

doi: 10.3969/j.issn.1007-7375.2023.01.005

# 线下体验服务和保鲜努力双重因素下生鲜电商 供应链决策与协调研究

周涛, 孟祥倩, 陶明

(山东理工大学 管理学院, 山东 淄博 255012)

**摘要:** 线下体验服务和保鲜努力投入是影响生鲜电商供应链绩效水平的关键因素。同时考虑线下体验服务和保鲜努力水平, 构建生鲜电商供应链决策模型, 对集中决策和分散决策下供应链绩效进行比较, 在此基础上, 设计“双向成本分摊”和“双向成本分摊+收益共享”契约, 并验证契约协调的可行性。通过数值仿真, 对供应链协调前后最优决策变化以及参数灵敏度影响进行分析。研究发现: 1) 集中决策、分散决策最优解均与体验服务敏感系数、新鲜度敏感系数呈正相关关系, 且集中决策最优解优于分散决策; 2) “双向成本分摊”契约可使得体验服务和保鲜努力均达到集中决策水平, 但供应链总利润未得到改善; “双向成本分摊+收益共享”契约实现了供应链完美协调, 各主体利润均得到帕累托改善。

**关键词:** 保鲜努力水平; 体验服务水平; 生鲜电商; 供应链契约协调

中图分类号: F274

文献标志码: A

文章编号: 1007-7375(2023)01-0041-11

## Research on Decision-making and Coordination of Fresh E-commerce Supply Chain Under the Dual Factors of Offline Experience Service and Fresh-keeping Efforts

ZHOU Tao, MENG Xiangqian, TAO Ming

(Management School, Shandong University of Technology, Zibo 255012, China)

**Abstract:** Using the game theory method and considering the existence of dual factors of offline experience service and fresh-keeping efforts, a study was conducted on a two-level fresh e-commerce supply chain composed of agricultural product suppliers and e-commerce platform. And the optimal decision of each member of fresh e-commerce supply chain under centralized decision and decentralized decision was obtained. The analysis results show that the optimal solution of centralized decision-making is better than decentralized decision-making, and the optimal target value of the supply chain under the two modes is directly proportional to the experience service sensitivity coefficient and freshness sensitivity coefficient, indicating that improving the offline service level and fresh-keeping efforts is the key to improving the performance of the supply chain. By proposing a "two-way cost sharing" contract, the experience service and preservation efforts can reach the centralized decision-making level, but the total profit of the supply chain has not been improved. On this basis, by proposing the contract of "two-way cost sharing + revenue sharing", the perfect coordination and Pareto improvement of supply chain are realized. And the validity of the contract is verified by a numerical analysis.

**Key words:** fresh-keeping effort level; experience service level; fresh e-commerce; supply chain contract coordination

伴随着互联网的快速发展以及消费方式的变化升级, 消费者对生活品质提出更高要求, 更加注重

购物体验感, 传统以产品为核心的电商经营模式已无法适应当前消费需求<sup>[1]</sup>, 迫切需要电商供应链对

收稿日期: 2021-11-10

基金项目: 教育部规划基金资助项目 (19YJA630126)

作者简介: 周涛 (1973—), 男, 山东省人, 教授, 博士, 主要研究方向为物流与供应链管理。

资源进行整合,通过线上线下融合,提升农产品保鲜水平,增强消费者体验感。如盒马鲜生采取“线下体验、线上消费”的O2O模式,线下体验店功能进一步加强,使消费者对线上生鲜农产品信任度提升,购买意愿不断增强。而易果生鲜作为苏宁生鲜的核心供应商,为其线上订单提供保鲜配送,双方建立稳定的互赢合作关系。由此可见,多数生鲜电商供应链系统中,体验服务与保鲜努力分别由不同主体承担,双方合作过程中是否会依赖对方努力而选择搭便车行为?双方各自追求自身利益最大化,是否导致供应链整体绩效降低?供应链各主体同时努力投入情境下,各方利益如何协调?此等问题值得探讨。

消费者对于产品的满意度受线下体验服务水平影响,有关线下体验服务的研究已引起学者们广泛关注。Bell等<sup>[2]</sup>以眼镜电商和男士服装电商为例研究“线下体验、线上购买”O2O模式的价值,认为该模式能向顾客传递产品信息并提高顾客品牌认知度。Wang等<sup>[3]</sup>研究发现,线下体验店的建立对渠道替代和需求互补起到积极影响。卢亭宇等<sup>[4]</sup>运用扎根理论和数据分析法,对网购情境下消费者线下体验行为的影响因素进行研究。目前,涉及线下体验相关变量模型的研究主要集中在线下体验对消费者行为和供应链各主体最优决策影响方面。例如,Gao等<sup>[5]</sup>构建消费者效用函数模型,研究线下体验店对供应链各主体决策的影响。Zhou等<sup>[6]</sup>采用两种不同定价方案,研究线下服务搭便车现象如何影响供应链各成员的最优决策问题。陈志松等<sup>[7]</sup>对比分析线下体验服务在内的4种模式,发现线上线下融合模式能有效提升供应链各主体利润。

消费者购买除受线下体验服务水平影响外,更注重农产品品质,而保鲜努力水平是影响农产品品质的关键因素。Cai等<sup>[8]</sup>发现消费者对生鲜农产品的新鲜度很敏感,TPL提供的保鲜努力水平影响市场需求量,进而影响三级生鲜供应链整体绩效。Huang等<sup>[9]</sup>认为,保鲜努力投入有利于供应链各主体利润提高,零售商为追求自身利益最大化,使得其保鲜努力水平低于集中决策。张琴义等<sup>[10]</sup>研究保鲜努力下消费者购买行为最优决策,并通过设计契约合同实现供应链利益协调分配。

为了有效提升供应链的保鲜努力以及体验水平,学者们主要采用契约协调机制对其进行调节。Zheng等<sup>[11]</sup>在考虑零售商保鲜努力投入基础上,设

计“保鲜成本共担+收益共享”契约来协调供应链利润。张旭梅等<sup>[12]</sup>研究存在线下体验店的O2O供应链佣金契约设计问题,并分析退货率、消费者退货成本等因素对佣金契约参数的影响。曹晓宁等<sup>[13]</sup>考虑保鲜努力对生鲜双渠道供应链的影响,提出3种不同契约均可实现供应链协调。周涛等<sup>[14]</sup>研究三方动态博弈演变与稳定性策略分析,提出成员间可以进行双向激励机制。Ma等<sup>[15]</sup>指出各主体企业间只有充分考虑成本分担才能实现供应链完美协调。

综上所述,已有研究主要存在以下两点不足:1)大多从体验服务或保鲜努力水平单一因素角度研究供应链绩效和协调问题,而从体验服务和保鲜努力水平两种行为因素交互影响角度对供应链协调问题的研究还较少;2)主要研究单一成本分摊或利润补偿的契约协调问题,较少涉及双向成本分摊和利润补偿的混合契约协调问题。因此,同时考虑各主体努力水平,构建“双向成本分摊”和“双向成本分摊+收益共享”契约,并探寻电商供应链最优决策的研究更具现实意义。

## 1 问题描述与模型假设

### 1.1 问题描述

本文以一个生鲜农产品供应商(S)和一个生鲜电商平台(E)以及终端消费者组成的二级供应链系统为研究对象。其中,农产品供应商负责产品供应以及保鲜工作,电商平台负责产品销售工作。首先电商平台发布农产品展示信息,消费者浏览信息产生购买意愿,然后在电商平台指引下线下体验,满意后线上提交购买订单,电商平台汇总消费者订单向供应商集中发布采购订单,最后供应商依据订单向消费者配送生鲜农产品,如图1所示。

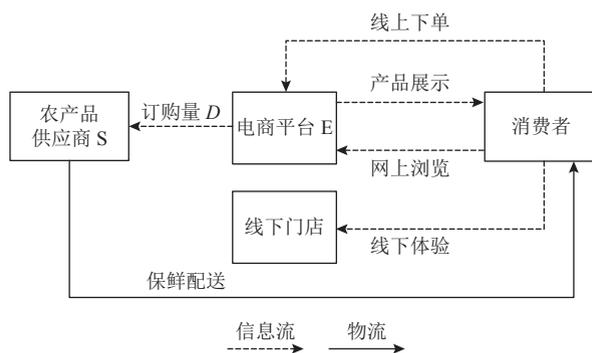


图1 生鲜电商供应链运营模式

Figure 1 Operation mode of fresh e-commerce supply chain

## 1.2 变量说明

变量说明见表1。

表1 变量说明  
Table 1 Variable description

符号	变量名称
$a$	市场初始需求量
$b$	价格敏感系数
$p$	电商平台单位销售价格
$\gamma$	体验水平敏感系数
$s$	线下体验水平
$\eta$	农产品新鲜度敏感系数
$\tau$	供应商保鲜努力水平
$\omega$	供应商批发价格
$c_1$	供应商单位生产成本
$c_2$	供应商单位物流配送成本
$k_1$	保鲜成本系数
$k_2$	体验成本系数
$\phi$	收益共享比例
$\rho$	保鲜成本分摊比例
$\mu$	体验成本分摊比例
$\Pi_S^{is}$	各模式下供应商最优利润, $i = M, K, T$
$\Pi_E^{is}$	各模式下电商平台最优利润, $i = M, K, T$
$\Pi^{is}$	各模式下供应链最优总利润, $i = C, M, K, T$

## 1.3 模型假设

**假设1** 农产品供应商和电商平台都是理性经济人且为风险中性。

**假设2** 生鲜农产品新鲜度受保鲜努力水平影响, 参照文献[16]构建生鲜农产品新鲜度函数  $\theta = \theta_0\tau$ , 其中,  $\theta_0 > 0$  表示新鲜度对保鲜努力水平的敏感系数。

**假设3** 生鲜农产品市场需求量受到产品价格、新鲜度和体验水平影响, 构建需求量函数  $D = a - bp + \gamma s + \eta\theta_0\tau$ ,  $a, b, \gamma, \eta, \tau$  均大于0且为常数。

**假设4** 参照文献[17], 农产品供应商提供保鲜努力会付出相应投入成本, 假设保鲜成本投入函数为  $c(\tau) = k_1\tau^2/2$ , 其中,  $k_1 > 0$ 。此外, 电商平台提供线下体验服务会付出相应投入成本, 假设体验服务投入成本函数为  $c(s) = k_2s^2/2$ , 其中,  $k_2 > 0$ 。

## 2 生鲜电商供应链决策分析

### 2.1 集中决策分析 (C)

集中决策下, 将农产品供应商与电商平台视作

一个整体, 从供应链系统利润最大化角度考虑, 统一决策生鲜农产品销售价格  $p$ 、体验水平  $s$  与保鲜努力水平  $\tau$ 。

集中决策下生鲜电商供应链利润函数为

$$\begin{aligned} \Pi^C &= (p - c_1 - c_2)D - c(\tau) - c(s) = \\ &= (p - c_1 - c_2)(a - bp + \gamma s + \eta\theta_0\tau) - \frac{1}{2}k_1\tau^2 - \frac{1}{2}k_2s^2. \end{aligned} \quad (1)$$

由式(1)分别对  $p$ 、 $s$  和  $\tau$  求一阶偏导得

$$\frac{\partial \Pi^C}{\partial p} = a + b(c_1 + c_2) - 2bp + \gamma s + \eta\tau\theta_0; \quad (2)$$

$$\frac{\partial \Pi^C}{\partial s} = [p - (c_1 + c_2)]\gamma - sk_2; \quad (3)$$

$$\frac{\partial \Pi^C}{\partial \tau} = -\tau k_1 + \eta\theta_0(p - c_1 - c_2). \quad (4)$$

可得海塞矩阵为

$$\mathbf{H} = \begin{pmatrix} -2b & \gamma & \eta\theta_0 \\ \gamma & -k_2 & 0 \\ \eta\theta_0 & 0 & -k_1 \end{pmatrix}.$$

由于  $|\mathbf{H}|$  一阶主子式  $-2b < 0$ , 二阶主子式  $2bk_2 - \gamma^2 > 0$ , 当三阶主子式  $k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2 \theta_0^2 < 0$  时, 海塞矩阵为负定。此时, 供应链利润函数是  $p$ 、 $s$ 、 $\tau$  的联合凹函数, 且存在最优解。

令式(2)~(4)等于0, 联立方程, 求得集中决策下生鲜电商供应链的最优决策与最优利润分别为

$$p^{C*} = (c_1 + c_2) - \frac{k_1 k_2 [a - b(c_1 + c_2)]}{k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2 \theta_0^2}; \quad (5)$$

$$s^{C*} = \frac{\gamma k_1 [-a + b(c_1 + c_2)]}{k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2 \theta_0^2}; \quad (6)$$

$$\tau^{C*} = \frac{\eta k_2 \theta_0 [-a + b(c_1 + c_2)]}{k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2 \theta_0^2}; \quad (7)$$

$$D^{C*} = -\frac{b[a - b(c_1 + c_2)]k_1 k_2}{k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2 \theta_0^2}; \quad (8)$$

$$\Pi^{C*} = -\frac{k_1 k_2 [a - b(c_1 + c_2)]^2}{2[k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2 \theta_0^2]}. \quad (9)$$

### 2.2 分散决策分析 (M)

分散决策下, 农产品供应商和电商平台作为不同个体独立决策, 农产品供应商为主导者、电商平台为跟随者的Stackelberg博弈顺序为农产品供应商首先确立批发价格  $\omega$  和保鲜努力水平  $\tau$ , 使自身利润  $\Pi_S$  最大化; 电商平台依据供应商决策确立销售价格

$p$ 和体验水平 $s$ 使自身利润 $\Pi_E$ 最大化。采用逆序求解法求解该模型。

此时, 电商平台利润函数为

$$\Pi_E^M = (p - \omega)D - c(s) = (p - \omega)(a - bp + \gamma s + \eta\theta_0\tau) - \frac{1}{2}k_2s^2. \quad (10)$$

农产品供应商利润函数为

$$\Pi_S^M = (\omega - c_1 - c_2)D - c(\tau) = (\omega - c_1 - c_2)(a - bp + \gamma s + \eta\theta_0\tau) - \frac{1}{2}k_1\tau^2. \quad (11)$$

对式(10)求关于 $p$ 和 $s$ 的一阶导数。

$$\frac{\partial \Pi_E^M}{\partial p} = a - 2bp + b\omega + s\gamma + \eta\tau\theta_0; \quad (12)$$

$$\frac{\partial \Pi_E^M}{\partial s} = (p - \omega)\gamma - sk_2. \quad (13)$$

可得海塞矩阵为 $\mathbf{H} = \begin{pmatrix} -2b\gamma \\ \gamma - k_2 \end{pmatrix}$ 。由于 $-2b < 0$ , 当 $|\mathbf{H}| = 2bk_2 - \gamma^2 > 0$ 时, 海塞矩阵负定, 电商平台利润函数是 $p$ 和 $s$ 的联合凹函数,  $p$ 和 $s$ 有唯一最优值。令式(12)和(13)等于0, 可得 $p^{M*} = \frac{\omega\gamma^2 - k_2(a + b\omega + \eta\tau\theta_0)}{\gamma^2 - 2bk_2}$ ;  $s^{M*} = \frac{\gamma(-a + b\omega - \eta\tau\theta_0)}{\gamma^2 - 2bk_2}$ 。将 $p^{M*}$ 和 $s^{M*}$ 代入式(11)中, 并分别对 $\omega$ 和 $\tau$ 求一阶导数。

$$\frac{\partial \Pi_S^M}{\partial \omega} = \frac{bk_2[a + b(c_1 + c_2 - 2\omega) + \eta\tau\theta_0]}{-\gamma^2 + 2bk_2}; \quad (14)$$

$$\frac{\partial \Pi_S^M}{\partial \tau} = -\tau k_1 + \frac{b(c_1 + c_2 - \omega)\eta k_2 \theta_0}{\gamma^2 - 2bk_2}. \quad (15)$$

可得海塞矩阵为

$$\mathbf{H} = \begin{pmatrix} -\frac{2b^2k_2}{-\gamma^2 + 2bk_2} & \frac{b\eta k_2 \theta_0}{-\gamma^2 + 2bk_2} \\ \frac{b\eta k_2 \theta_0}{-\gamma^2 + 2bk_2} & -k_2 \end{pmatrix}.$$

由于 $-\frac{2b^2k_2}{-\gamma^2 + 2bk_2} < 0$ , 当 $2b^2k_2 + k_1(\gamma^2 - 2bk_2) < 0$ 时,  $|\mathbf{H}| > 0$ , 海塞矩阵负定, 利润函数是 $\omega$ 和 $\tau$ 的联合凹函数,  $\omega$ 和 $\tau$ 有唯一最优值。令式(14)和(15)等于0, 可得

$$\omega^{M*} = -\{[a + b(c_1 + c_2)]k_1(-\gamma^2 + 2bk_2) - b(c_1 + c_2)\eta^2 k_2 \theta_0^2\} / \{b[2k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2 \theta_0^2]\}; \quad (16)$$

$$\tau^{M*} = -\frac{[a - b(c_1 + c_2)]\eta k_2 \theta_0}{2k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2 \theta_0^2}. \quad (17)$$

将式(16)、(17)分别代入 $p^{M*}$ 和 $s^{M*}$ 可得

$$p^{M*} = \{-k_1[-(a + b(c_1 + c_2))\gamma^2 + b(3a + b(c_1 + c_2))k_2] - b(c_1 + c_2)\eta^2 k_2 \theta_0^2\} / \{b[2k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2 \theta_0^2]\}; \quad (18)$$

$$s^{M*} = \frac{[-a + b(c_1 + c_2)]\gamma k_1}{2k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2 \theta_0^2}; \quad (19)$$

$$D^{M*} = -\frac{b[a - b(c_1 + c_2)]k_1 k_2}{2k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2 \theta_0^2}. \quad (20)$$

因此, 分散决策下, 农产品供应商、电商平台和整条供应链利润分别为

$$\Pi_S^{M*} = \frac{[a - b(c_1 + c_2)]^2 k_1 k_2}{-4k_1(\gamma^2 - 2bk_2) - 2\eta^2 k_2 \theta_0^2}; \quad (21)$$

$$\Pi_E^{M*} = \frac{[a - b(c_1 + c_2)]^2 k_1 k_2 (-\gamma^2 + 2bk_2)}{2[2k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2 \theta_0^2]}; \quad (22)$$

$$\Pi^{M*} = -\frac{[a - b(c_1 + c_2)]^2 k_1 k_2 [3k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2 \theta_0^2]}{2[2k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2 \theta_0^2]}. \quad (23)$$

### 2.3 模型对比分析

通过对集中决策和分散决策模式下的最优决策进行敏感度参数分析, 可得命题1和命题2。

#### 命题1

$$1) \frac{\partial p^{M*}}{\partial \eta} > 0, \frac{\partial s^{M*}}{\partial \eta} > 0, \frac{\partial \tau^{M*}}{\partial \eta} > 0, \frac{\partial D^{M*}}{\partial \eta} > 0; \frac{\partial p^{C*}}{\partial \eta} > 0, \frac{\partial s^{C*}}{\partial \eta} > 0, \frac{\partial \tau^{C*}}{\partial \eta} > 0, \frac{\partial D^{C*}}{\partial \eta} > 0. \\ 2) \frac{\partial \Pi^{M*}}{\partial \eta} > 0; \frac{\partial \Pi^{C*}}{\partial \eta} > 0.$$

#### 证明

1) 由于 $a - b(c_1 + c_2) > 0$ ,

$$\frac{\partial p^{M*}}{\partial \eta} = \frac{2[a - b(c_1 + c_2)]\gamma k_1 k_2 (2bk_1 + \eta^2 \theta_0^2)}{b[2k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2 \theta_0^2]^2} > 0,$$

显然成立。同理可得,

$$\frac{\partial s^{M*}}{\partial \eta} = \frac{2[a - b(c_1 + c_2)]\gamma \eta k_1 k_2 \theta_0^2}{[2k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2 \theta_0^2]^2} > 0;$$

$$\frac{\partial \tau^{M*}}{\partial \eta} = \frac{[a - b(c_1 + c_2)]k_2 \theta_0 [-2k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2 \theta_0^2]}{[2k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2 \theta_0^2]^2} > 0;$$

$$\frac{\partial D^{M*}}{\partial \eta} = \frac{2b[a - b(c_1 + c_2)]\eta k_1 k_2 \theta_0^2}{[2k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2 \theta_0^2]^2} > 0.$$

均显然成立。

$$\frac{\partial p^{C*}}{\partial \eta} = \frac{2[a - b(c_1 + c_2)]\eta k_1 k_2 \theta_0^2}{[k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2 \theta_0^2]^2} > 0;$$

$$\frac{\partial s^{C*}}{\partial \eta} = \frac{2[a - b(c_1 + c_2)]\gamma \eta k_1 k_2 \theta_0^2}{[k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2 \theta_0^2]^2} > 0;$$

$$\frac{\partial \tau^{C^*}}{\partial \eta} = \frac{[a - b(c_1 + c_2)]k_2\theta_0[-k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2\theta_0^2]}{[k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2\theta_0^2]^2} > 0;$$

$$\frac{\partial D^{C^*}}{\partial \eta} = \frac{2b[a - b(c_1 + c_2)]\eta k_1 k_2^2 \theta_0^2}{[k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2\theta_0^2]^2} > 0.$$

均显然成立。

2) 因为  $k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2\theta_0^2 < 0$ , 所以  $4k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2\theta_0^2 < 0$ ,

$$\frac{\partial \Pi^{M^*}}{\partial \eta} = \frac{[a - b(c_1 + c_2)]^2 \eta k_1^2 k_2 \theta_0^2 [4k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2\theta_0^2]}{(2k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2\theta_0^2)^3} > 0;$$

$$\frac{\partial \Pi^{C^*}}{\partial \eta} = \frac{[a - b(c_1 + c_2)]^2 \eta k_1 k_2^2 \theta_0^2}{[k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2\theta_0^2]^2} > 0.$$

显然成立。

命题1表明, 在集中决策和分散决策下, 产品销售价格、体验服务水平、保鲜努力水平、市场需求量以及供应链总利润均与新鲜度敏感系数成正比。新鲜度敏感系数增大, 说明消费者对产品新鲜度要求更高, 供应链必然会加大保鲜努力水平投入来提高农产品新鲜度, 致使农产品销售价格和线下体验服务水平提高, 而农产品新鲜度提高又促使市场需求量增大, 最终使得供应链利润得到提升。因此, 积极加大农产品保鲜努力投入, 不断满足消费者对新鲜农产品高品质需求, 可实现供应链综合绩效提升。

### 命题2

$$1) \frac{\partial p^{M^*}}{\partial \gamma} > 0, \frac{\partial s^{M^*}}{\partial \gamma} > 0, \frac{\partial \tau^{M^*}}{\partial \gamma} > 0, \frac{\partial D^{M^*}}{\partial \gamma} > 0; \frac{\partial p^{C^*}}{\partial \gamma} > 0, \frac{\partial s^{C^*}}{\partial \gamma} > 0, \frac{\partial \tau^{C^*}}{\partial \gamma} > 0, \frac{\partial D^{C^*}}{\partial \gamma} > 0.$$

$$2) \frac{\partial \Pi^{M^*}}{\partial \gamma} > 0; \frac{\partial \Pi^{C^*}}{\partial \gamma} > 0.$$

证明过程同上, 略。

命题2表明, 在集中决策和分散决策下, 产品最优销售价格、体验服务水平、保鲜努力水平、市场需求量以及供应链总利润均与体验水平敏感系数成正比。体验水平高低受体验环境和产品品质两方面因素影响。体验水平敏感系数增大, 说明消费者对线下优质服务和农产品新鲜度要求更高, 供应链必然会加大线下体验成本投入来增强消费者体验感, 致使产品销售价格提升, 而消费者体验感的增强又促使市场需求量增大, 最终使得供应链利润得到提升。因此, 努力加大线下体验服务投入, 积极引导消费者参与线下服务体验, 可实现供应链综合绩效提升。

通过对集中决策和分散决策模式下的最优决策进行对比分析, 可得命题3。

### 命题3

- 1) 最优销售价格满足  $p^{M^*} > p^{C^*}$ ;
- 2) 最优保鲜努力水平满足  $\tau^{C^*} > \tau^{M^*}$ ;
- 3) 最优体验水平满足  $s^{C^*} > s^{M^*}$ ;
- 4) 最优市场需求量满足  $D^{C^*} > D^{M^*}$ ;
- 5) 最优供应链总利润满足  $\Pi^{C^*} > \Pi^{M^*}$ 。

### 证明

1)  $p^{M^*} - p^{C^*} = [a - b(c_1 + c_2)]k_1(\gamma^2 - 2bk_2)[k_1(\gamma^2 - bk_2) + \eta^2 k_2\theta_0^2] / \{b[k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2\theta_0^2][2k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2\theta_0^2]\}$ 。由于  $k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2\theta_0^2 < 0$ ,  $a - b(c_1 + c_2) > 0$ , 当  $k_1(\gamma^2 - bk_2) + \eta^2 k_2\theta_0^2 < 0$  时,  $p^{M^*} > p^{C^*}$  成立。

2)  $\tau^{C^*} - \tau^{M^*} = [a - b(c_1 + c_2)]\eta k_1 k_2 (-\gamma^2 + 2bk_2)\theta_0 / \{[k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2\theta_0^2][2k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2\theta_0^2]\} > 0$ , 显然成立。

3)  $s^{C^*} - s^{M^*} = [a - b(c_1 + c_2)]\gamma k_1 k_2 (2bk_1 - \eta^2 \theta_0^2) / \{[k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2\theta_0^2][k_1(\gamma^2 - 4bk_2) + 2\eta^2 k_2\theta_0^2]\} > 0$ , 显然成立。

4)  $D^{C^*} - D^{M^*} = b[-a + b(c_1 + c_2)]k_1^2 k_2 (\gamma^2 - 2bk_2) / \{[k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2\theta_0^2][2k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2\theta_0^2]\} > 0$ , 显然成立。

5)  $\Pi^{C^*} - \Pi^{M^*} = -[a - b(c_1 + c_2)]^2 k_1^2 k_2 (\gamma^2 - 2bk_2)^2 / \{2[k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2\theta_0^2][2k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2\theta_0^2]^2\} > 0$ , 显然成立。

命题3表明, 除销售价格之外, 集中决策下产品保鲜努力水平、线下体验水平、市场需求量以及供应链总利润均大于分散决策。集中决策下, 农产品供应商和电商平台视作一体, 以供应链整体利润最大化为目标, 两者紧密合作积极提升保鲜努力水平和体验服务水平, 降低市场销售价格, 使消费者享受到更优惠的价格、更新鲜的产品和更优质的体验服务, 从而激发消费热情, 使市场需求量得到提升, 供应链总体利润得到改善。分散决策下, 农产品供应商作为主导者, 首先提高批发价格和降低保鲜努力水平投入追求自身利益最大化; 电商平台作为跟随者, 依据供应商最优决策, 提高销售价格和降低体验服务水平投入追求自身利益最大化。此时, 消费者购买价格更高, 获得产品新鲜度和体验服务更差, 从而导致消费意愿降低, 市场需求量下降, 供应链总利润较低。因此, 分散决策下受双重边际效应影响, 供应链整体利润未能达到帕累托最优,

需要设计合理的契约协调机制对供应链利润进行改善。

### 3 生鲜电商供应链契约协调

#### 3.1 “双向成本分摊”契约协调 (K)

基于O2O模式的生鲜电商供应链中,农产品供应商加大保鲜努力投入,可为电商平台提升线下体验服务水平提供品质保障,因此电商平台有动机为其分摊部分保鲜投入成本。另外,电商平台提供线下体验线上购买服务,吸引更多消费者产生购买行为,促使农产品供应商销量增加,因此农产品供应商同样有动机分摊部分体验投入成本。基于此,研究提出“双向成本分摊”契约 $K(\mu, \rho)$ ,即农产品供应商分摊 $\mu(0 \leq \mu < 1)$ 比例的体验成本,电商平台分摊 $\rho(0 \leq \rho < 1)$ 比例的保鲜投入成本。在“双向成本分摊”契约下,农产品供应商和电商平台利润分别为

$$\Pi_S^K = (\omega - c_1 - c_2)(a - bp + \gamma s + \eta\theta_0\tau) - \frac{(1-\rho)}{2}k_1\tau^2 - \frac{\mu}{2}k_2s^2; \quad (24)$$

$$\Pi_E^K = (p - \omega)(a - bp + \gamma s + \eta\theta_0\tau) - \frac{(1-\mu)}{2}k_2s^2 - \frac{\rho}{2}k_1\tau^2. \quad (25)$$

采用逆序求解法求得各主体最优决策如下。

$$\omega^{K^*} = \{(-1 + \rho)k_1[\gamma^2(b(c_1 + c_2)(-1 + \mu) + a(-1 + 2\mu)) + 2b(a + b(c_1 + c_2))(-1 + \mu)^2k_2] + b(c_1 + c_2)\eta^2(-1 + \mu)^2k_2\theta_0^2\} / \{b[(-1 + \rho)k_1[\gamma^2(-2 + 3\mu) + 4b(-1 + \mu)^2k_2] + \eta^2(-1 + \mu)^2k_2\theta_0^2]\}; \quad (26)$$

$$\tau^{K^*} = \frac{[a - b(c_1 + c_2)]\eta(-1 + \mu)^2k_2\theta_0}{(-1 + \rho)k_1[\gamma^2(-2 + 3\mu) + 4b(-1 + \mu)^2k_2] + \eta^2(-1 + \mu)^2k_2\theta_0^2}; \quad (27)$$

$$p^{K^*} = \{(-1 + \rho)k_1[\gamma^2(b(c_1 + c_2)(-1 + \mu) + a(-1 + 2\mu)) + b(3a + b(c_1 + c_2))(-1 + \mu)^2k_2] + b(c_1 + c_2)\eta^2(-1 + \mu)^2k_2\theta_0^2\} / \{b[(-1 + \rho)k_1(\gamma^2(-2 + 3\mu) + 4b(-1 + \mu)^2k_2) + \eta^2(-1 + \mu)^2k_2\theta_0^2]\}; \quad (28)$$

$$s^{K^*} = -[a - b(c_1 + c_2)]\gamma(-1 + \mu)(-1 + \rho)k_1 / \{(-1 + \rho)k_1[\gamma^2(-2 + 3\mu) + 4b(-1 + \mu)^2k_2] + \eta^2(-1 + \mu)^2k_2\theta_0^2\}; \quad (29)$$

$$\Pi_S^{K^*} = [a - b(c_1 + c_2)]^2(-1 + \mu)^2(-1 + \rho)k_1k_2 / \{2[(-1 + \rho)k_1(\gamma^2(-2 + 3\mu) + 4b(-1 + \mu)^2k_2) + \eta^2(-1 + \mu)^2k_2\theta_0^2]\}; \quad (30)$$

$$\Pi_E^{K^*} = [a - b(c_1 + c_2)]^2(-1 + \mu)^3k_1k_2[(-1 + \rho)^2k_1(\gamma^2 + 2b(-1 + \mu)k_2) - \eta^2(-1 + \mu)\rho k_2\theta_0^2] / \{2[(-1 + \rho)k_1(\gamma^2(-2 + 3\mu) + 4b(-1 + \mu)^2k_2) + \eta^2(-1 + \mu)^2k_2\theta_0^2]\}; \quad (31)$$

$$\Pi_S^{K^*} = [a - b(c_1 + c_2)]^2(-1 + \mu)^3k_1k_2[(-1 + \rho)^2k_1(\gamma^2 + 2b(-1 + \mu)k_2) - \eta^2(-1 + \mu)\rho k_2\theta_0^2] / \{2[(-1 + \rho)k_1(\gamma^2(-2 + 3\mu) + 4b(-1 + \mu)^2k_2) + \eta^2(-1 + \mu)^2k_2\theta_0^2]\}. \quad (32)$$

实现最优协调的必要条件为契约决策与集中决策一致,故采用如下协调等式。

$$\begin{cases} \tau^{K^*} = \tau^{C^*}; \\ s^{K^*} = s^{C^*}. \end{cases} \quad (33)$$

通过求解,可得供应链各主体最优决策分摊比例为 $\rho = \mu = \frac{1}{2}$ 。

将最优分摊比例代入各主体最优决策,可得

$$p^{K^*} = (c_1 + c_2) - \frac{3[a - b(c_1 + c_2)]k_1k_2}{2[k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2k_2\theta_0^2]}; \quad (34)$$

$$\omega^{K^*} = (c_1 + c_2) - \frac{k_1k_2[a - b(c_1 + c_2)]}{k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2k_2\theta_0^2}; \quad (35)$$

$$\Pi_S^{K^*} = -\frac{[a - b(c_1 + c_2)]^2k_1k_2}{4[k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2k_2\theta_0^2]}; \quad (36)$$

$$\Pi_E^{K^*} = \frac{[a - b(c_1 + c_2)]^2k_1k_2[k_1(-\gamma^2 + bk_2) - \eta^2k_2\theta_0^2]}{4[k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2k_2\theta_0^2]^2}; \quad (37)$$

$$\Pi^{K^*} = \frac{[a - b(c_1 + c_2)]^2k_1k_2[k_1(-2\gamma^2 + 3bk_2) - 2\eta^2k_2\theta_0^2]}{4[k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2k_2\theta_0^2]^2}. \quad (38)$$

通过对“双向成本分摊”契约下最优决策的分析,并与分散决策进行比较,可得命题4。

#### 命题4

1) 当分摊比例 $\rho = \mu = 1/2$ 时,契约协调下最优保鲜努力水平和体验水平分别与无成本分摊下集中决策一致。

2)  $\omega^{K^*} = p^{C^*} > \omega^{M^*}$ ,  $p^{K^*} > p^{M^*} > p^{C^*}$ ,  $\Pi_S^{K^*} > \Pi_S^{M^*}$ ,  $\Pi_E^{K^*} < \Pi_E^{M^*}$ ,  $\Pi^{C^*} > \Pi^{M^*} > \Pi^{K^*}$ 。

**证明** 由于 $k_1(\gamma^2 - bk_2) + \eta^2k_2\theta_0^2 < 0$ ,所以 $\omega^{K^*} - \omega^{M^*} = \frac{[a - b(c_1 + c_2)]k_1\{-[k_1(\gamma^4 - 2b\gamma^2k_2) + \eta^2k_2(\gamma^2 - bk_2)\theta_0^2]\}}{b(k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2k_2\theta_0^2)(2k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2k_2\theta_0^2)} > 0$ ,  
 $\omega^{K^*} - p^{C^*} = 0$ ,所以 $\omega^{K^*} = p^{C^*} > \omega^{M^*}$ 显然成立。

同理可证 $p^{K^*} - p^{M^*} = [a - b(c_1 + c_2)]k_1\{-[2k_1(\gamma^4 - 2b\gamma^2k_2) + \eta^2k_2\theta_0^2(2\gamma^2 - 3bk_2)]\} / \{2b[k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2k_2\theta_0^2]\} \times$

$[2k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2 \theta_0^2] > 0$  显然成立, 因为  $p^{M^*} > p^{C^*}$ , 所以  $p^{K^*} > p^{M^*} > p^{C^*}$  成立。

同理可证  $\Pi_S^{K^*} - \Pi_S^{M^*} = [a - b(c_1 + c_2)]^2 \eta^2 k_1 k_2^2 \theta_0^2 / \{4[k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2 \theta_0^2][2k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2 \theta_0^2]\} > 0$ , 所以  $\Pi_S^{K^*} > \Pi_S^{M^*}$  成立; 由于  $\Pi^{C^*} > \Pi^{M^*}$  且  $\Pi^{K^*} - \Pi^{M^*} = -[a - b(c_1 + c_2)]^2 k_1^2 k_2 \{(\gamma^2 - 2bk_2)2k_1\gamma^2 [k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + k_2\eta^2 \theta_0^2] + b\eta^4 k_2^3 \theta_0^4\} / \{4[k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2 \theta_0^2]^2 [2k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2 \theta_0^2]\} < 0$ , 所以  $\Pi^{C^*} > \Pi^{M^*} > \Pi^{K^*}$  成立; 由于  $\Pi^{K^*} = \Pi_E^{K^*} + \Pi_S^{K^*}$ ,  $\Pi^{M^*} = \Pi_E^{M^*} + \Pi_S^{M^*}$ , 且  $\Pi_S^{K^*} > \Pi_S^{M^*}$ ,  $\Pi^{M^*} > \Pi^{K^*}$ , 所以  $\Pi_E^{K^*} < \Pi_E^{M^*}$  成立。

命题4表明如下。1) 双向成本分摊契约决策下保鲜努力水平和体验水平要达到集中决策下最优水平, 农产品供应商和电商平台需分别为对方分摊一半的投入成本, 供应链各主体间合作深度得到进一步加强。2) 双向成本分摊契约决策下产品批发价格高于分散决策, 且与集中决策下产品销售价格相同; 双向成本分摊契约决策下产品销售价格高于分散决策, 且分散决策下产品销售价格高于集中决策。因为受双向成本分摊综合作用影响, 契约决策下产品批发价格过高, 进而导致产品销售价格高于分散决策, 使消费者利益遭受损失, 消费者购买意愿减弱, 致使市场销量萎缩, 供应链总利润低于分散决策。因此, 双向成本分摊契约无法通过有效协调, 实现供应链利润的帕累托改善, 需协调供应链各主体利润对双向成本分摊契约进行改进。

### 3.2 “双向成本分摊 + 收益共享”契约协调 (T)

基于双向成本分摊契约无法实现生鲜电商供应链的完美协调, 且由于农产品供应商为电商平台线上销售提供配送服务, 所以电商平台有必要将自身收益按比例  $\phi (0 < \phi < 1)$  分享给农产品供应商, 作为激励其配送服务的补偿金。为此, 设计“双向成本分摊 + 收益共享”契约  $T(\mu, \rho, \phi, \omega)$ , 对供应链利润进行优化协调。“双向成本分摊 + 收益共享”契约协调下, 农产品供应商和电商平台利润分别为

$$\Pi_S^T = (\phi p + \omega - c_1 - c_2)(a - bp + \gamma s + \eta \theta_0 \tau) - \frac{(1-\rho)}{2} k_1 \tau^2 - \frac{\mu}{2} k_2 s^2; \quad (39)$$

$$\Pi_E^T = [(1-\phi)p - \omega](a - bp + \gamma s + \eta \theta_0 \tau) - \frac{\rho}{2} k_2 \tau^2 - \frac{(1-\mu)}{2} k_1 s^2. \quad (40)$$

采用逆序求解法求得各主体最优决策如下。

$$p^{T^*} = \frac{\omega \gamma^2 (-1 + \phi) + (-1 + \mu) k_2 [-b\omega + a(-1 + \phi) + \eta \tau (-1 + \phi) \theta_0]}{(-1 + \phi) [\gamma^2 (-1 + \phi) - 2b(-1 + \mu) k_2]}; \quad (41)$$

$$s^{T^*} = -\frac{\gamma [b\omega + a(-1 + \phi) + \eta \tau (-1 + \phi) \theta_0]}{\gamma^2 (-1 + \phi) - 2b(-1 + \mu) k_2}; \quad (42)$$

$$\tau^{T^*} = \eta k_2 \{ \gamma^2 [a\mu(-1 + \phi)^2 + b(\omega + \omega\mu(-2 + \phi) + ((c_1 + c_2)(-1 + \mu + \phi - \mu\phi)))] + 2b(-1 + \mu)^2 (b(c_1 + c_2 - \omega) - a\phi) k_2 \theta_0 \} / \{ (-1 + \rho) k_1 [\gamma^2 (-1 + \phi) - 2b(-1 + \mu) k_2]^2 + \eta^2 k_2 [-\gamma^2 \mu(-1 + \phi)^2 + 2b(-1 + \mu)^2 \phi k_2] \theta_0^2 \}. \quad (43)$$

为实现供应链有效协调, 该契约下最优决策应与集中决策一致, 由此可得命题5。

#### 命题5

1) “双向成本分摊 + 收益共享”契约协调下, 当  $\omega = (c_1 + c_2)(1 - \phi)$ ,  $\rho = 1 - \phi$ ,  $\mu = \phi$  时,  $p^{T^*} = p^{C^*}$ ,  $s^{T^*} = s^{C^*}$ ,  $\tau^{T^*} = \tau^{C^*}$ ,  $D^{T^*} = D^{C^*}$ ,  $\Pi^{T^*} = \Pi^{C^*}$ 。

2) “双向成本分摊 + 收益共享”契约协调下, 存在利润补偿区间:  $0 < \phi_1 < \phi_2 < 1$ , 当契约参数  $\phi \in (\phi_1, \phi_2)$  时,  $\Pi_S^{T^*} > \Pi_S^{M^*}$ ,  $\Pi_E^{T^*} > \Pi_E^{M^*}$ , 即农产品供应商和电商平台均可得到帕累托改进, 从而实现供应链完美协调。

#### 证明

1) 为实现生鲜电商供应链有效协调, 需要保证协调契约下最优解与集中决策一致, 即满足  $p^{T^*} = p^{C^*}$ ,  $s^{T^*} = s^{C^*}$ ,  $\tau^{T^*} = \tau^{C^*}$ 。联立式 (5) ~ 式 (7), 易得  $\omega = (c_1 + c_2)(1 - \phi)$ ,  $\rho = 1 - \phi$ ,  $\mu = \phi$ 。

2) 为使契约协调有效实施, 需要满足条件:  $\Pi_i^{T^*} \geq \Pi_i^{M^*}$ ,  $i = S, E$ 。

由命题5的1) 可以发现, 参数  $\phi$  与  $\omega$ 、 $\rho$ 、 $\mu$  呈线性关系; 且通过调整  $\phi$  变化可实现生鲜电商供应链主体间利润的分配。将  $p^{T^*}$ 、 $s^{T^*}$ 、 $\tau^{T^*}$  代入式 (39) 与式 (40), 可得契约协调下农产品供应商与电商平台最优利润分别为

$$\Pi_S^{T^*} = -\frac{[a - b(c_1 + c_2)]^2 \phi k_1 k_2}{2[k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2 \theta_0^2]};$$

$$\Pi_E^{T^*} = \frac{[a - b(c_1 + c_2)]^2 (-1 + \phi) k_1 k_2}{2[k_1(\gamma^2 - 2bk_2) + \eta^2 k_2 \theta_0^2]}.$$

令  $\Delta \Pi_S(\phi) = \Pi_S^{T^*} - \Pi_S^{M^*}$ ,  $P = k_1(\gamma^2 - 2bk_2)$ ,  $N = \eta^2 k_2 \theta_0^2$ 。由于  $\frac{\partial \Delta \Pi_S(\phi)}{\partial \phi} > 0$ , 故  $\Delta \Pi_S(\phi)$  为关于  $\phi$  的单调递增函数, 并且在  $\phi \in (0, 1)$  上为连续函数。当  $\Delta \Pi_S(\phi_1) = 0$  时,  $\Pi_S^{T^*} = \Pi_S^{M^*}$ , 求得  $\phi_1 = \frac{P + N}{2P + N}$ , 显然  $0 < \phi_1 < 1$ 。因此, 当  $\phi > \phi_1$  时,  $\Delta \Pi_S(\phi) > 0$ , 可使得农产品供应

商协调后利润优于分散决策。

同理, 令  $\Delta\Pi_E(\phi) = \Pi_E^{T*} - \Pi_E^{M*}$ , 由于  $\frac{\partial \Delta\Pi_E(\phi)}{\partial \phi} < 0$ , 故  $\Delta\Pi_E(\phi)$  为关于  $\phi$  的单调递减函数, 并且在  $\phi \in (0, 1)$  上为连续函数。当  $\Delta\Pi_E(\phi_2) = 0$  时,  $\Pi_E^{T*} = \Pi_E^{M*}$ , 求得  $\phi_2 = \frac{3P^2 + 3PN + N^2}{(2P + N)^2}$ , 显然  $0 < \phi_1 < \phi_2 < 1$ 。因此, 当  $\phi < \phi_2$  时,  $\Delta\Pi_E(\phi) > 0$ , 可使得电商平台协调后利润优于分散决策。

综上所述, 当  $\phi \in (\phi_1, \phi_2)$  时, 农产品供应商与电商平台协调后, 利润均大于分散决策利润, 供应链利润得到改善。

命题 5 表明, 要达成契约最优协调, 需满足以下条件: 1) 农产品供应商以低于产品成本的批发价格销售给电商平台, 且该批发价格  $\omega$  与电商平台所承担的保鲜努力成本分摊比例  $\rho$  成正相关关系; 2) 农产品供应商所承担的体验成本分摊比例  $\mu$  与其分享的收益共享比例  $\phi$  相等; 3) 当  $\phi \in (\phi_1, \phi_2)$  时, 通

过契约协调可使得生鲜电商供应链各主体利润均实现帕累托改善。

## 4 算例分析

为了进一步验证契约协调的合理性和可行性, 根据已知约束条件, 对模型中参数赋值如表 2 所示。

表 2 生鲜电商供应链系统各参数

$a$	$b$	$\gamma$	$\eta$	$\theta_0$	$k_1$	$k_2$	$c_1$	$c_2$
100	0.6	0.45	0.5	0.8	0.8	0.75	10	15

根据各参数赋值可以求得  $0.43 < \phi < 0.75$ 。

### 4.1 3种模式下供应链绩效比较

将以上参数分别代入集中决策、分散决策、契约决策模型中, 可得决策结果如表 3 所示。其中, 契约决策时设  $\phi = 0.65$ 。

表 3 不同决策模型下各决策结果

Table 3 Decision results under different decision models

决策模式	$P$	$s$	$\omega$	$\tau$	$D$	$\Pi_S$	$\Pi_E$	$\Pi$
集中决策	141.44	69.86	—	58.22	69.86	—	—	4 948.63
分散决策	155.57	30.72	104.37	25.61	30.72	2 176.20	1 219.20	3 395.40
契约决策	141.44	69.86	—	58.22	69.86	3 216.61	1 732.02	4 948.63

根据表 3 分析可得, 集中决策下生鲜农产品销售价格低于分散决策下销售价格, 其体验水平、保鲜努力水平、需求量以及供应链总利润均优于分散决策。采用“双向成本分摊 + 收益共享”契约协调后, 供应链各主体分散决策, 使得生鲜农产品销售价格降低, 保鲜努力水平、体验水平、需求量以及供应链总利润均得到提升, 达到集中决策水平, 且供应商和电商平台利润均得到改善。由此可见通过调节收益共享比例  $\phi$  可实现供应链系统完美协调。

### 4.2 “双向成本分摊 + 收益共享”协调契约对供应链各主体利润水平的影响

令  $\Delta\Pi_i(\phi)$  表示在契约协调后农产品供应商和电商平台的利润变化量, 其中,  $\Delta\Pi_i(\phi) = \Pi_i^{T*} - \Pi_i^{M*}$ ,  $i = S, E$ 。以收益共享比例  $\phi$  为横坐标, 绘制  $\phi$  对供应链各主体利润以及成本分摊比例的影响, 如图 2 和图 3 所示。

由图 2 发现, 契约协调后, 随着收益共享比例  $\phi$  逐渐增大, 电商平台利润变化量随之单调递减,

而农产品供应商的利润变化量随之单调递增。因此, 当  $\phi$  处于一定范围时, 即  $\phi \in (0.43, 0.75)$  时, 电商平台和农产品供应商利润变化同为增量, 此时不仅可以实现生鲜电商供应链总利润最优, 而且供应链各主体利润均得到帕累托改善。当  $\phi = 0.597$  时,  $\Delta\Pi_S(\phi) = \Delta\Pi_E(\phi)$ , 表明供应商和电商平台利润增幅相同。而由于供应商作为供应链核心主导企业, 其

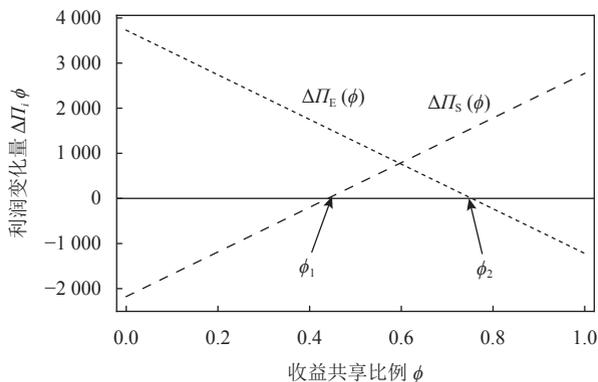


图 2 收益共享比例对各主体利润的影响

Figure 2 The impact of revenue sharing ratio on the profit of each entity

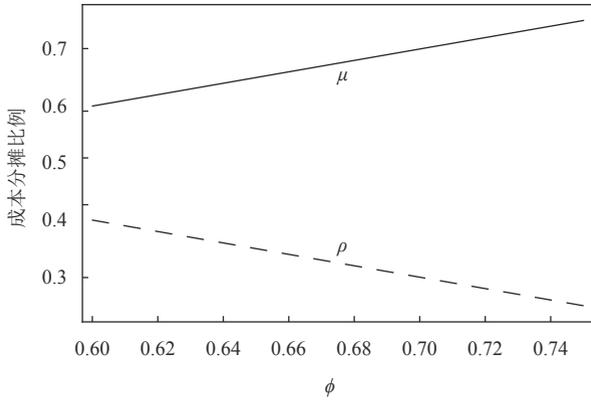


图 3 收益共享比例对成本分摊比例的影响

Figure 3 The effect of revenue sharing ratio on cost sharing ratio

讨价还价能力更强, 因此  $\Delta\Pi_S(\phi) > \Delta\Pi_E(\phi)$ 。由此可知, 当  $\phi \in (0.597, 0.75)$  时, 既可保障供应商依托主导优势获取更高利润, 又可得电商平台利润较分散决策有所改善。

由图3发现, 在收益共享比例合理区间内, 随着  $\phi$  逐渐增大, 农产品供应商分摊的体验成本比例  $\mu$  逐渐增大, 电商平台分摊的保鲜成本比例  $\rho$  逐渐减小。这表明为了使供应链利润得到改善, 供应商作为核心主导企业积极为电商平台分摊更多体验成本, 电商平台作为市场跟随者依据契约向供应商分配更多利润, 而电商平台为了保障自身利益不受损失同时减少对供应商分摊的保鲜成本。

### 4.3 模型参数的敏感性分析

为保证所有参数、变量和利润均为正,  $\eta$  取值范围为  $(0, 1)$ , 同时令  $\gamma = 0.45$ ,  $\phi = 0.65$  时, 可得分散决策和契约协调下, 供应链最优解变化趋势如图4~8所示。

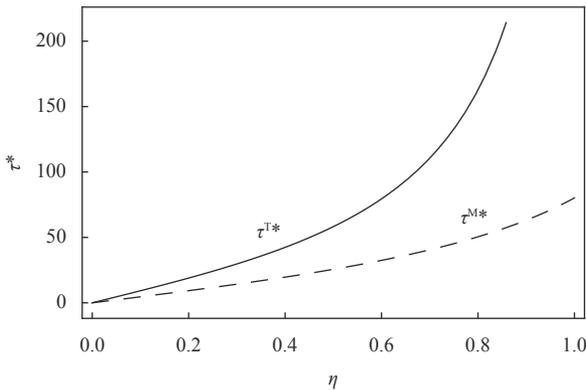


图 4  $\eta$  与  $\tau^*$  变化关系

Figure 4 Relationship between  $\eta$  and  $\tau^*$

由图4~8可知, 1) 在  $\eta$  取值范围内, 随着新鲜度敏感系数  $\eta$  逐渐增大, 契约决策下保鲜努力水平、体验服务水平和订购量均优于分散决策, 且呈

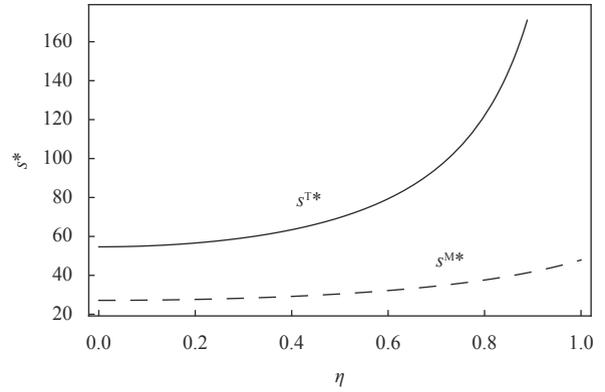


图 5  $\eta$  与  $s^*$  变化关系

Figure 5 Relationship between  $\eta$  and  $s^*$

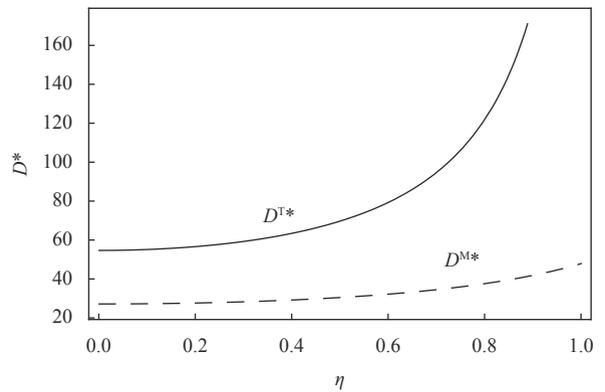


图 6  $\eta$  与  $D^*$  变化关系

Figure 6 Relationship between  $\eta$  and  $D^*$

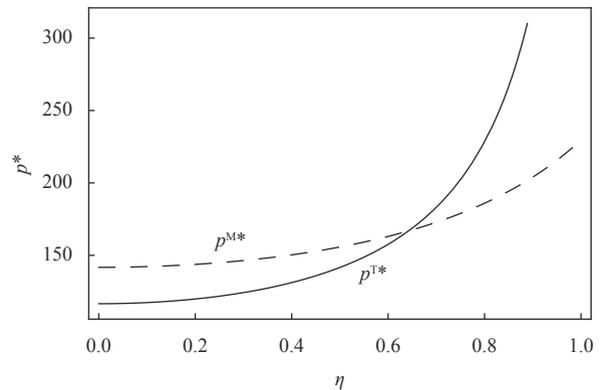
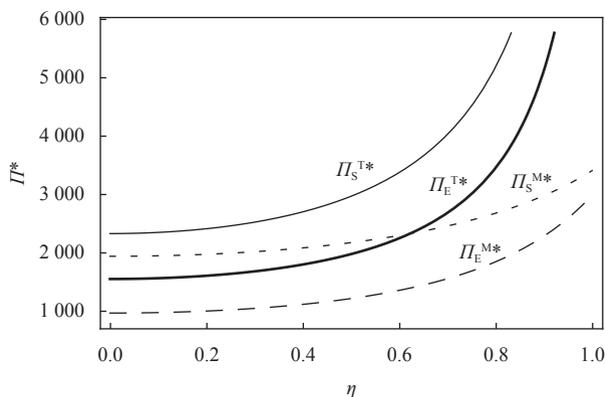


图 7  $\eta$  与  $p^*$  变化关系

Figure 7 Relationship between  $\eta$  and  $p^*$

加速增长趋势。2) 随着新鲜度敏感系数  $\eta$  逐渐增大, 契约决策和分散决策下市场销售价格均呈加速增长趋势, 而当  $\eta < 0.64$  时, 契约决策下市场销售价格低于分散决策; 当  $\eta > 0.64$  时, 契约决策下市场销售价格高于分散决策。3) 无论是分散决策还是契约协调决策, 农产品供应商和电商平台利润均呈逐渐递增趋势, 供应商利润优于电商平台利润, 且契约协调下各主体利润始终优于分散决策。

图 8  $\eta$ 与 $\Pi^*$ 变化关系Figure 8 Relationship between  $\eta$  and  $\Pi^*$ 

这表明契约协调下随着消费者对农产品新鲜度敏感系数增大, 将促使供应商加大保鲜技术投入, 电商平台加大线下体验服务投入, 使供应链保鲜努力和体验服务水平较分散决策均得到显著提升。当消费者对农产品新鲜敏感度较低, 即 $\eta < 0.64$ 时, 供应链通过契约协调降低销售价格, 为消费者提供优质低价农产品, 消费者购买意愿增强, 促使供应链各主体利润均得到改善。随着消费者对农产品新鲜敏感度增强, 当 $\eta > 0.64$ 时, 供应链保鲜努力和体验服务水平更高, 消费者对优质农产品价格认可度提升, 契约协调后市场销售价格高于分散决策, 市场销量稳步增长, 供应链各主体利润得到进一步改善, 且供应商作为主导企业, 其利润增幅明显优于电商平台。

在 $\gamma$ 取值范围内, 随着体验水平敏感系数 $\gamma$ 逐渐增大, 其对供应链最优解变化趋势影响同上。

## 5 结语

研究以农产品供应商主导的生鲜电商供应链为对象, 考虑市场需求受价格、保鲜努力以及体验服务水平的影响, 对集中决策和分散决策进行比较分析, 设计“双向成本分摊”和“双向成本分摊 + 收益共享”契约, 并验证契约协调的可行性。研究发现:

1) 集中决策、分散决策下最优解均与体验服务敏感系数、新鲜度敏感系数呈正相关关系; 2) 集中决策下最优体验水平、保鲜努力水平、需求量以及供应链总利润均优于分散决策, 而市场销售价格低于分散决策; 3) “双向成本分摊”契约可使得保鲜努力以及体验服务水平达到集中决策最优状态, 但契约协调后电商平台利润和供应链总利润均低于分散决

策, 亦无法同时保障各主体利润实现帕累托改善; 4) “双向成本分摊 + 收益共享”契约解决了“双向成本分摊”契约无法有效协调问题, 即当收益共享比例 $\phi \in (\phi_1, \phi_2)$ 时, 供应链各主体利润实现帕累托改善, 且保鲜努力投入、体验服务、需求量以及供应链总利润均达到集中决策水平。

### 参考文献:

- [1] 刘刚. 服务主导逻辑下的农产品电商供应链模式创新研究[J]. 商业经济与管理, 2019 (2): 5-11.  
LIU Gang, Research on innovation of e-commerce supply chain of agricultural products under service dominant logic[J]. Journal of Business Economics, 2019 (02): 5-11.
- [2] BELL D R, GALLINO S, MORENO A. How to win in an omnichannel world[J]. MIT Sloan Management Review, 2014, 56(1): 45.
- [3] WANG K, GOLDFARB A. Can offline stores drive online sales?[J]. Journal of Marketing Research, 2017, 54(5): 706-719.
- [4] 卢亭宇, 庄贵军. 网购情境下消费者线下体验行为的扎根研究[J]. 管理评论, 2021, 33(7): 190-202.  
LU Tingyu, ZHUANG Guijun. A grounded-theory-based study of customer offline experience in the context of e-retailing[J]. Management Review, 2021, 33(7): 190-202.
- [5] GAO F, SU X. Online and offline information for omnichannel retailing[J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2017, 19(1): 84-98.
- [6] ZHOU Y W, GUO J, ZHOU W. Pricing/ service strategies for a dual-channel supply chain with free riding and service-cost sharing[J]. International Journal of Production Economics, 2018, 196: 198-210.
- [7] 陈志松, 方莉. 线上线下融合模式下考虑战略顾客行为的供应链协调研究[J]. 中国管理科学, 2018, 26(2): 14-24.  
CHEN Zhisong, FANG Li. Supply chain coordination with strategic consumer behavior under the online to offline mode[J]. Chinese Journal of Management Science, 2018, 26(2): 14-24.
- [8] CAI X, CHEN J, XIAO Y, et al. Fresh-product supply chain management with logistics outsourcing[J]. Omega, 2013, 41(4): 752-765.
- [9] HUANG H, HE Y, LI D. Pricing and inventory decisions in the food supply chain with production disruption and controllable deterioration[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 180: 280-296.
- [10] 张琴义, 曹稳. 农产品价格与保鲜努力决策及协调契约研究[J]. 中国农业资源与区划, 2021, 42(5): 159-168.  
ZHANG Qinyi, CAO Wen. Agricultural product price-freshness-keeping effort and revenue sharing contact[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2021, 42(5): 159-168.
- [11] ZHENG Q, IEROMONACHOU P, FAN T, et al. Supply chain contracting coordination for fresh products with fresh-keeping

- effort[J]. *Industrial Management & Data Systems*, 2017, 117(3): 538-559.
- [12] 张旭梅, 金亮. 存在线下体验店的O2O供应链佣金契约设计[J]. *管理评论*, 2020, 32(2): 278-286.  
ZHANG Xumei, JIN Liang. Design of commission contract in offline to online supply chain in the presence of showroom[J]. *Management Review*, 2020, 32(2): 278-286.
- [13] 曹晓宁, 王永明, 薛方红, 等. 供应商保鲜努力的生鲜农产品双渠道供应链协调决策研究[J]. *中国管理科学*, 2021, 29(3): 109-118.  
CAO Xiaoning, WANG Yongming, XUE Fanghong, et al. Coordination strategies for dual-channel supply chain of fresh agricultural products considering the fresh-keeping effort of supplier[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2021, 29(3): 109-118.
- [14] 周涛, 周世祥, 刘浏. 政府、共享单车企业与消费者三方动态
- 博弈演变及稳定性策略分析[J]. *管理学刊*, 2020, 33(5): 82-94.  
ZHOU Tao, ZHOU Shixiang, LIU Liu. Dynamic evolution and stability strategy analysis of game among government, bicycle sharing enterprise and consumer[J]. *Journal of Management*, 2020, 33(5): 82-94.
- [15] MA P, WANG H, SHANG J. Contract design for two-stage supply chain coordination: integrating manufacturer-quality and retailer-marketing efforts[J]. *International Journal of Production Economics*, 2013, 146(2): 745-755.
- [16] CAI X, CHEN J, XIAO Y, et al. Optimization and coordination of fresh product supply chains with freshness-keeping effort[J]. *Production and Operations Management*, 2010, 19(3): 261-278.
- [17] YANG Lei, TANG Ruihong. Comparisons of sales modes for a fresh product supply chain with freshness-keeping effort[J]. *Transportation Research Part E*, 2019, 125: 425-448.

(责任编辑: 刘敏仪)

(上接第18页)

- [15] 林志炳, 周伟涛. 公平偏好下零售商绿色推广策略研究[J]. *工业工程与管理*, 2021, 26(3): 150-159.  
LIN Zhibing, ZHOU Weitao. Retailer's green promotion strategy with fairness concern[J]. *Industrial Engineering and Management*, 2021, 26(3): 150-159.
- [16] TAPIERO C S. Consumers risk and quality control in a collaborative supply chain[J]. *European Journal of Operational Research*, 2006, 182(2): 683-694.
- [17] 张翠华, 邢鹏, 朱建良. 基于公平偏好的物流服务供应链质量监督与协作研究[J]. *管理工程学报*, 2017, 31(4): 164-170.  
ZHANG Cuihua, XING Peng, ZHU Jianliang. Research on logistic service supply chain quality supervision and cooperation concerning fairness preference[J]. *Journal of Industrial Engineering and Engineering Management*, 2017, 31(4): 164-170.
- [18] 唐松祥, 梁工谦, 李洁, 等. 考虑供应商双重公平偏好的供应链质量控制策略[J]. *系统工程*, 2019, 37(4): 92-99.  
TANG Songxiang, LIANG Gongqian, LI Jie, et al. Quality control strategy of supply chain considering supplier with dual-fairness preference[J]. *Systems Engineering*, 2019, 37(4): 92-99.
- [19] 王琪, 张海珍, 郭振起. 非对称信息下基于风险偏好的供应链产品质量投入与定价策略研究[J]. *青岛大学学报(自然科学版)*, 2020, 33(2): 126-134.  
WANG Qi, ZHANG Haizhen, GUO Zhenqi. Research on quality input and pricing strategy of supply chain products based on risk preference under asymmetric information[J]. *Journal of Qingdao University (Natural Science Edition)*, 2020, 33(2): 126-134.
- [20] 官振中, 任建标, 宋秋云. 考虑公平偏好和产品纵向差异化的产品定价[J]. *系统管理学报*, 2020, 29(6): 1215-1225.  
GUAN Zhenzhong, REN Jianbiao, SONG Qiuyun. Product pricing policy considering fairness preference and vertical differentiation[J]. *Journal of Systems & Management*, 2020, 29(6): 1215-1225.

(责任编辑: 郑穗华)