链的定价与协调策略[J]. 中国管理科学, 2022, 30(20): 118-126.
- [21] 刘墨林, 但斌, 马崧萱. 考虑保鲜努力与增值服务的生鲜电商供应链最优决策与协调[J]. 中国管理科学, 2020, 28(8): 76-88.
- [22] 洪雅兰. 有限产能下双渠道供应链的合作广告研究[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版), 2021, 43(1): 45-57.
- [23] ZHANG J H, XIE J X. A game theoretical study of cooperative advertising with multiple retailers in a distribution channel[J]. Journal of Systems Science and Systems Engineering, 2012, 21(1): 37-55.
- [24] 王淑云, 姜樱梅, 牟进进. 基于新鲜度的冷链一体化库存与定价联合决策[J]. 中国管理科学, 2018, 26(7): 132-141.
- [25] ZHANG Y, RONG F, WANG Z. Research on cold chain logistic service pricing based on tripartite Stackelberg game[J]. Neural Computing and Applications, 2018, 32(1): 213-222.
- [26] ROCKAFELLAR T, URYASEV S. Conditional value-at-risk for general loss distributions[J]. Journal of Banking & Finance 2002, 26(7): 1443-1471.
- [27] 杨兴林, 朱陈陈. 基于均值-CVaR 的供应链协调保险契约机制[J]. 江苏科技大学学报(自然科学版), 2014, 28(1): 63-69.
- [28] 曲优, 关志民, 叶同, 等. 基于混合 CVaR 的供应链绿色研发广告决策与协调机制研究[J]. 中国管理科学, 2018, 26(10): 89-101.
- [29] 谢家平, 梁玲, 杨光, 等. 互补型闭环供应链的收益共享与成本共担契约协调优化[J]. 中国管理科学, 2018, 26(8): 94-105.

(责任编辑 朱晓临)

**(上接第 1509 页)**

表 5 中:  $\theta_u$  为极限转角, 即  $\Delta_u$  对应的试件转角;  $\theta_y$  为屈服转角, 即  $\Delta_y$  对应的试件转角;  $\theta_p$  为塑性转角,  $\theta_p = \theta_u - \theta_y$ 。当  $\theta_p \geq 0.03 \text{ rad}$  时符合对刚节点的设计规定。由表 5 可知, 节点的塑性转动能力在正向与负向大致相同, 试件具有良好的转动能力。

**3 结 论**

本文基于滑移耗能思想, 提出一种多腔钢管混凝土 T 形柱 H 型钢梁装配节点, 并对其抗震性能指标进行数值模拟研究, 得到以下结论:

1) 多腔钢管混凝土 T 形柱 H 型钢梁装配节点的滞回曲线呈饱满的梭形, 抗震性能良好。节点在正、负向具有相似的力学性能与优异的转动能力, 具有震后可修复功能。

2) 腹板连接件可以提高节点初始刚度、屈服荷载与极限荷载, 同时使节点具有良好的延性。腹板连接件面积不宜过大, 应该与翼缘保持一定的缓冲距离。

3) 增大翼缘连接盖板厚度, 节点屈服荷载与极限荷载增加, 延性降低。建议连接盖板厚度取 12~14 mm, 使节点具有可靠的承载力与优异的变形能力。

**[参 考 文 献]**

- [1] 王冬花, 王静峰. 负弯矩作用下半刚性钢管混凝土组合节点

初始刚度计算[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2017, 40(9): 1231-1236.

- [2] 胡阳阳, 林旭川, 吴开来, 等. 带“保险丝”连接板的焊接高强度钢梁柱节点抗震性能试验研究[J]. 工程力学, 2017, 34(增刊 1): 143-148.
- [3] 张爱林, 郭志鹏, 刘学春, 等. 悬臂梁段不同拼接方式下延性节点静力性能分析[J]. 北京工业大学学报, 2017, 43(5): 770-779.
- [4] 左金洲, 王静峰, 邢文彬, 等. 圆钢管混凝土 Y 形节点极限承载力计算方法[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2018, 41(2): 216-222.
- [5] 王静峰, 郭翔, 张娜, 等. 单边螺栓连接圆中空夹层钢管混凝土柱节点拟静力试验研究[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2019, 42(8): 1095-1101.
- [6] 霍永伦, 王静峰, 郭磊, 等. 单边高强度螺栓连接圆形 CFDST 柱组合节点抗震试验与分析[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2021, 44(2): 222-229, 235.
- [7] 吴桐宇, 刘学春, 陈学森. 钢管混凝土 L 形柱-H 型钢梁 Z 字形节点抗震性能研究[J]. 工程力学, 2022, 39(增刊 1): 101-108.
- [8] 刘学春, MYONG HAK I, 陈学森, 等. L 形钢管混凝土柱-H 型钢梁 Z 字形拼接节点抗震性能研究[J]. 建筑结构, 2021, 51(23): 61-68.
- [9] 徐礼华, 刘胜兵, 温芳, 等. T 形钢管混凝土组合构件抗弯性能[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2009, 37(2): 117-120, 132.
- [10] Eurocode 3: design of steel structures: part 1-8: design of joints: EN 1993-1-8: 2005[S]. Brussels: European Committee for Standardization (CEN), 2005: 63.

(责任编辑 张淑艳)